



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

Слободан М. Милетић

**ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА У ПРОЈЕКТОВАЊУ
СИМУЛАЦИОНОГ МОДЕЛА ИНТЕГРИСАНЕ
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ И РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ**

докторска дисертација

Чачак, 2024



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES ČAČAK

Slobodan M. Miletić

**APPLICATION OF MULTIGRAPH IN THE DESIGN OF
THE SIMULATION MODEL OF THE INTEGRATED
TELECOMMUNICATION AND COMPUTER NETWORK**

Doctoral dissertation

Čačak, 2024

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Аутор
Име и презиме: Слободан Милетић
Датум и место рођења: 30.04.1972. године, Крагујевац, Република Србија
Садашње запослење: Војнотехнички институт, Министарство одбране Републике Србије
Докторска дисертација
Наслов: ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИМУЛАЦИОНОГ МОДЕЛА ИНТЕГРИСАНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ И РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ
Број страница: 128
Број слика: 122
Број библиографских података: 71
Установа и место где је рад израђен: Универзитет у Крагујевцу - Факултет техничких наука у Чачку, Чачак
Научна област (УДК): Техничко-технолошке науке, Електротехничко и рачунарско инжењерство, Информационе технологије и системи
Ментор: др Владимир Младеновић, редовни професор, Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу.
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: IV-04-173/11 од 21.03.2023. године

ЗАХВАЛНИЦА

Докторску дисертацију посвећујем мојим родитељима Милетић Љиљани и Мирославу - Кипсију, уз подсећање када су ме уписали и први пут одвели у основну школу у Крагујевцу где сам започео своје школовање, и које у њихову част крунишем овом дисертацијом.

Највећу и бескрајну захвалност упућујем професору др Владимиру Младеновићу мом ментору на докторској дисертацији, на указаном правом путу којим ме је мудро, стручно, пријатељски и стрпљиво водио до циља.

Посебно се захваљујем уваженом професору др Небојши Митровићу, уваженој професорки др Радојки Крнети и уваженом декану професорки др Данијели Милошевић, за сву подршку и савете које су ми пружили и својим одлукама ми омогућили да докторске студије наставим и успешно приведем свом крају. Такође, захваљујем се госпођи Мирјани Ковачевић из студентске службе за докторске студије за сву помоћ коју ми је пружила у административном вођењу и испуњавању обавеза мојег школовања током докторских студија.

Захваљујем се уваженим члановима комисије који су ми својом оценом, сугестијама и саветима омогућили да докторска дисертација буде квалитетније написана.

Хвала мом колеги и пријатељу др Радославу Сурли, који ми је пружио подршку и својим саветима помогао да учиним прави избор и своје школовање на докторским студијама наставим на Факултету техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу.

Хвала свим мојим вољеним особама које су својим стрпљењем заједно са мном изнеле терет времена, уложеног труда и рада током докторских студија и израде ове докторске дисертације.

Слободан Милетић

РЕЗИМЕ

Пројектовање просторно дистрибуиране интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже је унапређено и олакшано применом методе рачунарске симулације модела мреже. Употреба напредног симулационог софтвера са интегрисаним алатима омогућавају тополошку и технолошку израду модела, дефинисање и генерисање мрежног саобраћаја, анализу резултата вредности комуникационих параметара.

Примена симулационих модела у пројектовању комуникационе мреже значајно олакшава посао пројектовања, посебно модела са сложенем архитектуром и топологијом, омогућава извођење закључака и доношења одлука о реализацији физичког реалног модела мреже, и дефинисање потребних финансијских инвестиција.

Повећање динамике функција организационих целина узрокује повећање интезитета комуникација између њених чиниоца, што захтева нове технологије.

Увођењем и применом нових информационих технологија и система мења се тип и количина података, повећава се број рачунарских мрежних апликативних сервиса који омогућавају генерисање и дистрибуцију података, и мења се мрежни саобраћај. Иако примена симулационог модела значајно олакшава пројектовање, код пројектанта увек постоји мера несигурности у погледу тачности описа мрежног саобраћаја, од чега зависи употребљивост пројектоване сложене тополошке техничко-технолошке структуре комуникационе мреже.

Ради тачнијег и веродостојнијег описа и дефинисања мрежног саобраћаја у симулационом моделу мреже, потребно је дефинисати нове методе и математичке моделе који омогућавају његов тачнији опис.

Поставља се питање адекватности и тачности описа мрежног саобраћаја апроксимацијом познатим функцијама расподеле и опсегом вредности њихових параметара. Да би пројектовање комуникационе мреже применом симулационог модела имало већу ефикасност и тачност за израду реалног модела, отуда је и мотивација за наведеним истраживањем. Мотивација и потреба да се дефинише научно заснована метода која ће омогућити реалнији опис мрежног саобраћаја, математичку примену и повећати веродостојност резултата пројектовања.

У дисертацији је представљена метода примене мултиграфа која омогућава да се изведу одговарајуће временске функције дистрибуције за сваки мрежни апликативни сервис, изврши њихова процена у односу на апроксимирајуће функције дистрибуције и смањи утицај погрешног описа. Метода омогућава да се изведене функције дистрибуције имплементирају у симулациони модел, и тиме повећа тачност добијених резултата комуникационих параметара потребних за даљу анализу и пројектовање коначног модела интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже.

Кључне речи: Интегрисана телекомуникациона и рачунарска мрежа, симулациони модел, мрежни саобраћај, модел дистрибуције мрежног саобраћаја, оперативне процедуре, матрица мрежног саобраћаја, комуникационе интеракције, дистрибуција података, мултиграф, функција дистрибуције.

ABSTRACT

The design of a spatially distributed integrated telecommunication and computer network has been improved and facilitated by the application of the method of computer simulation of the network model. The use of advanced simulation software with integrated tools enables topological and technological modeling, definition and generation of network traffic, analysis of communication parameter value results.

The application of simulation models in the design of communication networks significantly facilitates the design work, especially of models with complex architecture and topology, enables drawing conclusions and making decisions about the realization of a physical real network model and defining the necessary financial investments.

The increase in the dynamics of the functions of organizational units causes an increase in the intensity of communication between its agents, which requires new technologies. The introduction and application of new information technologies and systems changes the type and amount of data, the number of computer network application services that enable the generation and distribution of data is increasing and network traffic changes. Although the application of the simulation model significantly facilitates the design, the designer always has a measure of uncertainty regarding the accuracy of the network traffic description, which depends on the usability of the designed complex topological technical-technological structure of the communication network.

For a more accurate and reliable description and definition of network traffic in the network simulation model, it is necessary to define new methods and mathematical models that enable its more accurate description.

The question arises of the adequacy and accuracy of the description of network traffic by approximation to known distribution functions and the range of values of their parameters. In order for the design of the communication network using the simulation model to have greater efficiency and accuracy for the creation of a real model, hence the motivation for the mentioned research. The motivation and need to define a scientifically based method that will enable a more realistic description of network traffic, mathematical application and increase the reliability of design results.

In the dissertation, a multigraph application method is presented, which allows to derive appropriate time distribution functions for each network application service, evaluate them in relation to approximating distribution functions and reduce the impact of misdescription. The method allows the derived distribution functions to be implemented in the simulation model and thereby increase the accuracy of the obtained results of the communication parameters, needed for further analysis and designing the final model of the integrated telecommunication and computer network.

Key words: integrated telecommunication and computer network, computer simulation model, network traffic, network traffic distribution model, operational procedures, network traffic matrix, communication interactions, data distribution, multigraph, distribution function.

САДРЖАЈ

1	УВОД.....	1
1.1	Предмет и циљ истраживања.....	1
1.2	Формулација задатка истраживања	4
1.3	Главни доприноси.....	8
1.4	Организација тезе	9
2	ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА И ДЕФИНИСАЊЕ МОДЕЛА ИТРМ.....	11
2.1	Пројектовање модела ИТРМ	11
2.1.1	Теоријска анализа модела.....	14
2.1.2	Структура организационе целине.....	15
2.1.3	Функције и задаци.....	16
2.1.4	Времена извршења комуникационо-информационе функције.....	17
2.1.5	Просторни распоред на територији	19
2.1.6	Информациони токови.....	23
2.1.7	Подаци за пренос.....	25
2.1.8	Техника и технологија комуникационе структуре.....	29
2.1.9	Мрежни апликативни сервиси	31
2.1.10	Матрица мрежног саобраћаја.....	34
2.1.11	Прелиминарни модел ИТРМ.....	35
2.1.12	Комуникациони захтеви	36
3	ПРЕГЛЕД МОДЕЛОВАЊА МРЕЖНОГ САОБРАЋАЈА	38
3.1	Модел мрежног саобраћаја	39
3.1.1	Статистички модели мрежног саобраћаја.....	40
3.1.1.1	Експоненцијална функција дистрибуције мрежног саобраћаја	40
3.1.1.2	Нормална Гаусова функција дистрибуције мрежног саобраћаја.....	41
3.1.1.3	Униформна функција дистрибуције мрежног саобраћаја	42
3.1.1.4	Поасонов модел дистрибуције мрежног саобраћаја	43
3.1.1.5	Бернулијев модел дистрибуције мрежног саобраћаја	44
3.1.1.6	Паретов модел дистрибуције мрежног саобраћаја.....	45
3.1.1.7	Вејбулов модел мрежног саобраћаја	47
3.1.1.8	Марковљев модел дистрибуције мрежног саобраћаја	47
3.1.1.9	Марковљев-Поасонов модел дистрибуције мрежног саобраћаја	48
3.1.2	Модел снимљеног мрежног саобраћаја.....	49
3.1.3	Модел само-сличности	56
3.1.3.1	Паретова функција дистрибуције.....	57

3.1.3.2	Модел мрежног саобраћаја произвољне брзине генерисања	58
3.1.3.3	Модел генератора само-сличног мрежног саобраћаја	59
3.1.3.4	Модел само-сличности мрежног саобраћаја применом софтвера Wireshark и снимањем густине спектра снаге	59
3.1.3.5	Модел упоређивања мрежног саобраћаја применом хи-квадрат критеријума ...	62
3.2	Избор модела мрежног саобраћаја.....	66
3.3	Симулациони алати	70
4	ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА И ДЕФИНИСАЊЕ ВРЕМЕНСКИХ ФУНКЦИЈА РАСПОДЕЛЕ МРЕЖНОГ САОБРАЋАЈА ИТРМ	75
4.1	Дистрибуција података у ИТРМ	78
4.2	Опис дистрибуције података у ИТРМ применом мултиграфова.....	79
4.3	Временска шема активације сервиса и дистрибуције података између мрежних елемената ИТРМ.....	80
4.4	Мултиграфови комуникационих интеракција и дистрибуције података у мрежном саобраћају ИТРМ.....	83
4.5	Матрице придружене мултиграфу комуникационих интеракција и дистрибуције података у мрежном саобраћају ИТРМ	85
4.5.1	Матрица мултиграфа комуникационих интеракција.....	85
4.5.2	Матрица мултиграфа размене података.....	87
4.6	Генерисање функције дистрибуције података узорковањем мултиграфова	90
5	СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ.....	95
5.1	Топологија и основни елементи симулационог модела ИТРМ	96
5.2	Мрежни саобраћај симулационог модела ИТРМ	104
6	РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	110
6.1	Резултати симулације модела ИТРМ у целини	111
7	ЗАКЉУЧАК.....	122
	ЛИТЕРАТУРА	124

Слике:

Слика 1. Просторно дистрибуирана тактичка комуникациона мрежа једне организационе целине војне намене: а) илустративни приказ у простору б) илустративни приказ топологије	6
Слика 2. Фазе тока пројектовања модела ИТРМ	12
Слика 3. Елементи теоријске анализе модела организационе целине	14
Слика 4. Фазе и елементи пројектовања модела ИТРМ	15
Слика 5. Мрежно-центрична функционална шема организационе целине	16
Слика 6. Временска шема активације и понављања функција (сервиса Sn) мрежних елемената ИТРМ	18
Слика 7. Основна логичка структура ИТРМ са груписањем функционалних мрежно-центричних организационих целина у WAS, LAS, MS, LAN	20
Слика 8. Основна логичка структура ИТРМ организационог повезивања мрежно-центричних целина информационим токовима у више мрежних слојева	20
Слика 9. Типови мрежних топологија	21
Слика 10. Графичка израда топологије за примену теорије графова	21
Слика 11. Графичка анализа прекида рада комуникационих линкова	22
Слика 12. Информациони токови у топологији мреже	23
Слика 13. Слојеви OSI мрежног модела и TCP/IP протокола стека	24
Слика 14. Начелна логичка шема информационих токова у топологији ИТРМ	25
Слика 15. Поступак одређивања количине података за слање мрежном елементу	28
Слика 16. Формат пакета за дистрибуцију података	28
Слика 17. OSI мрежни модел и TCP/IP протокол стек за избор технологије и технике комуникационе структуре ИТРМ	30
Слика 18. Вишеслојна технолошка архитектура ИТРМ	31
Слика 19. Дистрибуција апликативних сервиса са-краја-на крај (End-to-End Service delivery)	32
Слика 20. Client-Server дистрибуција података	33
Слика 21. Концепт структуре матрице мрежног саобраћаја у симулационом моделу	35
Слика 22. Прелиминарни модел ИТРМ основна структура	36
Слика 23. Експоненцијална функција густине вероватноће и кумулативна расподела	41
Слика 24. Нормална Гаусова функција густине вероватноће и кумулативна расподела	41
Слика 25. Дискретна униформна функција густина вероватноће и кумулативна расподела	42
Слика 26. Континуална униформна функција густина вероватноће и кумулативна расподела	42
Слика 27. Експоненцијална функција дистрибуције наилазак пакета из Поасоновог извора мрежног саобраћаја	43

Слика 28. Поасонова дистрибуција са повећањем средње вредности (Mean).....	44
Слика 29. Геометријска функција дистрибуције вероватноће наилаaska пакета.....	44
Слика 30. Паретова функција дистрибуције времена наилаaska пакета.....	46
Слика 31. Вејбулова функција расподеле времена наилаaska пакета.....	47
Слика 32. Марковљев низ два-стања	47
Слика 33. Модулација стања извора података	48
Слика 34. Марковљев-Поасонов модел дистрибуције података из извора.....	49
Слика 35. Количина података снимљена у комуникационој мрежи у времену	50
Слика 36. Број наишлих пакета снимљена у комуникационој мрежи у времену	50
Слика 37. Кумулативна расподела броја наишлих пакета по величини снимљена у комуникационој мрежи у времену	50
Слика 38. Количина мрежног саобраћаја снимљена у комуникационој мрежи по типовима података према одредишту	51
Слика 39. Количине мрежног саобраћаја снимљена у комуникационој мрежи по типовима апликативних сервиса.....	51
Слика 40. Снимак мерења мрежног саобраћаја са различитом временском резолуцијом (0.1 s , 1 s , 10 s).....	52
Слика 41. Дистрибуција величине пакета реконструкције мерења мрежног саобраћаја.	52
Слика 42. Реконструисана мерења мрежног саобраћаја Caterpillar методом	53
Слика 43. Гаусова дистрибуција реконструисаног мерења мрежног саобраћаја.....	53
Слика 44. Функција аутокорејације изведена за снимљени Ethernet саобраћај.....	54
Слика 45. Резултати односа вероватноћа функција дистрибуције за опис модела снимљеног мрежног саобраћаја и избор дистрибуције Clauset's методом ..	56
Слика 46. Функција дистрибуције произвољних брзина генерисања података	58
Слика 47. Функција дистрибуције произвољних вредности времена међу-интервала наилаaska пакета	59
Слика 48. Параметри и статистика снимања употребом софтвера Wireshark.....	60
Слика 49. Графички приказ снимања мрежног саобраћаја у времену употребом софтвера Wireshark	60
Слика 50. Интезитет мрежног саобраћаја у времену снимања	61
Слика 51. Густина спектра снаге сигнала сервиса (http, e-mail) мрежног саобраћаја трајања 24 часа	61
Слика 52. Густина спектра снаге сигнала сервиса мрежног саобраћаја трајања 1 час ..	62
Слика 53. Дводневни web мрежни саобраћаја у градовима Франкфурт и New York.....	63
Слика 54. Месечни web мрежни саобраћај у граду Франкфурту	63
Слика 55. Годишњи web мрежни саобраћај у граду Франкфурту.....	63
Слика 56. 5-годишњи web мрежни саобраћај у граду Франкфурту	63
Слика 57. Графици интезитета мрежног саобраћаја у току дана	64

Слика 58. Нормализовани линеарни графици интезитета мрежног саобраћаја и средња вредност	64
Слика 59. Нормализовани линеарни графици интезитета мрежног саобраћаја у дужем временском периоду (месец, година, 5 година).....	65
Слика 60. Функција промене интезитета мрежног саобраћаја у времену.....	65
Слика 61. Спрега утицаја реалног мрежног саобраћаја и модела мрежног саобраћаја.....	66
Слика 62. Таксономија за избор улазног модела елемената мрежног саобраћаја дискретног симулационог модела.....	68
Слика 63. Извођење функције аутокорејације за времена активације сервиса	68
Слика 64. Извођење Вејбулове функције дистрибуције времена активације сервиса.....	69
Слика 65. Графички интерфејс симулационог алата GNS3.....	70
Слика 66. Графички интерфејс симулационог алата EVE	71
Слика 67. Графички интерфејс симулационог алата NS3.....	71
Слика 68. Графички интерфејс симулационог алата OPNET.....	72
Слика 69. Статистички резултати симулације симулационог алата OPNET.....	73
Слика 70. Графички интерфејс симулационог алата NETSIM.....	73
Слика 71. Графички интерфејс симулационог алата OMNET++.....	74
Слика 72. Графички интерфејс симулационог алата QualNet.....	74
Слика 73. Основни концепт пресликавања полазних елемената организационе целине, модела ИТРМ и функције дистрибуције у симулациони модел	78
Слика 74. Временска линија активације и понављања комуникационих интеракција мрежних елемената ИТРМ и апликативних сервиса.....	80
Слика 75. Временска линија активације и понављања апликативних сервиса S1 и S2 са количинама генерисаних података Adt.....	80
Слика 76. Временска линија активације и понављања апликативних сервиса S1 до S4 и комуникационих интеракција између мрежних елемената E ₁ до E ₈	81
Слика 77. Временска раван активације и понављања апликативних сервиса S1 до S4 и комуникационих интеракција између мрежних елемената E ₁ до E ₈	82
Слика 78. Мултиграф комуникационих интеракција између мрежних елемената ИТРМ	83
Слика 80. Једно-сервисни мултиграф размене података између мрежних елемената E ₁ до E ₈ апликативним сервисима S ₁ и S ₂ у временском тренутку t ₀	84
Слика 81. Више-сервисни мултиграф размене података између мрежних елемената E ₁ до E ₈ апликативним сервисима S1 и S2 у временском тренутку t ₀	84
Слика 82. Једно-сервисни мултиграф комуникационих интеракција и придружена симетрична матрица 8 x 8.....	85
Слика 83. Једно-сервисни мултиграф размене података и придружена симетрична матрица 8 x 8.....	87
Слика 84. График функције дистрибуције догађања $pdF(Srv_ \omega)$ комуникационих интеракција апликативним сервисом Srv у комуникационом интервалу времена ΔT	93

Слика 85. График функције дистрибуције података $pdf(Srv_Adt)$ апликативним сервисом Srv у комуникационом интервалу времена ΔT	93
Слика 86. Графици функција расподеле догађања комуникационих интеракција $pdf(Srv_w)$ и дистрибуције података $pdf(Srv_Adt)$ апликативним сервисима $S1$ и $S2$ у комуникационом интервалу времена ΔT	94
Слика 87. Основна логичка структура модела ИТПМ	97
Слика 88. Информациони токови у основној логичкој структури модела ИТПМ	99
Слика 89. Топологија модела ИТПМ у симулационом моделу	100
Слика 90. Топологија LAN A (лево), LAN B (десно)	101
Слика 91. Топологија LAN C (лево), LAN D_1 (десно)	101
Слика 92. Топологија LAN D_2 (лево), LAN D_3 (десно)	102
Слика 93. Топологија LAN V_1 (лево), LAN V_2 (десно)	102
Слика 94. Топологија LAN A_10 (лево), LAN B_10 (средина), LAN C_10 (десно)	102
Слика 95. Топологија LAN D_10 (лево), LAN D_20 (средина), LAN G (десно)	103
Слика 96. Топологија LAN L (лево), LAN R (десно)	103
Слика 97. Топологија LAN Z_1 (лево), LAN Z_2 (средина), LAN Z_3 (десно)	103
Слика 98. Топологија LAN Z_4 (лево), LAN Z_5 (средина), LAN Z_6 (десно)	103
Слика 99. Апликативни сервиси у симулационом моделу ИТПМ	104
Слика 100. Графици функција дистрибуције догађања комуникационих интеракција и дистрибуције података апликативним сервисима Email и WEB	105
Слика 101. OPNET PDF Editor за унос графика изведене функције дистрибуције	105
Слика 102. Дефинисање апликативног сервиса Email за Scenario_multigraf_pdf	106
Слика 103. Дефинисање апликативног сервиса Email за Scenario_aproksimacija_pdf	106
Слика 104. Дефинисање апликативног сервиса WEB за Scenario_multigraf_pdf	106
Слика 105. Дефинисање апликативног сервиса WEB за Scenario_aproksimacija_pdf	107
Слика 106. Дефинисање апликативног сервиса DBASE за Scenario_multigraf_pdf	107
Слика 107. Дефинисање апликативног сервиса DBASE за Scenario_aproksimacija_pdf	107
Слика 108. Дефинисање апликативног сервиса VoIP за Scenario_multigraf_pdf	108
Слика 109. Дефинисање апликативног сервиса VoIP за Scenario_aproksimacija_pdf	108
Слика 110. Дефинисање матрице мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТПМ за апликативне сервисе Email и WEB	108
Слика 111. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса Email у ИТПМ	111
Слика 112. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB у ИТПМ.	112
Слика 113. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE у ИТПМ	113
Слика 114. Средње време кашњења (Average Time) сервиса гласа VoIP у ИТПМ	114

Слика 115. Средња количина одбачених пакета у јединици времена (Dropped packets/sec) података апликативних сервиса у ИТРМ.....	115
Слика 116. Средње време преузимања података (Download Time) апликативног сервиса Email на клијентима у LAN A (лево) и LAN C_10 (десно).....	116
Слика 117. Средње време преузимања података (Download Time) апликативног сервиса Email на клијентима у LAN Z_1 и LAN Z_6.....	117
Слика 118. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE на клијенту у LAN D_10.....	118
Слика 119. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB на широкопојасном радио линку између LAN A и LAN A_10(лево), LAN B и LAN B_10(десно)	119
Слика 120. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB на ускопојасном радио линку између LAN C и LAN C_10 (лево), LAN V_1 и LAN D_10 (десно).....	119
Слика 121. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE на широкопојасном радио линку између LAN B и LAN B_10.....	120
Слика 122. Вршни проток (Throughput) дистрибуције података на широкопојасном радио линку између LAN A и LAN A_10 (лево), LAN B и LAN B_10 (десно)...	121

Табеле:

Табела 1. Комуникациони сценарио дистрибуције података између елемената организационе структуре	26
Табела 2. Вредности варијације количине типа података за дистрибуцију између мрежних елемената организационе структуре	27
Табела 3. Мрежни апликативни сервиси засновани на протоколима OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека.....	34
Табела 4. Преглед метода за дефинисање мрежног саобраћаја	77
Табела 5. Апликативни сервиси и мрежни протоколи за успоставу информационих токова функција организационе целине.....	96
Табела 6. Матрица мрежног саобраћаја за успоставу апликативних сервиса профила Обрада података I мрежних елемената у LAN D_1 и LAN D_2	98

1 УВОД

1.1 Предмет и циљ истраживања

Реализација технолошки савремене, просторно дистрибуиране интегрисане телекомуникационе и рачунарске комуникационе мреже, са постављеним комуникационим захтевима и постојећим критеријумима експлоатације у ограниченим условима употребе на датој територији, захтева пројектовање техничког решења модела мреже која ће да омогући дистрибуцију генерисаних података и информација тако да од извора буду достављене на одредиште правовремено као потпуне, тачне и веродостојне, како би се ефикасно употребиле за предвиђену намену. Остварење постављених функционалних захтева у датим условима просторне употребе комуникационе мреже, може захтевати примену скупих технолошких решења, и без потврде да ће се њиховом применом ти захтеви испунити. Да би се избегли и смањили могући високи финансијски трошкови и избегле грешке практичне реализације једне такве комуникационе мреже, у данашње време интензивне употребе рачунара, информационих технологија и система веома је актуелна примена метода рачунарске симулације и претходне израде симулационог модела комуникационе мреже, са свим елементима који га одређују у симулационом софтверу као алату за пројектовање. Израда симулационог модела омогућава пројектанту да сагледа могуће комуникационе ефекте функционисања модела комуникационе мреже у предвиђеним и/или непредвиђеним комуникационо информационим догађајима, и коју настоји да технички и технолошки практично просторно реализује. Сагледавање ефеката се у основи реализује анализом првенствено статистичких резултата који одражавају задате критеријуме на основу којих се посматра и одређује комуникациона ефикасност функционисања мреже.

Основни критеријуми за оцену реализованог решења модела мреже су време и квалитет мрежне дистрибуције података. Испуњење критеријума зависи од примењене методологије и начина пројектовања модела мреже којим су одређени и анализирани елементи који имају појединачни или међусобно повезан утицај на крајњи резултат правовремене и квалитетне дистрибуције информација од извора до одредишта. Постоји низ таквих елемената и потребно их је препознати правилном теоријском анализом, издвојити и адекватно представити како би били оптимално уграђени у пројектовано решење мреже. Значај истраживања метода које то омогућавају је утолико већи и у мери у којој омогућава тачније дефинисање симулационог модела, а посебно мрежног саобраћаја као променљивог процеса.

На основу досадашњег истраживања и анализа [1],[2] који су радом у овој области спроведени препознати су и анализирани следећи елементи: комуникациони захтеви (оперативни, системски и технички аспекти), организацијска структура, функције и задаци организацијске структуре, информациони токови, тополошка и логичка мрежна структура, просторни распоред структурних елемената на територији, времена извршења функција, телекомуникационе и мрежне технологије приступа и преноса, технике заштите података, подаци за пренос и мрежни саобраћај.

Основни концепт моделовања захтева да се у фазама пројектовања теоријском анализом наведених елемената изводе закључци о решењу модела мреже и/или да се одговарајућим математичким моделом одреди начин на који претходно наведени елементи утичу на модел мреже, односно на време и квалитет дистрибуције података као и начин за оптимизацију решења модела мреже. Спровођење низа корака резултује организационом, технолошком и функционалном интеграцијом телекомуникационих и рачунарских мрежа у јединствену интегрисану телекомуникациону и рачунарску мрежу (ИТРМ) као основну комуникациону структуру потребну за дистрибуцију предвиђеног мрежног саобраћаја. Повећање броја корисника у мрежи, комуникационих интеракција, врста и количина података за пренос, уз техничко-технолошка ограничења комуникационе технике (мобилност, предајна снага, капацитет за пренос података, димензије, напајање итд.) условљена применом на рељефно разноврсној географској територији и уз ограничења телекомуникационог просторног преноса података (жично и бежично простирање, Френелове зоне, догледање, домет, квалитет линка, капацитет преноса) за употребу која намеће овај тип мреже, знатно повећава тополошку и технолошку комплексност мреже, а тиме и поскупљује њено решење у фази пројектовања.

Извођење коначног модела ИТРМ захтева и утврђивање утицаја пројектованог решења модела на мрежни саобраћај како би се испитало да ли то решење омогућава испуњење постављених комуникационих критеријума. Мрежни саобраћај треба што веродостојније описати, генерисати и дистрибуирати, а што представља посебан проблем за пројектанта. Погрешно дефинисан и математички описан мрежни саобраћај не може дати тачне резултате за извођење закључака о моделу ИТРМ. Обзиром да је пре реализације коначног модела ИТРМ финансијски скупо и неисплативо да се на географском простору практично реализује просторно дистрибуирана комуникациона мрежа, примењују се експерименти, практична тестирања и мерења параметара на познатим и сличним постојећим моделима мрежа, апроксимације и симулације са расположивим софтверским алатима. На основу резултата мерења и теоријских апроксимација се рачунају параметари мрежних елемената, дефинише технологија и техника и директно или индиректно изводе закључци о оптимизацији модела. Све наведено захтева знатно време и велика знања пројектанта комуникационе мреже.

Пројектовање просторно дистрибуиране ИТРМ је унапређено и олакшано применом методе рачунарске симулације модела мреже употребом напредног симулационог софтвера као што је OPNET са интегрисаним алатима који омогућавају тополошку и технолошку израду модела, дефинисање и генерисање мрежног саобраћаја, анализу параметара мрежних елемената. OPNET је комерцијално доступан професионални софтверски симулациони алат у који је интегрисана велика база података технолошких знања из области рачунарских и мрежних комуникација. Поседује графички интерфејс који пројектанту омогућава визуелну израду свих елемената модела ИТРМ употребом предефинисаних комуникационих објеката и математичких модела, а чија ефикасна и тачна употреба од стране пројектанта захтева познавање области из домена рачунарских и мрежних комуникационих технологија и телекомуникација. Омогућава детаљне дискретне симулације мрежног саобраћаја као временски дефинисаног догађаја у сваком

мрежном елементу модела ИТРМ и утврђивања његовог утицаја на тај елемент, као и генерисање графичких приказа резултата симулације и математичке анализе жељених параметара у тачкама од интереса, односно за ИТРМ као целину. Увођењем нових комуникационих технологија мења се тип и количина података, повећава се број рачунарских мрежних апликативних сервиса који омогућавају генерисање и дистрибуцију података, и мења се мрежни саобраћај. Ради тачнијег и веродостојнијег дефинисања мрежног саобраћаја у симулационом моделу мреже потребно је дефинисати нове методе и математичке моделе који омогућавају његов тачнији опис. Примена симулационих модела у пројектовању комуникационе мреже иако у веома значајној мери олакшава посао пројектовања, посебно модела са сложенем архитектуром и топологијом, и доношења одлука о примени реалног модела, и тиме потребних финансијских инвестиција, код пројектанта увек постоји мера несигурности у погледу тачности описа мрежног саобраћаја. Поставља се питање адекватности и тачности описа мрежног саобраћаја апроксимацијама познатим функцијама расподеле и понуђеним опсегом вредности њихових параметара, што може бити према типу комуникације и мрежном саобраћају. Како би пројектовање применом симулационог модела имало већу ефикасност и тачност примене реалног модела, отуда и мотивација за наведеним истраживањем, да се дефинише научно заснована метода која ће омогућити опис мрежног саобраћаја, математичку примену и повећати тачност резултата пројектовања.

Проблем истраживања се препознаје у домену дефинисања мрежног саобраћаја код пројектовања симулационог модела ИТРМ. Од начина описа, степена веродостојности и тачности описа мрежног саобраћаја у свим сегментима који га одређују зависе резултати симулације, који директно утичу на тачност извођења закључака о организационом, тополошком и техничко-технолошком пројектовању модела за реализацију стварне мреже. Мрежни саобраћај је комплексна динамичка појава са много временских догађаја који се односе на комуникациону интеракцију учесника, генерисање података за слање, манифестује се кроз мрежну дистрибуцију променљиве количине података посредством више рачунарских мрежно орјентисаних клијент-сервер апликација као мрежних апликативних сервиса и формираних токова информација, из више извора у више одредишта. Погрешно дефинисање временске динамике генерисања и дистрибуције количина података у мрежном саобраћају током симулације може довести до појаве нереалног нагомилавања и губитка пакета података, велике битске грешке у преносу, деградације брзине преноса на линковима, великог временског кашњења у дистрибуцији података, а тиме и до погрешне анализе и извођења погрешних закључака. Последица погрешног закључка може довести до грешке у пројектовању модела мреже и тиме до погрешног финансијског инвестирања у комуникациону технологију и технику. Напредни софтвери за симулацију комуникационих мрежа располажу са скупом математичких функција дистрибуције са којима се у одређеној мери и на основу сличности апроксимирају догађаји у мрежном саобраћају. Уједно, немају могућност за детаљнији детерминистички опис динамике мрежног саобраћаја и извођење томе одговарајуће функције дистрибуције по којима се истовремено реализује механизам рачунарске симулације догађаја у симулационом моделу ИТРМ.

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој нове методе описа апликативно заснованог и сервисно оријентисаног мрежног саобраћаја, применом мултиграфа и њима придружених симетричних матрица, односно математичког модела којим се омогућава статистичко дефинисање мрежног саобраћаја функцијама дистрибуције догађаја и вредности у времену. Динамичка временска променљивост догађаја и променљивост вредности количине података у мрежном саобраћају може бити детерминистичка или стохастичка, те је истраживање првенствено усмерено на оперативно временски предефинисану комуникацију у једној организационој целини за коју се пројектује симулациони модел ИТРМ.

Циљ истраживања је да се новом методом дефинисања мрежног саобраћаја заснованог на примени мултиграфа и математичког извођења статистичке функције дистрибуције у времену, спроведе математички опис комуникације која се реализује у структури једне организационе целине. Наведено подразумева радно окружење у којем се одвија дефинисана размена информација, као што су компаније, Data центри, организације специфичних државних служби (војска, полиција, ванредне ситуације), индустрија и слично и која је дефинисана оперативним процедурама. Потребно је да се изведу одговарајуће временске функције дистрибуције за сваки мрежни апликативни сервис, изврши њихова процена у односу на апроксимирајуће функције дистрибуције и смањи утицај погрешног описа, односно да се изведене функције имплементирају у симулациони модел, и тиме повећа тачност добијених резултата комуникационих параметара потребних за даљу анализу и пројектовање коначног модела ИТРМ.

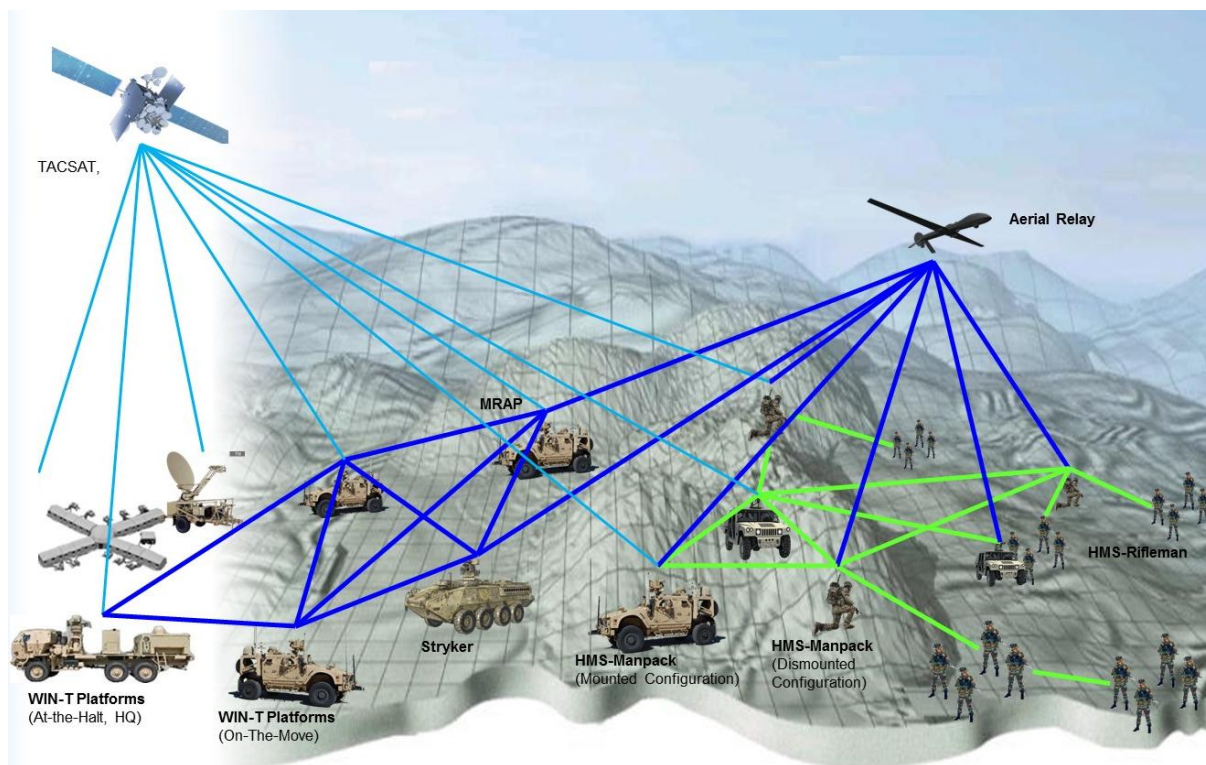
1.2 Формулација задатка истраживања

Задатак истраживања се формулише кроз следећа питања:

- Како извршити теоријску анализу и дефинисање потребних елемената за пројектовање модела ИТРМ ?
- Које пројектне елементе обухватити за израду модела ИТРМ и пројектовање мрежног саобраћаја ?
- Како извршити анализу комуникационих захтева једне организационе целине у циљу дефинисања комуникационе матрице размене предвиђених количина типова података између елемената те целине ?
- Како дефинисати информационе токове мрежног саобраћаја у корелацији са типовима података за генерисање и њихову дистрибуцију мрежним апликативним сервисима ?
- Како дефинисати матрицу мрежног саобраћаја за израду симулационог модела ИТРМ и извођење временског тока комуникационих интеракција између мрежних елемената организационе целине ?
- Који су постојећи модели и начини за опис и дефинисање мрежног саобраћаја ?
- У којој форми представити временски ток комуникационих интеракција између учесника у комуникацији, у корелацији са типовима података које размењују посредством дефинисаних мрежних апликативних сервиса ?

- На који начин форму представљања комуникационих интеракција и дистрибуције података у мрежном саобраћају, превести у одговарајућу математичку формулацију на основу које се математички може извести њима одговарајућа функција дистрибуције која их описује ?
- Како представити изведену функцију дистрибуције за потребе имплементације у симулационом моделу ?
- Који софтверски алат за израду симулационих модела је на располагању за имплементацију изведене функције расподеле по којој се може реализовати механизам догађања мрежног саобраћаја ?
- Којим комуникационим параметрима извести компарације резултата симулације мрежног саобраћаја у симулационом моделу мреже у случају употребе типичних и изведених функција расподеле ?
- Како анализирати резултате симулације и извести закључке о тачности методе примене мултиграфа у изради симулационог модела ИТРМ ?

До одговора на наведена питања се долази реализовањем низа аналитичких корака који се спроводе на конкретном примеру комуникационог сценарија једне организационе целине за коју треба пројектовати модел комуникационе мреже, чијом применом треба остварити одређене квалитете комуникације и размене података између елемената те организационе целине. Додатно, разматра се комуникациони сценарио са претпоставком да је организациона целина просторно распоређена на географској територији, која условљава ограничења и отежане телекомуникационе услове који захтевају реализацију комуникационе мреже употребом различитих техничко-технолошких решења за тополошко формирање линкова ускопојасног и широкопојасног бежичног и жичног преноса комуникације. Пример овако формираног модела мреже са комуникационим линковима формираним за примену у наведеним просторним условима могу у већој мери да покажу значај утицаја дефинисања мрежног саобраћаја на захтевани квалитет комуникације. За потребе истраживања разматран је пример тзв. тактичке комуникационе мреже једне организационе целине војне намене за оперативну примену и употребу у простору, а што је захтевније у односу на услове употребе комуникационе мреже друге намене (комерцијалне, индустријске, академске итд.). *Слика 1.* илустративно приказује распоред мрежних елемената такве организационе целине просторно распоређених на некој географској територији, и који су међусобно тополошки повезани телекомуникационим линковима.



(a)



(б)

Слика 1. Просторно дистрибуирана тактичка комуникациона мрежа једне организационе целине војне намене: а) илустративни приказ у простору
б) илустративни приказ топологије

Дата илустрација и основно логичко представљање топологије комуникационе мреже овакве организационе целине указује на постојање мрежних елемената учесника у комуникацији, који су стационарни, мобилни, међусобно директно или индиректно повезани, или су умрежени у топологији појединачних рачунарских мрежа (LAN, WAN) које су међусобно повезане мрежним чворовима и телекомуникационим линковима различитих техничко-технолошких решења. Мрежна топологија реализована интеграцијом телекомуникационе и рачунарских мрежа као просторно статичка или динамичка структура, са применом технологија за комуникацију (глас, подаци) омогућава комуникационе интеракције између корисника повезаних у ту структуру. Интеракција је иницирана функционалном потребом корисника за обављање комуникације са једним или више других корисника који су такође повезани у интегрисану комуникациону структуру. Резултат сваке појединачне интеракције је генерисање комуникације у виду гласа или аналогних или дигиталних података на извору комуникације, хардверско и софтверско генерисање тока технолошки обликованих формата дигиталних података и посредством мрежних протокола њихова дистрибуција преко формиране мрежне топологије до одредишта са којим је успостављена интеракција. Таква интеракција може бити у смеру према једном и/или више одредишта, и може се догађати између корисника којима је то омогућено. Временски се могу догађати сукцесивно једна за другом, паралелно, и комбиновано, стохастички по указаној потреби корисника или детерминистички по дефинисаној функционалној оперативној процедури. Инициране интеракције, односно успостављене комуникације се догађају истовремено у комуникационој структури и уз техничко-технолошке елементе мрежне комуникационе структуре узрокују мрежни саобраћај који се догађа у простору и времену.

Мрежни саобраћај је динамичка појава коју треба адекватно представити и описати у визуелној форми разумљивој за тумачење догађаја комуникационих интеракција у складу питања ***„Ко са ким комуницира, у ком временском тренутку, како комуницира и које податке и информације размењују ?“***. Дата форма описа мрежног саобраћаја треба да омогући превођење тог описа у математичку формулацију која се може имплементирати у симулациони модел, на начин који омогућавају софтверски алати за симулацију, а што су углавном форме математичких функција дистрибуција догађаја или функције дистрибуције вредности у времену. Обзиром да у мрежној комуникацији постоји већи број мрежно повезаних корисника који могу учествовати у појединачним и/или вишеструком комуникационим интеракцијама истог или различитог типа, форма описа комуникационих интеракција постаје сложенија, а што захтева њено разлагање и поједностављење.

За разлику од досадашњих метода примене типски дефинисаног статистичког модела мрежног саобраћаја на било који пројектовани тополошки модел мреже, и примене методе снимања мрежног саобраћаја у мрежи са ограниченим приступом и апроксимације у другој мрежи, предложена је нова метода у којој се на основу описа догађања захтеване комуникације дефинише математички статистички модел који реално представља мрежни саобраћај за који се пројектује комуникациона мрежа.

Тако дефинисан статистички модел мрежног саобраћаја може се примењивати за различита тополошка и техничко-технолошка решења комуникационе мреже организационе целине, која се тада у симулационом моделу могу мењати и прилагођавати моделу мрежног саобраћаја до момента постизања потпуних или оптималних резултата вредности параметара захтеваног квалитета комуникације. Тада је кроз симулациони модел могуће доћи и до закључака где је потребно да се изврши оптимизација и промена саме генеричке комуникације и мрежног саобраћаја.

У сврху описа комуникационих интеракција, односно у методолошком поступку визуелног описа потребне мрежне комуникације, и који ће бити приказан у даљој разradi дисертације, примењен је мултиграф. Мултиграф је графичка форма код које се линијама између тачкасто представљених и означених мрежних ентитета приказују неке релације (одређене догађајем, параметром, вредностима итд.) и којој се може придружити, односно превести у одговарајућу симетричну матрицу, а из које се применом одговарајућег математичког модела изводи статистичка функција дистрибуције вредности тих релација у времену. Изведена функција дистрибуције се имплементира у софтвер за симулацију, а уколико постоји сличност њеног графика, она се може описати и са познатом функцијом дистрибуције.

Полазећи од претходне анализе питања/одговора, задатак истраживања може се формулисати као дефинисање нове методе описа комуникационих интеракција у топологији интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже, и дефинисања апликативно заснованог и сервисно орјентисаног мрежног саобраћаја применом мултиграфа и њима придружених симетричних матрица, из којих применом математичког модела дефинисати мрежни саобраћај функцијама дистрибуције догађаја и вредности у времену.

1.3 Главни доприноси

Истраживања на задату тему резултирала су кроз објављивање неколико радова у истакнутим међународним часописима и конференцијама, од којих се издваја:

- S. Miletic, M. Milosevic, and V. Mladenovic, “**A New Methodology for Designing of Tactical Integrated Telecommunication and Computer Networks for OPNET Simulation**,” 9th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2020, Belgrade, Technical Review, vol. 70, No. 2, pp. 35–40, October 2020.
- S. Miletic; V. Mladenovic; I. Pokrajac “**Application of multigraph sampling method in network traffic design of simulation model of Integrated Telecommunication and Computer Network**”, E3S Web of Conference 279,02011EEESTS-2021,<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127902011>, 2021.
- Miletic S, Pokrajac I, Pena K, Arce G, Mladenovic V) S. Miletic, I. Pokrajac, K. Pena, G. Arce, V. Mladenovic, “**Multigraphs-defined distribution function in a simulation model of communication network**“, Entropy (ISSN 1099-4300), MDPI, Basel, Septembar 2022. (M22)

Очекивани научни допринос сагледава се у следећем:

- Дефинисање концепта за примену нове методе и поступка за примену мултиграфова као решења за опис временске динамике догађаја предефинисане комуникације у интегрисаној телекомуникационој и рачунарској комуникационој мрежи.
- Утврђивање начина за извођење временске функција дистрибуције засноване на опису комуникационих догађаја у мрежном саобраћају и промене вредности параметара који их одређују, за примену у изради симулационог модела комуникационе мреже.
- Унапређење начина за математички статистички опис мрежног саобраћаја у симулационом моделу комуникационе мреже која се пројектује.
- Смањење грешке резултата симулације модела комуникационе мреже узроковане апроксимацијом мрежног саобраћаја неадекватном математичком функцијом дистрибуције и погрешним дефинисањем параметара који је одређују.
- Повећање тачности вредности комуникационих параметара који одређују квалитет дистрибуције мрежног саобраћаја, а тиме и повећање могућности за тачнију процену и извођење исправних закључака за оптимизацију комуникационе мреже и коначну реализацију са смањењем могућности за погрешно финансијско улагање у техничко-технолошку и информациону структуру.

1.4 Организација тезе

Структура тезе је подељена у следећа поглавља:

У уводном поглављу наведена је актуелност и значај теме истраживања са аспекта примене у пројектовању географски и просторно дистрибуиране интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже применом симулационог модела. У краткој форми, презентован је основни концепт, сложеност пројектовања и важност моделовања. Наведен је проблем истраживања у домену дефинисања мрежног саобраћаја код пројектовања симулационог модела. Представљен је предмет истраживања и потреба дефинисања нове методологије веродостојног описа мрежног саобраћаја кроз мрежну структуру применом мултиграфова, и изнешен је циљ примене предложене нове методе. Изнесена је мотивација истраживања и главни доприноси.

У поглављу теоријске анализе и дефинисања модела ИТРМ у краћим обиму и садржају потребном за конципирање тезе, описује се основни концепт анализе системских, оперативних и техничких аспеката на примеру једне организационе целине у функцији војне тактичке (оперативне) јединице и комуникације која се у тој организацији обавља и за коју треба пројектовати модел интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже. Моделовањем ИТРМ изводи се потребна мрежна архитектура, топологија, информациони токови, мрежна технолошка комуникациона структура и матрица мрежног саобраћаја. На основу оперативних процедура за комуникацију дефинише се и приказује одговарајућа временска шема комуникационих интеракција између учесника, односно генерисања количине података мрежним рачунарским апликацијама и мрежна дистрибуција успоставом токова података као апликативних

сервиса према типу података за комуникацију (Ethernet, ISDN digital voice, VoIP, web, http, database итд.). Као основа за даљи опис мрежног саобраћаја применом мултиграфа временски се дефинишу и приказују комуникационе интеракције као догађаји у којим се реализује размена података у матрици мрежног саобраћаја.

У поглављу прегледа моделовања мрежног саобраћаја у симулационом моделу наводе се досадашње методе описа, моделовања и апроксимације типова детерминистичког и стохастичког мрежног саобраћаја познатим математичким функцијама дистрибуције као и расположиви симулациони алати.

У поглављу примене мултиграфа и дефинисања временских функција дистрибуције мрежног саобраћаја ИТРМ поступно се описује метода којом се дефинисане временске шеме комуникационих интеракција, остварене мрежним апликативним сервисима између мрежних елемената ИТРМ, представљају одговарајућим мултиграфовима, изводе њима придружене матрице сличности. Представља се примена математичког поступка којим се израчунавају вредности функција дистрибуције које одражавају законитост временског догађања комуникационих интеракција у мрежном саобраћају. У наставку поглавља се применом мултиграфа приказује и представља једно-сервисна и више-сервисна дистрибуција количина података између мрежних елемената ИТРМ. Изводе се придружене матрице сличности и математички израчунавају вредности функција дистрибуције које одражавају законитост временске дистрибуције података у ИТРМ. Израчунате вредности изведених функција дистрибуције се приказују графиконима са временском осом, и врши се њихова компарација са познатим функцијама дистрибуције. Изведене функције дистрибуције комуникационих интеракција и функције дистрибуције података се доводе у међусобну временску корелацију за даљу имплементацију у симулациони модел.

Поглавље о симулационом моделу садржи опис примењеног софтверског алата, графичког корисничког интерфејса са приказаном топологијом симулационог модела ИТРМ за употребљени пример организационе целине, и дефинисање механизма догађања мрежног саобраћаја у симулационом моделу. У овом делу се описује симулациони ток, избор мрежних параметара као резултата симулације потребних за анализу пројектованог модела ИТРМ и наводе потребна објашњења. Симулација се реализује у два случаја: са дефинисањем мрежног саобраћаја употребом функција расподеле које су изведене дефинисаном методом примене мултиграфа, и дефинисањем мрежног саобраћаја апроксимацијом употребом познатих функција дистрибуције.

У поглављу резултати и дискусија презентују се, анализирају и дискутују резултати добијени реализованим симулацијама, односно спроводи се њихова компарација у циљу утврђивања тачности резултата и уједно тачности методе примене мултиграфа у односу на дефинисан мрежни саобраћај и утицај на избор елемената у пројектованом моделу ИТРМ.

Поглавље са закључцима обухвата наводе о предностима примене методе примене мултиграфа за дефинисање мрежног саобраћаја у пројектовању симулационог модела и виђења даље перспективе примене методе.

Сви графици, анализе и резултати приказани у овом раду су реализовани непосредно од стране аутора.

2 ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА И ДЕФИНИСАЊЕ МОДЕЛА ИТРМ

Полазни корак у процесу моделовања интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже (ИТРМ) за израду симулационог модела је реализација теоријске анализе елемената модела која укључује организациону структуру, анализу функција које захтевају комуникацију елемената организационе структуре, времена извршења функција и комуникације, просторни распоред, информационе токове, типове и количине података за размену у комуникацији, формирање комуникационе матрице мрежног саобраћаја, техничко-технолошку структуру. За израду модела ИТРМ разматра се и просторни распоред елемената организационе структуре. Моделовањем структуре ИТРМ примењује се потребна мрежна архитектура и у складу просторног распореда на територији и њиме условљених ограничења, изводи се логичка структура мреже и потребна топологија, информациони токови, матрица мрежног саобраћаја, мрежна технолошка комуникациона структура.

Извођење свих наведених елемената структуре модела ИТРМ је неопходан услов да би се употребом софтвера израдио симулациони модел, да би се дефинисали полазни елементи који су потребни за опис и дефинисање комуникације у мрежи и извела матрица мрежног саобраћаја потребна за дефинисање мрежног саобраћаја. Елементи изведени теоријском анализом се даље употребом алата интегрисаних у симулациони софтвер имплементирају у симулациони модел ИТРМ, у којем представљају „пасивну“ комуникациону структуру симулационог модела на који треба применити механизам реализације комуникације у времену и њом условљеног мрежног саобраћаја, чиме симулациони модел постаје „активан“.

Ради конципирања тезе и успоставе тока активности доласка до полазних елемената потребних за дефинисање мрежног саобраћаја, у складу методологије и аналитичког поступка извођења пројектних елемената потребних за реализацију мрежне архитектуре, комуникационе структуре ИТРМ и елемената мрежног саобраћаја [2], у краћим обиму и садржају се описује основни концепт теоријске анализе системских, оперативних и техничких аспеката једне организационе целине и комуникације која се у тој организацији обавља.

2.1 Пројектовање модела ИТРМ

За представљање методолошког поступка примене мултиграфа за дефинисање мрежног саобраћаја у симулационом моделу, и како би се разумео ток доласка до свих елемената потребних за примену предложене методе, неопходно је познавање поступка пројектовања модела ИТРМ као комуникационе мреже. Пројектовање модела ИТРМ и свих за то потребних елемената овде је представљено само у основним цртама без уласка у детаљнију анализу.

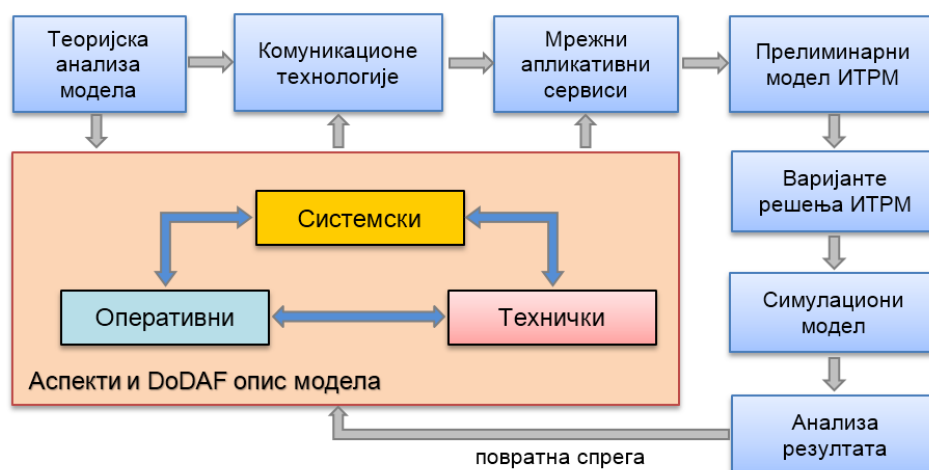
Метода која се примењује је моделовање архитектуре, тополошке, логичке и техничко-технолошке структуре ИТРМ.

За потребе истраживања пројектовање модела ИТРМ реализовано је на примеру једне организационе целине са функцијом тзв. војне тактичке (оперативне) јединице и њене предефинисане комуникације која се у тој организацији обавља и за коју је реализован тестни симулациони модел. Додатно, комуникациона функција такве организационе целине чији се елементи просторно дистрибуирају на географски разноврсном терену, мора се реализовати уз додатна ограничења (растојања, преносна технологија, мобилност, електронска ометања, итд.) и са високим комуникационим критеријумима у погледу квалитета дистрибуције мрежног саобраћаја.

Основни приступ за пројектовање ИТРМ овакве организационе целине је заснован на сагледавању основних релација системских, оперативних и техничких аспеката DoDAF (Department of Defense Architecture Framework)[1] архитектуре система. Полазећи од принципа и метода датих у [2],[3],[4],[5],[6],[7] као и перспективе корисника у практичној примени пројектовања [8], дефинисан је један приступ у методологији пројектовања *мрежне архитектуре* и *модела ИТРМ* као начин на који започети и спровести анализу и дефинисати све елементе потребне за пројектовање модела ИТРМ и израду симулационог модела и дефинисати мрежни саобраћај.

Методолошки приступ којим се изводи модел ИТРМ за пресликавање у симулациони модел, дефинише све релације између улазних елемената, мрежних пројектних елемената и симулационог модела. Ранија примењена истраживања указују да се карактеристике комуникационе мреже изражене факторима ефикасности [9] најбоље остварују применом израде модела и техника симулације мрежног саобраћаја.

Ради разумевања тока доласка до почетних елемената потребних за опис комуникације и дефинисање мрежног саобраћаја у симулационом моделу, у даљем излагању су наведени и описани потребни кораци. Ток пројектовања модела ИТРМ је предвиђен у фазама у којима се спроводи анализа и приказан је на *Слици 2.* у виду функционалне блок шеме.



Слика 2. Фазе тока пројектовања модела ИТРМ

Системски аспекти архитектуре описују системе од интереса и везу између тих система у контексту оперативних аспеката архитектуре. Разматрају системе који генеришу (прикупљају) информације и комуникационо их прослеђују даље кроз процесне и информационе системе, комуникационе системе и кориснике којима су потребне информације да би постигли своје циљеве.

Оперативни аспекти архитектуре описују задатке и активности од значаја и потребну размену информација. Анализирају импликацију доктрина и правила функција које дефинишу оперативне захтеве које треба да подрже физички ресурси и системи, на пример пропусност комуникације, специфичне нивое интероперабилности између комуникационих чворова, временске периоди трансакције информација и потребну безбедносну заштиту. Аспекти за оперативну архитектуру организационе целине су генерално вођени доктрином, независним од технологије и могу описати активности и захтеве за разменом информација на било ком нивоу, и размене информација од корисника до чвора.

Технички аспекти архитектуре описују стандарде и правила који одређују имплементацију, просторни распоред, интеракцију и међузависност техничких елемената система.

Сви наведени аспекти су међусобно повезани и утичу једни на друге, и разматрање свих чиниоца организационе целине за коју се пројектује комуникациона мрежа кроз аспекте омогућава да се анализом издвоје елементи који имају међусобни утицај, и који су полазни елементи за израду почетног модела ИТРМ.

Теоријском анализом организацијске структуре дефинишу се функционалне међурелације и потребни информациони токови комуникације између претходно издвојених и формираних група корисника у комуникацији као мрежних елемената, и разврстаних према модovima мрежно-центричног концепта [10].

Следи фаза у којој се дефинише релација модела ИТРМ са расположивом комуникационом технологијом за прихват, дистрибуцију и пренос телекомуникационим линковима. Након ове следи фаза пројектовања мрежних апликативних сервиса на основу типова и количина података, и врста рачунарских мрежно заснованих апликација чијим се извршавањем на мрежним елементима ИТРМ омогућава генерисање и дистрибуција података између извора и одредишта.

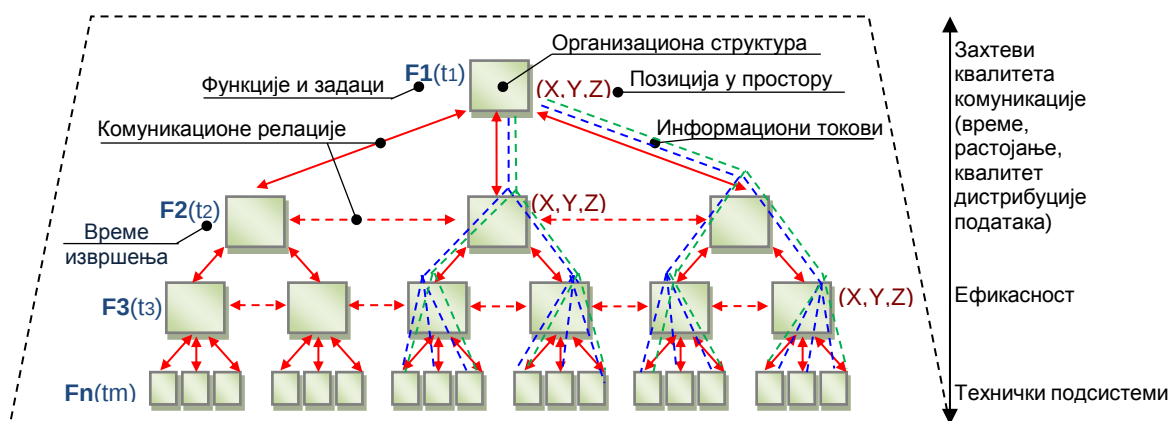
Пројектовани мрежни елементи се пресликавају у прелиминарни модел ИТРМ, а затим следи извођење различитих варијанти решења модела његовом оптимизацијом.

За сваку варијанту решења модела следи фаза израде симулационог модела употребом софтверског алата за симулацију комуникационе мреже. Резултати добијени симулацијом се анализирају и изводе се закључци о пројектованом моделу мреже према постављеним критеријумима за квалитет комуникације. На основу резултата и закључака успоставља се повратна спрега са полазним системским, оперативним и техничким аспектима. Ради свеобухватне анализе и сагледавања свих елемената који имају утицај на пројектовање модела ИТРМ неопходно је спровести све наведене фазе које су у остатку поглавља и даљем излагању објашњене само концептуално.

2.1.1 Теоријска анализа модела

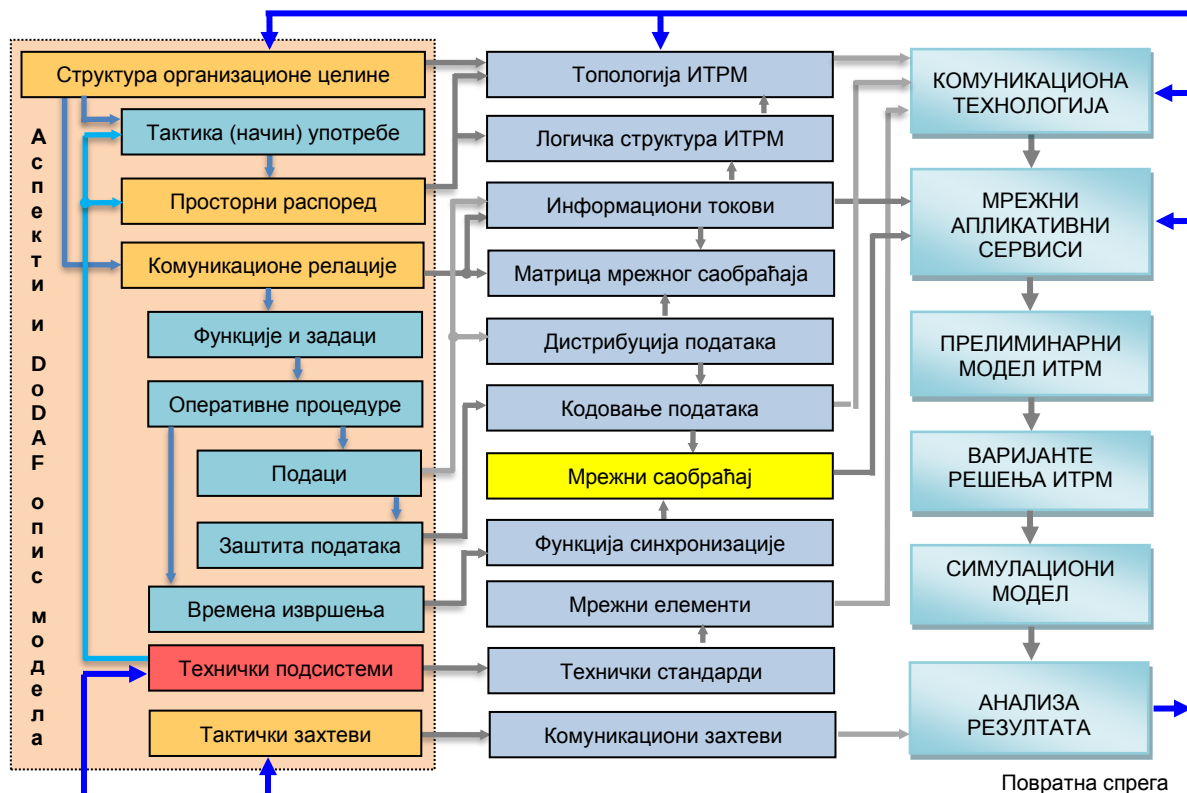
Прва фаза у поступку пројектовања модела ИТРМ према [2] је теоријска анализа почетног модела који се односи на структуру организационе целине. Почетни модел се реализује теоријском анализом документације са којом је дефинисана организациона структура и функције структурних елемената које за извршење захтевају реализацију комуникације, односно размену података. Теоријска анализа модела организационе целине са функцијом тзв. војне тактичке (оперативне) јединице се спроводи са аспеката DoDAF и при том се издвајају елементи који својим описним параметрима представљају улазне основне улазне информације потребне за пројектовање модела ИТРМ.

Елементи који су предмет анализе, њихова структурна позиција у опису организационе целине као и захтеви квалитета комуникације и ефикасности у су начелно приказани на *Слици 3*.



Слика 3. Елементи теоријске анализе модела организационе целине

Елементи који су издвојени анализом DoDAF аспеката су уједно и захтеви који садрже основне улазне информације потребне за пројектовање модела ИТРМ. Анализом која се спроводи утврђено је да између издвојених елемената постоје релације које показују њихову међузависност и редослед по којем се из једног елемента изводи следећи. Резултат анализе њихових релација је приказан на *Слици 4*. и може се употребити као смерница у пројектовању модела ИТРМ.



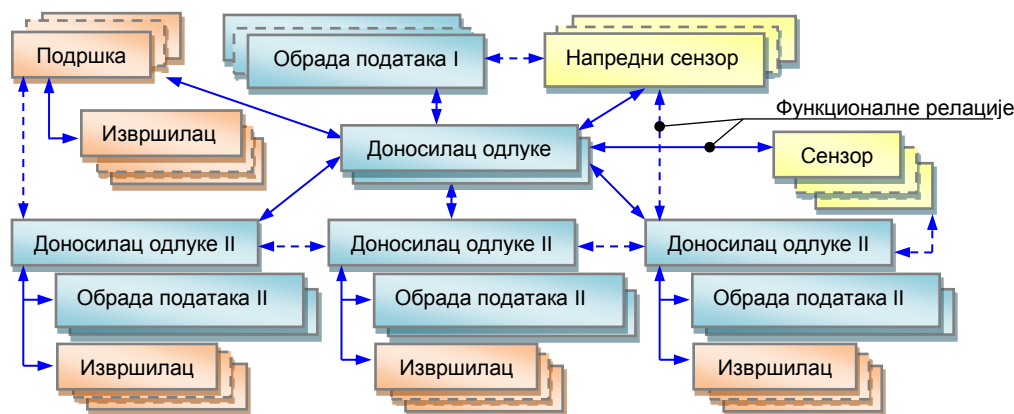
Слика 4. Фазе и елементи пројектовања модела ИТРМ

2.1.2 Структура организационе целине

Анализом структуре организационе целине идентификују се активни елементи као чиниоци те структуре, њима додељене функције и задаци за чију реализацију треба да остваре процес комуникације са другим активним елементом или елементима структуре. Потребно је препознати такве елементе структуре који би у моделу ИТРМ имали улогу комуникационо **активног мрежног елемента** преко којег би се реализовала додељена функција. Декомпозицију структуре организационе целине треба извршити паралелно са применом тзв. мрежно-центричног концепта [10] по којем елементе организационе структуре треба дефинисати према улогама, одговорностима, функцијама и задацима, одлукама које доносе, међусобним функционалним конекцијама и природи информација и података коју треба да размењују. У случају организационе целине са војном оперативном тактичком наменом груписање се додатно треба извршити у три основна мрежно-центрична (Network Centric Warfare) мода у којима се они могу наћи [10], а то су: сензори, одлучивање, извршење. Применом наведеног поступка на структуру организационе целине војне оперативне тактичке намене која је изабрана као пример за потребе истраживања, дефинисана је основна мрежно-центрична функционална шема те организационе целине која је дата општим приказом на *Слици 5*. Примена мрежне архитектуре са груписањем мрежних елемената по мрежно-центричном принципу омогућава пројектовање робусне мрежне топологије, примену разноврсних комуникационих технологија преноса, и као крајњи ефекат пренос података и стицање

информација у реалном или скоро реалном времену, а на шта указују ранија истраживања [10],[11],[12] као и примењена искуства из перспективе корисника [8]. Примена мрежно-центричног концепта који омогућава ефикасну размену података, осим код пројектовања ИТРМ за потребе организационе целине са војном наменом, треба у што већој мери применити код свих организационих целина где се захтева велика размена информација у што краћем времену, и са већом мером квалитетне дистрибуције података на одредиште. Детаљном анализом функција издвојених активних мрежних елемената (чворова) извршена је додатна подела структуре организационе целине унутар основних модова: *Сензори* (*Сензор*, *Напредни сензор*), *Одлучивање* (*Доносилац одлуке I*, *Доносилац одлуке II*, *Обрада података I*, *Обрада података II*), *Извршење* (*Подришка*, *Извршилац*). Функционалне релације између груписаних мрежних елемената се изводе на основну хијерархије у комуникацији која се дефинише оперативним процедурама и спроводи редоследом потребним да се оствари одређена функција.

Наведена подела има кључну улогу у систематизацији елемената ИТРМ, у пројектовању њене мрежне структуре, дефинисања радних станица, подмрежа и мрежних апликативних сервиса.



Слика 5. Мрежно-центрична функционална шема организационе целине

2.1.3 Функције и задаци

Сваки елемент организационе структуре који у моделовању ИТРМ има улогу активног мрежног елемента, извршава одређену оперативну функцију и задатке чије извршење дефинишу оперативне процедуре установљене за рад организационе целине. Оперативне функције и задаци организационе структуре се дефинишу кроз временски усклађен комуникационо-информациони процес у раду елемената организационе структуре. Процес је информациони ток остварен комуникацијом (глас, подаци) који се успоставља како би се логички анализирале информације у току рада. Одвија се кроз процедуре које представљају извршења процеса, односно временски дефинисан низ поступака за деловање. Процедура прецизира начин на који се одређена комуникационо-информациона активност обавља и може их бити више зависно од броја функција које организациона целина треба да извршава. Реализација оперативне функције у моделу ИТРМ представља реализацију комуникације између активних мрежних елемената.

Оперативне процедуре се поједностављено могу дефинисати као систем утврђених правила која обједињавају извршење оперативних функција и задатака које за њихову реализацију захтевају комуникацију, односно у том погледу дефинишу следеће „**Ко са ким комуницира, у ком временском тренутку, како комуницира и које податке и информације размењују?**“. Свака професионална организациона целина која за потребе извршења својих оперативних функција захтева комуникацију, и у сврху које реализује своју комуникациону мрежу, требало би у својим организационим и функционалним документима да има дефинисане оперативне процедуре као правила са којима уређује одговоре на претходно наведена питања, а и више од тога зависно од сложености саме функције која се реализује. Даљом анализом датом у [2] се спроводи декомпозиција функција $F_n(t_m)$, $n=[1,j]$ $m=[0,i]$ и где је потребно остварити њихову међусобну временску синхронизацију почетка, трајања, завршетка и понављања. Синхронизација функција је одређена са релацијама које су уређене хијерархијским правилима комуникације у структури организационе целине, дефинисаним временским тренуцима њихове међусобне иницијализације ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$) и интервалима трајања ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_i$), што је дефинисано у оперативним процедурама. Наведене функционалне и временске релације су неизоставно битне у методологији имплементације реалног мрежног саобраћаја у симулациони модел. У поступку моделовања ИТРМ функције мрежних елемената треба посматрати као комуникационо-информационе процесе генерисања количине података заснованим на рачунарским софтверским апликацијама и хардверу, и њихова мрежна дистрибуција успоставом токова података посредством апликативних сервиса према типу података за комуникацију, чему ће у даљем пројектовању модела бити придружени одговарајући мрежни апликативни сервиси.

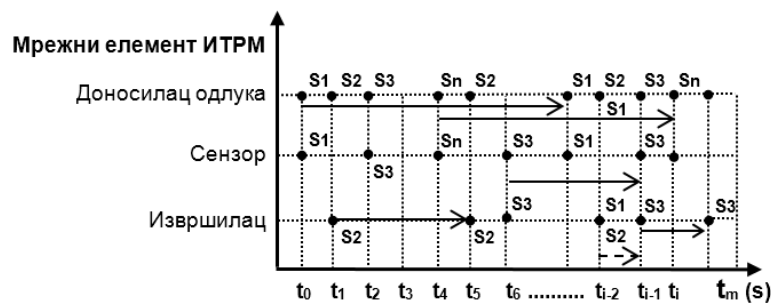
2.1.4 Времена извршења комуникационо-информационе функције

Резултат извршења функција, односно комуникационо-информационе функције активних мрежних елемената ИТРМ је генерисање података и информација и њихова дистрибуција на предвиђено одредиште у одређеним временским тренуцима. Варијабилност функције у погледу количине, брзине, временских тренутака и интервала трајања генерисања комуникационих података указује да је временски тренутак извршења функције и временски интервал њеног трајања, један од кључних, а суштински битан елемент за имплементацију мрежног саобраћаја у симулациони модел ИТРМ.

Правилним дефинисањем извора комуникације и што реалнијим описом динамичког временског тока мрежног саобраћаја неопходно је појединачно за сваку групу мрежних елемената извршити анализу и моделовање сценарија. За организациону целину тактичке оперативне војне намене, опис сценарија се методолошки може дефинисати према [2] са становишта времена и редоследа извршавања функција, операција, интервала трајања и понављања.

Потребно је извршити анализу детерминистичког временског модела догађаја комуникационих интеракција једног оперативног сценарија на наведеном примеру организационе целине. Анализом треба утврдити временску синхронизацију функција за одговарајуће оперативне сценарије које се намеравају симулирати у моделу ИТРМ.

Резултат временске анализе синхронизације функција и задатака представља **временски сценарио симулације** мрежног модела и дефинише се као временска шема њихове активације, трајања, и понављања у одговарајућој временској оперативној ситуацији-сценарију, односно као **временска шема комуникационих интеракција** између учесника у комуникацији. Временска шема представља образац из којег се издвајају временски елементи потребни за дефинисање комуникационих интеракција између мрежних елемената и мрежног саобраћаја насталог посредством мрежних апликативних сервиса. Наведене функционалне и временске релације су у методологији израде симулационог модела ИТРМ неизоставно битне за опис и имплементацију реалног мрежног саобраћаја. На *Слици 6.* је начелно приказан начин израде и визуелног приказа временске шеме извршења комуникационих функција које у симулационом моделу треба реализовати путем мрежних апликативних сервиса S_n у временским тренуцима $t_m = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i)$, за групе мрежних елемената:



Слика 6. Временска шема активације и понављања функција (сервиса S_n) мрежних елемената ИТРМ

где је t_0 - време активације функције (сервиса) S_1 на мрежним елементима Доносилац одлуке и Сензор и успостављање комуникационе интеракције између њих посредством сервиса S_1 , t_1 - време активације функције (сервиса) S_2 на мрежним елементима Доносилац одлуке и Извршилац и успостављање комуникационе интеракције између њих посредством сервиса S_2 , t_i - време до којег се активирају све предвиђене функције мрежних елемената. Променљивост временских тренутака $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ и интервала трајања ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_i$) функција $F_n(t_m)$, односно сервиса S_n одражава статистичку природу догађања комуникационих интеракција у временском сценарију који се описује временском шемом активације и понављања. Природа временског догађања функција као процес може бити релативно детерминистичка у складу времена дефинисаних у оперативним процедурама, односно може бити стохастичка, зависно од сценарија за који треба временски описати комуникационе догађаје. Начин за опис варијабилних временских тренутака и интервала трајања у симулационом софтверу као што је OPNET је употребом функција дистрибуције (расподеле)[13]. За имплементацију у модел мрежног саобраћаја у симулационом моделу могу се употребити дискретне и континуалне функције дистрибуције. Постоје разни софтверски алати за израду симулационих модела комуникационих и рачунарских мрежа и међу њима посебно се издваја софтвер OPNET који у свом механизму садржи веома велику базу математичких модела и познатих функција дистрибуције за генерисање и опис мрежног саобраћаја, као и сложен софтверски алгоритам који омогућава његову временску симулацију.

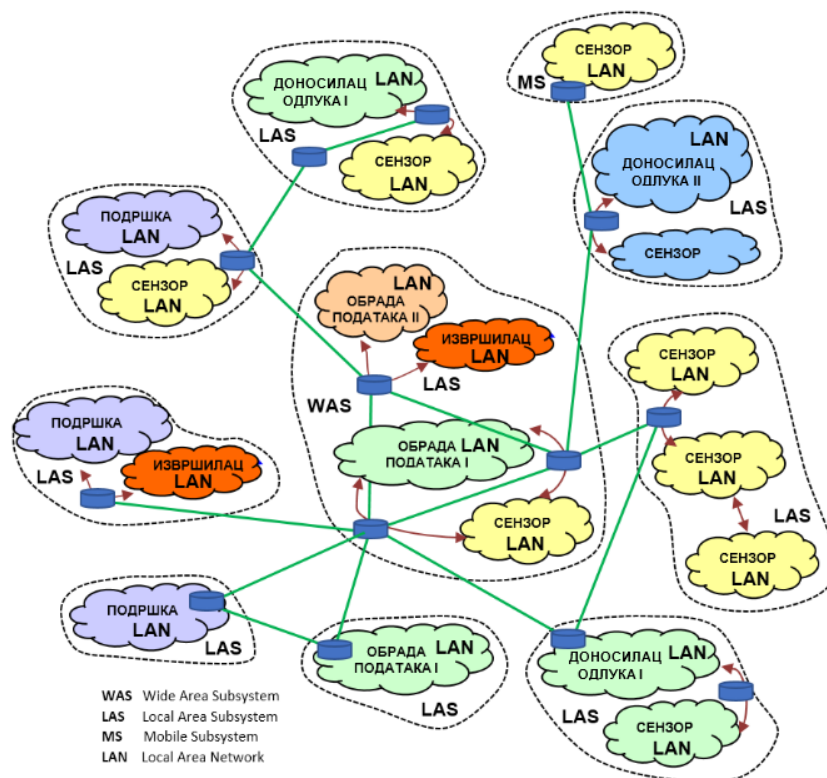
2.1.5 Просторни распоред на територији

Распоред елемената организационе целине у простору на некој географској територији је дефинисан наменом и тактиком (начином) њене употребе, димензионисан просторном величином и растојањима која одређују зону распоређивања елемената и њихов међусобни просторни размештај. Просторни распоред и географија терена су фактори који у великој мери утичу на процену логичке инфраструктуре и топологије ИТРМ, избор комуникационе и мрежне технологије и физичких медијума преноса за формирање комуникационих линкова. Пројектовање ИТРМ за организациону целину чије извршење оперативне функције захтева распоред њених елемената на територији спроводи се дефинисањем **зоне просторног ангажовања** - димензионо одређен простор у којем се распоређују мрежни елементи, са међурастојањима дефинисаним са наменом, врстом и начином употребе предвиђене технике. Та растојања утичу на избор и могућност употребе телекомуникационе технологије и физичког медијума преноса.

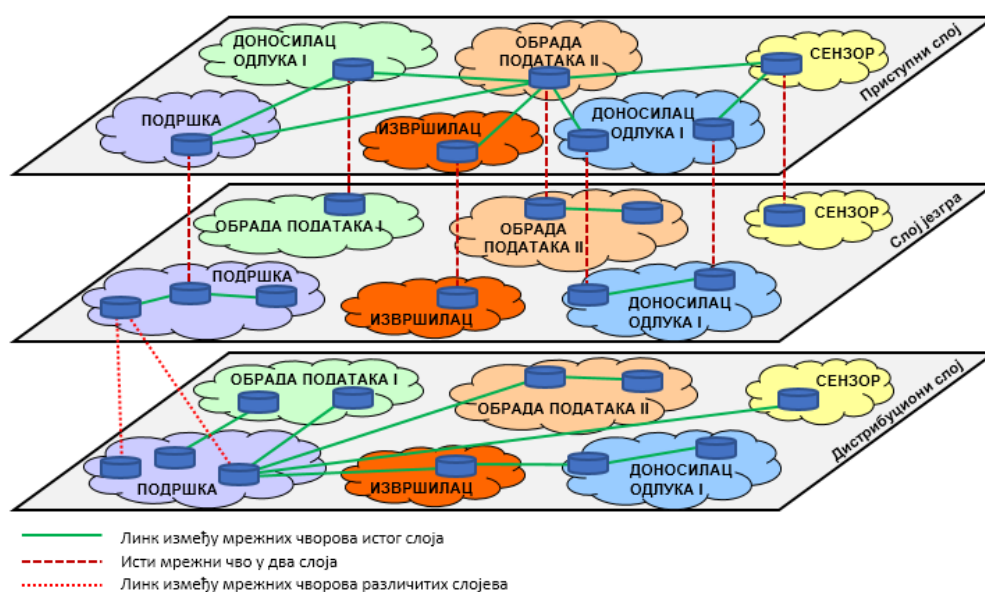
Пројектовање логичке структуре ИТРМ - представља пројектовање основне архитектуре мреже, које треба извршити у складу захтева за комуникационом мрежом (функције које треба остварити комуникацијом, техничко-технолошке могућности за имплементацију), потребних апликативних сервиса, пројектовања топологије [14]. Такође, потребно је сагледати функционалне релација између мрежних елемената, просторни распоред на територији груписаних мрежних елемената, и информационих токова који их логички повезују. У поступку пројектовања тополошке и логичке структуре за дати просторни распоред потребно је у што већој мери имплементирати мрежно-центрични принцип повезивања, по којем треба у што већој мери остварити вишеструко што веће комуникационо повезивање мрежних елемената са свим осталим мрежним елементима, уз хијерархијско организовање у реализацији конективности. Просторни распоред и ограничења која намеће географска територија условљава модел топологије, који се треба повезати са основном логичком структуром применом пројектовања модела груписањем мрежних елемената у функционално исте логичке мрежне целине (WAS, LAS, MS, LAN) [15] и графички представити на начин начелно приказан на *Слици 7*. Додатно, и организационим повезивањем издвојених целина у више мрежних слојева [5] информационим токовима и комуникационим линковима, на начин начелно логички приказан на *Слици 8*. Остваривањем вишеслојне конекције између више повезаних LAN мрежа се постижу и додатни позитивни ефекти у преносу података [16].

Дефинисањем хијерархијске архитектуре [14],[17] у логичкој структури ИТРМ груписањем издвојених логичких мрежних целина у слојеве (приступни (Access layer) која обезбеђује конективност мрежних елемената и других техничких извора података, дистрибуциони слој (Distribution layer) која омогућава повезивање мањих LAN мрежа и слој језгра (Core layer) којим се повезују уређаји дистрибуционе мреже), омогућава да се дефинише и решење за примену топологије, избор мрежне и телекомуникационе технологије, избор мрежних и преносних протокола, тиме и типа мрежних апликативних сервиса за успоставу мрежног саобраћаја, што је посебно објашњено у овом поглављу. Пројектовање сваког претходно наведеног мрежног слоја се може реализовати детаљно у складу методологије дате у [17].

Предности хијерархијске структуре ИТРМ се може сагледати у [14],[17] и од посебног је значаја за примену код организационих целина које захтевају употребу комплексних и робустних мрежа, где се захтева пренос великих количина података, комуникационо повезивање великог броја мрежних елемената.



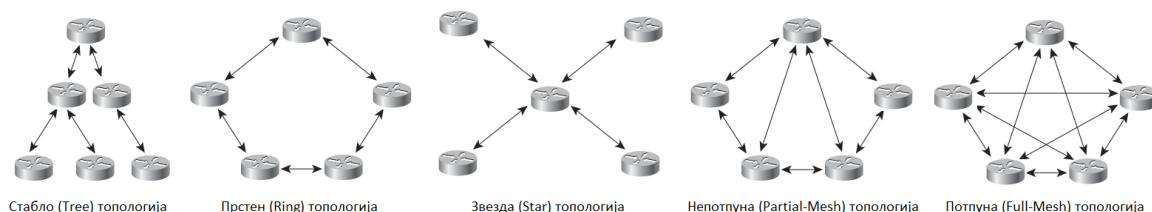
Слика 7. Основна логичка структура ИТРМ са груписањем функционалних мрежно-центричних организационих целина у WAS, LAS, MS, LAN



Слика 8. Основна логичка структура ИТРМ организационог повезивања мрежно-центричних целина информационим токовима у више мрежних слојева

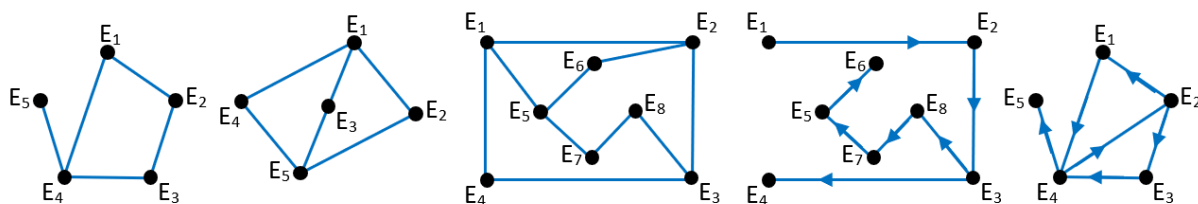
Према захтевима реализације функције организационе целине на који начин се предвиђа дистрибуција података између мрежних елемената, архитектура ИТРМ осим хијерархијског раздвајања подмрежа може се реализовати као централизована мрежа или децентрализована мрежа, или парцијално-централизована мрежа (хибридна, вишеслојна, у више-нивоа) [15]. У складу избора логичке архитектуре потребно је извршити груписање мрежних елемената као извора и одредишта комуникације или ретранслатора података, и у том погледу треба дефинисати техничке и технолошки елементе за извршење дате комуникационе функције, избор одговарајућих протокола и примену мрежних апликативних сервиса. Наведени елементи се уграђују у симулациони модел.

Пројектовање топологије ИТРМ - у складу са функцијама и комуникационим релацијама које се треба остварити између мрежних елемената у комуникацији тачка-тачка, тачка-више тачака, одговарајућом топологијом (стабло, прстен, звезда, непотпуна или потпуна *mesh* структура) приказане на *Слици 9.*, повезујући целокан распоред или само поједине мрежне елементе.



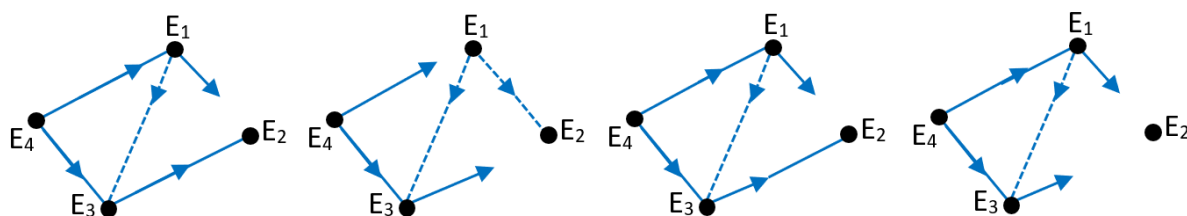
Слика 9. Типови мрежних топологија

Узимајући у обзир основну логичку структуру и потребно повезивање организационих целина информационим токовима потребно је извести почетно решење топологије ИТРМ. Пројектовање ефикасног решења топологије се може реализовати применом теорије графова [18], (*Слика 10.*) са утврђивањем параметара, који показују вероватноћу за остварење комуникације и одређују ефикасност топологије, као што су мера конективности (connectivity) [18] и њој одговарајућа могућност за дистрибуцију података као мера умрежености (network reachness)[19], број директних и индиректних линкова између извора и одредишта са којима се остварује живавост (survivability) мреже у случају техничких отказа и губитака сигнала, постиже поузданост (reliability) рада мреже и смањује рањивост (vulnerability) мреже у случају прекида линкова [18]. Графичком израдом решења топологије треба настојати да се у корелацији са предвиђеном матрицом комуникације између два мрежна елемената успоставе директни и/или индиректни физички и логички комуникациони линкови. Имплементација мрежног саобраћаја у симулациони модел не може бити потпуна уколико решењем топологије ИТРМ није омогућена физичка и логичка информациона путања између мрежних елемената за успоставу комуникационе интеракције и размену података.



Слика 10. Графичка израда топологије за примену теорије графова

За израду топологије ИТРМ у складу захтеваних комуникационих интеракција мрежних елемената из оперативних процедура, применом теорије графова предложено и примену методе описане у [18] која омогућава дефинисање тежинских коефицијената линкова, са математичком калкулацијом мере конективности и поузданости топологије. Израда решења топологије комуникационе мреже и прорачун наведених параметара који је квалитативно одређују, посебна је научна област која се истражује у многим радовима, а што није тема ове дисертације, већ се пројектант упућује на битност разматрања израде топологије ИТРМ. Такође, током израде почетног решења топологије ИТРМ потребно је урадити анализу могућег прекида комуникације у случају прекида рада појединих линкова и/или активних мрежних чворова, графичким представљањем на начин приказан на *Слици 11.*, и што се може реализовати применом Дотсонове методе описане у [18]. У тактичким комуникационим мрежама организационе целине војне намене због ограничења често условљених просторним распоредом и конфигурацијом рељефа на географској територији, а посебно у случају употребе покретних мрежних елемената, није увек могуће остварити максималну меру конективности применом потпуне mesh топологије, већ је потребно постићи могућу оптималну.



Слика 11. Графичка анализа прекида рада комуникационих линкова

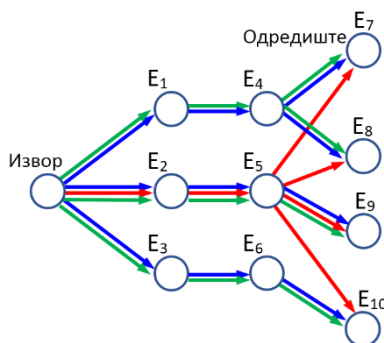
Графички израђено полазно решење пројектоване топологије ИТРМ се користи за израду исте топологије у симулационом моделу, где ће број директних и индиректних линкова бити дефинисан технолошким карактеристикама, а са њима остварена мера конективности имати значајан утицај на дистрибуцију мрежног саобраћаја, те је топологија један од важних корака за оптимизацију ИТРМ на основу резултата симулације модела. Решење топологије ИТРМ са технолошким карактеристикама може имати значајан позитиван или негативан утицај на остварење ефикасности захтеване комуникације (време кашњења, број одбачених пакета, вршни проток, битска грешка у преносу), и може се оптимизовати на разне начине (повећање броја линкова, измена паралелних и серијских линкова, промена броја активних мрежних чворова, промена преносног опсега, промена телекомуникационе технологије преноса линкова итд.).

Примена сумулација и истраживања [15],[16],[20] показују да израда логичке структуре тактичке комуникационе мреже у више функционалних логичких („виртуелних“) целина и конективност између мрежа, омогућава брзо распоређивање у простору, веће преносне опсега између LAN-ова и остваривање значајног краћег времена дистрибуције података између мрежних елемената. Осим тога технолошка структура која се реализује на основу архитектуре са више функционалних мрежних целина омогућава флексибилно измењиву и жилаву мрежу, успоставу вертикалне и хоризонталне вишеслојне конективности мрежних елемената [5], примену покретних LAN-ова,

мрежно-центричну дистрибуцију апликативних сервиса између већег броја мрежних елемената и даље прослеђење података [15]. Подела топологије ИТРМ на LAN мреже и њихове подмреже омогућава тачније системски организационо дефинисање матрице мрежног саобраћаја између мрежних елемената и тиме реалнији опис временске шеме (матрице) комуникационих интеракција у симулационом моделу, што ће бити употребљено за примену мултиграфа.

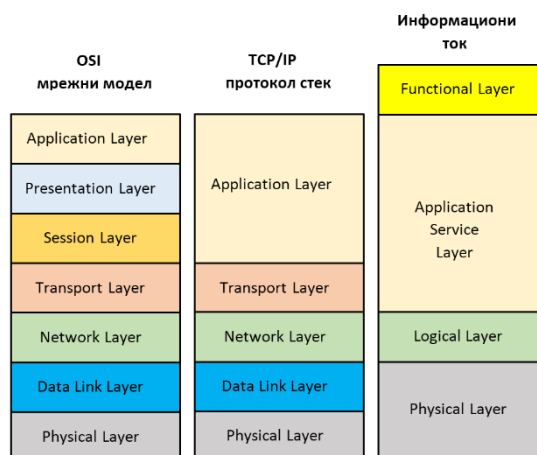
2.1.6 Информациони токови

Реализација комуникационих функција $F_n(t_m)$ мрежних елемената организационе целине, посредством мрежних апликативних сервиса (S_n) у суштини представља усмерену дистрибуцију комуникационих података и информација од извора њиховог настајања до одредишта где ће њихово информационо значење бити искоришћено за предвиђену намену. **Информациони токови** су логичке комуникационе путање којима се у организационој структури усмерено дистрибуирају информације између њихових извора и одредишта. Логичка путања је одређена комуникационом хијерархијом у структури организационе целине и обухвата скуп међусобно повезаних елемената организационе целине чије се међусобне функционалне релације заснивају на законитостима функционисања те организационе целине. Дефинисање информационих токова је битан елемент пројектовања мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТРМ јер омогућавају де се изведе **матрица мрежног саобраћаја** и имају улогу у дефинисању мрежног саобраћаја у симулационом моделу. У моделу организационе целине војне тактичке намене који је употребљен за потребе овог истраживања, тај процес се реализује дистрибуцијом информација од једног или више мрежних елемената као извора информационог тока према мрежним елементима који су предвиђена одредишта, и по редоследу предвиђеном у оперативним процедурама у процесу хијерархијске комуникације. Обзиром на постављену мрежно-центричну архитектуру и концепт формирања ИТРМ, физичку топологију мреже и захтев да одређени информациони ток стигне у сва предвиђена одредишта, у пројектовању симулационог модела ИТРМ потребно је предвидети да информациони ток прође кроз та одредишта. Основни метод је графичко представљање у приказу топологије као што је приказано на *Слици 12*. У преносу информационих токова улогу имају и активни мрежни елементи који у тополошкој структури имају улогу и комуникационих мрежних чворова и који врше ретранслацију информационог тока према другим мрежним елементима.



Слика 12. Информациони токови у топологији мреже

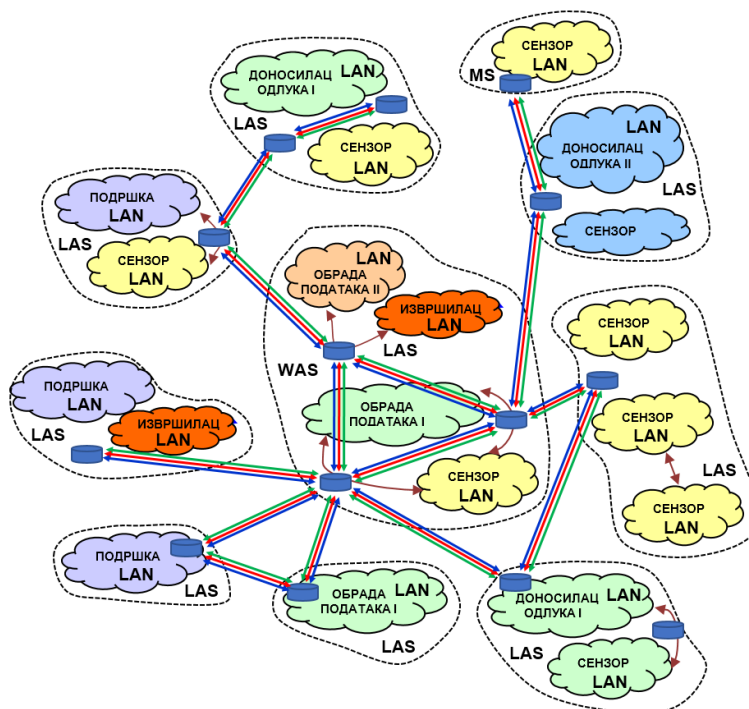
Информациони ток као референтан елемент мреже који логички представља ток података апликативних сервиса и који у хијерархијски организованој архитектури ИТРМ повезује функционално груписане мрежне елементе, може се описати и кроз слојеве OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека [5] приказаних на *Слици 13*. Анализом информационог тока који осим повезивања мрежних елемената на физичком слоју, има главну функцију њиховог логичког повезивања на вишем мрежном и апликативном слоју.



Слика 13. Слојеви OSI мрежног модела и TCP/IP протокола стека

Матрица мрежног саобраћаја се имплементира у симулациони модел ИТРМ укључујући сваки информациони ток. Проблем постаје сложенији у случају постојања више извора различитих информационих токова које треба истовремено дистрибуирати у топологији ИТРМ која у погледу преносног капацитета то треба да омогући. Обзиром да се у примењеној мрежно-центричној архитектури ИТРМ информациони токови реализују путем мрежних апликативних сервиса заснованих на рачунарским апликацијама, један начин разматрања и решавања таквог проблема је описан у [21]. Описана метода анализе укључује и математичке прорачуне коефицијената за оптималну дистрибуцију информационих токова посредством мрежних чворова. У случају примене методе симулације и израде симулационог модела ИТРМ, може се применити и приступ описани у [22] балансирањем преносног капацитета вишеструких линкова између извора и одредишта и оптимизацијом примењене топологије и комуникационе технологије на основу резултата симулације.

Ради лакшег пројектовања мрежне тополошке и логичке структуре модела ИТРМ и извођења матрице мрежног саобраћаја, потребно је информационим токовима повезати њихове изворе и групе мрежно-центричних мрежних елемената, што је у начелу графички представљено на *Слици 14*., а затим их дистрибуирати на појединачне мрежне елементе у складу захтева да ли је информациони ток потребан у датом мрежном елементу за реализацију одређене функције или само за дистрибуцију према другим мрежним елементима.



Слика 14. Начелна логичка шема информационих токова у топологији ИТРМ

На основу графичког или њему одговарајућег табеларног приказа присуства предвиђених информационих токова на активним мрежним елементима ИТРМ, у симулационом моделу врши се одређено подешавање комуникационих карактеристика тих мрежних елемената, а које ће у механизму симулационог софтвера омогућити догађање мрежног саобраћаја тих информационих токова.

2.1.7 Подаци за пренос

Један од параметара потребних за дефинисање и имплементацију мрежног саобраћаја у симулациони модел је **количина података** изражена у bits или bytes, која се у одређеном формату и одређеном брзином генерише на извору посредством софтверских апликација и/или хардвера, и одређеном брзином преноса мрежне комутационе и телекомуникационе технологије дистрибуира информационим током до предвиђеног одредишта. Анализа података и њихових количина за пренос се започиње сагледавањем типа и изворног формата тих податка (глас, текст, симбол, координата, табела, слика, видео, време, помоћни сигнал итд.) приликом њихове употребе у процесу оперативног функционисања организационе целине. Наведени подаци се могу сагледати у оперативним процедурама где се они наводе у погледу „**Који елемент организационе целине, када, како и које податке шаље ком елементу организационе целине ?**“, а што на неки начин представља детерминистичку организацију извршавања комуникационог саобраћаја у мрежном моделу. У случају организационе целине војне тактичке оперативне намене као изабраног примера за израду симулационог модел ИТРМ, анализом оперативних процедура се долази до врсте, формата и количина података који се дистрибуирају у комуникационом процесу за временски различите ситуације у којима се та организациона целина може наћи.

Свака ситуација представља **комуникациони сценарио са синхронизацијом времена** који треба да се имплементира у мрежни саобраћај. Количина типа података се може одредити на основу његовог дигиталног записа на рачунару након трансформације из изворног у дигитални податак, или на основу техничке карактеристике уређаја који га генерише у времену, или мерењем протока података на комуникационом интерфејсу извора итд. Применом претходно описаних корака и одређивања количина података треба издвојити елементе које се користе у поступку примене мултиграфа и представити на начин начелно приказан на примеру у *Табели 1.* Подаци у табели се посматрају у смеру од Извора према Одредишту, где сваки елемент организационе структуре као активни мрежни елемент E_i и E_j ($i \neq j$) може бити извор и/или одредиште. Количина типа податка у пресеку реда (Извор) и колоне (Одредиште) се размењује између њих.

Време		t1= 5 min								
Мрежни елемент		Одредиште								
		E1	E2		E3	E4	E5	...	Ei-1	Ei
И з в о р	E1	x	Глас 120 Kbytes	Текст 20 Kbytes	Текст 20 Kbytes	Табела 140 Kbytes	Глас 120 Kbytes	...	Текст 50 Kbytes	Табела 140 Kbytes
	E2	Глас 120 Kbytes	x		x	x	Слика 2200 Kbytes	...	Глас 20 Kbytes	Слика 2200 Kbytes
	E3	x	Податак 300 bytes		x	Глас 120 Kbytes	Податак 300 bytes	...	Податак 300 bytes	x
	E4	x	Слика 2200 Kbytes	Текст 50 Kbytes	Глас 120 Kbytes	x	Текст 20 Kbytes	...	x	Текст 20 Kbytes
	E5	Глас 120 Kbytes	x		x	Текст 20 Kbytes	x	...	Табела 140 Kbytes	x
	...	...	...		...	...	...	x	...	...
	Ei-1	x	Глас 120 Kbytes		Податак 300 bytes	x	x	...	x	Текст 50 Kbytes
	Ei	x	Слика 2200 Kbytes		x	x	Табела 140 Kbytes	...	x	x
Време		t2= 7 min								
Мрежни елемент		Одредиште								
		E1	E2		E3	E4	E5	...	Ei-1	Ei
И з в о р	E1	x	Глас 240 Kbytes	Табела 140 Kbytes	x	x	Глас 120 Kbytes	...	x	Табела 140 Kbytes
	E2	Глас 240 Kbytes	x		x	Текст 20 Kbytes	Текст 20 Kbytes	...	Текст 20 Kbytes	Текст 20 Kbytes
	E3	x	x		x	Глас 400 Kbytes	x	...	Текст 50 Kbytes	x
	E4	x	x		Глас 400 Kbytes	x	Глас 400 Kbytes	...	x	Податак 500 bytes
	E5	Глас 120 Kbytes	Податак 300 bytes		x	Глас 400 Kbytes	x	...	x	Податак 500 bytes
	...	...	...		...	...	...	x	...	...
	Ei-1	x	Слика 2200 Kbytes		x	x	Слика 2200 Kbytes	...	x	Глас 240 Kbytes
	Ei	x	x		Текст 50 Kbytes	x	x	...	Глас 240 Kbytes	x
...										
Време		tm= 35 min								
Мрежни елемент		Одредиште								
		E1	E2		E3	E4	E5	...	Ei-1	Ei
И з в о р	E1	x	Глас 120 Kbytes		Текст 20 Kbytes	x	Текст 50 Kbytes	...	x	Податак 500 bytes
	E2	Глас 120 Kbytes	x		x	x	Табела 140 Kbytes	...	Табела 140 Kbytes	Табела 140 Kbytes
	...	...	...		...	...	...	x	...	...
	Ei-1	x	Текст 20 Kbytes		x	x	Глас 600 Kbytes	...	x	Текст 20 Kbytes
	Ei	x	Слика 2200 Kbytes		x	Глас 120 Kbytes	Текст 20 Kbytes	...	Слика 2200 Kbytes	x

Табела 1. Комуникациони сценарио дистрибуције података између елемената организационе структуре

Ради разумевања конкретних типова и вредности количина података датих у Табели 1. уопштено су наведени следећи употребљени типови података чија је количина утврђена на основу меморијске вредности њиховог рачунаског дигиталног записа и подаци који су мерени на интерфејсу генеричких уређаја:

- глас (дигитализован применом кодовања G.728 (16 Kbps), комуникација у трајању 60 s (120 Kbytes), 120 s (240 Kbytes), 200 s (400 Kbytes), 300 s (600 Kbytes)),
- текст (MS Word фајл, 2 странице текста (20 Kbytes), 14 страница текста (50 Kbytes)),
- табела (MS Excel фајл, 2 до 4 sheets са по 100 редова x 10 колона (140 Kbytes)),
- податак (dBase фајл (500 bytes), симболи дигиталне карте (300 bytes) итд.),
- слика (формат .jpg, резолуција 960x1280, 10 слика, (2200 Kbytes) итд.).

Типови и формати могу бити разноврсни зависно од употребљених софтверских апликација, односно извора генерисања података и њиховог рачунаског и медијског меморијског записа за утврђивање њихове количине изражене у bytes.

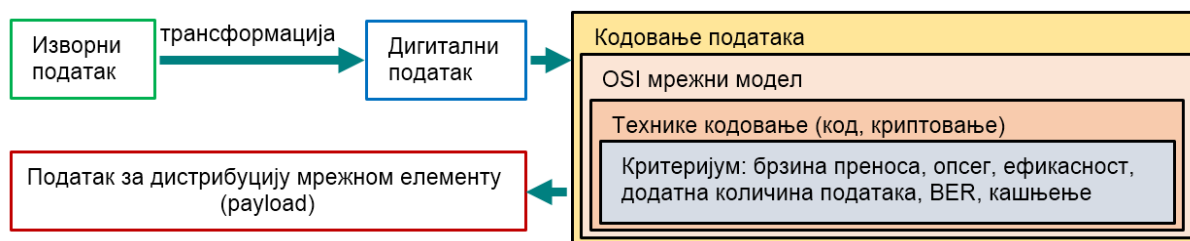
Осим укупне количине података која се размеђује између извора и одредишта, потребно је одредити **минималне** и **максималне количине података** које се дистрибуирају са мрежног елемената извора према одговарајућим мрежним елементима одредиштима, чиме се дефинишу вредности граница у оквиру којих се током времена мења вредност количина података. Варијације тих вредности су један од параметара потребних за дефинисање мрежног саобраћаја у симулационом моделу.

Функција организационе целине	Дигитални формат података	Количина података (bytes)	
		Min	Max
Руковођење Обавештавање Извештавање	Дигитализовани говор G.728 (16 Kbps), 1s (2 Kbytes)	60 x 10 ³	600 x 10 ³
	Текстуални фајл (.txt)	4 x 10 ³	400 x 10 ³
	Word фајл (.doc)	15 x 10 ³	40 x 10 ⁶
Помоћне информације Прегледи и слике Симболи Подаци техничких система	Слика (.jpg, .png, .tif)	1.5 x 10 ³	100 x 10 ⁶
	Табела (.html, .xml)	15 x 10 ³	40 x 10 ⁶
	GIS подаци	300	5.5 x 10 ³
	Дигитална порука	100	100 x 10 ³
Евиденције Подаци за рад Извештаји	Табела (.xls)	15 x 10 ³	40 x 10 ⁶
	База података (.dbf, .sql)	100	512 x 10 ³

Табела 2. Вредности варијације количине типа података за дистрибуцију између мрежних елемената организационе структуре

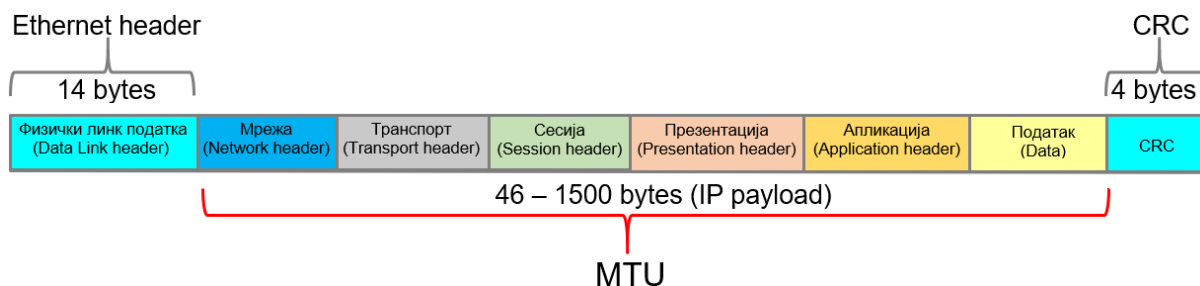
Пренос података у ИТРМ захтева и примену заштитног кодовања (реконструкција, криптовање, откривање грешке) [23]. У поступку одређивања количине података за пренос потребно је узети у обзир и увећање за количину кодова у пакетима потребних за њихову заштиту која се може применити. Кодна и крипто заштита корисних података је фактор који утиче на брзину преноса и захтевани преносни опсег канала на комуникационим линковима [23], а одређен је примењеном техником кодовања за одређене типове сервиса као и ITU-T препорукама [24],[25],[26],[27],[28],[29],[30],[31],[32],[33] и осталим зависно од типа података за пренос.

У складу описа у [2] поступак одређивања количине податка за слање мрежном елементу је у начелу приказан на *Слици 15*. За потребе имплементације у симулациони модел потребно је постојеће технике кодовања разматрати у односу на ефикасност заштите коју обезбеђује, додатне количине података коју уноси у пакет, брзину преноса, потребне преносне капацитете, BER и временску ефикасност.



Слика 15. Поступак одређивања количине података за слање мрежном елементу

У симулационом моделу ИТРМ количину корисног податка за генерисање на извору и пренос је потребно трансформисати у формат и садржај IP пакета (IP payload) односно Ethernet рама (*Слика 16.*) процесом **енкапсулације** како би де добила величина фајла за слање, који генеришу софтверске апликације, оперативни систем и хардвер рачунара у складу протокола слојева OSI (Open System Interconnection) мрежног модела, односно TCP/IP протокол стека. Од посебног значаја за мрежни саобраћај је дефинисање и величине сегмента мрежног слоја пакета (Network layer) са MTU (Maximal Transfer Unit) одређене у byte(s) (типично 64, 576, 720, 1500, 1518) који треба бити прилагођен за слање кроз физичку топологију ИТРМ. У складу дефинисане дужине MTU у симулационом моделу се дефинише хардверска и софтверска карактеристика извора и одредишта податка у погледу брзине генерисања одређене количине података у јединци времена и интервала времена трајања генерисања, односно пријема те количине податка на одредишту. Дефинисањем вредности MTU, избором осталих протокола слојева OSI модела и TCP/IP протокол стека и њихових подопција, са применом техника кодовања и заштите, у симулационом моделу се за корисну количину података (payload) за слање са мрежног елемента, аутоматски генерише потребан број пакета. Време трајања генерисања те количине пакета на комуникациону структуру топологије ИТРМ зависи од хардверске снаге тог извора који ће се користити. Избором вредности MTU се утиче на укупну дужину пакета за пренос, а тиме и врши утицај на мрежни саобраћај.



Слика 16. Формат пакета за дистрибуцију података

Значај утицаја дужине пакета, количине и брзине њиховог генерисања на мрежни саобраћај је пре свега на **време кашњења** (Time delay) дистрибуције пакета информационом токовима кроз физичку топологију комуникационе мреже, што је одавно познато и детаљно је описана у научној литератури као у [23]. Тачније речено, уколико је дужина пакета већа, тада се у њему преноси већа количина корисних података, потребна је мања количина пакета, али је веће време кашњења у преносу до одредишта и већа је вероватноћа за појаву грешке у преносу бита (BER). Ако је дужина пакета мања, потребна је већа количина пакета и тада је извору податка потребно више времена да генерише више пакета у јединици времена и проследи на комуникациони линк [23]. Наведеним прорачунима дати утицај се преноси у симулациони модел како би мрежни саобраћај био што реалније дефинисан [13]. Да би се у симулациони модел имплементирао механизам генерисања и дистрибуције података, потребно је типове података придружити информационом току у оквиру којег ће се они дистрибуирати у топологији ИТРМ применом одговарајућег рачунарски генерисаног мрежног апликативног сервиса.

Наведено придруживање је потребно и због систематизације токова података у матрици мрежног саобраћаја.

На основу претходно наведеног, мрежни саобраћај се опште може представити као детерминистички или стохастички процес који представља меру количине података у пакетима који се генеришу и дистрибуирају кроз комуникациону мрежу у временским тренуцима и трајању. Варијабилност количине генерисаних података у симулационом моделу ИТРМ се такође описује употребом математичких функција расподеле, исто као у случају времена комуникационих интеракција између елемената организационе целине, односно тренутака генерисања података на извору и слања на одредиште.

2.1.8 Техника и технологија комуникационе структуре

Физичка реализација ИТРМ се остварује избором технике и технологија са којом се реализују сви тополошки елементи комуникационе структуре мреже (рачунари терминали, сензори, мрежни чворови, преносни линкови, сервери итд.). Неизоставан корак у пројектовању модела ИТРМ који је потребно спровести је разматрање телекомуникационе и рачунарске мреже са аспекта техника приступа, вишеструког преноса, стандардизације и интеграције различитих технологија преноса. Избор технике приступа и технологије преноса представља један од кључних фактора који одређују да ли ће и у којој мери бити постигнута ефикасност ИТРМ. Избор технологије треба да одговара захтевима за реализацију апликативних сервиса у мрежи, а у погледу параметара као што су потребан вршни проток (Throughput) и време кашњења, и треба га спровести у односу на OSI мрежни модел и TCP/IP протокол стек, у циљу остваровања компатибилности за међусобно повезивање различитих комуникационих мрежа и мрежне опреме [34]. Моделовање ИТРМ и анализа изабране технике и технологије интегрисане у комуникациону структуру са дефинисаним мрежним саобраћајем треба да покаже и да смернице пројектанту у избору технологије преноса и начина оптимизације њених карактеристика, чиме се у развојном делу модела постиже велика предност у

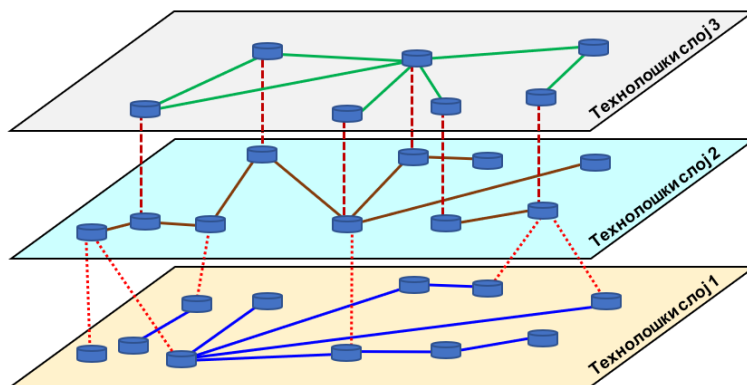
планирању комуникационих функција организационе целине, које ИТРМ треба да испуни. Однос технологије преноса и мрежних апликативних сервиса се разматра са аспекта OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека, првенствено са употребом Ethernet технологије [17], на којој се заснива низ других технологија за пренос података пакетског формата и које се користе у организационој целини са војном тактичком наменом [17]. Употреба протокола OSI и TCP/IP слојева је илустративно приказана на *Слици 17*. Телекомуникациона мрежа (Telecommunication network) представља физички слој на који се у највећој мери ослања рачунарска мрежа (Computer network) која је виши слој преко којег се реализују мрежни апликативни сервиси.



Слика 17. OSI мрежни модел и TCP/IP протокол стек за избор технологије и технике комуникационе структуре ИТРМ

Реализација мрежних апликативних сервиса са различитим захтевима омогућава апликације засноване на IP пакетском мрежном саобраћају и примени протокола TCP/IP протокол стека што у IP заснованим мрежама омогућава транспарентни пренос различитих типова саобраћаја (глас, подаци, аудио, видео, мултимедија) преко исте мрежне комуникационе структуре. Наведене карактеристике IP заснованих сервиса упућују на њихову имплементацију у моделу ИТРМ и анализу путем симулационог модела разматрањем параметара мрежног саобраћаја брзина преноса (speed transmission), време трајања конекције (connection duration), кашњење (latency) и губитак пакета (packet loss), битска грешка (BER), вршни проток (throughput). Избор протокола треба да буде у складу са захтевима за реализацију апликативних сервиса.

Пројектовање ИТРМ као комуникационе мреже у више слојева (*Слика 8.*) омогућава и њено пројектовање у више технолошких слојева (*Слика 18.*), где сваки слој може представљати различиту технологију чијим се обједињавањем реализује више-технолошка комуникациона мрежа. Слојевита више-технолошка структура омогућава да сваки технолошки слој функционално буде независан од другог технолошког слоја и могућност оптимизације комуникационе структуре је већа.



Слика 18. Вишеслојна технолошка архитектура ИТРМ

Примена више-технолошког пројектовања комуникационе мреже се захтева посебно за организационе целине посебне намене, односно у случајевима где ИТРМ треба реализовати на географском простору са рељефом који намеће теже теренске услове за позиционирање технике и телекомуникационо простирање сигнала.

Технолошки слојеви се међусобно повезују кроз тачке конекције, која мора да омогући компатибилност у техничком и технолошком погледу, како би се омогућио рад апликативних сервиса у мрежи и аутоматски пренос података између мрежних елемената у различитим LAN. Осим технолошке компатибилности, у симулационом моделу потребно је дефинисати и временску координацију технолошких слојева како не би дошло до прекида у преносу података. Такође, у случају тополошког повезивања технолошки различитих слојева за реализацију чворова за њихову међу-конективност потребно је извршити избор одговарајуће технике (Switches, Routers) [16],[17] и њихових техничких карактеристика са могућностима у погледу прихвата мрежног саобраћаја омогућавања рада клијент-сервер апликација и преноса података између мрежних елемената у ИТРМ.

Захтеви за реализацију ИТРМ морају се ускладити са финансијским ресурсима и могућностима избора скупље и квалитетније или повољније и мање квалитетне технике.

Захтевана флексибилност мреже за прилагођење тополошке структуре у случају прекида рада неког линка или мрежног чвора је такође у спрези захтева и могућности за физичку реализацију ИТРМ. Избор технике и технологије треба ускладити са избором протокола, које по слојевима OSI мрежног модела треба дефинисати за све елементе комуникационе структуре. Посебну пажњу треба посветити у примени IP протокола који је на 3. мрежном слоју (Network layer) у складу дефинисане логичке структуре ИТРМ и логички одвојених целина WAN, LAN са применом IP адресирања. Дефинисање истог адресирања модела ИТРМ је такође потребно применити у изради симулационог модела.

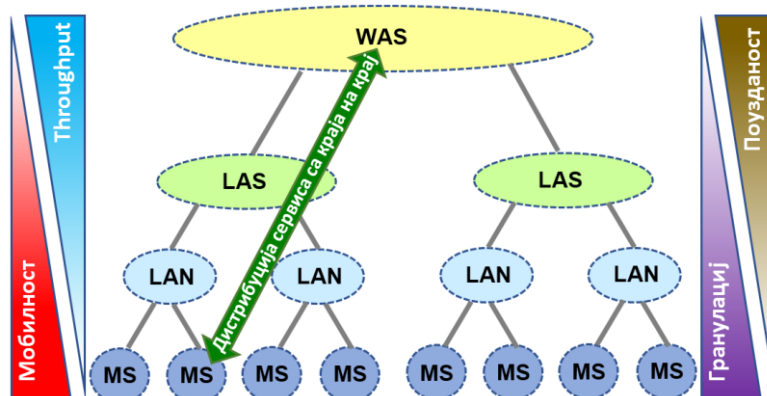
2.1.9 Мрежни апликативни сервиси

Пројектовање логичке структуре ИТРМ у делу који се односи на информационе токове и типове података који се њима логички дистрибуирају, треба да садржи и део пројектовања структуре механизма са којим се такав процес реализује.

Такав механизам је првенствено заснован на дефинисању сервисно оријентисане архитектуре (SOA-Service Oriented Architectures) која се реализује на хардверским и софтверским платформама, са процесима који омогућавају размену података које захтевају корисници. Примена SOA дефинише низ услова и аспеката које треба анализирати [35] у односу на поједине захтеве који одређују организациону целину. Наведена архитектура предвиђа размену информација између комуникационо повезаних мрежних елемената (Слика 5.) успоставом апликативних сервиса. Да би се дистрибуција података успоставила ефикасно потребно је одредити основне апликативне сервисе као језгро сервисне инфраструктуре и одредити рачунарске апликације које омогућавају извршење тих функција.

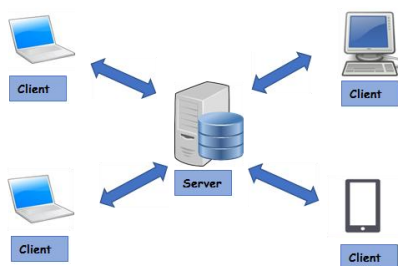
Дистрибуција апликативног сервиса се реализује принципом са краја на крај (End-to-End Service delivery) од централних група логичке и тополошке структуре (WAS, LAS, LAN, MS) према периферним и покретним LAN. За ефикасну дистрибуцију мрежног саобраћаја у складу хијерархијске функције и позиције мрежног елемента у организационој целини врши се и гранулација (уситњавање, умањење) количине података у складу смањења преносног опсега, и повећања покретљивости мрежног елемента. Ради разумевања принцип гранулације је у складу [8],[35] приказан на Сlici 19.

Примена датог принципа има своју улогу у дефинисању мрежног саобраћаја у погледу дистрибуције количине података у матрици мрежног саобраћаја.



Слика 19. Дистрибуција апликативних сервиса са-краја-на крај (End-to-End Service delivery)

Процес размене података и информација са применом SOA у мрежној архитектури ИТРМ се реализује извршавањем апликација типа клијент-сервер (Слика 20.), на рачунарима серверима и радним станицама којима су апликације потребне да би се на њиховим локацијама у просторном и тополошком распореду мрежног елемента реализовала комуникациона функција (захтев за комуникационом интеракцијом, комуникација гласом, размена података са сервером и/или другим клијентом итд.). Генерисањем количине података мрежним рачунарским апликацијама и мрежном дистрибуцијом се успостављају информациони токови података као мрежних апликативних сервиса према типу података за комуникацију (Ethernet, ISDN digital voice, VoIP, web, http, data base итд.).



Слика 20. Client-Server дистрибуција података

Осим класичног терминала као рачунара, хардверски извор или одредиште података могу бити и сензори или електронски системи, који у свом техничком механизму имају интегрисан рачунар и апликацију, или су повезани на терминал са апликацијом који њихове податке обрађује за дистрибуцију у ИТПМ. Свака апликација има своју појединачну улогу у генерисању, слању, прихватању и обради података. У том погледу посредством мрежне комуникационе технологије апликације и оперативни системи на терминалима и серверима остварују конекцију, комуникационе сесије, размењују податке и на тај начин се путем интегрисаних мрежних сервиса и протокола OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека, успоставља мрежни апликативни сервис.

Сервис могу формирати једна или више апликација. Од значајног утицаја на квалитет дистрибуције података у мрежном саобраћају је дефинисање квалитета сервиса (QoS) приоритизацијом и резервацијом преносног опсега.

Увођење сервиса у пројектовање ИТПМ је неопходно и са становишта дефинисања мрежног саобраћаја и постављања технолошких захтева за рачунарску и телекомуникациону мрежну структуру. Поједини сервиси захтевају комуникацију у реалном времену (интерактивне апликације), поуздану дистрибуцију информација (дистрибутивни сервиси), односно сервисе по захтеву (e-mail, видео, аудио, трансфер фајлова). Разноврсност захтева за квалитетом сервиса (QoS) уз количину података које генерише хардвер и апликација у оквиру самог сервиса, одређује и захтеве за потребним пропусним опсегом телекомуникационих линкова и мрежних комуникационих уређаја. Претходно наведени принципи и елементи дефинисања мрежних апликативних сервиса се на исти начин дефинишу у симулационом моделу ИТПМ применом интегрисаних софтверских алата, и према томе се реализује механизам догађања сервиса.

Тип мрежног апликативног сервиса и избор протокола (http, web, TCP, UDP, SSH, SNMP, SMTP, POP3, FTP, VoIP итд.) по којем се реализује посредством апликације на рачунару серверу и радној станици, односно у мрежној дистрибуцији (Ethernet, ISDN, xDSL, SDH, WDM, ATM, WiFi итд.), потребно је дефинисати у складу функције коју реализује мрежни елемент, типа података који треба дистрибуирати и начина располагања и презентовања на одредишту. Примери мрежних апликативних сервиса и апликација које су засноване на протоколима OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека су наведени у Табели 3.

Апликативни сервис	TCP/IP протокол стек	Слој OSI мрежног модела
E-mail	Апликативни слој	
FTP, RTP		
SNMP		
DNS		
VoIP		
WEB HTTP		
TCP	Транспортни слој	
UDP		
IP	Интернет слој	
HDLC		
Ethernet	Клијент на мрежи	

Табела 3. Мрежни апликативни сервиси засновани на протоколима OSI мрежног модела и TCP/IP протокол стека

За реализацију функција посредством комуникације у организационој целини војне намене која је као пример узета за израду симулационог модела ИТРМ, имплементирани су следећи мрежни апликативни сервиси:

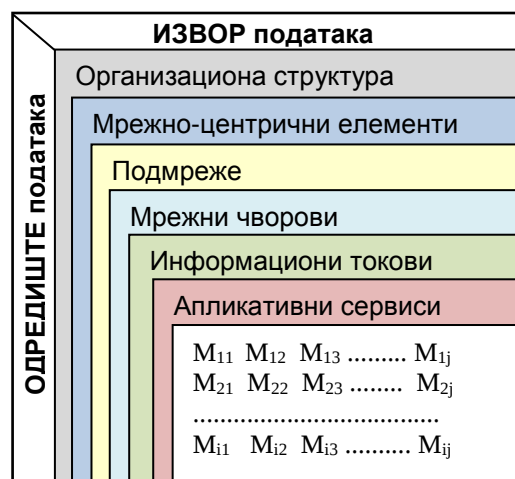
- **Email** сервис предвиђен за слање порука, докумената, извештаја, фајлова
- **WEB** сервис предвиђен за пренос информација применом HTTP протокола
- **VoIP** (Voice over IP protocol), сервис за комуникацију дигитализованим гласом
- **DBASE** , сервис за приступ одређеној бази података, читање и упис података

У симулационом моделу ИТРМ за дистрибуцију података по типу и по варијацији количине података за пренос треба одредити одговарајући апликативни сервис којим ће се генерисати на извору и прихватити на одредишту. Сваки сервис може формирати један информациони ток као засебан или бити један од сервиса у саставу једног информационог тока којим се преносе функционално одређени подаци. Дефинисање механизма сваког мрежног апликативног сервиса (времена догађања комуникације сервисом, времена и количине података за дистрибуцију, протоколи, вредност MTU) на извору, мрежним комуникационим чворовима и на одредишту се реализује опцијама у софтверу за израду симулационог модела. Мрежни елементи код којих се дефинише механизам апликативног сервиса је одређен матрицом мрежног саобраћаја. За потребе израде матрице мрежног саобраћаја Табелу 2. треба допунити са информацијама о апликативном сервису који се реализује на мрежном елементу и користити у поступку примене мултиграфа.

2.1.10 Матрица мрежног саобраћаја

Дефинисање организације дистрибуције података за имплементацију у симулациони модел ИТРМ се реализује израдом матрице мрежног саобраћаја, која одражава системске функционалне, комуникационе релације између мрежних елемената као извора и одредишта података. Концепт структуре форме матрице мрежног саобраћаја за њену израду (Слика 21.) треба пројектанту симулационог модела ИТРМ да омогући преглед на основу којег ће извршити идентификацију мрежних елемената према одређеном

називу у организационој структури, мрежно-центричној и припадности тополошкој логичкој целини (WAN, LAN, SubLAN), информационом току, мрежном апликативном сервису. Форма матрице мрежног саобраћаја може да буде табеларно изведена, односно на начин који пројектанту одговара за тумачење и њену интеграцију у симулациони модел, што је неизоставно битан корак који омогућава услове за успоставу и симулацију мрежног саобраћаја.



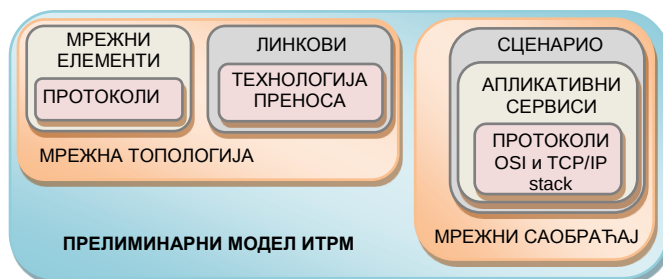
Слика 21. Концепт структуре матрице мрежног саобраћаја у симулационом моделу

Матрица мрежног саобраћаја се првенствено реализује на основу комуникационих релација између елемената организационе структуре датих у Оперативним процедурама и приказаним у Табели 1. и Табели 2.. Комуникациона релација између мрежних елемената E_i и E_j , ($i \neq j$) у матрици мрежног саобраћаја је означена позицијом (M_{ij}) где је $M_{ij}=1$ када је у оперативним процедурама предвиђено да постоји комуникациона релација, односно $M_{ij}=0$ када нема комуникационе релације. Изведена структура и начин приказа матрице мрежног саобраћаја је основа пројектанту за дефинисање свих предвиђених комуникационих релација у симулационом моделу ИТРМ, које се такође софтверски дефинишу у механизму софтвера за симулацију чиме се комуникационо повезују мрежни елементи распоређени у тополошкт логичке целине WAN, LAN, SubLAN посредством активације апликација клијент-сервер и успоставом мрежних апликативних сервиса логичким информационим токовима података. Матрица мрежног саобраћаја се користи у поступку примене мултиграфа за одређивање статистичке функције расподеле, којом се описује временска промена комуникационих интеракција и размена података посредством сваког апликативног сервиса у мрежном саобраћају.

2.1.11 Прелиминарни модел ИТРМ

Применом претходно описаног поступка и спровођењем корака и фаза, постављених комуникационих захтева и могућих додатних ограничења, дефинишу се елементи модела и њихове међусобне релације као основни **прелиминарни модел ИТРМ**. Дефинисањем елемената прелиминарног модела кроз њихове мрежне параметре омогућава дефинисање свих елемената потребних за израду симулационог модела у OPNET симулационом софтверу.

Основна структура прелиминарног модела ИТРМ је начелно приказана на *Слици 22*.



Слика 22. Прелиминарни модел ИТРМ основна структура

Сваки основни елемент у структури прелиминарног модела је дефинисан низом сопствених чиниоца који га одређују и у суштини представља веома сложену структуру са много дефинисаних елемената. Тако дефинисани прелиминарни модел је потребно пресликати у симулациони модел ИТРМ који постаје „активан“ тек након дефинисања мрежног саобраћаја на основу којег се реализује сам ток симулације и врши статистички записи вредности параметара који се испитују симулацијом. Опис мрежног саобраћаја и начин његовог дефинисања и математичког моделовања је посебна проблематика која је описана у наредним поглављима. Променом елемената прелиминарног модела ИТРМ и/или параметара тих елемената врши се извођење других верзија симулационог модела ИТРМ у смеру остварења комуникационих захтева.

2.1.12 Комуникациони захтеви

Критеријуми на основу којих се врши утврђивање оствареног квалитета пројектованог модела ИТРМ за реализацију комуникационих функција организационе целине су **комуникациони захтеви**. Анализа резултата симулације процеса временског генерисања и дистрибуције мрежног саобраћаја у дефинисаном симулационом моделу ИТРМ врши се у односу на постављене захтеве. Комуникациони захтеви се односе на време које је потребно да информација од тренутка генерисања на извору **целокупна** стигне кроз комуникациону структуру на одређено одредиште као **потпуно тачна, веродостојна** и **правовремено** буде доступна елементу организационе структуре који је користи за извршење функције. Овако дефинисане захтеве је потребно исказати нумеричким вредностима комуникационих параметара који се у пројектовању модела ИТРМ користе као прагови критеријума чија се испуњеност проверава поступком симулације. На основу резултата симулације се утврђује да ли пројектовано решење модела ИТРМ испуњава дате захтеве.

Комуникациони параметар са којим се најближе могу дефинисати времена пристизања података и располагања информацијама у тополошкој и на просторној локацији одредишта је **средње време кашњења** (Average Time) као једног од критеријума за вредновање мрежа заснованих на комутацији пакета. Математички модел, којим се **средње време кашњења** (T) доводи у релацију са параметрима **брзина генерисања саобраћаја** (λ_i), **средња величина пакета** (b), **капацитет линка** (C_i), изведен је у [36] и приказује стање пројектоване мреже са N мрежних елемената.

Кашњење пакета мрежног саобраћаја обухвата време укупног задржавања пакета у мрежи од тренутка генерисања на извору па до пристизања на одредиште, што је случајна величина те је оцену потребно вршити на основу њене средње вредности T дате формулом у [36]

$$T = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{Z_{jk} \gamma_{jk}}{\gamma} \quad (1)$$

Z_{jk} – средње време кашњења свих пакета информационог тока на путањи између мрежних елемената j - k , γ – укупна количина мрежног саобраћаја, γ_{jk} – улазни мрежни саобраћај, γ_{jk}/γ – део количине пакетског саобраћаја у мрежи чије је кашњење Z_{jk}

Сваки i -ти линк на путањи пакета π_{jk} између j -изворне и k -одредишне тачке у мрежи има одређен капацитет преноса C_i у оквиру којег се врши транспорт пакета који припада одређеном информационом току и на тој путањи долази до његовог кашњења.

Ако је λ_i – интензитет наилаaska пакета на i -ти линк и који припада том информационом току, тада је средња вредност количине његовог саобраћаја:

$$\lambda_j = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} ; j, k: C_i \in \pi_{jk} \quad (2)$$

Z_{jk} је добијен као сума просечних кашњења пакета проласком кроз различите линкове на путу π_{jk} где су поједине компоненте у тој суми појединачна времена чекања пакета у реду за обраду у мрежним уређајима (Switch, Router), времена за пренос пакета на i -ту грану и времена за прихватање пакета у привремену меморију (*buffer*) на основу чега се изводи средње време кашњења:

$$Z_{jk} = \sum_{i=1}^N T_i ; i: C_i \in \pi_{jk} \quad (3)$$

$$T = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{Z_{jk} \lambda_{jk}}{\gamma} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{\gamma_{jk}}{\gamma} \sum_{i=1}^N T_i \quad (4)$$

$$T = \sum_{j=1}^N (T_i \lambda_i) \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} ; j, k: C_i \in \pi_{jk} \quad (5)$$

Даља анализа појединачног времена кашњења T_i датог у [36] показује релацију са средњом вредношћу дужине пакета b израженом у bit/s и дата је изразом:

$$T_i = 1/(\mu C_i - \lambda_i) \quad (6)$$

$$\mu = 1/b \quad (7)$$

$$T = \sum_{i=1}^N \lambda_i / (\gamma(\eta_i C_i - \lambda_i)) \quad (8)$$

При извођењу релације (8) у [36] узета је у обзир претпоставка да су времена обраде у мрежним чворовима и пропагација сигнала једнака нули и да се може закључити да математичка релација средњег времена кашњења са комуникационим параметрима **брзина генерисања саобраћаја, величина пакета, капацитет линка** у довољној мери приказује стање пројектоване мреже и да је довољна као основни критеријум за оцену варијанти решења модела ИТРМ.

3 ПРЕГЛЕД МОДЕЛОВАЊА МРЕЖНОГ САОБРАЋАЈА

Анализа мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТРМ је најважнији корак који треба реализовати да би се утврдило да ли пројектовани прелиминарни модел ИТРМ и пројектовани капацитет комуникационе мреже омогућава испуњење постављених комуникационих захтева. Да би се употребом софтверских алата за израду симулационог модела извршила имплементација мрежног саобраћаја као „активног“ елемента у моделу ИТРМ, односно комуникације која га ствара, неопходно је утврдити природу планираног или очекујућег мрежног саобраћаја. Природу мрежног саобраћаја одређује време у којем се догађа комуникација, врста комуникације, тип и количине података који се том приликом генеришу и дистрибуирају између учесника у комуникацији.

Комуникациони догађај и генерисање комуникационих података као његова последица у мрежном саобраћају се референцира у времену и простору. Мрежни саобраћај је комплексан временски процес који, може бити стохастички или детерминистички дефинисан. Подаци у ИТРМ као физичка појава представљају трансформисане и дигитализоване форме електричних, електромагнетних, светлосних и других типова сигнала који се генеришу посредством хардвера и софтвера са техничких уређаја који су као извори сигнала комуникационо повезани у ИТРМ. Такви подаци се у ИТРМ током времена телекомуникационим технологијама преносе између просторно распоређених техничких уређаја, где се по прихватању на одредишту поново трансформишу у форме потребне за њихову употребу и тумачење. Да би се посматрао, употребио и анализирао у симулационом моделу, мрежни саобраћај је потребно превести у модел који се може научно или технички тумачити, и представити на начин прихватљив за дефинисање мрежног саобраћаја. Моделовање мрежног саобраћаја у комуникацијама је посебна област истраживања, и до сада је изведено много различитих модела мрежног саобраћаја који се користе за анализу у пројектовању карактеристика комуникационих мрежа. Јединствен модел мрежног саобраћаја са којим се могу дефинисати све врсте комуникационих мрежа, њихови функционални захтеви и услови у којима функционишу до сада није развијен. Могућа је примена истог модела мрежног саобраћаја на различите варијанте модела ИТРМ и анализа оптималног. Основа за пројектовање капацитета ИТРМ је добар модел мрежног саобраћаја који има могућност да математички и статистички опише природу и механизам догађања генерисања и дистрибуције саобраћаја у мрежи. Избор модела мрежног саобраћаја треба реализовати у складу типа комуникационе мреже и карактеристика природе мрежног саобраћаја. Добро изабран модел мрежног саобраћаја треба што тачније да описује стварни саобраћај у мрежи, и као такав представља кључну компоненту за развој и пројектовање мреже.

Последица избора погрешног и неадекватног модела мрежног саобраћаја у пројектовању ИТРМ може да буде погрешно извођење закључака на основу анализе резултата симулације, дефинисање погрешних вредности комуникационих параметара, погрешна тополошка структура и погрешан избор технике и технологије.

Последица свега наведеног може бити погрешно финансијско улагање и повећање цене коштања реализације мреже, неиспуњење захтеваних комуникационих функција и на крају немогућност или неквалитетна реализација функција организационе целине.

Комплексност ИТРМ, разноврсност захтева и апликативних сервиса, повећање броја мрежних елемената као учесника у комуникацији, тополошко повећање мрежа отежава тачан опис мрежног саобраћаја и извођење одговарајућег модела. У овом поглављу су ради разумевања начина за дефинисање мрежног саобраћаја, на основном нивоу описани најчешће употребљавани модели мрежног саобраћаја.

3.1 Модели мрежног саобраћаја

Дефинисање модела мрежног саобраћаја подразумева његово презентовање у форми која се може разумети на одређени начин, и на основу које се може вршити анализа параметара, математички прорачун или технолошко генерисање тока података у стварној мрежи и одговарајуће мерење. У случају пројектовања симулационог модела комуникационе мреже, потребна је форма описа на основу које ће се извршавати софтверски и хардверски механизам догађања мрежног саобраћаја у свим елементима комуникационе структуре кроз које саобраћај пролази током дистрибуције. Модел мрежног саобраћаја је углавном форма математичке апроксимације којом се описује процес и природа реалног мрежног саобраћаја.

Форма описа модела мрежног саобраћаја се може реализовати применом метода код којих се реализују теоријско математичко извођење статистичког описа којем претходи снимање и мерења мрежног саобраћаја као у истраживањима [37],[38],[39],[40]. Статистички опис мрежног саобраћаја и комуникационих параметара омогућавају и методе наведене у [37],[38],[41] које су засноване на мерењима генерисања података на изворима и мерењем комуникационих параметара њихове мрежне дистрибуције.

За примену у даљим анализама модела ИТРМ, као и за израду симулационог модела прихватљива форма дефинисања модела мрежног саобраћаја је статистичка типизација модела мрежног саобраћаја познатим функцијама дистрибуције (расподеле) као у [16],[39],[40],[41],[42],[43],[44],[45]. У случајевима где се захтева сложен статистички модел примењује се опис мрежног саобраћаја заснован на само-сличност (Self-similarity) у односу на теже обликоване функције расподеле [46],[47],[48].

Узимајући у обзир претходно наведено, за пројектовање модела комуникационих мрежа према форми приказа заступљени су следећи типови модела мрежног саобраћаја:

1. Статистички модел
2. Модел снимања саобраћаја
3. Модел само сличности (Self-similarity)

3.1.1 Статистички модели мрежног саобраћаја

Параметар који карактерише извор мрежног саобраћаја је *брзина генерисања саобраћаја* што у суштини представља генерисање одређеног броја пакета као наиласка дискретних ентитета у различитим *временским тренуцима* ($t_1, t_2, t_3 \dots t_n$) у временском интервалу $(0, t]$ што је један стохастички процес.

Такав процес се описује статистичком функцијом дистрибуције. Статистички модел мрежног саобраћаја за дефинисање промене вредности наведених параметара мрежног саобраћаја подразумева употребу математичких функција дистрибуције које уједно представљају вероватноће у опсегу њихових могућих вредности које могу бити дискретне и континулане.

Дискретна функција као вредност може имати дискретан број за одређену вредност, док континуална функција може имати бесконачан број вредности у непрекидном интервалу вредности. Математички могу бити представљене у форми функције густине вероватноће или као кумулативне функције дистрибуције. Зависно од типа и интезитета мрежног саобраћаја и учестаности временског наиласка, за његов опис потребно је изабрати одговарајућу функцију расподеле, у смислу описа дефиницијом њених основних параметара, односно употребом изведених математичких формула. У овом поглављу су истакнуте функције расподеле и статистички модели који се најчешће користе за опис мрежног саобраћаја.

3.1.1.1 Експоненцијална функција дистрибуције мрежног саобраћаја

Експоненцијална функција расподеле је континуална функција предвиђена да у мрежном саобраћају описује времена у комуникационим процесима где се међусобно независни догађаји дешавају континуално и константном средњом брзином. Функција густине вероватноће догађаја $f(x)$ и кумулативна расподела $F(x)$ експоненцијалне функције дистрибуције (Слика 23.) дате су изразима:

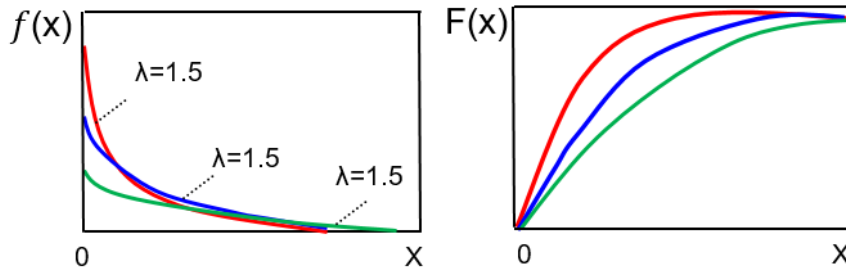
$$f(x, \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$F(x, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

λ -брзина наиласка пакета у интервалу вредности брзине дистрибуције. Експоненцијалну функцију расподеле одређују и параметри средња вредност (Mean) или очекивана вредност $E(x)$ и варијанса (σ^2) и представљена је са:

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda^2} \quad (12)$$



Слика 23. Експоненцијална функција густине вероватноће и кумулативна расподела

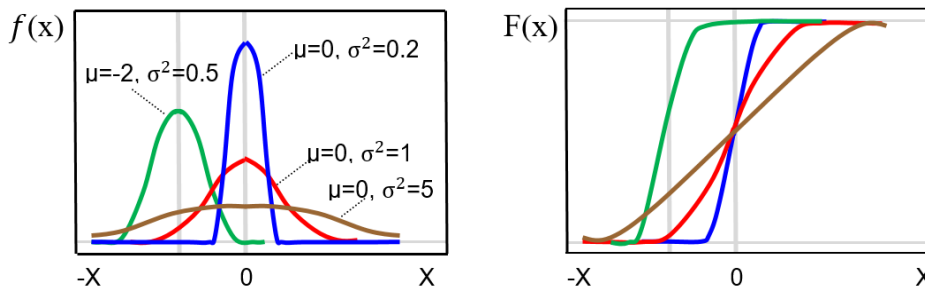
У реализацији симулационог модела комуникационе мреже најчешће се примењује експоненцијална функција дистрибуције. Зависно од могућности софтвера за израду симулационог модела, у опису дистрибуције података може се користити и математички изведен универзални модел за експоненцијалну функцију дистрибуције [49].

3.1.1.2 Нормална Гаусова функција дистрибуције мрежног саобраћаја

Нормална Гаусова (Gaussian) функција дистрибуције је континуална функција која се користи у случајевима када параметар мрежног саобраћаја као променљива има тачно одређену средњу вредност (Mean) и када су вредности варијације исте. Нормалну функцију расподеле одређују и параметри средња вредност (μ) и варијанса (σ^2). Функција густине вероватноће $f(x)$ и кумулативна расподела $F(x)$ нормалне Гаусове функције дистрибуције (Слика 24.) дате су изразима:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (13)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (14)$$



Слика 24. Нормална Гаусова функција густине вероватноће и кумулативна расподела

Нормална Гаусова функција дистрибуције у симулационом моделу се најчешће користи за опис трајања позива у комуникационој мрежи, и за дефинисање величине фајлова код FTP апликативних сервиса. Примена ове функција дистрибуције је веома заступљена у моделовању комуникационих мрежа и планирању капацитета. Иако је временом дошло до промена у мрежном саобраћају, истраживања [42] која су спроведена на основу резултата снимања у великим комуникационим мрежама и у дужем временском периоду од више година показују да природа пре свега Интернет саобраћаја и даље прати Гаусову функцију дистрибуције. За потребе израде симулационог модела истраживањем у [42]

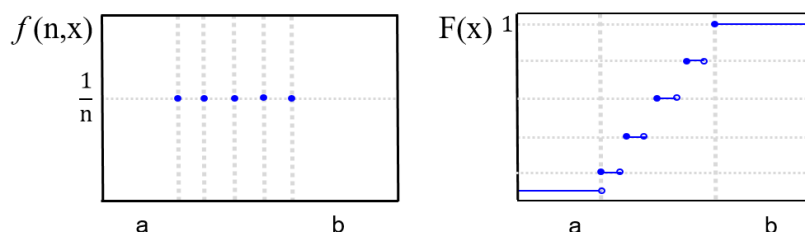
предлаже да се Гаусова функција дистрибуције користи за опис промене протока мрежног саобраћаја.

3.1.1.3 Униформна функција дистрибуције мрежног саобраћаја

Униформна функција дистрибуције може бити дискретна или континуална. Дискретна униформна функција расподеле се користи у случају описа параметра мрежног саобраћаја са n -коначних вредности из опсега одређеног границама (a, b) и свака има исту вредност вероватноће. Функција густине вероватноће $f(x)$ и кумулативна расподела $F(x)$ дискретне униформне функције дистрибуције (Слика 25.) дате са:

$$f(n, x) = \begin{cases} \frac{1}{n}, & a \leq x < b \\ 0, & \text{остало} \end{cases} \quad (15)$$

$$F(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{\lfloor x \rfloor - a + 1}{n} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , x > b \end{cases} \quad (16)$$

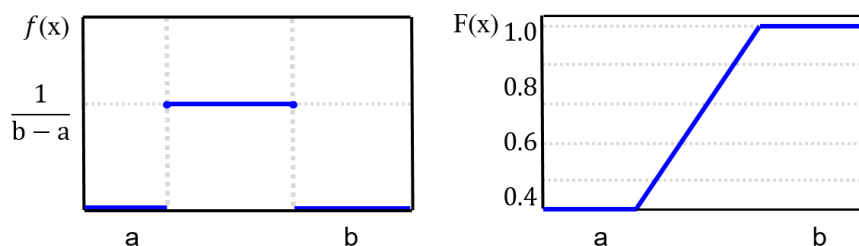


Слика 25. Дискретна униформна функција густина вероватноће и кумулативна расподела

Континуална униформна функција расподеле се користи у случају описа параметра у случају када вредности из интервала истих дужина, одређених границама (a, b) имају исту вероватноћу. Функција густине вероватноће $f(x)$ и кумулативна расподела $F(x)$ континуалне униформне функције дистрибуције (Слика 26.) дате су изразима:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 0 & , x < a \text{ или } x > b \end{cases} \quad (17)$$

$$F(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , x \geq b \end{cases} \quad (18)$$



Слика 26. Континуална униформна функција густина вероватноће и кумулативна расподела

Униформна функција расподеле у симулационом моделу најчешће се користи за опис временских тренутака активације апликативног сервиса и његовог интервала трајања.

3.1.1.4 Поасонов модел дистрибуције мрежног саобраћаја

Поасонов (Poisson) модел мрежног саобраћаја описује временски дискретан мрежни саобраћај и представља вероватноћу појаве великог броја догађаја у фиксном интервалу времена, ако се они дешавају познатом средњом брзином и независно од претходног догађаја. Користи се за опис модела мрежног саобраћаја код којег постоје генерисања и наиласци пакета из великог броја независних извора.

Најчешће се примењује за анализу мрежног саобраћаја говора у телефонској мрежи. Временски тренуци (t) наиласка пакета (говора) су случајни и представљени експоненцијалном расподелом са параметром средња брзина наиласка пакета (λ_a). Поасонова функција расподеле је дискретна функција која има средњу вредност (Mean) и варијансу (σ^2) и представљена је са [50]:

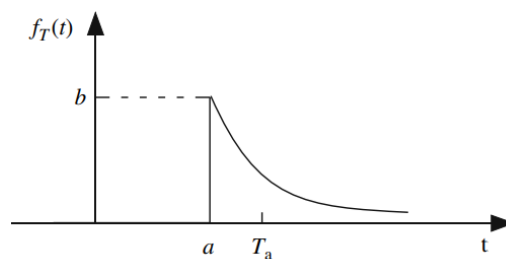
$$f(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (19)$$

За опис мрежног саобраћаја користе се и друге изведбе ове функција расподеле које описују хомогене и нехомогене Поасонове процесе. Поасонова функција расподеле $f(t)$ се може користити за опис токова са случајним и тренутним брзинама података и за опис временских периода између наиласка пакета [16]:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & , t < a \\ be^{-b(t-a)} & , t \geq a \end{cases} \quad (20)$$

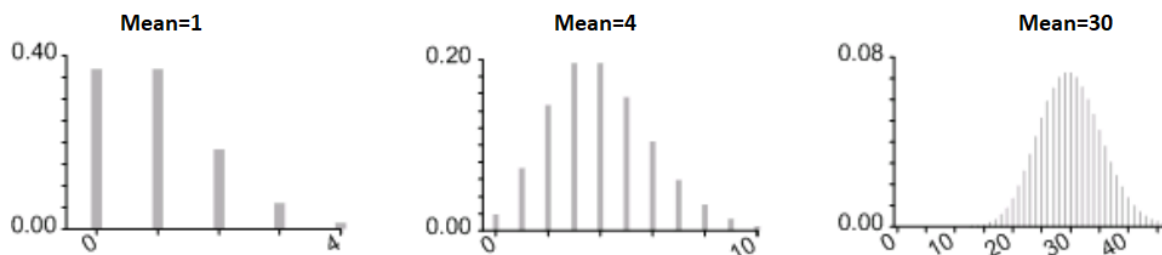
$$\sigma^2 = \frac{1}{b^2} \quad (21)$$

a - минимално време између наиласка пакета, b - брзина промене наиласка пакета [$1/s$] и уједно параметар промене облика функције (Слика 27.) у континуалном времену (t), и где је σ^2 - варијанса међу-интервала наиласка пакета. Параметрима a и b се дефинише средња брзина наиласка пакета у мрежном саобраћају. Већа вредност параметра одговара мрежном саобраћају са наиласцима веће количине саобраћаја, и обрнуто.



Слика 27. Експоненцијална функција дистрибуције наиласка пакета из Поасоновог извора мрежног саобраћаја

У случају када код употребе Поасоновог модела мрежног саобраћаја расте средња вредност функције, тада се Поасонова расподела према [50] приближава нормалној расподели (Слика 28.).



Слика 28. Поасонова дистрибуција са повећањем средње вредности (Mean)

Ради смањења грешке у примени Поасоновог модела, у случају када је средња вредност $\text{Mean} \geq 30$ тада у симулационом моделу за апроксимацију Поасонове дистрибуције треба користити нормалну дистрибуцију.

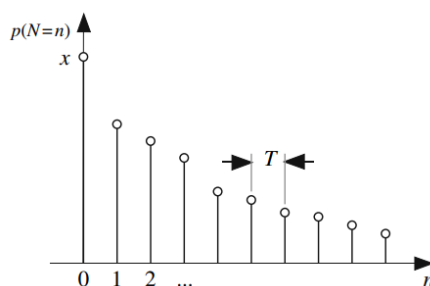
Поасонова функција дистрибуције у симулационом моделу најчешће се користи за опис интернет саобраћаја реализованог апликативним сервисима са HTTP и FTP протоколом.

3.1.1.5 Бернулијев модел дистрибуције мрежног саобраћаја

Бернулијев (Bernoulli) модел мрежног саобраћаја описује временски дискретан мрежни саобраћај који је такорећи еквивалентан временски аналогном мрежном саобраћају код Поасоновог модела и користи за опис и дефинисање мрежног саобраћаја који се генерише у дискретним временским тренуцима. Код Бернулијевог процеса вероватноћа наиласка пакета у било ком временском тренутку је x , и који је независан од других наилазака пакета, а вероватноћа у супротном је $y=1-x$. Вероватноћа p да ће k пакета наићи у n временских тренутака је одређен са [16]:

$$p(k) = \binom{n}{k} x^k y^{n-k} \quad (22)$$

Време T између наиласка пакета у Бернулијевом моделу одговара Геометријској расподели (Слика 29.) где је приказана и вероватноћа p да ће један пакет наићи у n временских тренутака.



Слика 29. Геометријска функција дистрибуције вероватноће наиласка пакета

Средња вредност временских тренутака n_a између наиласка пакета се може одредити:

$$n_a = \sum_{n=0}^{\infty} n x y^n = \frac{y}{1-y} = \frac{y}{x} \quad (23)$$

За опис мрежног саобраћаја који је дефинисан параметрима средња брзина наиласка пакета (λ_a) и максимална брзина генерисања података на извору (σ) [packets/s] за временски интервал (t) и n - временских тренутака, може се одредити максималан број пакета (N_m) који наилази у том интервалу [16]:

$$N_m = \sigma n T \quad (24)$$

$$\alpha = \left\lfloor \frac{n}{N_m} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1}{\sigma T} \right\rfloor \quad (25)$$

$$N_a = \lambda_a t \quad (26)$$

где је α - минимални број временских тренутака између пакета, када се на извору генеришу подаци брзином (σ) и N_a - средњи број пакета генерисан на извору.

3.1.1.6 Паретов модел дистрибуције мрежног саобраћаја

Паретов (Pareto) модел мрежног саобраћаја описује независне и идентично распоређене међу-интервале наиласка пакета у случајевима веома интензивног мрежног саобраћаја и одређен је са Паретовом функцијом дистрибуције [16]:

$$f(t) = \frac{b a^b}{t^{b+1}} \quad (27)$$

a - минимално време између наиласка пакета, b - брзина промене наиласка пакета [1/s] и случајна променљива (t) чије су вредности $a \leq t < \infty$. Функцију дистрибуције одређују средња вредност (μ) и варијанса (σ^2):

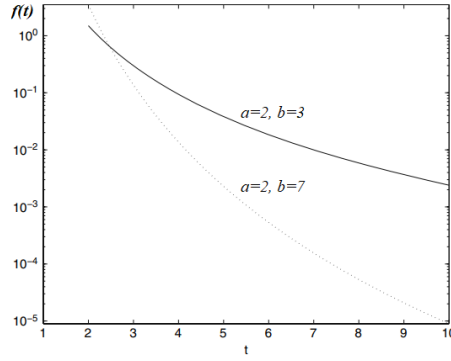
$$\mu = \frac{b a}{b-1} \quad (28)$$

$$\sigma^2 = \frac{b a^2}{(b-1)^2(b-2)} \quad (29)$$

Мрежни саобраћај са интензивним променама одређују параметри минимална брзина наиласка пакета (λ_{min}), средња брзина наиласка пакета (λ_a) и максимална брзина генерисања пакета на извору (σ). У том случају параметри a и b који дефинишу облик Паретова функције дистрибуције $f(t)$ времена наиласка пакета (Слика 30.) су одређени са:

$$a = \lambda_{min} \quad (30)$$

$$b = \frac{\lambda_a}{\lambda_a - \lambda_{min}} \quad (31)$$



Слика 30. Паретова функција дистрибуције времена наласка пакета

Параметри a и b Паретове функције дистрибуције $f(t)$ за опис мрежног саобраћаја у случају датих параметара средња брзина наласка пакета (λ_a) и максимална брзина генерисања пакета на извору (σ) који описују извор генерисања података, се могу одредити [16]:

$$N_a = \sigma t \quad (32)$$

$$a = \frac{t}{N_a} = \frac{1}{\sigma} \quad (33)$$

Параметар a зависи од величине пакета и брзине наласка пакета, и тада га одређују средњи број пакета генерисан на извору (N_a) у временском периоду (t) и средње време између наласка два пакета (T_a) према [16]:

$$N_a = \lambda_a t \quad (34)$$

$$T_a = \frac{t}{N_a} = \frac{1}{\lambda_a} \quad (35)$$

$$T_a = \int_{t=a}^{\infty} t \frac{b a^b}{t^{b+1}} dt = \frac{b a}{b-1} \quad (36)$$

Параметар b се изводи на основу претходних израза и одређен је са:

$$b = \frac{\sigma}{\sigma - \lambda_a} \quad (37)$$

Паретов модел дистрибуције мрежног саобраћаја у симулационом моделу се користи првенствено за опис токова мрежног саобраћаја са дефинисањем случајних и тренутних брзина генерисања података на извору, посредством апликативних сервиса са којима се неочекивано упућују захтеви за дистрибуцију података.

Такође, овај модел се користи и за опис међу-интервала наласка пакета уз дефинисање случајних периода генерисања између суседних пакета.

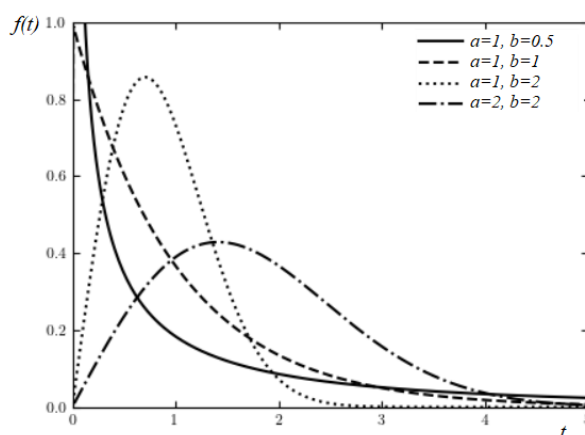
3.1.1.7 Вејбулов модел мрежног саобраћаја

Вејбулов (Weibull) модел мрежног саобраћаја спада у теже обликован статистички процес и описује интензиван мрежни саобраћај са тренутним случајним и фиксним брзинама наиласка пакета у временским тренуцима када извор података постане активан и у току временског периода док је извор података активан. Вејбулова функција дистрибуције је континуална функција у таквом случају је одређена са:

$$f(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{b}\right)^a}, t > 0 \quad (38)$$

$$f(t) = a b^{-a} t^{a-1} e^{-\left(\frac{t}{b}\right)^a}, t > 0 \quad (39)$$

где су $a > 0$ параметар позиције временског тренутка (t) и $b \geq 0$ параметар облика функције расподеле (Слика 31.), која у случају када је вредност $b \leq 1$ има један облик који се мења у случају када је вредност $b > 1$.

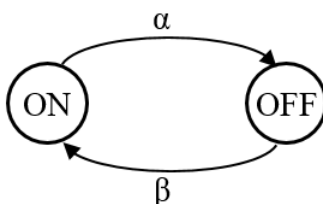


Слика 31. Вејбулова функција расподеле времена наиласка пакета

Вејбулов модел дистрибуције мрежног саобраћаја у симулационом моделу се користи за дефинисање изненадног и интензивног мрежног саобраћаја, и за одзиве мрежног апликативног сервиса заснованог на HTTP протоколу.

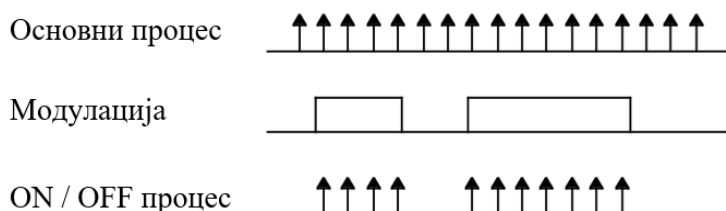
3.1.1.8 Марковљев модел дистрибуције мрежног саобраћаја

Марковљев (Markov) модел мрежног саобраћаја описује активност генерисања мрежног саобраћаја на извору, са одређеним стањима извора. Основни Марковљев модел је низ са два стања ON/OFF (Слика 32.) где су α и β вероватноће преласка из једног у друго стање.



Слика 32. Марковљев низ два-стања

У активном стању ON извор генерише податке константном брзином $1/T$, где је T међу-интервал наиласка пакета и исте вредности, док у неактивном стању OFF извор не генерише пакете. Познавање већег броја стања извора повећава тачност у примени овог модела, али повећава и његову сложеност за примену. Опис промене стања извора се може обликовати функцијом односно модулисати, што је у складу [38] једноставно приказано на *Слици 33*. где облик функције модулације у времену диктира активно и неактивно стање извора података.

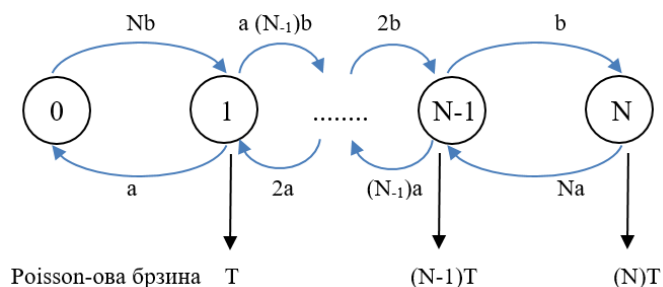


Слика 33. Модулација стања извора података

Карактеристика оваквог модела мрежног саобраћаја је да свако наредно стање извора зависи од тренутног стања, односно вероватноћа следећег стања ($X_n + 1$) зависи само од вероватноће тренутног стања (X_n) и од ниједног другог претходног стања. Скуп променљивих вредности вероватноћа којима се означавају сва различита стања чине тзв. Марковљев низ. Ако се стања извора мењају само у дискретним временским тренуцима тада је Марковљев низ дискретног времена и вредности вероватноће се представљају Геометријском функцијом дистрибуције. У случају континуланог времена са случајним временским тренуцима, вредности вероватноћа се представљају експоненцијалном функцијом дистрибуције. У Марковљевом моделу мрежног саобраћаја свако стање представља наилазак пакета, док се међу-интервал представља експоненцијалном функцијом дистрибуције.

3.1.1.9 Марковљев-Поасонов модел дистрибуције мрежног саобраћаја

Марковљев-Поасонов (Markov-Poisson) модел мрежног саобраћаја описује генерисање података код извора који су тренутни и интензивни и представља Марковљев низ модулисан Поасоновим процесом. Тренутно стање Марковљевог процеса се дефинише функцијом дистрибуције мрежног саобраћаја. Наведено указује да је овај модел двоструко стохастички процес где се интензитет Поасоновог процеса истовременог генерисања података на изворима $(0, 1 \dots N-1, N)$ дефинише и стањима Марковљевог низа (*Слика 34.*) и где је међу-интервал наиласка пакета (a, b) одређен експоненцијалном функцијом дистрибуције [40]. Примена Поасоновог модела дистрибуције мрежног саобраћаја подразумева да се за брзину наиласка података са извора користи Поасонова функција дистрибуције.



Слика 34. Марковљев-Поасонов модел дистрибуције података из извора

У симулационом моделу Марковљев-Поасонов модел мрежног саобраћаја може се користити за истовремени опис мрежног саобраћаја који садржи податке и глас, где брзина наиласка пакета података и пакета гласа може бити различита.

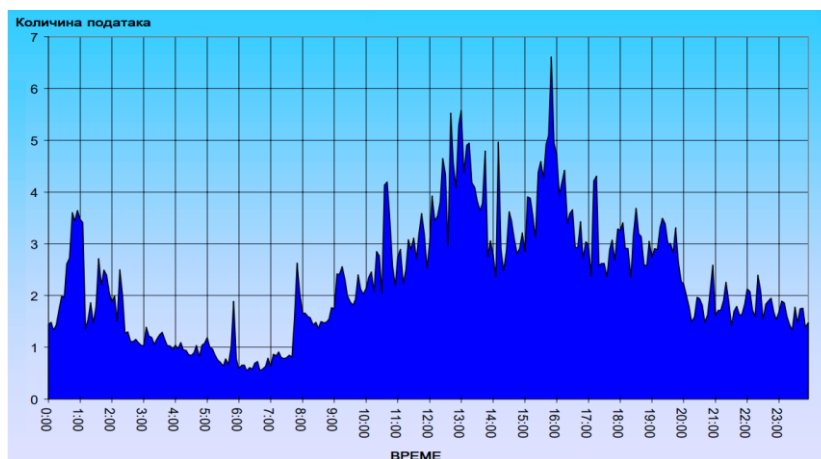
3.1.2 Модел снимљеног мрежног саобраћаја

Снимање мрежног саобраћаја у реалним комуникационим мрежама треба да омогући параметарско сагледавање „активности“ те мреже у времену, и на основу којег треба спроводити анализе о квалитету испуњења комуникационих захтева. За потребе израде симулационог модела спровођење анализе на основу резултата снимања треба да омогући дефинисање описног, математичког и статистичког модела снимљеног мрежног саобраћаја, на начин да се може имплементирати у симулациони модел ИТРМ. Снимљен саобраћај треба посматрати кроз параметре који показују карактеристике података и који се технички могу мерити:

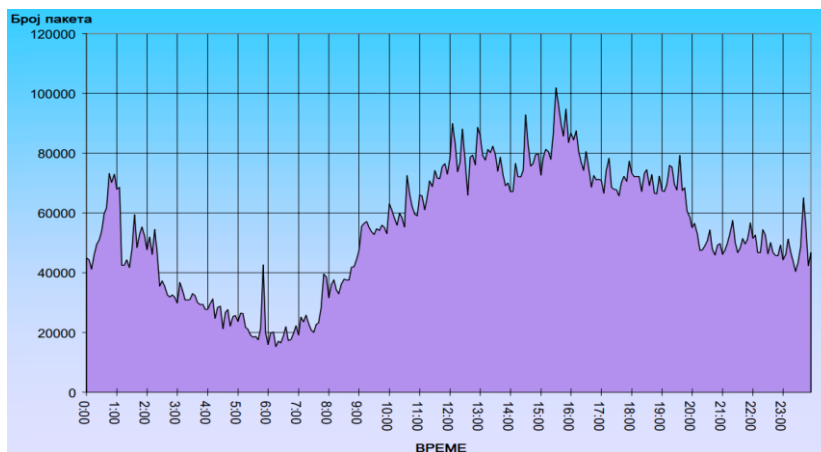
- Проток (константан или променљив).
- Кашњење и варијација кашњења, услед техничких карактеристика извора, мрежне комуникационе технике и технологије преноса на линковима, загушења у мрежи.
- Време синхронизације генерисања података на извору и пријема на одредишту.
- Интезивност промене мрежног саобраћаја у односу на измерени вршни проток (максималну брзину) у односу на средњу брзину.

Анализом снимљеног мрежног саобраћаја треба уочити да ли постоји изражена мања или већа временска зависност преноса од типа података (говор, алфанумерици, симболи, слика, видео итд.) који се преносе, типа апликативног сервиса којим се генеришу, односно протокола који се користе за пренос тих података.

Резултати мерења снимањем у току временског интервала се могу приказати графички, као количина мрежног саобраћаја примером који је дат на Слици 35. или као број наишлих пакета (Слика 36.).

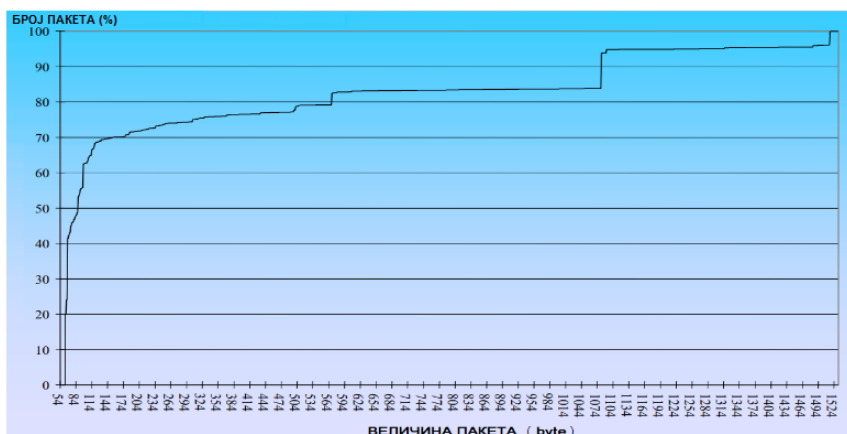


Слика 35. Количина података снимљена у комуникационој мрежи у времену



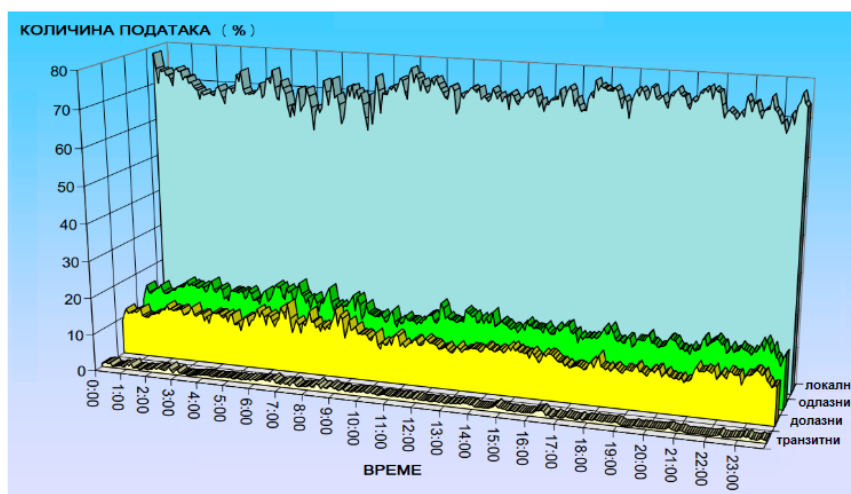
Слика 36. Број наишлих пакета снимљен у комуникационој мрежи у времену

Снимање броја и величине наишлих пакета у времену и графичко представљање резултата кумулативном расподелом примером који је дат на Слици 37.

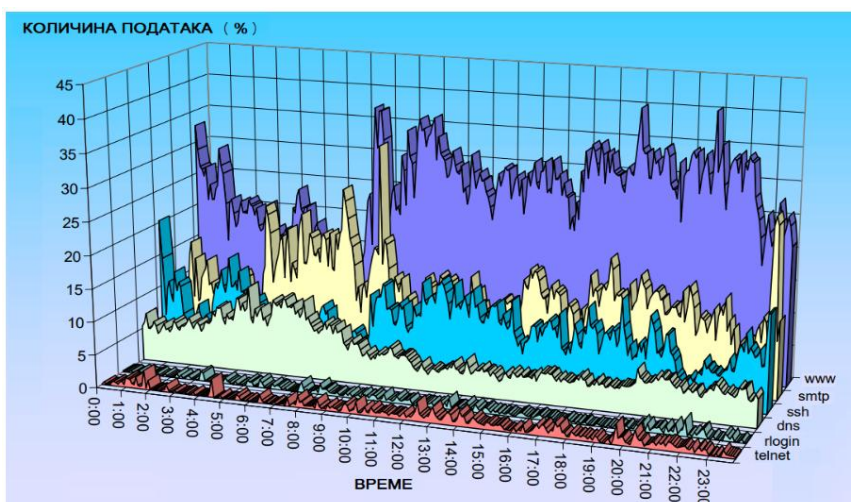


Слика 37. Кумулативна расподела броја наишлих пакета по величини снимљена у комуникационој мрежи у времену

Снимање количине пакета по типовима података према њиховом одредишту и пример приказа резултата који је дат на *Слици 38.*, а по типовима апликативних сервиса којима се генеришу и дистрибуирају у мрежи примером приказа који је дат на *Слици 39.*



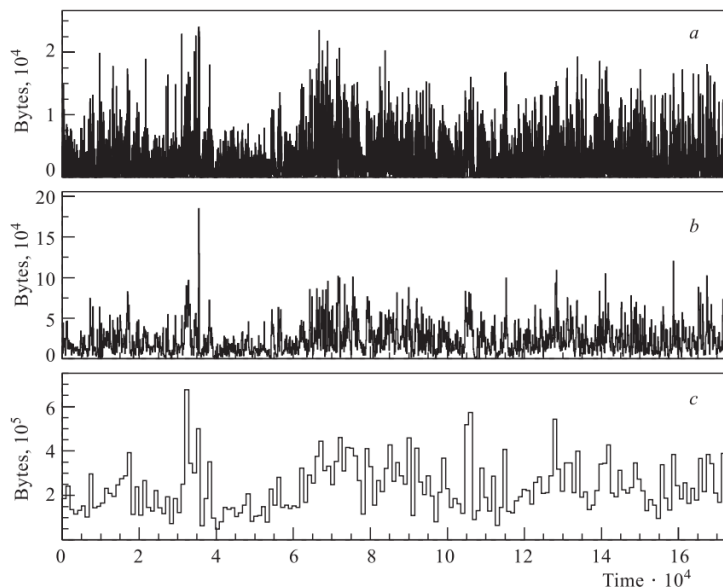
Слика 38. Количина мрежног саобраћаја снимљена у комуникационој мрежи по типовима података према одредишту



Слика 39. Количине мрежног саобраћаја снимљена у комуникационој мрежи по типовима апликативних сервиса

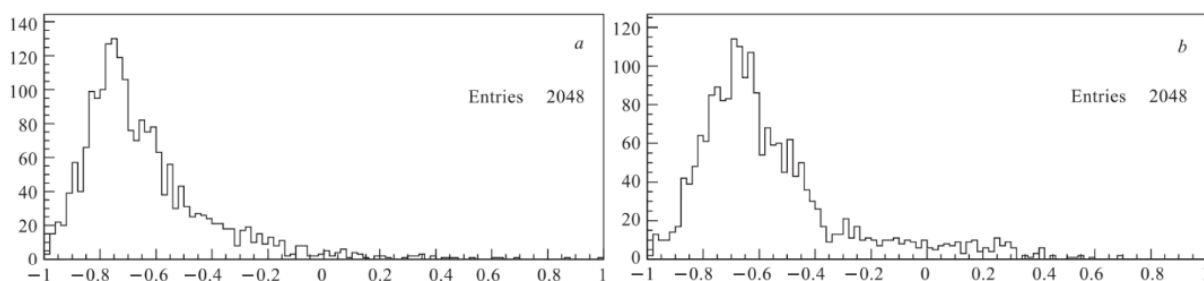
Дефинисање модела мрежног саобраћаја применом техничких метода које омогућавају наведено снимање реално заступљеног мрежног саобраћаја у некој комуникационој мрежи, заснива се на анализи снимљених параметара којима је одређен мрежни саобраћај и на основу чега се одговарајућим аналитичким методама спроводи статистички опис снимљеног мрежног саобраћаја одговарајућом функцијом расподеле.

За потребе истраживања као у [37] снимање мрежног саобраћаја често је заступљено у универзитетским локалним мрежама са већим бројем рачунара. Снимање саобраћаја се реализује у једној или више временских резолуција (интервал узорковања на 0.1 s , 1 s и 10 s) што је у [37] представљено на *Слици 40.*



Слика 40. Снимак мерења мрежног саобраћаја са различитом временском резолуцијом (0.1 s , 1 s , 10 s)

На основу резултата снимања на начин описан у [37] применом тзв. теорије хаоса спроводи се **нелинеарна анализа** хаотичне временске серије, након чега се врши естимација временски снимљеног мрежног саобраћаја, математичка корелација параметара (нпр. величина пакета) који карактеришу снимљен саобраћај, а затим реконструкција мрежног саобраћаја и извођење математичког модела нормализоване функције дистрибуције величине пакета (Слика 41).

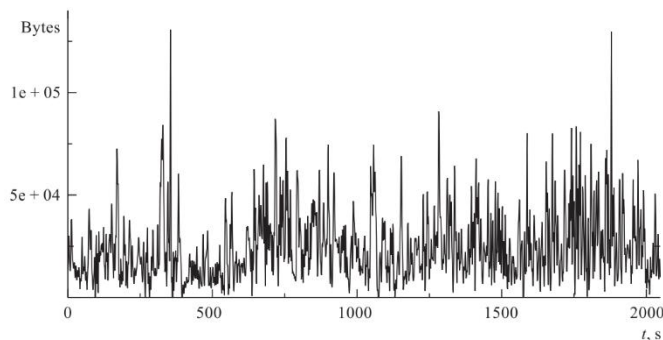


Слика 41. Дистрибуција величине пакета реконструкције мерења мрежног саобраћаја

Графички изведена функција дистрибуције се апроксимира са најсличнијом познатом функцијом расподеле, што је у овде приказаном случају log-normalна функција према [37] дефинисана са:

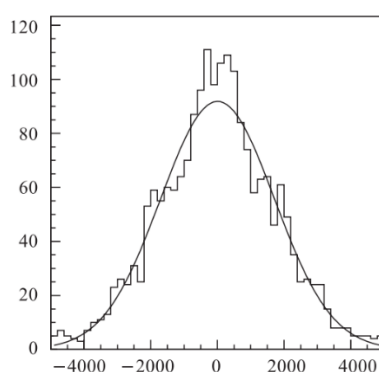
$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp \left[1 \frac{1}{2\sigma^2} (\ln x - \mu)^2 \right] \quad (40)$$

Осим извођења модела мрежног саобраћаја применом методе нелинеарне анализе у [37] је описана и примена **Caterpillar методе** за реконструкцију снимљеног мрежног саобраћаја (Слика 42.).



Слика 42. Реконструисана мерења мрежног саобраћаја Caterpillar методом

Даљим поступком реконструисан мрежни саобраћај се апроксимира статистичком функцијом дистрибуције која одговара нормалној Гаусовој дистрибуцији (Слика 43.).



Слика 43. Гаусова дистрибуција реконструисаног мерења мрежног саобраћаја

Сложеније методе реконструкције снимљеног мрежног саобраћаја су **спектрална анализа и таласно мерења сигнала мрежног саобраћаја**. Методе дефинисања модела мрежног саобраћаја на овај начин су у начелу описане у [37] и њихов крајњи математички опис је мање прихватљив за примену у симулационом моделу.

У [37] су наведени временски континуални и дискретни модели мрежног саобраћаја за чије се извођење захтева разумевање статистичких особина мрежног саобраћаја. Мерења на којима се првенствено заснивају овде наведени модели су интензивност наиласка података, дугорочна условљеност природе саобраћаја, фреквенцијска анализа, времена наиласка пакета, величина пакета и њихових заглавља. Модели дефинисани у [38] су општи за примену на било који тип мрежног саобраћаја, и додатно се обликују зависно од типа апликативног сервиса. Мерења се реализују техником „**њушкања пакета**“ (Packet Sniffer) у мрежном саобраћају или употребом технике за анализу протокола (Protocol analyzers) или снимањем мрежног саобраћаја на рутерима (router) применом протокола SNMP. Напреднији рутери имају могућност за снимање употребом NetFlow анализатора информационих токова (времена, количина података и пакета).

Модели једноставне статистике [38] се изводе на основу мерења извора података који се описује са временски променљивом брзином $X(t)$ у току континуалног времена или са X_n у дискретним временским тренуцима. Мерења количине генерисаних података се реализују у кратком временском интервалу, и брзина мрежног саобраћаја се представља као временски дискретан процес X_n .

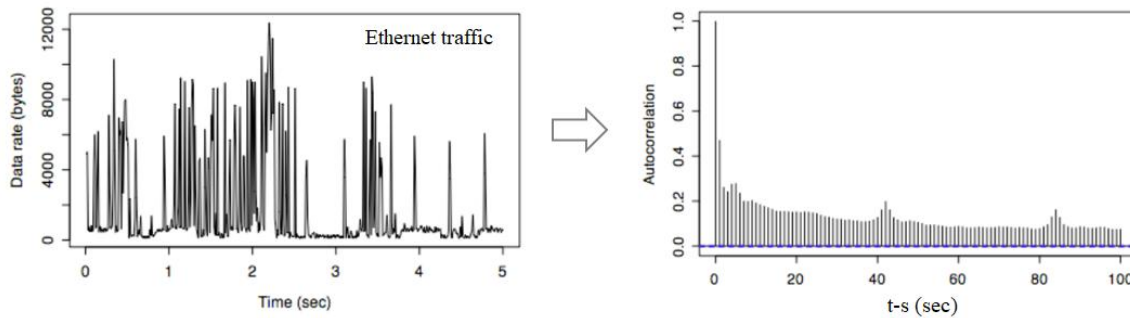
Такође, мрежни саобраћај је одређен и временским тренуцима наиласка пакета $(t_1, t_2, \dots, t_n)$, међу-интервалом наиласка $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ и кашњењем наиласка $|t-s|$. Извођење статистике полази од функције аутоковаријансе:

$$R_X(t, s) = E[(X_t - E(X_t))(X_s - E(X_s))] \quad (41)$$

Први ред статистике су вршна брзина (Throughput) и средња брзина (Mean rate) мрежног саобраћаја и које се могу измерити. Функција дистрибуције се може добити **естимацијом вредности са хистограма**. Други ред статистике подразумева варијансу и функцију аутокорелације према следећем:

$$\rho_X(t-s) = \frac{R_X(t-s)}{R_X(0)} \quad (42)$$

Пример функције аутокорелације на овај начин изведене за снимљени Ethernet саобраћај је дат у [38] и приказан је на *Слици 44*.



Слика 44. Функција аутокорелације изведена за снимљени Ethernet саобраћај

Мерење промене интензивности (*burstiness*) мрежног саобраћаја је један метод који може да укаже на променљивост. У складу дефиниције интензивности мрежног саобраћаја као односа вредности вршне брзине и средње брзине се не може извршити потпуна естимација, уколико нема временске димензије. Друга могућност за извођење модела мрежног саобраћаја наведена у [38] је да се за снимање интензивности саобраћаја дефинише статистичка променљива квадрат коефицијента варијације ($c^2(X)$) који брзину мрежног саобраћаја описује као узорке случајне променљиве X , и дефинисаног са:

$$c^2(X) = \text{var}(X)/E^2(X) \quad (43)$$

где је c^2 квадрат коефицијента варијације нормализована вредност варијације променљиве X , нормализована са квадратом средње брзине мрежног саобраћаја $E^2(X)$. Да би статистички опис био тачнији, метода у [38] уводи параметар индекс дисперзије $I_c(t)$ који представља варијансу броја наиласка пакета до временског тренутка t , нормализовану са средњим бројем наиласка пакета, и дефинисаног са:

$$I_c(t) = \text{var}(N(t))/E(N(t)) \quad (44)$$

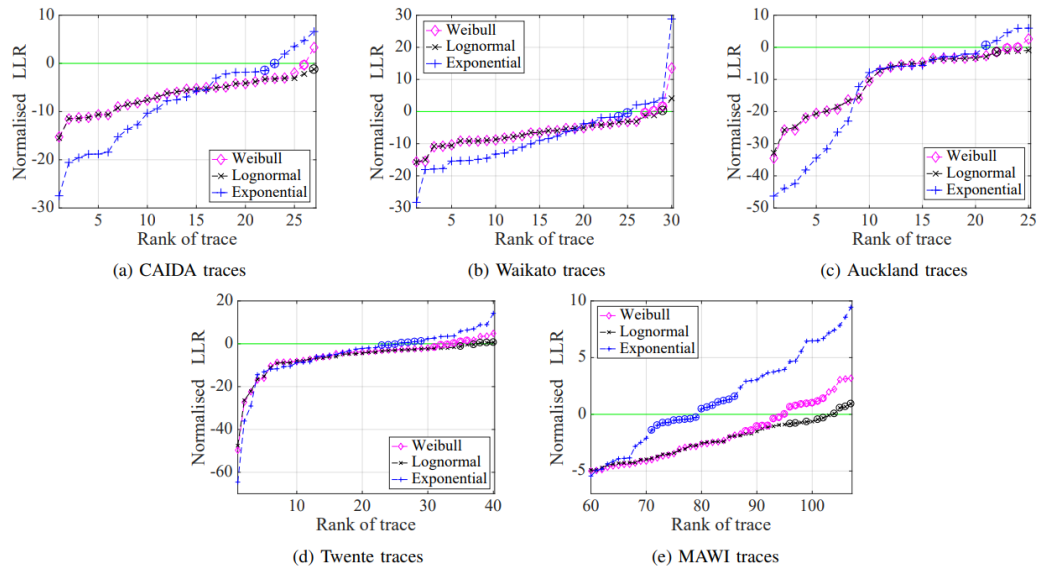
где је $N(t)$ број међу-интервала времена наилаaska пакета посматран у интервалу $\Delta t=(0,t)$. Тачнијим статистички опис модела сниманог мрежног саобраћаја омогућава и дефинисање индекса варијације количине података I_w дефинисаног са:

$$I_w(t) = \text{var}(Y(t))/E(Y(t)) \quad (45)$$

где је $Y(t)$ укупна количина података која је дистрибуирана у интервалу времена $\Delta t=(0,t)$. На овај начин дефинисани параметри једноставне статистике се могу употребити у симулационом моделу, пре свега применом на изворима података, али уз потребну временску синхронизацију варијација у снимљеном мрежном саобраћају.

У области моделовања мрежног саобраћаја посебна пажња је посвећена моделовању Интернет саобраћаја и одређивања одговарајућег статистичког описа. Дефинисање модела се углавном заснива на снимању Интернет саобраћаја у академским [40], комерцијалним и урбаним мрежама где се анализирају појаве у дужем временском интервалу. Статистички опис се углавном дефинише применом Гаусовог модела мрежног саобраћаја.

У циљу тачнијег описа поједина истраживања [39],[40] показују да је за опис модела Интернет саобраћаја боља примена других функција дистрибуције. Посматрају се сегменти Интернет саобраћаја у краћим временским интервалима снимања, односно за изабрани интервал времена $[iT, (i+1)T)$ врши се мерење количине података X_i , односно истражује се функција дистрибуције за променљиву X у опсегу вредности времена T . Истраживање у [39] приказује сложену статистичку анализу и методу која омогућава претходно наведено дефинисање модела мрежног Интернет саобраћаја другим функцијама расподеле и заснива се на комбиновању прилагођавања максималне вероватноће заснованих са тестовима подударана Колмогоров-Смирнов статистике и примени односа вероватноћа. Применом алтернативних функција дистрибуције се остварују различите вредности вероватноће чији се избор описа реализује упоређивањем односа вероватноћа применом Clauset's методологије, која дефинише начин избора у односу на задати критеријум. За мреже (CAIDA, Waikato, Auckland, Twente, MAWI) за које су у [39] извршени снимања мрежног саобраћаја за која је реализована и анализа примене функција дистрибуције (log-нормалне, експоненцијалне, Вејбулове) у временском интервалу $T=100$ ms изведени су графички приказани резултати (Слика 45.) према којима се врши анализа и избор функције дистрибуције која описује мрежни саобраћај.



Слика 45. Резултати односа вероватноћа функција дистрибуције за опис модела снимљеног мрежног саобраћаја и избор дистрибуције Clauset's методом

Приказани модел за опис Интернет мрежног саобраћаја уз претходну примену поступка датог у [39] се може применити и у симулационом моделу комуникационе мреже у којој се захтева дистрибуција овог типа мрежног саобраћаја.

Супер статистички модел описан у [51] заснован на снимању Интернет саобраћаја великог интезитета се предлаже за моделовање мрежних чворова са нестационарним моделом функционисања. Модел који је описан у овом истраживању статистички је комплексан, повезује више функција дистрибуције за опис различитих параметара, описује механизам агрегирања мрежног саобраћаја на мрежним комуникационим чворовима. Укључује тзв. дугорочне корелације између механизма брзина приступа извора и одредишта података на комуникациону мрежу и тиме омогућава процене дистрибуције међу-интервала наиласка интезивног мрежног саобраћаја изнад одређеног прага, а што су важне величине за разумевање настанка преоптерећења у мрежним чворовима и на комуникационим линковима. За примену у симулационом моделу захтева детаљну и комплексну анализу којом би се успоставила корелација између потребних параметара и времена.

3.1.3 Модел само-сличности

Када се код снимљеног мрежног саобраћаја у периодичном временском интервалу уочава сличност у наиласку података, тада постоји само-сличност (Self-similarity) мрежног саобраћаја који има тенденцију дуготрајне зависности у времену. Извођење модела само-сличног мрежног саобраћаја захтева и одређен статистички опис у којем се користе тешко-обликоване функције дистрибуције (*heavy-tailed distribution*) које одражавају дуготрајност су. Полазна основа за статистички опис само-сличности мрежног саобраћаја се према [16] своди на временски дискретан случајни процес $X(n)$ у којем настаје низ случајних вредности означен са $\{X_0, X_1, \dots\}$ и где се за вишеструки сложен случајни процес X^m узорци вредности дефинишу са:

$$X_i^{(m)} = \frac{1}{m} [X_{im} + X_{im+1} + \dots + X_{(i+1)m-1}] \quad , \quad i \geq 0 \quad (46)$$

Процес је само-сличан ако је испуњен следећи услов повезаности процеса X и $X^{(m)}$:

$$X^{(m)} = \frac{1}{m^{(1-H)}} X \quad (47)$$

где је H - Харстов (Hurst) параметар само-сличности чије су вредности $0.5 < H < 1$ и који показује трајност процеса. Средње вредности процеса X и $X^{(m)}$ треба да буду једнаке :

$$E(X) = E[X^{(m)}] = \mu \quad (48)$$

Функције аутоковаријансе процеса X и $X^{(m)}$ треба да буду једнаке :

$$E[(X(n+k) - \mu)(X(n) - \mu)] = E[(X(n+k)^{(m)} - \mu)] \quad (49)$$

Основна статистичка карактеристика само-сличног случајног процеса је да показује дуготрајну зависност када аутокореелациона функција или функција аутоковаријанса постоје за велике вредности n . Функције дистрибуције су у том случају тешко обликоване дистрибуције.

Начин да се дефинише модел само-сличног мрежног саобраћаја је примена тешко-обликоване функције дистрибуције за међу-интервале наилазка пакета. Функција дистрибуције је тешко-обликована ако испуњава следеће карактеристике [16]:

$$1 - F(x) = p(X > x) \sim \frac{1}{x^\alpha} \quad (50)$$

да варијанса има велику или бесконачну вредност и параметар облика (α) је $0 < \alpha < 2$. Тешко-обликована функција дистрибуције која се примењују у моделовању само-сличног мрежног саобраћаја је Паретова функција и α -стабилна дистрибуције дата у [47],[48].

3.1.3.1 Паретова функција дистрибуције

Основни статистички математички опис Паретове функције дистрибуције је дефинисан са (27),(28),(29) у опису Паретовог модела дистрибуције мрежног саобраћаја у тачки 3.1.1.6. У случају дефинисања модела само-сличности мрежног саобраћаја Харстов параметара H који одговара Паретовој функцији дистрибуције је дат са [16]:

$$H = \frac{3-b}{2} \quad (51)$$

Применом Паретове функције дистрибуције може се дефинисати **интезивни извор података** који одређују параметри минимална брзина генерисања пакета ($\lambda_{\min}$), средња брзина генерисања пакета (λ_a) и максимална брзина генерисања пакета на извору (σ). Параметри a и b који дефинишу облик Паретове функције дистрибуције $f(t)$ су одређени у (30) и (31). Са наведеним параметрима Паретове функције дистрибуције може се описати **информациони ток** [16]:

$$f(\lambda) = \begin{cases} 0 & , \lambda < \lambda_{min} \\ \frac{ba^b}{\lambda^{b+1}} & , \lambda \geq \lambda_{min} \end{cases} \quad (52)$$

Временски *међу-интервал наилаaska података* се описује са (27). Употребом израза из (33) и (37) изводи се [16]:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{b-a}{b-1} \quad (53)$$

$$b = \frac{\sigma}{\sigma - \lambda_a} \quad (54)$$

Облик функције дистрибуције зависи само од средње брзине генерисања пакета (λ_a) и и максималне брзине генерисања пакета на извору (σ). У случају описа интезивног извора података тада је $b=1$ и $\sigma \gg \lambda_a$, а у случају описа извора са константном брзином генерисања података тада је $b \rightarrow \infty$ и $\lambda_a \rightarrow \sigma$.

Осим описаних модела мрежног саобраћаја за одређене случајеве интезивног саобраћаја, Паретове функције дистрибуције може се користити и за опис *чекања пакета у низу* за дистрибуцију што је такође математички описано у [16].

3.1.3.2 Модел мрежног саобраћаја произвољне брзине генерисања

Моделовање мрежног саобраћаја код којег се подаци на извору генеришу по општем модели или се генеришу произвољном брзином је у основи одређен векторима од K елемената према следећем [16]:

$$V_p = [p_0 \ p_1 \ \dots \ p_{K-1}]^t \quad (55)$$

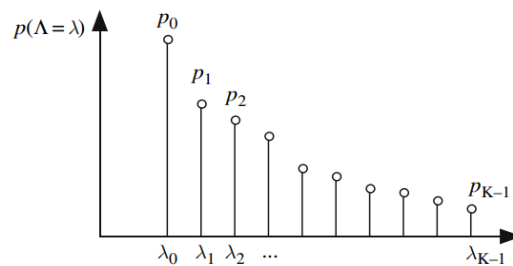
$$V_\lambda = [\lambda_0 \ \lambda_1 \ \dots \ \lambda_{K-1}]^t \quad (56)$$

V_p вектор садржи функције вероватноће, V_λ вектор садржи вредности брзина генерисања података. Максимална вршна брзина генерисања података (σ) и средња брзина генерисања података (λ_a) су одређене са [16]:

$$\sigma = \lambda_{K-1} \quad (57)$$

$$\lambda_a = \sum_{i=0}^{K-1} p_i \lambda_i \quad (58)$$

Функција дистрибуције $p(\Lambda=\lambda)$ приказана на *Слици 46*. приказује произвољне брзине генерисања података.



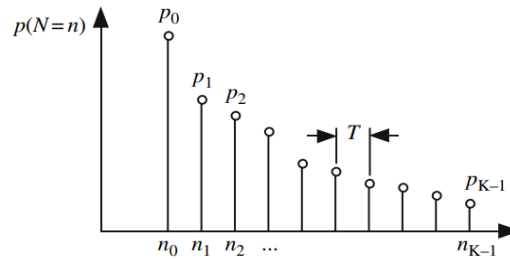
Слика 46. Функција дистрибуције произвољних брзина генерисања података

Временски међу-интервали наиласка пакета се дефинишу на исти начин где се уз V_p вектор који садржи функције вероватноће, V_n вектор садржи одговарајуће вредности времена међу-интервала наиласка пакета. Максимална вршна брзина генерисања података (σ) и средња брзина генерисања података (λ_a) су одређене са [16]:

$$\sigma = \frac{1}{n_0 T} \quad (59)$$

$$\lambda_a = \frac{1}{\sum_{i=0}^{K-1} p_i n_i} \quad (60)$$

Функција дистрибуције $p(N=n)$ приказана на Слици 47. приказује статистику произвољних n - вредности временских међу-интервала наиласка пакета.



Слика 47. Функција дистрибуције произвољних вредности времена међу-интервала наиласка пакета

3.1.3.3 Модел генератора само-сличног мрежног саобраћаја

Генерисање само-сличног мрежног саобраћаја за потребе израде симулационог модела захтева дефинисање и модела генератора података за дистрибуцију само-сличног мрежног саобраћаја. Математички модели таквих генератора су наведени у [46] од којих издвајам моделе **Fractional Gaussian noise** (FGN) - сукцесивни процес дељења јединице дужине сегмента на пола, математички дефинисан са [46]:

$$y_c = \frac{(y_1 + y_2)}{2} + h \quad (61)$$

h је случајна променљива дистрибуирана према нормалној Гаусовој расподели. Средња вредност (Mean) је једнака нула, варијанса (σ), растојање од средње тачке сегмента (r) и H - Хартсов параматар само-сличности дефинисано у [46]:

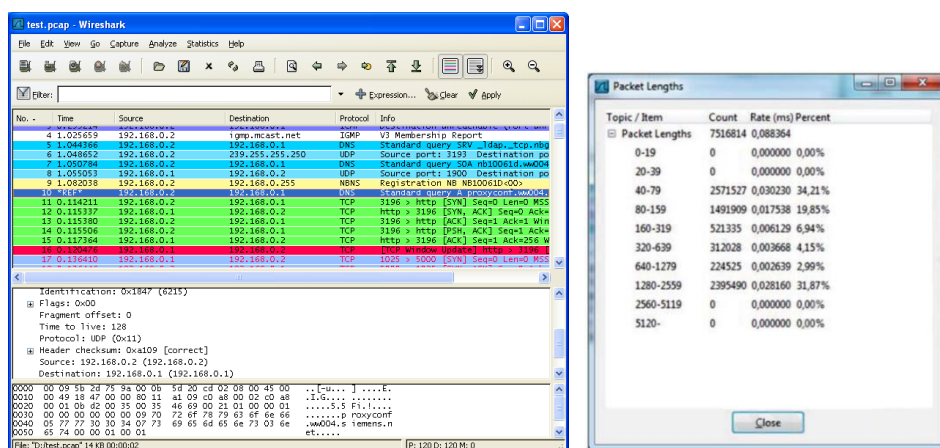
$$\sigma = r^H \quad (62)$$

$$r = \frac{(x_r - x_l)}{2} \quad (63)$$

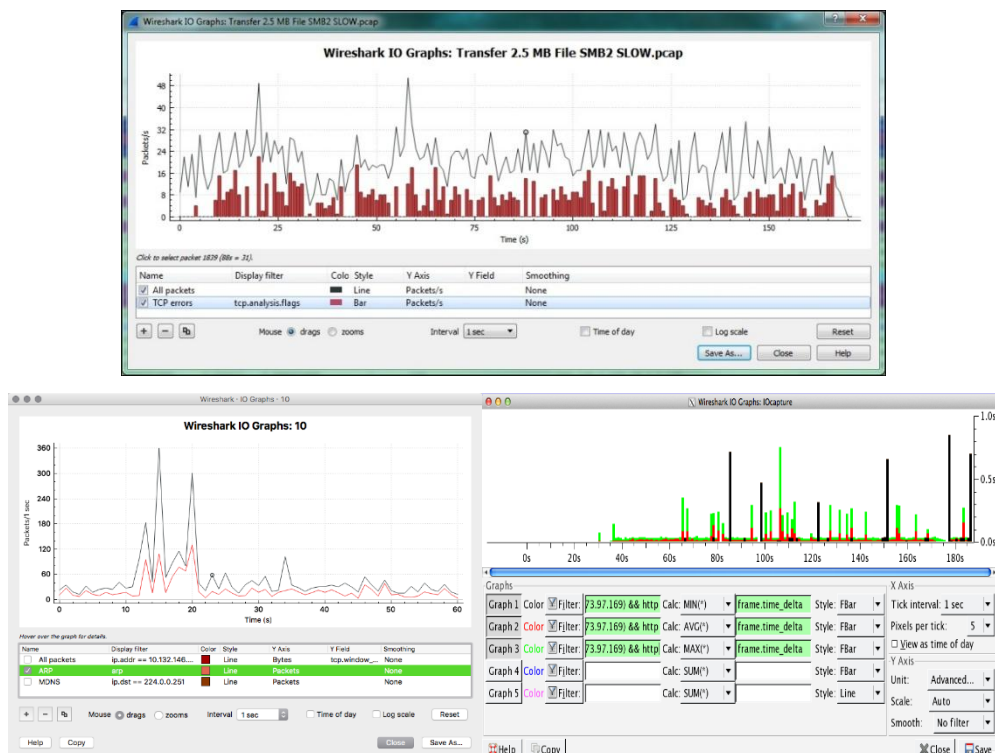
3.1.3.4 Модел само-сличности мрежног саобраћаја применом софтвера Wireshark и снимањем густине спектра снаге

Само-сличност мрежног саобраћаја се може дефинисати на основу анализе резултата снимања саобраћаја добијених применом софтвера за тзв. „њушкање“ пакета (snifer). Такав алат који је доста често заступљен у употреби за снимање мрежног саобраћаја у

LAN и који се користи за анализу комуникационе мреже је софтвер Wireshark. Омогућава снимање података у погледу слојева OSI мрежног модела, величине фајлова, величине и формата пакета и њихове енкапсулације (encapsulation), брзине генерисања на извору, брзине преноса и времена трајања преноса, мерење вршне брзине преноса на линковима, детекција протокола, приказ IP адреса извора и одредишта у комуникационој мрежи. Графички прикази снимања мрежног саобраћаја су приказани на *Слици 48.* и *Слици 49.* омогућавају анализу дугорочно условљеног мрежног саобраћаја. Метода снимања употребом софтвера Wireshark омогућава и временску анализу појединачних информационих токова апликативних сервиса и протокола на којима су засновани нпр. као што су Web (HTTP), E-mail (POP3, IMAP, SMTP), SSL, IPsec, IPv6.



Слика 48. Параметри и статистика снимања употребом софтвера Wireshark



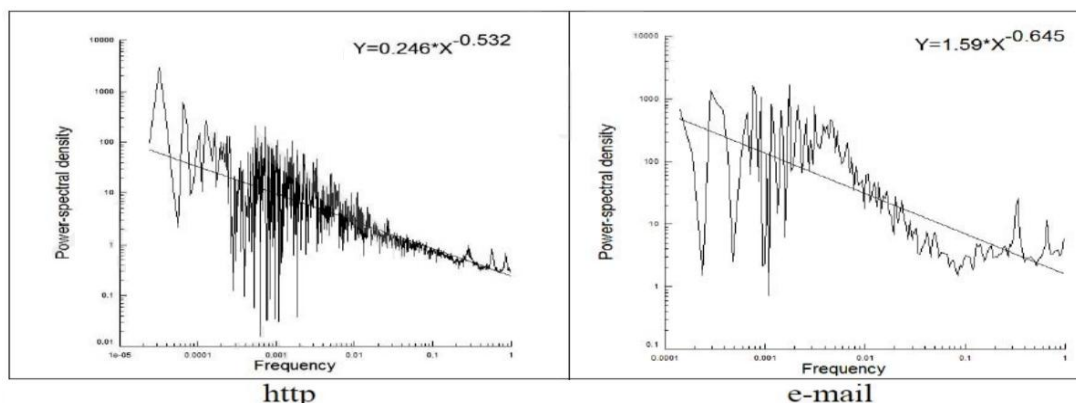
Слика 49. Графички приказ снимања мрежног саобраћаја у времену употребом софтвера Wireshark

Модел само-сличности мрежног саобраћаја се може реализовати анализом енvelope графичког приказа промене интензитета количине података и у случају снимања мрежног саобраћаја код којег протоколи нису идентификовани. Пример резултата снимања таквог мрежног саобраћаја спроведеног за потребе истраживања у [41] употребом софтвера Wireshark у трајања од 24 часа је приказан на *Слици 50*. где се види временска промена количине података мерена у bits/s и packets/s.

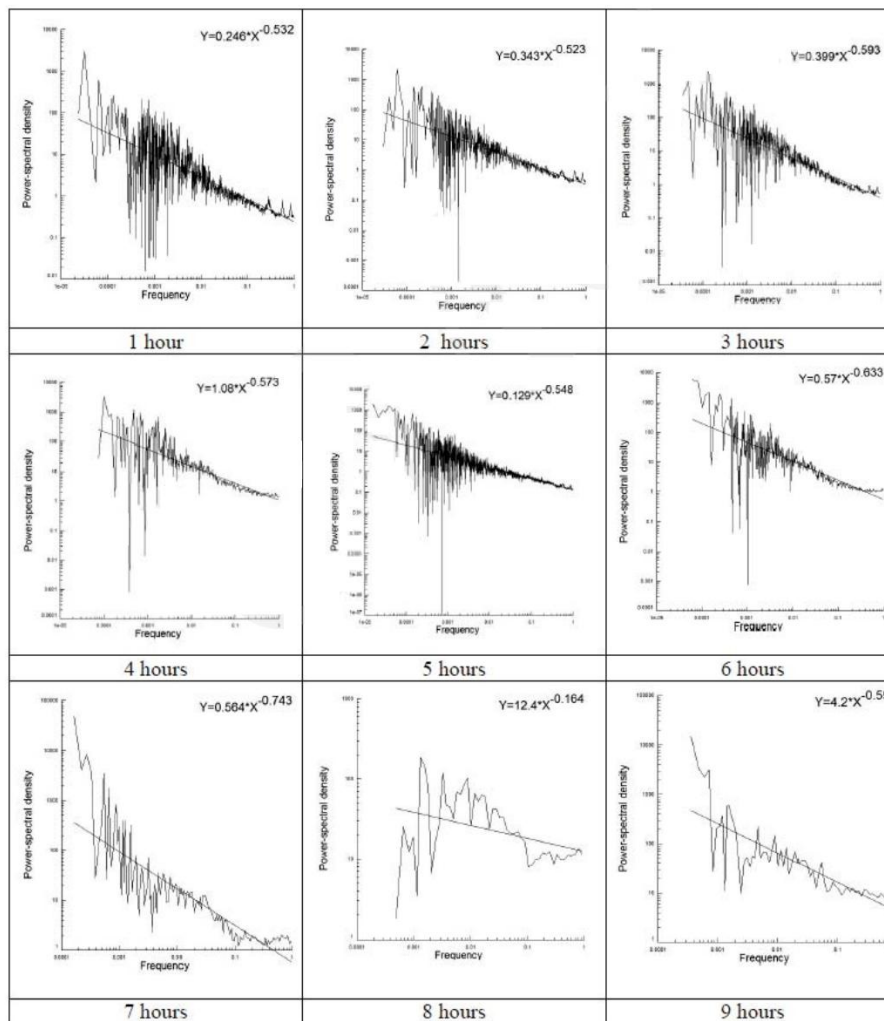


Слика 50. Интензитет мрежног саобраћаја у времену снимања

Истовремено методом у [41] реализује се и снимање спектра снаге сигнала за сваки апликативни сервис са детектованим протоколом у мрежи појединачно, што је приказано примером на *Слици 51*. где се види временска промена густине спектра снаге сигнала апликативног сервиса (http, e-mail) у трајању 24 часа. Ради уочавања постојања само-сличности, снимање спектра снаге сигнала сервиса се дели на краће временске интервале трајања од 1 часа што је према [41] приказано општим примером на *Слици 52*.



Слика 51. Густина спектра снаге сигнала сервиса (http, e-mail) мрежног саобраћаја трајања 24 часа



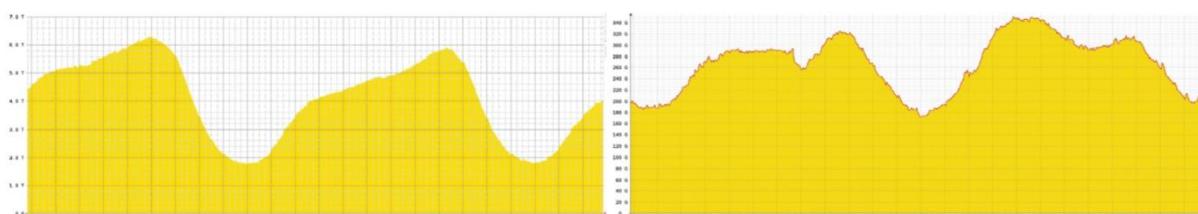
Слика 52. Густина спектра снаге сигнала сервиса мрежног саобраћаја трајања 1 час

На снимљеним графицима у временској резолуцији од 1 часа врши се израчунавање нагиба криве густине спектра снаге. Наведеном методом у [41], одређује се степен дуготрајне-зависности без обзира да ли процес припада Гаусовој или некој другој функцији дистрибуције. Део резултата у појединим временским интервалима одступа од тога да мрежни саобраћај има само-сличност, међутим анализа по издвојеним протоколима апликативних сервиса показује да је мрежни саобраћај само-сличан. Харстов параметар H има вредности у опсегу $0.5 < H < 1$ и резултат снимања у [41], показује да степен само-сличности мрежног саобраћаја зависи од интензитета и типа протокола. Анализом спектралне густине снаге као методе засноване на експерименту у [41] може се користити за потврду модела само-сличности мрежног саобраћаја.

3.1.3.5 Модел упоређивања мрежног саобраћаја применом хи-квадрат критеријума

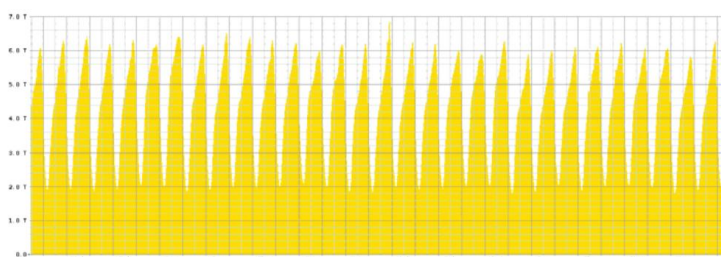
Примена модела полази од анализе која произилази из упоређивања резултата снимања истог типа мрежног саобраћаја и утврђивања постојања сличности и само-сличности, и на основу којег се статистичком анализом изводи функција дистрибуције.

Примена методе је наведена у [43] где је за потребе истраживања реализовано снимање Интернет мрежног саобраћаја (заснованог на web протоколу), на мрежним уређајима великог капацитета у различитим великим градовима (Франкфурт, New York) и државама (Немачка, Украјина, САД), у различитим интервалима временског трајања (дан, месец, година, више година). Резултати дводневног снимања интензитета web мрежног саобраћаја из [43] су ради поређења сличности графички приказани на Слици 53. где се уочава графичка сличност у промени интензитета мрежног саобраћаја, али и постојање различитости.

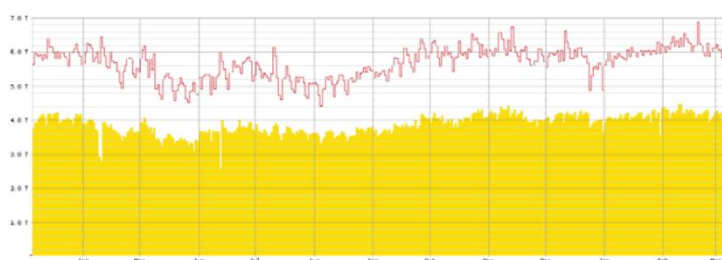


Слика 53. Двонадневни веб мрежни саобраћај у градовима Франкфурт и New York

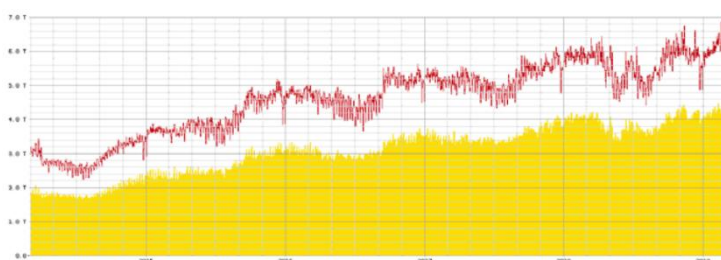
Како би се утврдило постојање сличности, снимање мрежног саобраћаја се реализује у дужем временском периоду, што је на основу резултата из [43] приказано за град Франкфурт месечно на Слици 54., годишње на Слици 55., 5-годишње на Слици 56..



Слика 54. Месечни веб мрежни саобраћај у граду Франкфурту

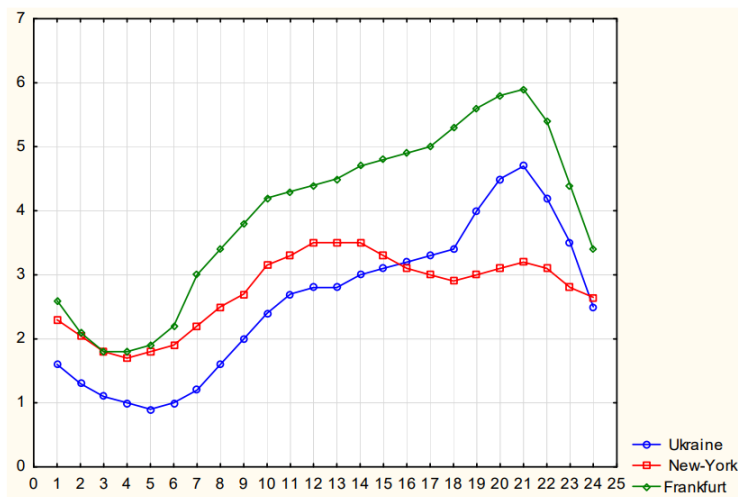


Слика 55. Годишњи веб мрежни саобраћај у граду Франкфурту



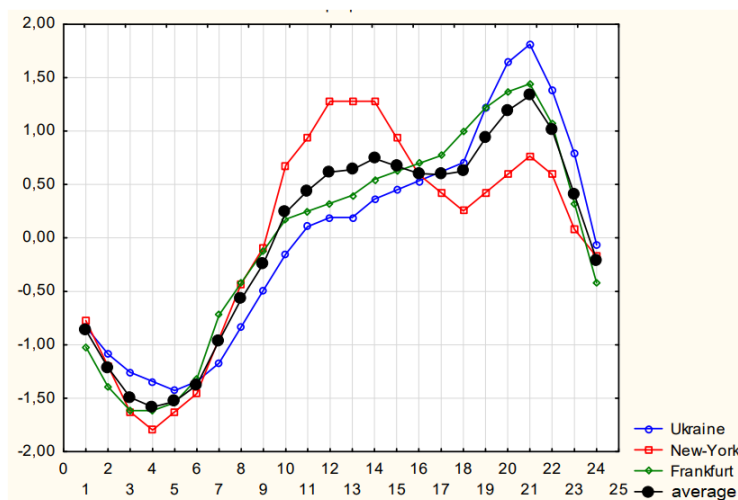
Слика 56. 5-годишњи веб мрежни саобраћај у граду Франкфурту

Графички прикази указују да снимање мрежног саобраћаја у што дужем временском периоду омогућава лакше уочавање сличности и поновљивости облика графика, уједно са повећавањем интензитета. Уочена сличност се може искористити у симулационом моделу за предвиђање могућег увећања потребних комуникационих капацитета мреже. Ради једноставније визуелне анализе и упоређења сличности, резултати снимања у [43] се свде на линеарни графички приказ (Слика 57.) промене интензитета web мрежног саобраћаја у току дана у наведеним градовима и држави.



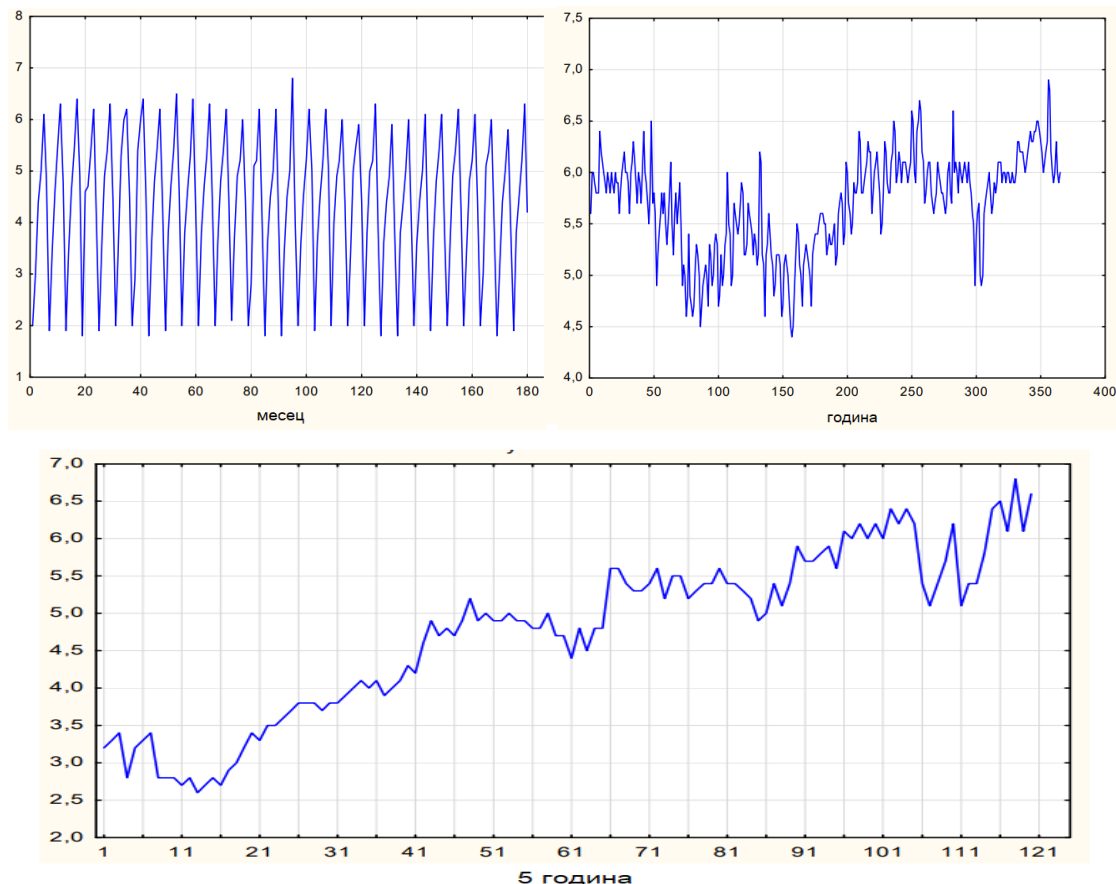
Слика 57. Графици интензитета мрежног саобраћаја у току дана

У даљој примени методе извођења модела мрежног саобраћаја врши се нормализација вредности интензитета у времену и упоређују се вредности са графика применом непараметарског хи-квадрат критеријума [43]. На основу упоређења израчунавају се средње вредности (mean) и графички приказују (Слика 58.), што у симулационом моделу омогућава дефинисање средње вредности интензитета мрежног саобраћаја.



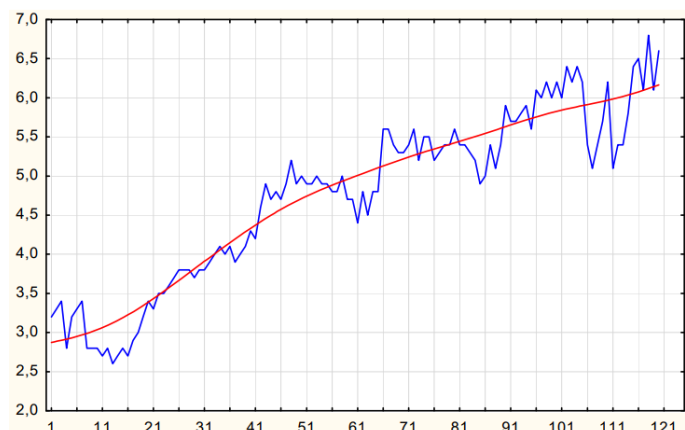
Слика 58. Нормализовани линеарни графици интензитета мрежног саобраћаја и средња вредност

Упоредивање нормализованих графова у [43] може се вршити одабиром случајних узорака вредности и применом Mann-on-Whitney критеријума, односно истовременим упоређивањем применом Kruskal-Wallis критеријума. Модел мрежног саобраћаја се може извести и упоређивати и за дуже временске периоде (месец, година, 5-година) на претходно описан начин и представити нормализованим графицима (Слика 59.) [43].



Слика 59. Нормализовани линеарни графици интезитета мрежног саобраћаја у дужем временском периоду (месец, година, 5 година)

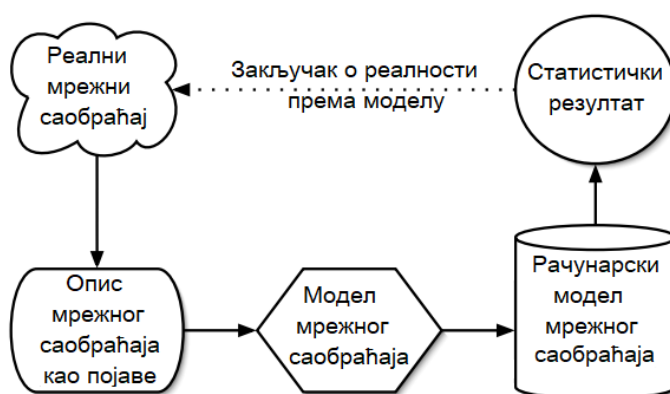
На основу линеарног графика се може графички приказати функција дистрибуције (Слика 60.) која у времену показује законитост промене интезитета мрежног саобраћаја.



Слика 60. Функција промене интезитета мрежног саобраћаја у времену

3.2 Избор модела мрежног саобраћаја

Тачност резултата симулације мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТРМ зависи од избора модела мрежног саобраћаја којим ће се он представити, односно зависи и од начина како се мрежни саобраћај као реални систем догађаја представља у оквиру изабраног модела. Сам појам модел представља замену за неку реалност која се у случају израде симулационог модела најпре описује, затим преводи у математички модел, а одатле у рачунарски модел и алгоритам који се у току симулације реализује као програм у рачунару, док је излаз његове примене у форми статистичког резултата који се посматра у односу на реалност коју модел представља. Наведену повезаност реалног мрежног саобраћаја као појаве и спрегу утицаја модела мрежног саобраћаја се најједноставније може представити на *Слици 61.* на одређен начин дат у [44].



Слика 61. Спрега утицаја реалног мрежног саобраћаја и модела мрежног саобраћаја

За пројектовање симулационог модела ИТРМ зависно од сложености комуникационих захтева, броја учесника у комуникацији, сервиса, и сложености матрице мрежног саобраћаја итд., у обзир треба узети квалитет модела мрежног саобраћаја. Квалитет се може утврдити у мери у којој описује реални мрежни саобраћаја и у складу тачности статистичких резултата симулације.

Међутим, уколико је избор модела погрешан или недовољно детаљно описан статистички резултати неће бити довољно тачни нити квалитетни да би показали сам квалитет изабраног модела мрежног саобраћаја. Дати начин је могућ, али захтева више итерација кроз процес симулације до добијања резултата у којима се може препознати реални систем [44]. Многобројни су и различити модели мрежног саобраћаја и методе којима се описује и начин на који се представља реални мрежни саобраћај, те је у тој мери и тежи избор модела за примену у симулационом моделу. Како вршити избор модела и које чињенице узети у обзир разматрају истраживања као што је [44] одакле је основна смерница дата са:

- Шта је реални мрежни саобраћај који треба описати, каква му је природа ?
- Које су основне карактеристике мрежног саобраћаја које треба описати ?
- Описати интеракције свих ентитета који учествују у мрежном саобраћају.

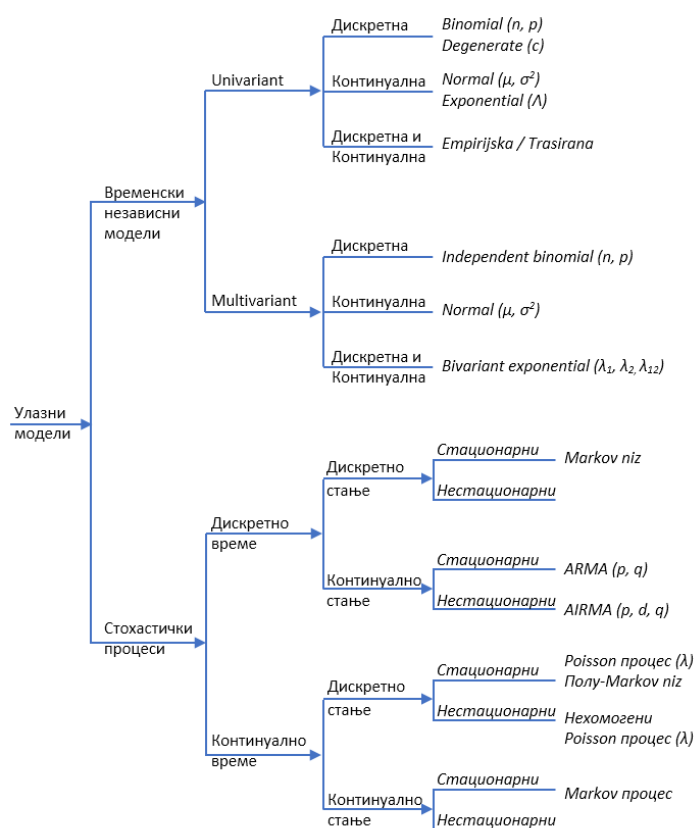
Осим тога избором модела мрежног саобраћаја у обзир узети следеће смернице [44]:

- **Мали модел** - Избор започети са мањим што једноставнијим моделом који упућује на природу реалног мрежног саобраћаја у систему који посматрамо. Много детаља у моделу не значи и његову већу тачност описа мрежног саобраћаја.
- **Постепено унапређење модела** - Основни изабрани модел побољшавати са карактеристикама којима се унапређује опис реалног мрежног саобраћаја.
- **Често тестирање** - Утврдити да ли резултати побољшаног модела приближније описују реални мрежни саобраћај.
- **Враћање назад и једноставност** - Одбацити побољшање или цео модел уколико нема напретка резултата.

Избор модела зависи од врсте и природе реалног система, односно реалног мрежног саобраћаја који треба описати. У погледу мрежног саобраћаја који је заступљен у ИТММ углавном је у питању систем дискретних догађаја (*Discrete Event Systems*) где се промене (догађаји) дешавају у одређеним (дискретним) временским тренуцима $t=(t_1, t_2, \dots, t_n)$, у оквиру временског интервала Δt . Симулација мрежног саобраћаја који је по својој природи систем дискретних догађаја се реализује симулацијом дискретних догађаја (*Discrete Event Simulation-DES*). Модел мрежног саобраћаја који је потребан за имплементацију у такав симулациони модел својим описом и начином представљања треба да омогући опис реалног дискретног мрежног саобраћаја.

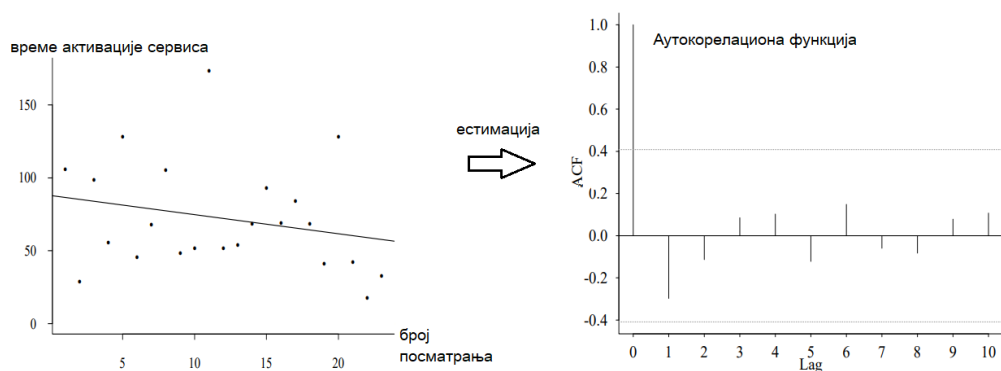
Модел мрежног саобраћаја за реализацију дискретног симулационог модела (DES) се може изабрати на основу низа улазних питања која могу да помогну у анализи потребних модела. Питања се односе на моделовање тј. на одређивање природе модела којим треба описати активност елемената мрежног саобраћаја у дискретном симулационом моделу, односно на времена догађаја апликативних сервиса, времена генерисања података на извору и времена наилаaska података. У том погледу активни мрежни елементи у дискретном симулационом моделу се могу дефинисати у односу на стохастичке или временски независне моделе. Истраживање у [52] дефинише таксономију избора улазног модела приказану на *Слици 62*. чијом се употребом, следећи ток питања, може олакшати избор улазних модела елемената.

Модели наведени у датој таксономији [52] се могу разматрати за сваку променљиву која има улогу у опису догађаја у комуникационом процесу, односно у догађају мрежног саобраћаја. Разврстани су према томе да ли постоји једна или више променљивих, и да ли их дефинише функција дистрибуције која је дискретна, континуална или је комбинована.



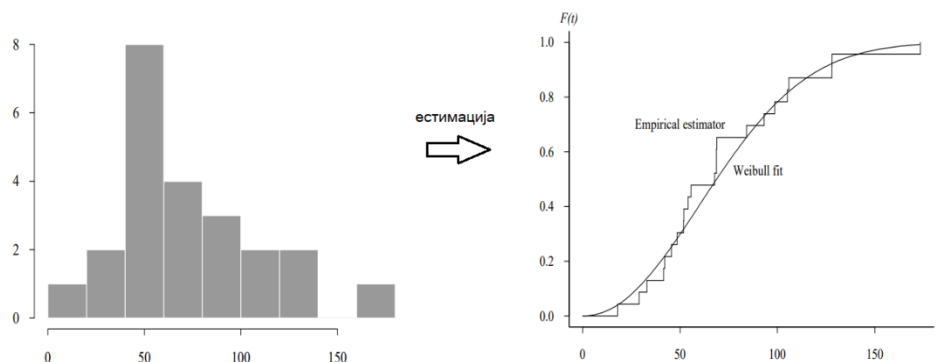
Слика 62. Таксономија за избор улазног модела елемената мрежног саобраћаја дискретног симулационог модела

Пример избора модела за опис времена апликативних сервиса је дат у [52] и може бити смерница, која је овде укратко описана. У датом примеру времена појаве (активације) апликативног сервиса у оквиру мрежног саобраћаја су неке конкретне вредности које су посматране и уочаване одређен број пута, и тиме се доводе у релацију која се представља графички (Слика 63.) из које се на начин дат у [52] врши анализа естимацијом приказаних вредности и успоставља аутокорелативна функција која је овде приказана графички.



Слика 63. Извођење функције аутокорелативности за времена активације сервиса

У следећем кораку се врши анализа вредности аутокорелационе функције и на основу којих се израчунавају вредности једноставне статистике и графички се израђује хистограм (Слика 64.) који својим обликом упућује на Гама (gamma), иверзну Гаусову, Log нормалну и Вејбулову функцију дистрибуције. Естимацијом параметара за Вејбулову функцију дистрибуције у [52] изводи се функција дистрибуције $f(t)$ времена активације апликативног сервиса.



Слика 64. Извођење Вејбулове функције дистрибуције времена активације сервиса

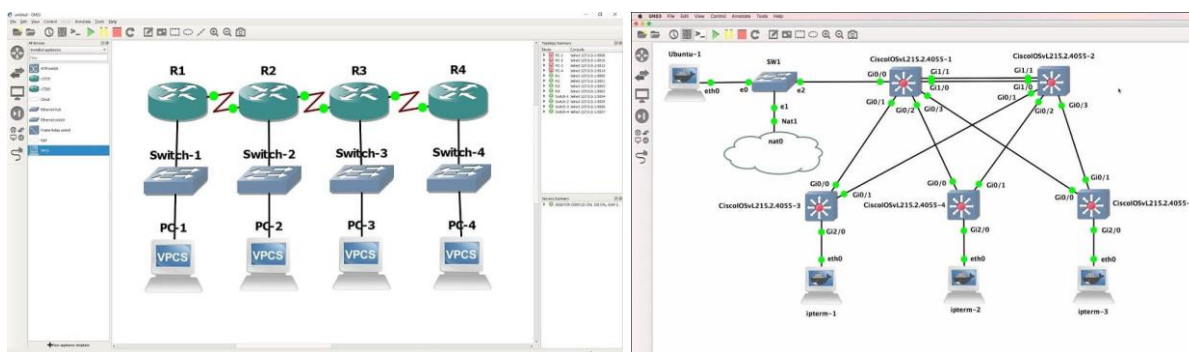
Овај укратко описани пример је само један од начина који може да олакша и упуту на избор одговарајућег статистичког модела мрежног саобраћаја.

Осим утврђивања модела мрежног саобраћаја, потребно је узети у обзир и основне карактеристике модела ИТРМ (преносни капацитет линкова, кашњења у преносу, механизми квалитета сервиса (QoS), битске грешке итд.) које имају утицај на дистрибуцију података, и одредити показатеље тог утицаја у току процеса симулације или кроз крајњи резултат. Такође, избор модела мрежног саобраћаја треба ускладити са захтевима комуникације у погледу преноса **количине података у времену**. Основа од које се полази и појава коју треба посматрати је улазни ток података у времену, који прво треба статистички описати и изабрати модел мрежног саобраћаја. Сви даљи процеси догађања мрежног саобраћаја у ИТРМ су последица примене модела улазног тока података, и утицаја елемената и ресурса мреже (описани у претходном поглављу) за реализацију симулационог модела ИТРМ. Да би се димензионо одредио утицај пројектованог модела мреже, и имао показатељ у избору модела мрежног саобраћаја може се разматрати и параметар информациони ресурс (IR) дат у [45] који је дефинисан за 1., 2., 3. и 4 слој OSI мрежног модела. IR је математички дефинисан тако да за сваки од наведених OSI слојева појединачно, у прорачун укључује основне комуникационе параметре модела ИТРМ на том слоју [45] и бројчаном вредношћу показује могућ већи или мањи утицај на улазни ток података. Реализацијом симулације модела ИТРМ у више итерација и посматрањем статистичких резултата од интереса, у односу на изабрани модел мрежног саобраћаја и информациони ресурс, може се анализирати и предвиђати понашање пројектованог модела ИТРМ у односу на изабрани модел мрежног саобраћаја и доносити закључак. Узимајући у обзир све наведено у овом поглављу потребно је спроводити анализу сваког елемента који утиче на механизам мрежног саобраћаја у ИТРМ и направити избор модела који тај саобраћај може да опише, и при том утврдити могућност за имплементацију у софтвер за израду симулационог модела.

3.3 Симулациони алати

Пројектовање сложених комуникационих мрежа које захтева и имплементацију модела мрежног саобраћаја се реализује методом симулације и употребом софтверских апликација које су израђене као симулациони алати са наменом да омогуће израду мреже у форми симулационог модела и изврше симулацију њеног функционисања. Процеси симулације који се спроводе су засновани на сложеним механизмима у које су уграђени математички модели, базе података са знањима, стандардима из домена комуникација и телекомуникација, модели комуникационе технологије и технике, географски информациони систем. Софтвери који обухватају већу базу података са знањима из наведених домена, и могућностима да пројектант у симулациони модел преслика све елементе које треба да има будући или има постојећи физички модел мреже, су напредни симулациони алати. Такви симулациони алати имају своју употребну и економску вредност што их и издваја у овој области. Постоје мањи, већи и веома комплексни симулациони алати, и овде су наведени само поједини који имају могућност да симулацију пројектоване тополошке структуре реализују применом одређеног модела мрежног саобраћаја.

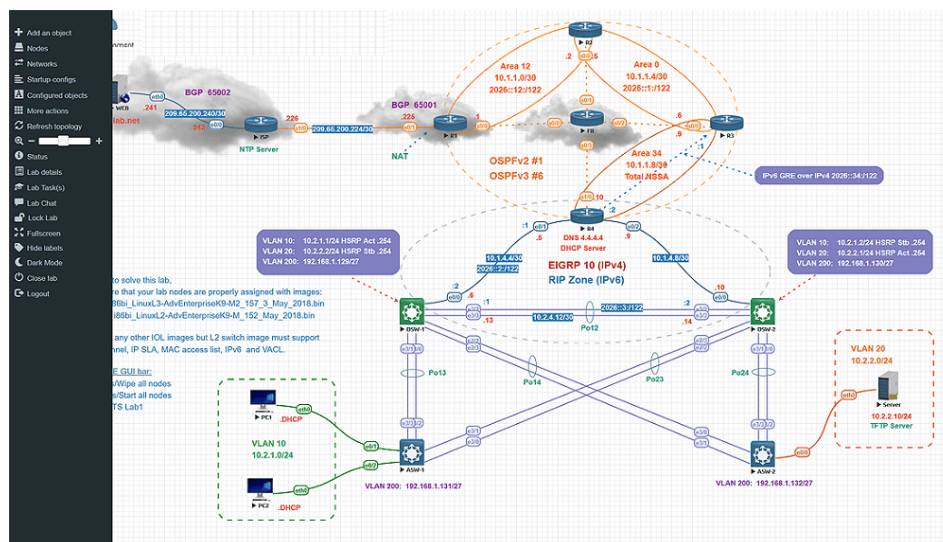
GNS3 – Graphical Network System 3 [<https://www.gns3.com/software>] софтверски алат за симулацију/емулацију комплексних мрежа и сценарија, са употребом реалних харверских и виртуелних техничких комуникационих уређаја. GNS3 спада у ред најбољих симулационих алата који омогућава пројектовање, израду симулационог модела телекомуникационих и рачунарских мрежа, подешавање и тестирање комуникационог сценарија на рачунару. Омогућава израду мреже без потребе за додатним хардвером, употребу готових модела уређаја великог броја произвођача, симулације реализује у реалном времену. Може се применити на оперативним системима Windows, Linux и Mac. Пример изгледа радног окружења GNS3 је приказан на *Слици 65*.



Слика 65. Графички интерфејс симулационог алата GNS3

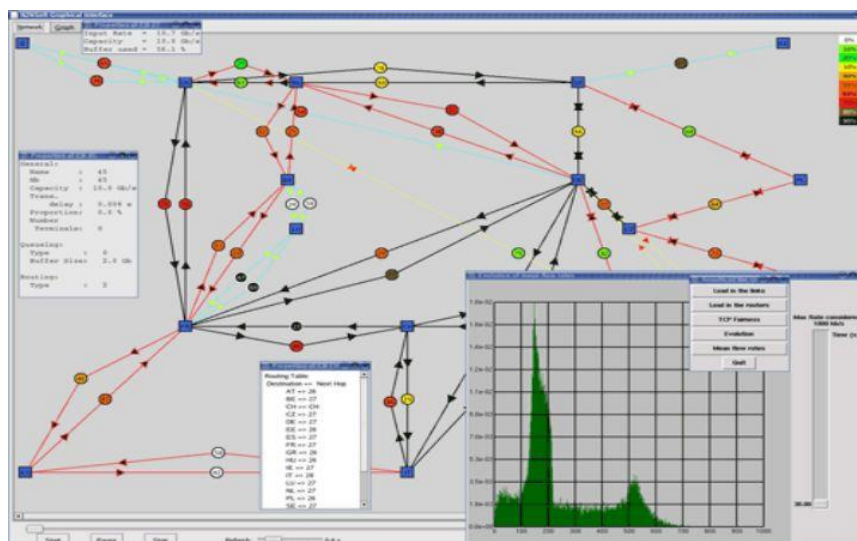
EVE-Emulated Virtual Environment [<https://www.eve-ng.net>] софтверски алат за мрежно виртуелно окружење који омогућава симулацију мрежа, мрежних сигурносних механизма. Употреба овог алата омогућава симулацију било које мреже или уређаја за мрежну сигурност, израду, планирање, подеђавање и тестирање сложених сценарија мрежног саобраћаја на рачунару. Такође, поседује базу готових модела уређаја великог броја произвођача. Омогућава повезивање и интеракцију са реалном физичком мрежом.

Пример изгледа радног окружења EVE симулационог алата је приказан на Слици 66.



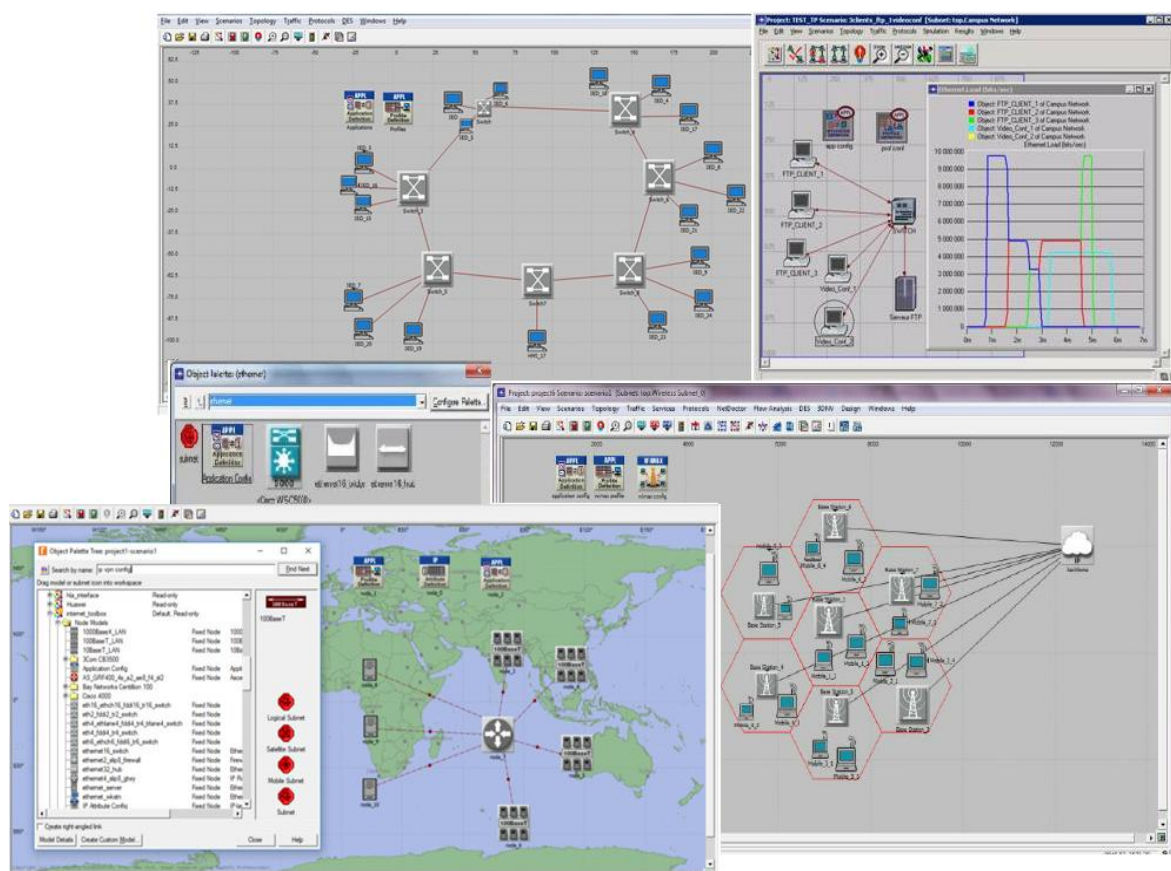
Слика 66. Графички интерфејс симулационог алата EVE

Network Simulator -NS3 [<https://www.nsnam.org>] је софтверски алат за симулацију дискретних мрежних догађаја. Омогућава подршку за симулацију употребе TCP протокола, протокола рутирања и протокола multicast комуникације, за жични и бежични пренос у мрежама, симулацију IP заснованих мрежа, и осталих мрежа. Јавно је доступан (open source) за употребу, истраживање, развој и едукацију. За израду симулационог модела доста добро је документован и једноставан за употребу од израде симулационог модела до анализе резултата. Има могућност интеракције са реалним физичким мрежама. Пример изгледа радног окружења NS3 симулационог алата је приказан на Слици 67.

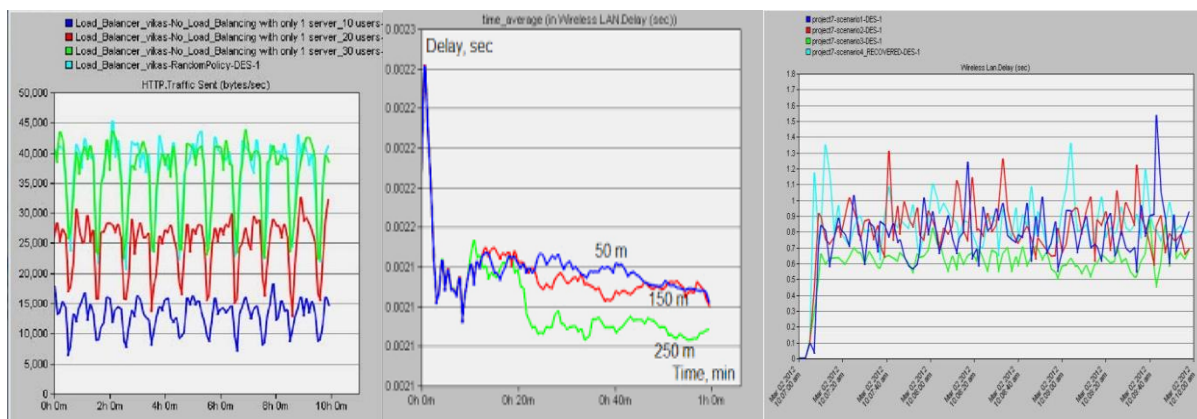


Слика 67. Графички интерфејс симулационог алата NS3

OPNET Network simulator [<https://opnetprojects.com/opnet-network/>] је експертски симулациони алат који омогућава планирање и пројектовање мреже, симулацију функционисања и карактеристике свих типова комуникационих мрежа. У односу на друге симулационе алате је веома напреднији и има већу разноврсност употребе. Постоји више независних OPNET апликација које се могу наменски примењивати за пројектовање, и међу њима се издвајају OPNET Modeler, OPNET IT Guru који осим израде интегрисаних телекомуникационих и рачунарских мрежа, симулације сложених топологија и сценарија, омогућавају и пројектовање протокола и модела уређаја. Омогућава примену и симулацију великог броја протокола у хетерогеним мрежама и поседује огромну базу готових модела уређаја различитих произвођача. Посебно омогућава анализу рада мрежно заснованих апликација које се могу дефинисати у симулационом моделу. Предност коју поседује у односу на друге алате је и могућност анализе исправности пројектовања мрежа у складу правила, стандарда и прописаних процедура. OPNET симулациони алат омогућава и следеће: оперативну валидацију, решавање проблема са апликацијама, валидацију архитектуре хардвера, моделовање протокола, моделовање мрежног саобраћаја у телекомуникационим и рачунарским мрежама, развој карактеристика у погледу сложених софтверских система, симулације дискретних догађаја, интеграција топологије из реалних физичких мрежа, дефинисање мрежног саобраћаја, избор многобројне статистике као резултата симулације, визуелизација резултата. Пример изгледа радног окружења OPNET симулационог алата је приказан на *Слици 68.* и пример статистичких резултата на *Слици 69.*



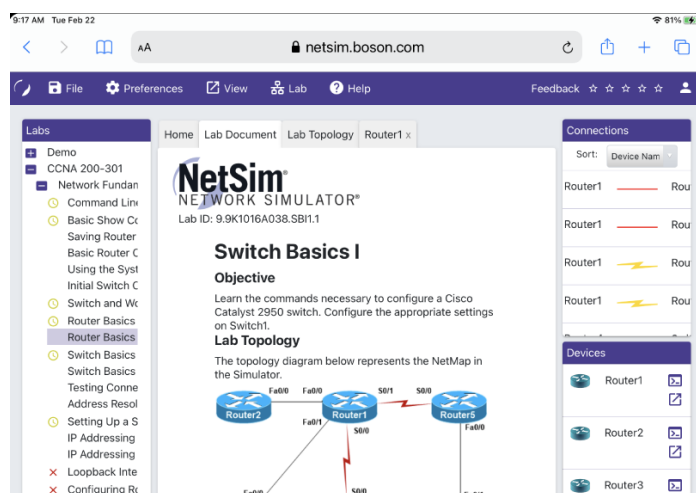
Слика 68. Графички интерфејс симулационог алата OPNET



Слика 69. Статистички резултати симулације симулационог алата OPNET

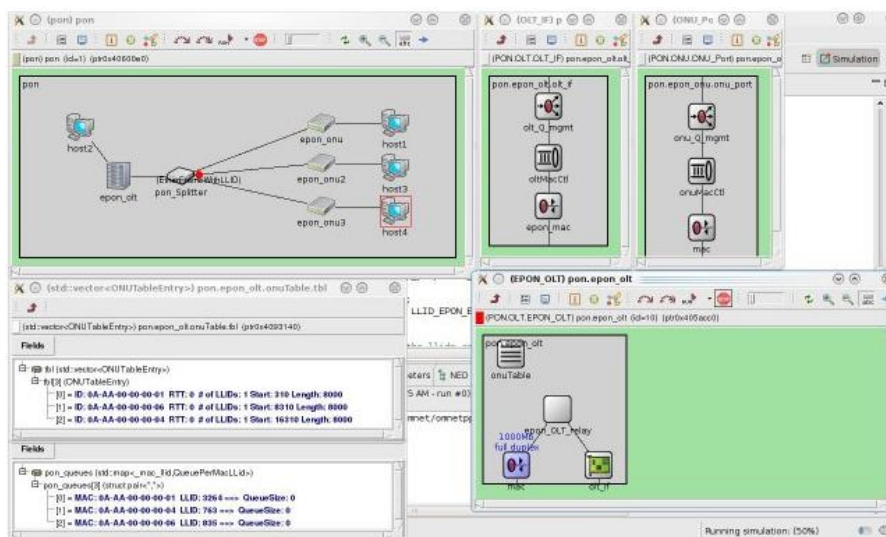
Осим претходно наведених напредних симулационих алата постоји и низ других који су у начелу концептуално описно дати анкетом у [53]:

NETSIM (Network Based Environment for Modelling and Simulation) [https://www.boson.com/netsim-cisco-network-simulator] са основном наменом за симулацију мрежа и система реализованих са Cisco мрежним уређајима и софтвером. Изглед радног окружења NETSIM симулационог алата је приказан на *Слици 70*.



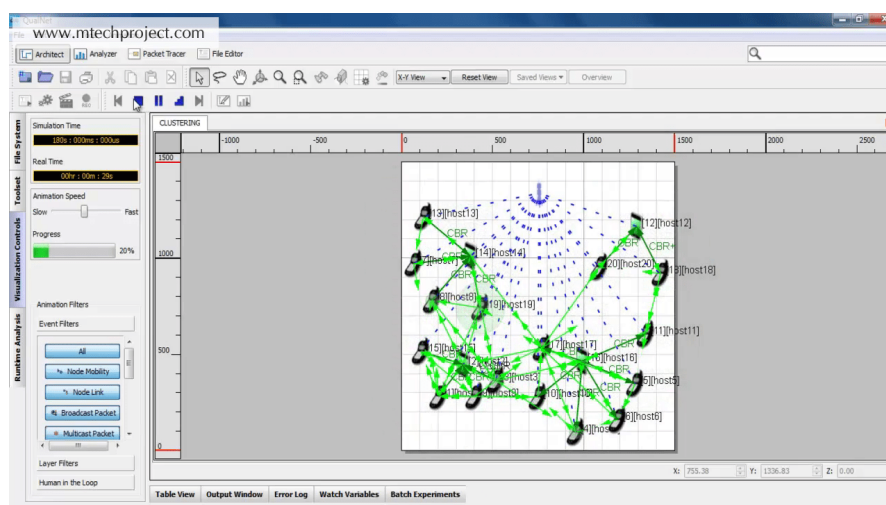
Слика 70. Графички интерфејс симулационог алата NETSIM

OMNET++ (Optical Micro-Networks Plus Plus) софтверски алат који омогућава симулације мрежа, модуларан је и са имплементираном C++ библиотеком првенствено омогућава израду самих симулационих алата. Изглед радног окружења OMNET++ симулационог алата је приказан на *Слици 71*.



Слика 71. Графички интерфејс симулационог алата OMNET++

QualNet [<https://qualnet.ca/en/>] симулациони алат који омогућава пројектовање мреже и израду симулационог модела са веома великим бројем мрежних чворова и тестирање такве топологије кроз комуникационе сценарије. На основу симулационих резултата омогућава анализу токова података, праћење трасе пакета. Има могућност повезивања на реалну физичку мрежу. Изглед радног окружења QualNet симулационог алата је приказан на Слици 72.



Слика 72. Графички интерфејс симулационог алата QualNet

За потребе истраживања у овој дисертацији употребио сам симулациони алат OPNET првенствено због његових могућности које су претходно наведене, а посебно предности које омогућавају математичко дефинисање модела мрежног саобраћаја према задатом сценарију, и за сваки мрежни елемент у ИТРМ. Избор статистичких резултата дискретне симулације која је веома детаљна и омогућава праћење и запис статистике кретања пакета у свим тачкама тополошке структуре, односно компаративну анализу за више различитих сценарија, топологија и свих промена у архитектури који имају утицај на предефинисан и математички описан мрежни саобраћај.

4 ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА И ДЕФИНИСАЊЕ ВРЕМЕНСКИХ ФУНКЦИЈА РАСПОДЕЛЕ МРЕЖНОГ САОБРАЋАЈА ИТРМ

Пројектовање комуникационе мреже чију основну структуру чине телекомуникациона и рачунарска мрежа које су техничко-технолошки интегрисане у јединствену функционалну целину, у којој се комуникација реализује посредством мрежно реализованих рачунарских апликација и успостављених информационих токова апликативних сервиса разменом података комуникације, захтева примену метода рачунарске симулације. Напредни софтвери (OPNET, GNS3, EVE, NS3) као симулациони алати са интегрисаним алгоритмима за симулацију и математичким моделима омогућавају детаљно дефинисање свих потребних елемената, примену неопходних модела мрежног саобраћаја и анализу статистичких резултата добијених дискретном симулацијом пројектованог модела ИТРМ. У складу теоријске анализе за израду модела, која је описана у другом поглављу, примена методе симулације захтева прецизно дефинисање топологије, активних и пасивних елемената мрежне архитектуре и посебно дефинисање модела мрежног саобраћаја.

Мрежни саобраћај у основи представља процес комуникационих интеракција као временских догађаја генерисања количина података на изворима и њихову дистрибуцију на одредишта, која су међусобно комуникационом тополошком структуром повезани у мрежу. Зависно од функционалне намене мреже процес комуникације може бити стохастички и/или детерминистички. Додатно, процес компликује и чињеница да у комуникационој мрежи може бити више извора података који у истим или у различитим временским тренуцима генеришу исте и/или различите типове и количине података, и при том да у мрежи постоје одредишта која истовремено примају податке од једног и/или више извора. Осим тога активни мрежни елемент истовремено може бити извор података за нека одредишта и бити одредиште за друге изворе података. Имајући у виду наведено, најсложенији проблем у пројектовању симулационог модела ИТРМ је опис реалног мрежног саобраћаја и његова имплементација у тај модел.

Поједини претходно описани модели мрежног саобраћаја могу бити у већој или мањој мери одговарајућа апроксимација реалног мрежног саобраћаја, и уколико симулациони алат има могућност за њихову математичку интеграцију, тада се они могу употребити у изради симулационог модела. У описаним моделима основне методе које се примењују за дефинисање и избор модела мрежног саобраћаја се реализују мерењима и снимањем саобраћаја у тестним мрежама, као што је описано у [37],[38],[39],[41],[46], са теоријском анализом и статистичким математичким описом. Метода мерења генерисаног и дистрибуираног мрежног саобраћаја омогућава статистички опис посредством исказаних параметара као у [37],[38],[52]. Типско дефинисање мрежног саобраћаја са познатим статистичким функцијама расподеле и варијацијом параметара описано је методама у [39],[41],[43],[44],[45],[46],[50],[51] или применом метода само-сличности датих у [47],[48]. За потребе истраживања преглед поређење метода дат у [57] је приказан у Табели 4.

*Примена мултиграфа у пројектовању симулационог модела
интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже*

Реф.	Метода	Извор мерења	Статистички опис	Тип саобраћаја	Начин приказа	Примена	Локација	Год.
[46]	Само-сличност мрежног саобраћаја. Апроксим. функцијом расподеле.	Дневни мрежни саобраћај.	Pareto функција дистрибуција.	2G, Глас, HSDPA	График функције дистрибуције.	Симулација реалног мрежног саобраћаја.	Русија	2021.
[37]	Нелинеарна анализа мерења мрежног саобраћаја.	LAN средње величине са 200 до 250 мрежно повезаних рачунара.	Колмогорова шема описа мрежног саобраћаја, Функције дистрибуције: Log-normal, Гаусова (Gaussian)	NetBEUI TCP/IP	График функције дистрибуције.	Реални динамички модел мрежног саобраћаја.	Русија	2004.
[38]	Математичка апроксимац.	Мрежни саобраћај снимљен употребом рутера. Трасирање Ethernet саобраћаја.	Poisson-ова функција дистрибуције вероватноће	Ethernet, MPEG-4, TCP/IP, Web, Email, Multimedia	График функције дистрибуције.	Моделовање мрежног саобраћаја.	USA Texas	2007.
[41]	Само-сличност и статистичка анализа мерења мрежног саобраћаја.	Рачунарска LAN мрежа у малој компанији	Гаусова (Gaussian) функција дистрибуција	Web, HTTP Internet, Email, SSL, IPv6	График функције дистрибуције.	Анализа рачунарског LAN мрежног саобраћаја.	Пољска	2021.
[39]	Статистичка анализа.	Академска, комерцијална и стамбена мрежа, Data-центар.	Функције дистрибуције: Log-normal, Гаусова (Gaussian), Weibull.	Internet IPv4	График функције дистрибуције.	Процена времена у мрежном саобраћају. Статистичка процена излазног саобраћаја у мрежи.	U.S.A. Chicago	2019.
[52]	Уводне технике за моделовање улаза, графичке и статистичке методе, математика	Једноставна статистика; Статистички Kolmogorov Smirnov тест; Симулација дискретног догађаја; Хипотетички процес наилазак; Стохастички процеси.	Статистички модели: Binomial, Изобл. Normal, Normal, Експоненцијал Bezier крива, Независни бином, Биваријантни експоненцијал, Марков низ, Poisson процес, Нехомоген Poisson процес, Марков процес	Дискретан и континуал. мрежни саобраћај.	Хистограм; График функције дистрибуц.	Улазни модели за анализу саобраћаја симулацијом	U.S.A.	2001.
[44]	Моделовање симулацијом	Опис догађаја и интеракција.	Функције дистрибуције: Класична права-троугаона, Кумулативна, Униформна.	Системи са дискретним догађајима.		Моделовање и симулација оперативних функција, и дистрибуц.	U.S.A.	2007.
[42]	Моделовање саобраћаја	Рутери у језгру (core) мреже универзитета; Backbone линкови; Trans-Pacific линк	Гаусова (Gaussian) функција дистрибуције.	Гаусов (Gaussian) мрежни модел.	Q-Q тачке временска скала	Моделовање мрежа	Холанд. Данска	2013.

*Примена мултиграфа у пројектовању симулационог модела
интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже*

Реф.	Метода	Извор мерења	Статистички опис	Тип саобраћаја	Начин приказа	Примена	Локација	Год.
[50]	Анализа саобраћаја	Процес бројања; Време међу наилазак пакета; Саобраћај са дискретним временима.	Функције дистрибуције: Poisson, Pareto, Weibull, Марковљев низ, ON-OFF модел, Непрекидни Poisson-ов модел	Различити типови саобраћаја у мрежи	Математички и графички приказ	Моделовање саобраћаја; Планирање капацитета преноса; Пројекат мрежа и сервиса.		2009.
[40]	Анализа саобраћаја	Мрежа универзитета у Јордану	Poisson-ов модел саобраћаја, Дугорочни (Long-tail) модели саобраћаја	Интернет	График тока дневног саобраћаја	Моделовање саобраћаја, Квалитет сервиса (QoS)	Јордан	2019.
[51]	Анализа саобраћаја, математика	1998 FIFA World Cup website	Poisson-ов модел саобраћаја, Гаусова (Gaussian) расподела	Интернет	График функције дистрибуц.	Моделовање и симулација	Русија	2017.
[43]	Анализа саобраћаја	Хабови (Hubs) градова Европа, USA, Украина	Нормална функција вероватноће	Интернет WEB саобраћај	График тока, График функције дистрибуц.	simulation model	Украина	2019.
[45]	Анализа саобраћаја	Рачунарска LAN мрежа		Multimedia VoIP	График средњег дневног саобраћаја	Моделовање LAN мреже	Украина	2019.

Табела 4. Преглед метода за дефинисање мрежног саобраћаја

Истраживањем метода у [54],[55] утврђено је да модел матрице мрежног саобраћаја има веома значајну улогу у методама за пројектовање мрежа и мрежног саобраћаја, и анализу резултата. Узимајући у обзир наведене дефиниције мрежног саобраћаја као статистичког процеса могућих временских догађаја, за одговарајући математички опис мрежног саобраћаја и имплементацију у симулациони модел потребна је примена функције дистрибуције вероватноће комуникационих догађаја у времену.

У овом поглављу дисертације истраживање, представљено у [56],[57], дефинише нов методолошки приступ описа мрежног саобраћаја и применом мултиграфа развој методе којом се из матрице мрежног саобраћаја врши опис временских комуникационих догађаја, на основу којег се применом математичког модела у [58],[59] дефинише одговарајућа **временска функција расподеле за дефинисање мрежног саобраћаја** у симулационом моделу интегрисане телекомуникационе и рачунарске мреже.

Комуникациони догађај у мрежном саобраћају осим времена и комуникационих интеракција одређује и генерисање количине података која се дистрибуира између извора и одредишта. У том погледу додатни проблем који се разматра у опису мрежног саобраћаја у симулационом моделу је и примена мултиграфа за математичко дефинисање **функције расподеле (дистрибуције) генерисања количина података за дистрибуцију**.

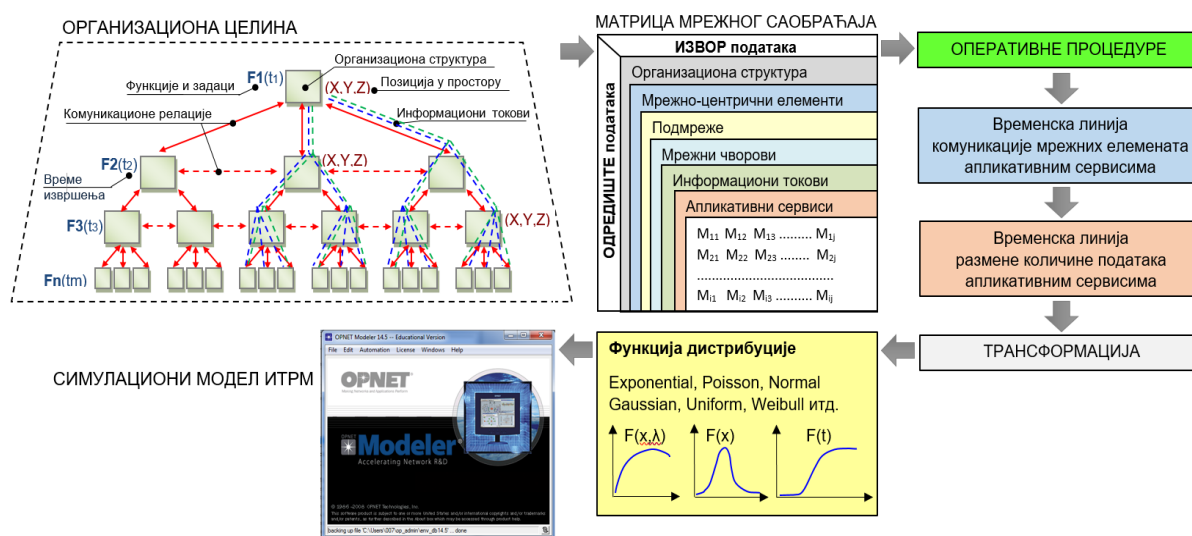
Примена математичке методе узорковања симетричне матрице која је придружена мултиграфу, омогућава извођење функције дистрибуције временских тренутака догађаја мрежног саобраћаја [56]. Неопходно је и битно препознавање основа за дефинисање дистрибуције података у матрици мрежног саобраћаја која се имплементира у ИТРМ.

Истраживање представља основни концепт и детаље методе примене мултиграфа за временски опис мрежног саобраћаја и дистрибуцију података, математичко извођење функције расподеле и њен графички приказ.

4.1 Дистрибуција података у ИТРМ

Полазни елементи за дефинисање мрежног саобраћаја су одређени матрицом мрежног саобраћаја комуникације између учесника у комуникацији, односно извора и одредишта као мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) у ИТРМ. Да би се између учесника у комуникацији реализовале захтеване функционалне релације одређује се један или више типова потребних комуникација, за које треба дефинисати информационе токове. Реализација информационих токова у ИТРМ захтева примену рачунарских мрежних апликација са којима се између извора и одредишта успостављају *мрежни апликативни сервиси* ($S_1, S_2, \dots, S_n$) и посредством којих је омогућена размена комуникационих података. Размена података и информација су основа за дефинисање *временских тренутака комуникације* $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ када учесници у комуникацији као мрежни елементи E_i и E_j ($i \neq j$) успостављају комуникациону интеракцију M_{ij} , $i \neq j$ дефинисану у матрици мрежног саобраћаја (Слика 21.) и врше размену одређених типова и *количина података*. Временски тренуци у којима треба да се реализује комуникација, време њеног трајања, врсте информација и типови података (глас, порука, симбол, текст, табела, слика, видео итд.) које се размењују одређују *оперативне процедуре* за комуникацију.

У складу наведеног и концепта описаног у [56],[57] на Слици 73. приказан је основни логички ток пресликавања полазних елемената организационе целине, поступком дефинисања модела ИТРМ описаног у другом поглављу, преко извођења матрице мрежног саобраћаја са употребом оперативних процедура, дефинисање времена комуникације и размене података, математичке трансформације у одговарајућу функцију дистрибуције за имплементацију у симулациони модел ИТРМ.



Слика 73. Основни концепт пресликавања полазних елемената организационе целине, модела ИТРМ и функције дистрибуције у симулациони модел

Пројектовање симулационог модела захтева дефинисање варијације вредности количине података који се генеришу на извору и шаљу на одредиште података. Укупна количина података (Adt) изражена у bits/s, Mbps или byte(s) за размену између мрежних елемената се дефинише за сваки тип податка (глас, порука, симбол, текст, табела, база података, слика, видео итд.) на начин наведен у другом поглављу ове дисертације. Осим укупне количине података која се генерише на извору, параметар потребан за дефинисање мрежног саобраћаја у симулационом моделу су и граничне вредности количина података генерисаних на мрежном елементу E_i .

У погледу потребног статистичког описа према методи датој у [56] функција дистрибуције комуникационих интеракција као догађаја између мрежних елемената представља законитост промене временских тренутака генерисања и размене података апликативним сервисима. Осим наведеног, функцијом дистрибуције треба описати и генерисање и промену количине података у времену. Тачност резултата рачунарске симулације наведеног догађаја у OPNET симулационом моделу зависи од избора функције расподеле и дефинисања њених параметара који је математички одређују.

У симулационом моделу догађај генерисања податка на извору одређују параметри **време и количина генерисања податка**. Време генерисања података треба ускладити са временом успостављања комуникације између мрежних елемената, а количине података за генерисање треба одредити у току времена трајања комуникације. Ако се за дефинисање законитости тока наведеног догађаја изабере неадекватна функција дистрибуције, или се погрешно дефинишу вредности варијације количине података или се време догађања дефинише нетачно, мрежни саобраћај ће бити погрешно описан. Симулација погрешно описаног мрежног саобраћаја неће одговарати предвиђеном и очекујућем реалном мрежном саобраћају у ИТРМ и у том случају резултати симулације не могу бити тачни за потребе анализе и оптимизацију мреже.

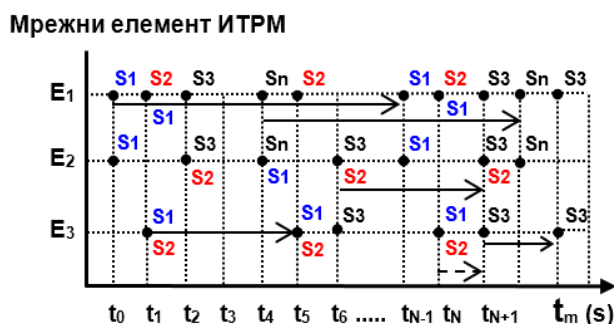
4.2 Опис дистрибуције података у ИТРМ применом мултиграфа

Мрежна дистрибуција података у ИТРМ се дефинише на основу оперативних процедура и према методологији у [2]. У организационој целини, на основу матрице мрежног саобраћаја и оперативних процедура, детерминистички се одређују временски тренуци комуникације између мрежних елемената извора и одредишта мрежног саобраћаја. Такође, као што је наведено у другом поглављу дисертације у теоријској анализи за израду модела ИТРМ, на основу матрице мрежног саобраћаја описују се и информациони токови дистрибуције предвиђених типова података између мрежних елемената. На основу датог описа дефинишу се и мултиграфови и примењују за извођење функције дистрибуције. Примена мултиграфа омогућава да се на основу оперативних процедура за комуникацију прикажу временске релације дистрибуције података. Мултиграф се формира за сваки моменат времена $t = (t_0, t_1 \dots t_{N-1}, t_N, t_m)$ у којем се врши размена података и њему се придружује му се матрица сличности. Математичком естимацијом матрице придружене мултиграфу, за сваки временски тренутак израчунава се одговарајућа вредност функције расподеле. Употребом свих израчунатих вредности за све временске тренутке комуникације у интервалу $\Delta T = [t_0, t_m]$ омогућено је дефинисање одговарајуће функције дистрибуције.

4.3 Временска шема активације сервиса и дистрибуције података између мрежних елемената ИТРМ

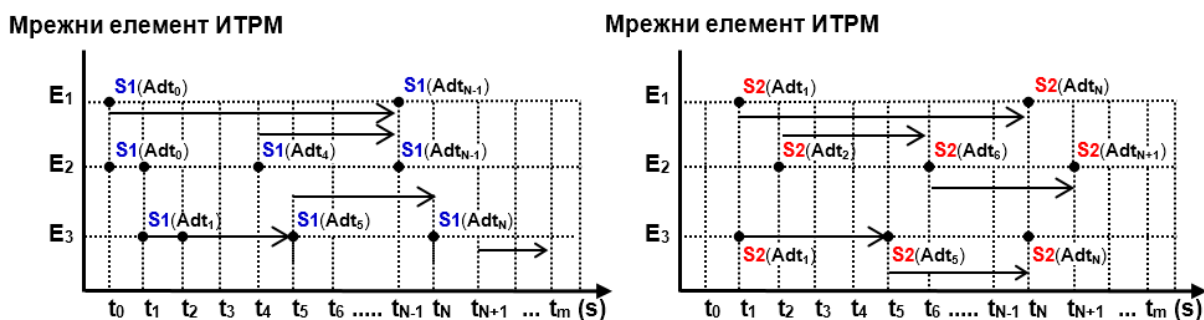
Генерисање и дистрибуција података између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) у ИТРМ се реализује посредством рачунарски заснованих и успостављених мрежних апликативних сервиса Srv , $rv=(1, 2...n)$. У временском тренутку $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$ на мрежном елементу E_i активира се апликативни сервис који омогућава успоставу комуникационе интеракције између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$), омогућава се генерисање комуникационе информације и врши се трансформација у одговарајућу количину дигиталних података за дистрибуцију мрежном елементу E_j .

Временски ток активности дефинисан оперативним процедурама је као временска шема комуникационих интеракција, описан у другом поглављу дисертације, и према [2],[56] представљен на *Слици 74.* у виду временске линије активације и понављања комуникационих интеракција мрежних елемената и предвиђених апликативних сервиса.



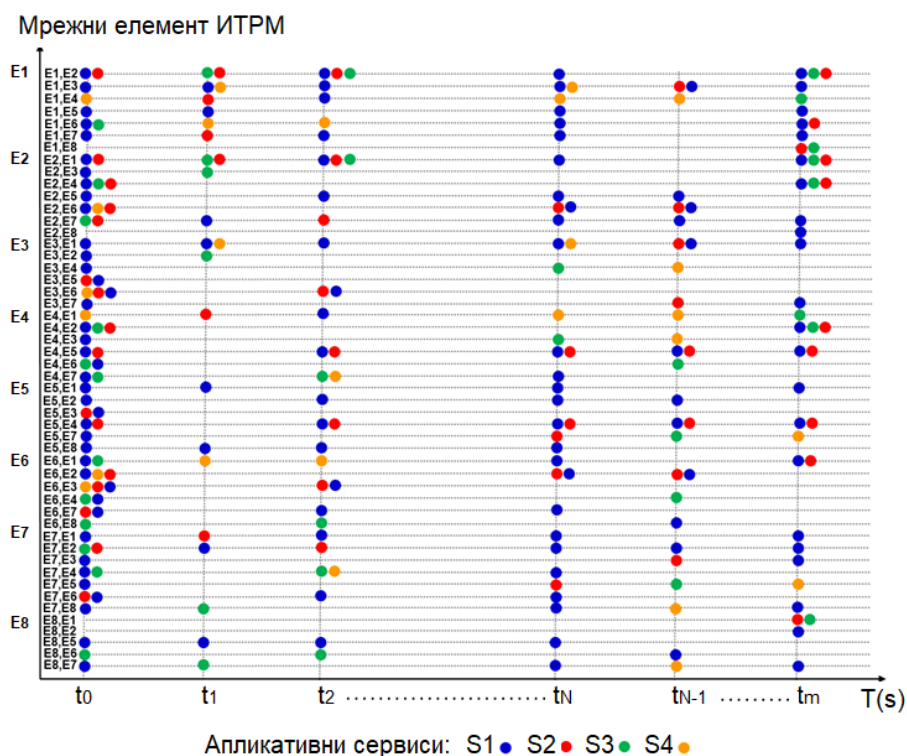
Слика 74. Временска линија активације и понављања комуникационих интеракција мрежних елемената ИТРМ и апликативних сервиса

Из приказане временске линије као временске шеме активације и понављања догађаја комуникационих интеракција, издвајају се појединачне временске шеме активације појединачног сервиса Srv на мрежном елементу E_i у временском тренутку активације $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$. За сваки појединачни апликативни сервис дефинише се и количина података $Adt=(Adt_0, Adt_1 \dots Adt_{N-1}, Adt_N, Adt_m)$ која се посредством тог апликативног сервиса генерише на мрежном елементу E_i од временског тренутка $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$. Примери издвојене појединачне временске шеме као временске линије активације за апликативни сервис $S1$ и $S2$ су у начелу приказани на *Слици 75.*



Слика 75. Временска линија активације и понављања апликативних сервиса $S1$ и $S2$ са количинама генерисаних података Adt

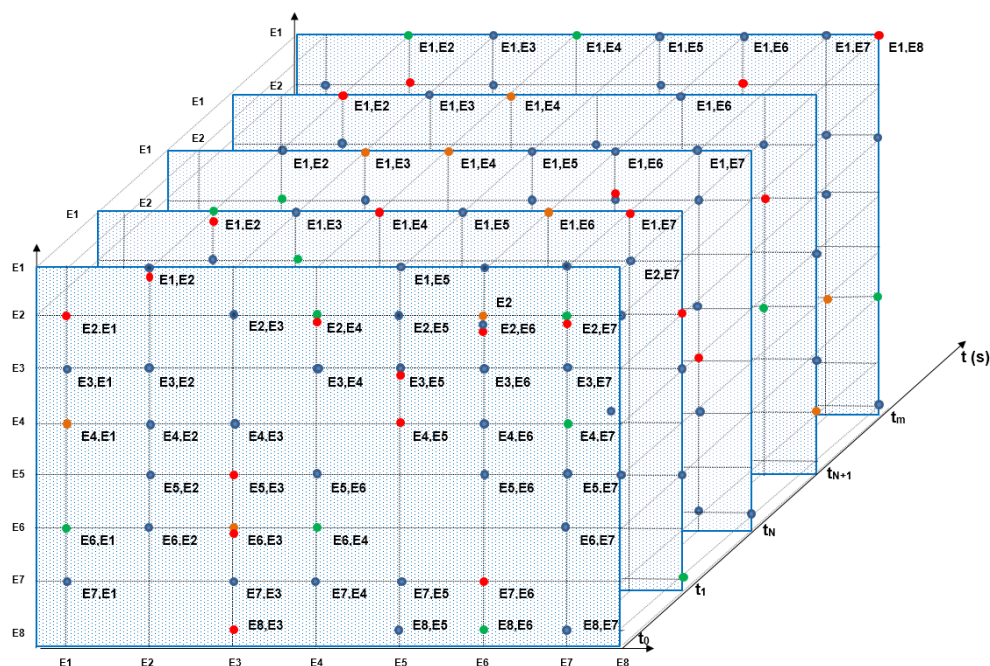
Друга форма визуелног представљања временске линије комуникационе активације више апликативних сервиса S1, S2, S3 и S4 између мрежних елемената E₁ до E₈ је приказан на Слици 76.



Слика 76. Временска линија активације и понављања апликативних сервиса S1 до S4 и комуникационих интеракција између мрежних елемената E₁ до E₈

Дати начин графичког представљања може се употребити и за визуелни приказ и дефинисање количина генерисаних података Adt између мрежних елемената у току временских интервала започетих активација сервиса у временским тренуцима $t = (t_0, t_1, \dots, t_{n-1}, t_n, t_m)$. Пример очитавања такве вредности са датог графичког приказа је да у временском тренутку t_0 апликативни сервис S1 у мрежном елементу E1 генерише количину података $Adt_0 = 15 \text{ kbps}$ за дистрибуцију мрежном елементу E2, и што се означава са $E_{12}S1_Adt_0$. Временска линија је дефинисана матрицом мрежног саобраћаја и оперативним процедурама, и може се израдити за цео временски интервал трајања комуникације или само за појединачни краћи временски интервал у оквиру њега, зависно од потребе анализе утицаја мрежног саобраћаја у целини или само његовог сегмента у делу времена.

Осим представљања у форми временске линије, комуникационе интеракције и активације сервиса између мрежних елемената се могу представити и у форми временских равни приказаних на Слици 77., где свака временска раван представља скуп комуникационих догађаја активације апликативних сервиса у ИТРМ у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{n-1}, t_n, t_m)$.

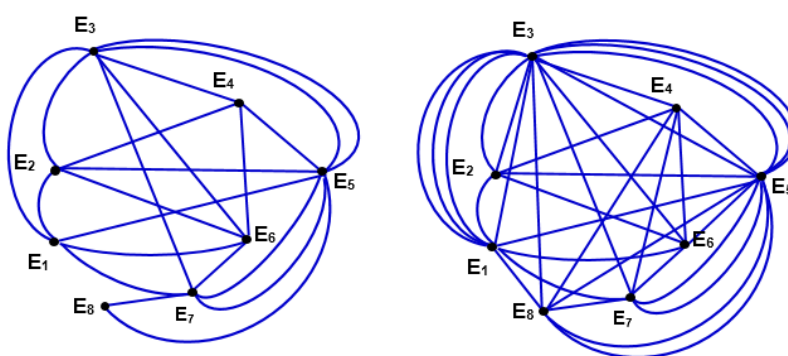


Слика 77. Временска равна активације и понављања апликативних сервиса S_1 до S_4 и комуникационих интеракција између мрежних елемената E_1 до E_8

Представљене форме визуелног приказа олакшавају пресликавање матрице мрежног саобраћаја и комуникације оперативних процедура из табеларног у графичко визуелно представљање, које омогућава примену мултиграфа у даљем извођењу методе. У основи приказане форме својим садржајем визуелно представљају мрежни саобраћај и уједно омогућавају временску сегментацију комуникационих догађаја према тренуцима времена када се они догађају, а тиме и раздвајање мрежног саобраћаја на дискретне временске тренутке $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$.

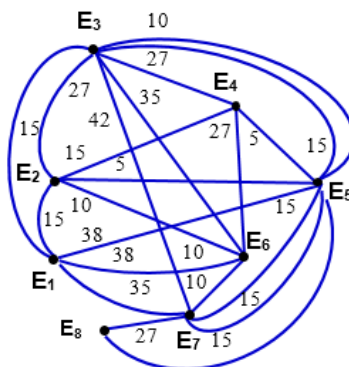
Дискретни комуникациони догађаји између активних мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) су повезани у временској линији, односно повезани кроз временске равни од једног до другог временског тренутка њиховог догађања, чиме формирају законитост догађања у току временског интервала. Управо та реална законитост је потребна за имплементацију у симулациони модел и треба је превести у математички модел или други прихватљиву форму погодну за примену у софтверу за израду симулационог модела и имплементацију за опис механизма догађања комуникације током процеса симулације.

Код форме приказа мултиграфом чворови представљају мрежне елементе, а једна линија између чворова E_i и E_j ($i \neq j$) представља једну комуникациону интеракцију између тих чворова посредством апликативног сервиса Srv . На тај начин је комуникација, која је дефинисана на основу оперативних процедура, апликативним сервисима и у складу матрице мрежног саобраћаја, представљена формом мултиграфа.



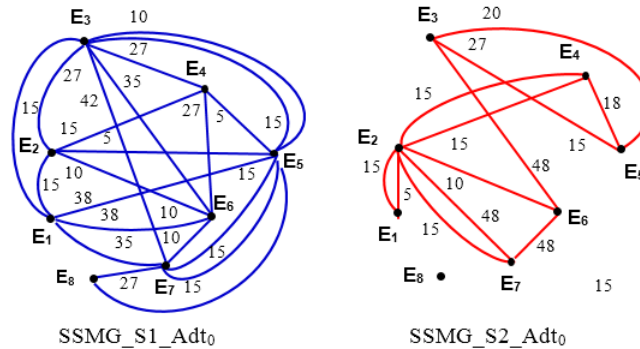
Број линија у мултиграфу комуникационих интеракција представља број комуникационих интеракција, односно приказује учестаност временских догађаја генерисања комуникације између мрежних елемената ИТРМ.

Свакој линији као комуникационој интеракцији у временском тренутку t се може придружити количина података Adt (kbps или Mbps) која се у том временском тренутку генерише за дистрибуцију између мрежних елемената који су повезани том линијом. На тај начин количине података које се генеришу у тренуцима времена $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ могу се дефинисати **мултиграфом размене података** мрежним апликативним сервисом (Слика 79.).



Докторска дисертација

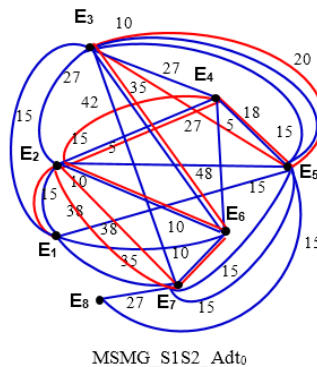
Једно-сервисни мултиграф (Single-service multigraph) означен са $SSMG_{Srv_Adt}$ приказује комуникационе интеракције и размену количине података Adt између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством једног мрежног апликативног сервиса Srv у тренуцима времена $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$. Примери представљања једно-сервисног мултиграфа за размену количине података између мрежних елемената E_1 до E_8 апликативним сервисима S_1 и S_2 у временском тренутку t_0 је дат на *Слици 80*.



Слика 80. Једно-сервисни мултиграф размене података између мрежних елемената E_1 до E_8 апликативним сервисима S_1 и S_2 у временском тренутку t_0

Формирање свих једно-сервисних мултиграфа између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса Srv за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ омогућава приказ размене свих података тим сервисом Srv у току времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

Више-сервисни мултиграф (Multi-service multigraph) означен са $MSMG_{S1S2_Adt}$ се формира обједињавањем свих формираних једно-сервисних мултиграфа у један мултиграф (*Слика 81.*) и представља укупну размену свих података између мрежних елемената посредством свих апликативних сервиса $Srv = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ у временском тренутку t . Више-сервисни мултиграф тако омогућава временско дефинисање мрежног саобраћаја у ИТРМ и примену теорије узорковања графова са наменом предвиђања догађаја као у [60].



Слика 81. Више-сервисни мултиграф размене података између мрежних елемената E_1 до E_8 апликативним сервисима S_1 и S_2 у временском тренутку t_0

Формирање више-сервисног мултиграфа за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ омогућава представљање размене свих података посредством свих апликативних сервиса Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$. Скуп тако формираних више-сервисних мултиграфа омогућава дефинисање укупног мрежног саобраћаја између мрежних елемената ИТРМ току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

4.5 Матрице придружене мултиграфу комуникационих интеракција и дистрибуције података у мрежном саобраћају ИТРМ

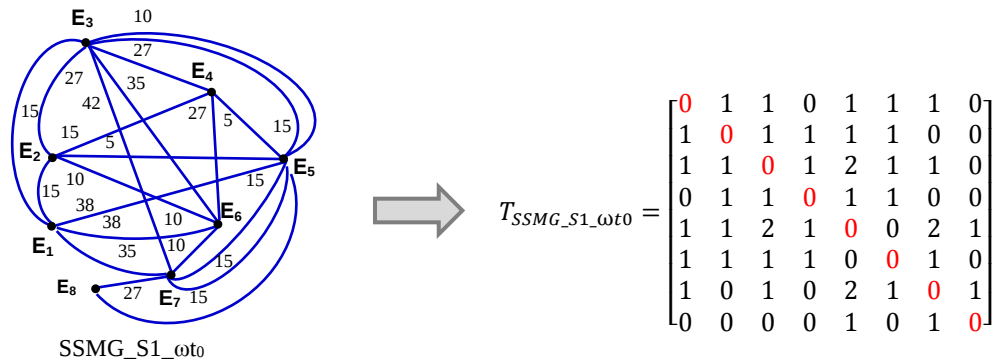
Применом методе моделовања мултиграфа на основу детерминистичког временског модела догађаја комуникационих интеракција и модела дистрибуције података из оперативних процедура је изведен одговарајући мултиграф који за даљу примену у симулационом моделу захтева трансформацију у одговарајућу математичку форму.

4.5.1 Матрица мултиграфа комуникационих интеракција

На основу приказа једно-сервисног мултиграфа комуникационих интеракција или приказа временске линије или временске равни представља се еквивалентна придружена симетрична матрица означена са $T_{SSMG_Srv_ot}$ приказана под (64), целобројних чланова и са дијагоналом нула, где је n број мрежних елемената E_i .

$$T_{SSMG_Srv_ot} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{12}t & \omega_{13}t & \omega_{14}t & \omega_{15}t & \omega_{16}t & \dots & \omega_{1j}t \\ \omega_{21}t & 0 & \omega_{23}t & \omega_{24}t & \omega_{25}t & \omega_{26}t & \dots & \omega_{2j}t \\ \omega_{31}t & \omega_{32}t & 0 & \omega_{34}t & \omega_{35}t & \omega_{36}t & \dots & \omega_{3j}t \\ \omega_{41}t & \omega_{42}t & \omega_{43}t & 0 & \omega_{45}t & \omega_{46}t & \dots & \omega_{4j}t \\ \omega_{51}t & \omega_{52}t & \omega_{53}t & \omega_{54}t & 0 & \omega_{56}t & \dots & \omega_{5j}t \\ \omega_{61}t & \omega_{62}t & \omega_{63}t & \omega_{64}t & \omega_{65}t & 0 & \dots & \omega_{6j}t \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{i1}t & \omega_{i2}t & \omega_{i3}t & \omega_{i4}t & \omega_{i5}t & \omega_{i6}t & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{bmatrix} \quad (64)$$

где је $\omega_{ij}t$ број комуникационих интеракција које се догађају између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса $Srv=(S1, S2, \dots, S_n)$ у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$. На Слици 82. приказан је једно-сервисни мултиграф комуникационих интеракција између мрежних елемената E_1 и E_8 апликативним сервисом $S1$ у временском тренутку t_0 , и мултиграфу придружена симетрична матрица 8×8 .



Слика 82. Једно-сервисни мултиграф комуникационих интеракција и придружена симетрична матрица 8×8

За све једно-сервисне мултиграфове комуникационих интеракција посредством апликативног сервиса $Srv=(S1, S2, \dots, S_n)$, формира се скуп придружених матрица $T_{SSMG_Srv_ot}$ појединачно за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$, што је начелно приказано у (65) до (70).

$$T_{SSMG_S1_wt_0} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{12}t_0 & \omega_{13}t_0 & \omega_{14}t_0 & \omega_{15}t_0 & \cdot & \omega_{1n}t_0 \\ \omega_{21}t_0 & 0 & \omega_{23}t_0 & \omega_{24}t_0 & \omega_{25}t_0 & \cdot & \omega_{2n}t_0 \\ \omega_{31}t_0 & \omega_{32}t_0 & 0 & \omega_{34}t_0 & \omega_{35}t_0 & \cdot & \omega_{3n}t_0 \\ \omega_{41}t_0 & \omega_{42}t_0 & \omega_{43}t_0 & 0 & \omega_{45}t_0 & \cdot & \omega_{4n}t_0 \\ \omega_{51}t_0 & \omega_{52}t_0 & \omega_{53}t_0 & \omega_{54}t_0 & 0 & \cdot & \omega_{5n}t_0 \\ \omega_{61}t_0 & \omega_{62}t_0 & \omega_{63}t_0 & \omega_{64}t_0 & \omega_{65}t_0 & \cdot & \omega_{6n}t_0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ \omega_{i1}t_0 & \omega_{i1}t_0 & \omega_{i3}t_0 & \omega_{i4}t_0 & \omega_{i5}t_0 & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (65)$$

$$T_{SSMG_S1_wt_m} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{12}t_m & \omega_{13}t_m & \omega_{14}t_m & \omega_{15}t_m & \cdot & \omega_{1n}t_m \\ \omega_{21}t_m & 0 & \omega_{23}t_m & \omega_{24}t_m & \omega_{25}t_m & \cdot & \omega_{2n}t_m \\ \omega_{31}t_m & \omega_{32}t_m & 0 & \omega_{34}t_m & \omega_{35}t_m & \cdot & \omega_{3n}t_m \\ \omega_{41}t_m & \omega_{42}t_m & \omega_{43}t_m & 0 & \omega_{45}t_m & \cdot & \omega_{4n}t_m \\ \omega_{51}t_m & \omega_{52}t_m & \omega_{53}t_m & \omega_{54}t_m & 0 & \cdot & \omega_{5n}t_m \\ \omega_{61}t_m & \omega_{62}t_m & \omega_{63}t_m & \omega_{64}t_m & \omega_{65}t_m & \cdot & \omega_{6n}t_m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ \omega_{i1}t_m & \omega_{i1}t_m & \omega_{i3}t_m & \omega_{i4}t_m & \omega_{i5}t_m & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (66)$$

$$T_{SSMG_Sn_wt_0} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{12}t_0 & \omega_{13}t_0 & \omega_{14}t_0 & \omega_{15}t_0 & \cdot & \omega_{1n}t_0 \\ \omega_{21}t_0 & 0 & \omega_{23}t_0 & \omega_{24}t_0 & \omega_{25}t_0 & \cdot & \omega_{2n}t_0 \\ \omega_{31}t_0 & \omega_{32}t_0 & 0 & \omega_{34}t_0 & \omega_{35}t_0 & \cdot & \omega_{3n}t_0 \\ \omega_{41}t_0 & \omega_{42}t_0 & \omega_{43}t_0 & 0 & \omega_{45}t_0 & \cdot & \omega_{4n}t_0 \\ \omega_{51}t_0 & \omega_{52}t_0 & \omega_{53}t_0 & \omega_{54}t_0 & 0 & \cdot & \omega_{5n}t_0 \\ \omega_{61}t_0 & \omega_{62}t_0 & \omega_{63}t_0 & \omega_{64}t_0 & \omega_{65}t_0 & \cdot & \omega_{6n}t_0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ \omega_{i1}t_0 & \omega_{i1}t_0 & \omega_{i3}t_0 & \omega_{i4}t_0 & \omega_{i5}t_0 & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (67)$$

$$T_{SSMG_Sn_wt_m} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{12}t_m & \omega_{13}t_m & \omega_{14}t_m & \omega_{15}t_m & \cdot & \omega_{1n}t_m \\ \omega_{21}t_m & 0 & \omega_{23}t_m & \omega_{24}t_m & \omega_{25}t_m & \cdot & \omega_{2n}t_m \\ \omega_{31}t_m & \omega_{32}t_m & 0 & \omega_{34}t_m & \omega_{35}t_m & \cdot & \omega_{3n}t_m \\ \omega_{41}t_m & \omega_{42}t_m & \omega_{43}t_m & 0 & \omega_{45}t_m & \cdot & \omega_{4n}t_m \\ \omega_{51}t_m & \omega_{52}t_m & \omega_{53}t_m & \omega_{54}t_m & 0 & \cdot & \omega_{5n}t_m \\ \omega_{61}t_m & \omega_{62}t_m & \omega_{63}t_m & \omega_{64}t_m & \omega_{65}t_m & \cdot & \omega_{6n}t_m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ \omega_{i1}t_m & \omega_{i1}t_m & \omega_{i3}t_m & \omega_{i4}t_m & \omega_{i5}t_m & \cdot & 0 \end{bmatrix} \quad (68)$$

Приказани начин трансформације једно-сервисног мултиграфа у придружену матрицу дистрибуције комуникационих интеракција између мрежних елемената омогућава основу за даље математичко дефинисање временске функције дистрибуције комуникационих интеракција између мрежних елемената једним апликативним сервисом.

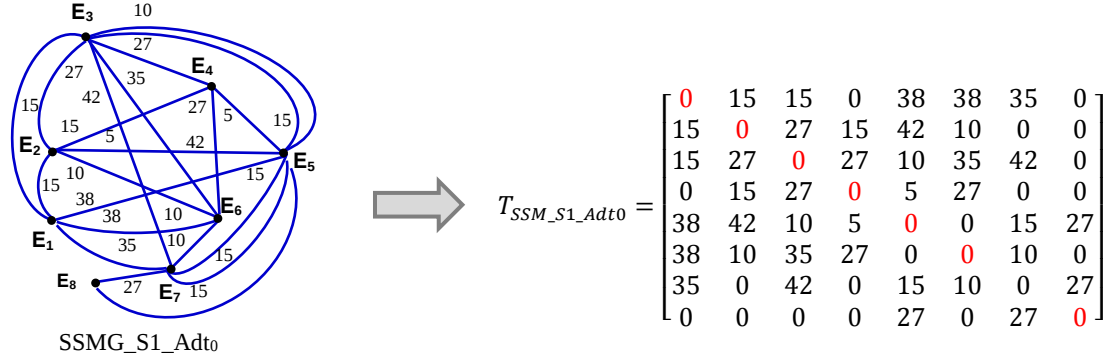
Скуп придружених матрица $T_{SSMG_Srv_wt}$ ће даље омогућити математичко извођење и дефинисање функције дистрибуције комуникационих интеракција за сваки апликативни сервис Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

4.5.2 Матрица мултиграфа размене података

Математички, једно-сервисни мултиграф дистрибуције података у мрежном саобраћају ИТРМ, представља се као еквивалентна придружена симетрична матрица означена са $T_{SSMG_Srv_Adt}$ и приказана под (69), целобројних чланова и са дијагоналом нула, где је n број мрежних елемената E_i . Придружена матрица се формира употребом временске линије или временске равни комуникационих интеракција, или употребом једно- сервисног мултиграфа, тако да је

$$T_{SSMG_Srv_Adt} = \begin{bmatrix} 0 & Ad_{12t} & Ad_{13t} & Ad_{14t} & Ad_{15t} & \dots & Ad_{1nt} \\ Ad_{21t} & 0 & Ad_{23t} & Ad_{24t} & Ad_{25t} & \dots & Ad_{2nt} \\ Ad_{31t} & Ad_{32t} & 0 & Ad_{34t} & Ad_{35t} & \dots & Ad_{3nt} \\ Ad_{41t} & Ad_{42t} & Ad_{43t} & 0 & Ad_{45t} & \dots & Ad_{4nt} \\ Ad_{51t} & Ad_{52t} & Ad_{53t} & Ad_{54t} & 0 & \dots & Ad_{5nt} \\ Ad_{61t} & Ad_{62t} & Ad_{63t} & Ad_{64t} & Ad_{65t} & 0 & Ad_{6nt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Ad_{n1t} & Ad_{n2t} & Ad_{n3t} & Ad_{n4t} & Ad_{n5t} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (69)$$

где је Ad_{ijt} количина података која се дистрибуира у комуникационим интеракцијама између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса $Srv=(S1,S2,...,Sn)$ у временском тренутку $t = (t_0, t_1, ..., t_{n-1}, t_n, t_m)$. На Слици 83. приказан је једно-сервисни мултиграф размене података између мрежних елемената E_1 и E_8 апликативним сервисом $S1$ у временском тренутку t_0 и мултиграфу придружена симетрична матрица 8×8 .



Слика 83. Једно-сервисни мултиграф размене података и придружена симетрична матрица 8×8

За све једно-сервисне мултиграфове размене података, формира се скуп придружених матрица $T_{SSMG_Srv_Adt}$ који чине све придружене матрице сваког апликативног сервиса $Srv=(S1,S2,...,Sn)$ појединачно и за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1, ..., t_{n-1}, t_n, t_m)$, што је начелно приказано у (70) до (73).

$$T_{SSMG_S1_Adt_0} = \begin{bmatrix} 0 & Ad_{12}t_0 & Ad_{13}t_0 & Ad_{14}t_0 & Ad_{15}t_0 & \dots & Ad_{1n}t_0 \\ Ad_{21}t_0 & 0 & Ad_{23}t_0 & Ad_{24}t_0 & Ad_{25}t_0 & \dots & Ad_{2n}t_0 \\ Ad_{31}t_0 & Ad_{32}t_0 & 0 & Ad_{34}t_0 & Ad_{35}t_0 & \dots & Ad_{3n}t_0 \\ Ad_{41}t_0 & Ad_{42}t_0 & Ad_{43}t_0 & 0 & Ad_{45}t_0 & \dots & Ad_{4n}t_0 \\ Ad_{51}t_0 & Ad_{52}t_0 & Ad_{53}t_0 & Ad_{54}t_0 & 0 & \dots & Ad_{5n}t_0 \\ Ad_{61}t_0 & Ad_{62}t_0 & Ad_{63}t_0 & Ad_{64}t_0 & Ad_{65}t_0 & \dots & Ad_{6n}t_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ Ad_{i1}t_0 & Ad_{i1}t_0 & Ad_{i3}t_0 & Ad_{i4}t_0 & Ad_{i5}t_0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (70)$$

$$T_{SSMG_S1_Adt_m} = \begin{bmatrix} 0 & Ad_{12}t_m & Ad_{13}t_m & Ad_{14}t_m & Ad_{15}t_m & \dots & Ad_{1n}t_m \\ Ad_{21}t_m & 0 & Ad_{23}t_m & Ad_{24}t_m & Ad_{25}t_m & \dots & Ad_{2n}t_m \\ Ad_{31}t_m & Ad_{32}t_m & 0 & Ad_{34}t_m & Ad_{35}t_m & \dots & Ad_{3n}t_m \\ Ad_{41}t_m & Ad_{42}t_m & Ad_{43}t_m & 0 & Ad_{45}t_m & \dots & Ad_{4n}t_m \\ Ad_{51}t_m & Ad_{52}t_m & Ad_{53}t_m & Ad_{54}t_m & 0 & \dots & Ad_{5n}t_m \\ Ad_{61}t_m & Ad_{62}t_m & Ad_{63}t_m & Ad_{64}t_m & Ad_{65}t_m & \dots & Ad_{6n}t_m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ Ad_{i1}t_m & Ad_{i1}t_m & Ad_{i3}t_m & Ad_{i4}t_m & Ad_{i5}t_m & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (71)$$

$$T_{SSMG_Sn_Adt_0} = \begin{bmatrix} 0 & Ad_{12}t_0 & Ad_{13}t_0 & Ad_{14}t_0 & Ad_{15}t_0 & \dots & Ad_{1n}t_0 \\ Ad_{21}t_0 & 0 & Ad_{23}t_0 & Ad_{24}t_0 & Ad_{25}t_0 & \dots & Ad_{2n}t_0 \\ Ad_{31}t_0 & Ad_{32}t_0 & 0 & Ad_{34}t_0 & Ad_{35}t_0 & \dots & Ad_{3n}t_0 \\ Ad_{41}t_0 & Ad_{42}t_0 & Ad_{43}t_0 & 0 & Ad_{45}t_0 & \dots & Ad_{4n}t_0 \\ Ad_{51}t_0 & Ad_{52}t_0 & Ad_{53}t_0 & Ad_{54}t_0 & 0 & \dots & Ad_{5n}t_0 \\ Ad_{61}t_0 & Ad_{62}t_0 & Ad_{63}t_0 & Ad_{64}t_0 & Ad_{65}t_0 & \dots & Ad_{6n}t_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ Ad_{i1}t_0 & Ad_{i1}t_0 & Ad_{i3}t_0 & Ad_{i4}t_0 & Ad_{i5}t_0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (72)$$

$$T_{SSMG_Sn_Adt_m} = \begin{bmatrix} 0 & Ad_{12}t_m & Ad_{13}t_m & Ad_{14}t_m & Ad_{15}t_m & \dots & Ad_{1n}t_m \\ Ad_{21}t_m & 0 & Ad_{23}t_m & Ad_{24}t_m & Ad_{25}t_m & \dots & Ad_{2n}t_m \\ Ad_{31}t_m & Ad_{32}t_m & 0 & Ad_{34}t_m & Ad_{35}t_m & \dots & Ad_{3n}t_m \\ Ad_{41}t_m & Ad_{42}t_m & Ad_{43}t_m & 0 & Ad_{45}t_m & \dots & Ad_{4n}t_m \\ Ad_{51}t_m & Ad_{52}t_m & Ad_{53}t_m & Ad_{54}t_m & 0 & \dots & Ad_{5n}t_m \\ Ad_{61}t_m & Ad_{62}t_m & Ad_{63}t_m & Ad_{64}t_m & Ad_{65}t_m & \dots & Ad_{6n}t_m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ Ad_{i1}t_m & Ad_{i1}t_m & Ad_{i3}t_m & Ad_{i4}t_m & Ad_{i5}t_m & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (73)$$

Приказани начин трансформације једно-сервисног мултиграфа у придружену матрицу дистрибуције количине података између мрежних елемената омогућава основу за даље математичко дефинисање временске функција дистрибуције количине података између мрежних елемената једним апликативним сервисом..

Скуп придружених матрица $T_{SSMG_Srv_Adt}$ ће даље омогућити математичко извођење и дефинисање функције дистрибуције података за сваки апликативни сервис Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

Промена вредности количине податка $VarAdt$ која се дистрибуира посредством апликативног сервиса $Srv=(S1,S2...Sn)$ у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$ дефинише се на основу минималне и максималне вредности количине података, оперативним процедурама организационе целине предвиђеним за размену између мрежних елемената ИТРМ:

$$VarAdt = [Ad_{min}, Ad_{max}] \quad (74)$$

$$Ad_{min} = \min\{Ad_{ijt_0}, \dots, Ad_{ijt_m}\}, i=[1,n] \ i \neq j \quad (75)$$

$$Ad_{max} = \max\{Ad_{ijt_0}, \dots, Ad_{ijt_m}\}, i=[1,n] \ i \neq j \quad (76)$$

За више-сервисни мултиграф, формира се придружена симетрична матрица $n \times n$ означена са $T_{MSMG_S1Sn_Adt}$ дата у (77). На основу тако формиране придружене симетричне матрице дефинише се вредност функције расподеле укупне количине података дистрибуиране посредством свих апликативних сервиса $Srv=(S1,S2...Sn)$ за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$.

$$T_{SSMG_Sn_Adt_m} = \begin{bmatrix} 0 & sAd_{12t} & sAd_{13t} & sAd_{14t} & sAd_{15t} & \dots & sAd_{1nt} \\ sAd_{21t} & 0 & sAd_{23t} & sAd_{24t} & sAd_{25t} & \dots & sAd_{2nt} \\ sAd_{31t} & sAd_{32t} & 0 & sAd_{34t} & sAd_{35t} & \dots & sAd_{3nt} \\ sAd_{41t} & sAd_{42t} & sAd_{43t} & 0 & sAd_{45t} & \dots & sAd_{4nt} \\ sAd_{51t} & sAd_{52t} & sAd_{53t} & sAd_{54t} & 0 & \dots & sAd_{5nt} \\ sAd_{61t} & sAd_{62t} & sAd_{63t} & sAd_{64t} & sAd_{65t} & \dots & sAd_{6nt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ sAd_{n1t} & sAd_{n2t} & sAd_{n3t} & sAd_{n4t} & sAd_{n5t} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (77)$$

sAd_{ijt} укупна количина података дистрибуирана у току комуникационих интеракција између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$), посредством свих активираних апликативних сервиса $Srv = (S1, S2...Sn)$ и за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$, дата са:

$$sAd_{ijt} = \sum_{S1}^{Sn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ad_{ijt}, i \neq j, t = (t_0, t_1 \dots t_{N-1}, t_N, t_m) \quad (78)$$

За све више-сервисне мултиграфове дефинише се скуп придружених матрица $T_{MSMG_S1Sn_Adt}$ за сваки временски тренутак $t = (t_0, t_1...t_{N-1}, t_N, t_m)$. Такав скуп придружених матрица начелно дат у (79) и (80) омогућава да се дефинише вредност функције расподеле дистрибуције укупне количине података посредством свих апликативних сервиса $Srv=(S1,S2...Sn)$ у току комуникационог интервала времена $\Delta T=[t_0, t_m]$.

$$T_{MSMG_S1Sn_Adt_0} = \begin{bmatrix} 0 & sAd_{12t_0} & sAd_{13t_0} & sAd_{14t_0} & sAd_{15t_0} & \dots & sAd_{1nt_0} \\ sAd_{21t_0} & 0 & sAd_{23t_0} & sAd_{24t_0} & sAd_{25t_0} & \dots & sAd_{2nt_0} \\ sAd_{31t_0} & sAd_{32t_0} & 0 & sAd_{34t_0} & sAd_{35t_0} & \dots & sAd_{3nt_0} \\ sAd_{41t_0} & sAd_{42t_0} & sAd_{43t_0} & 0 & sAd_{45t_0} & \dots & sAd_{4nt_0} \\ sAd_{51t_0} & sAd_{52t_0} & sAd_{53t_0} & sAd_{54t_0} & 0 & \dots & sAd_{5nt_0} \\ sAd_{61t_0} & sAd_{62t_0} & sAd_{63t_0} & sAd_{64t_0} & sAd_{65t_0} & \dots & sAd_{6nt_0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ sAd_{i1t_0} & sAd_{i2t_0} & sAd_{i3t_0} & sAd_{i4t_0} & sAd_{i5t_0} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (79)$$

$$T_{MSMG_S1Sn_Adt_m} = \begin{bmatrix} 0 & sAd_{12t_m} & sAd_{13t_m} & sAd_{14t_m} & sAd_{15t_m} & \dots & sAd_{1nt_m} \\ sAd_{21t_m} & 0 & sAd_{23t_m} & sAd_{24t_m} & sAd_{25t_m} & \dots & sAd_{2nt_m} \\ sAd_{31t_m} & sAd_{32t_m} & 0 & sAd_{34t_m} & sAd_{35t_m} & \dots & sAd_{3nt_m} \\ sAd_{41t_m} & sAd_{42t_m} & sAd_{43t_m} & 0 & sAd_{45t_m} & \dots & sAd_{4nt_m} \\ sAd_{51t_m} & sAd_{52t_m} & sAd_{53t_m} & sAd_{54t_m} & 0 & \dots & sAd_{5nt_m} \\ sAd_{61t_m} & sAd_{62t_m} & sAd_{63t_m} & sAd_{64t_m} & sAd_{65t_m} & \dots & sAd_{6nt_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ sAd_{n1t_m} & sAd_{n2t_m} & sAd_{n3t_m} & sAd_{n4t_m} & sAd_{n5t_m} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (80)$$

Елементи за дефинисање функције дистрибуције се реализују формирање свих скупова придружених једно-сервисних матрица $T_{SSMG_Srv_Adt}$ и формирањем свих скупова придружених више-сервисних матрица $T_{MSMG_S1Sn_Adt}$.

4.6 Генерисање функције дистрибуције података узорковањем мултиграфа

Математичко извођење временских функција дистрибуције података ($pdf(\Delta T)$) и дефинисање мрежног саобраћаја у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$ за имплементацију у OPNET симулациони модел се реализује применом методе узорковања једно-сервисних и више-сервисних мултиграфа дистрибуције података. Узорковање мултиграфа је еквивалентно узорковању њима придружених симетричних матрица. Придružена симетрична матрица се узоркује применом Sequential importance sampling (SIS) математичке методе за узорковање мултиграфа која је дата у [58]. Процењена вредност функције расподеле у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ представља садржај мултиграфа у том тренутку и одређује се математички применом асимптотске апроксимације дате у [58] и [59]. Додатно, функција расподеле којом се апроксимирају мултиграфови дефинише се и употребом графова и тежинских коефицијената на начин дат у [58] и [61].

Матрица $T_{SSMG}(t) = T_{SSMG_Srv_Adt}$ припада скупу придружених симетричних матрица дистрибуције података између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) апликативним сервисом Srv у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$, где је ΣT број матрица у скупу.

Количина података за дистрибуцију између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса Srv у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ дефинише се функцијом дистрибуције $q(T_{SSMG}(t)) > 0$ за матрицу $T_{SSMG}(t)$. Процена вредности функције дистрибуције је:

$$E_q \left[\frac{1}{q(T_{SSMG}(t))} \right] = \sum_T \frac{1}{q(T_{SSMG}(t))} q(T_{SSMG}(t)) = |\Sigma T| \quad (81)$$

$$|\Sigma T| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{q(T_{SSMG}(t))} \quad (82)$$

Функција расподеле $q(T_{SSMG}(t))$ се одређује помоћу пробне функције расподеле $q(\cdot)$ узорковањем матрице $T_{SSMG}(t)$ колону по колону ($c_1, c_2, \dots, c_n$) применом методе и поступка у [58] и [59]. Одатле, $q(T_{SSMG}(t))$ се представља са:

$$q(T_{SSMG}(t) = (c_1, c_2, \dots, c_n)) = q(c_1)q(c_1|c_2) \dots q(c_n|c_{n-1} \dots, c_1) \quad (83)$$

Сума маргине реда (d_i) матрице ($n \times n$), ажурирана маргина реда $d^{(2)}, d^{(3)} \dots d^{(i)}$ подматрице $(n-1) \times (n-1)$ се одређују за матрицу $T_{Ei}(t)$. Поступак узорковања и уклањања колоне у матрици $T_{SSMG}(t)$ се понавља до узорковања свих колоне ($c_1, c_2, \dots, c_n$). Вредност сваке маргине реда (d_i) и укупна маргина (M) матрице се израчунава према следећем:

$$d_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}, i = [1, n] \quad (84)$$

$$d = (d_1, d_2, d_3 \dots, d_n) \quad (85)$$

$$d^{(2)} = (d_2 - \alpha_{21}, d_4 - \alpha_{42}, \dots, d_n - \alpha_{n2}) \quad (86)$$

$$d^{(i)} = (d_i - \alpha_{i,i-1}, d_{i+1,i-1} - \alpha_{i+1,i-1}, \dots, d_n - \alpha_{n,i-1}) \quad (87)$$

$$M = \sum_{j=1}^n d_i \quad (88)$$

За матрицу $T_{SSMG}(t)$ се израчунава број мултиграфа $|\Sigma d|$. Подматрице се формирају уклањањем колона и за формиране подматрице израчунава се број мултиграфа $|\Sigma d^{(i)}|$ који одговара тој придруженој подматрици. На основу асимптотске апроксимације дате у [58] и [59] изводи се израз $|\Sigma d|$ и $|\Sigma d^{(i)}|$ према:

$$|\Sigma d| \sim \Delta_d \equiv \frac{f(M)}{\prod_{i=1}^n d_i!} e^{a(d)} \quad (89)$$

$$f(M) = M! / \left[\left(\frac{M}{2} \right)! 2^{\frac{M}{2}} \right] \quad (90)$$

$$|\Sigma d^{(2)}| \sim \Delta_{d^{(2)}} \equiv \frac{f(M-2d_1)}{\prod_{i=1}^n (d_i - \alpha_{i1})!} e^{a(d^{(2)})} \quad (91)$$

Употребом добијених израза за сваку колону ($c_1, c_2, \dots, c_n$) матрице $T_{SSMG}(t)$ дефинише се маргинална функција дистрибуције сваке колоне $p(c_i) \sim q(c_i)$. Маргинална функција дистрибуције представља изведену функцију дистрибуције $q(T_{SSMG}(t))$.

$$p(c_1 = (0, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{n1})) = \frac{|\Sigma d^{(2)}|}{|\Sigma d|} \quad (92)$$

$$p(c_2) = \frac{|\Sigma d^{(3)}|}{|\Sigma d|} \quad (93)$$

$$p(c_{n-1}) = \frac{|\Sigma d^{(n)}|}{|\Sigma d|} \quad (94)$$

Израз за $q(c_1)$ се изводи комбиновањем израза (89) и (91) :

$$q(c_1 = (0, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{n1})) = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (d_i - \alpha_{i1})!} e^{a(d^{(2)})} \quad (95)$$

Изрази за $q(c_1|c_2), \dots, q(c_n|c_{n-1}, \dots, c_1)$ се изводе на исти начин. Са добијеним вредностима се израчунава вредност за функцију расподеле $q(T_{SSMG}(t))$. Оцена ефикасности узорковања матрице и тачност изведене функције расподеле $q(T_{SSMG}(t))$ у односу на маргиналну дистрибуцију $p(T_{SSMG}(t))$ одређује се поступком датим у [58]. Израчунава се вредност стандардне грешке узорковања μ и разлике између добијених вредности cv^2 према следећем изразу:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n f(T_{SSMG}(t)) \frac{p(T_{SSMG}(t))}{q(T_{SSMG}(t))}}{\sum_{i=1}^n \frac{p(T_{SSMG}(t))}{q(T_{SSMG}(t))}}} = \frac{\sum_{i=1}^n f(T_{SSMG}(t)) \frac{1}{\frac{q(T_{SSMG}(t))}{q(T_{SSMG}(t))}}}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\frac{q(T_{SSMG}(t))}{q(T_{SSMG}(t))}}}} = \frac{\sum_{i=1}^N f(T_{SSMG}(t)) \frac{1}{q(T_{SSMG}(t))}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{q(T_{SSMG}(t))}}} \quad (96)$$

Корекција и усклађивање вредности између изведене функције расподеле $q(T_{SSMG}(t))$ и маргиналне расподеле $p(T_{SSMG}(t))$ реализује се употребом тежинских коефицијената (пондера) ω_i који се рачунају поступком датим у [58] и [61].

Примена претходног поступка на све једно-сервисне мултиграфе и њима придружене матрице дефинише промену количине података за дистрибуцију у мрежи. Временска промена количине података се реализује између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$. Израчунате вредности функције расподеле формирају скуп вредности функције расподеле $q(T_{SSMG}(t))$. Те вредности омогућавају да се дефинише функција дистрибуције количине података $pdf(Srv_Adt(t))$ апликативног сервиса Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$:

$$\{q(T_{SSMG}(t))\} \Rightarrow pdF(q(T_{SSMG}(t))), t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m) \quad (97)$$

$$pdF(Srv(\Delta T)) = pdF(q(T_{SSMG}(t))), Srv = (S1, S2, \dots, S_n) \quad (98)$$

Израчунате вредности формирају скуп вредности $\{q(T_{SSMG}(t))\}$ чијом се употребом за временске тренутке $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$ на које се те вредности односе графичким повезивањем израђује график функције расподеле дистрибуције количине података $pdF(Srv_Atd(\Delta T))$. Исти поступак се примењује на више-сервисне мултиграфове.

Вредности функције расподеле $pdF(q(T_{SSMG}(t)))$ се израчунавају и дефинишу функцију расподеле дистрибуције података $pdF(S1Sn_Atd(\Delta T))$ посредством свих апликативних сервиса у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

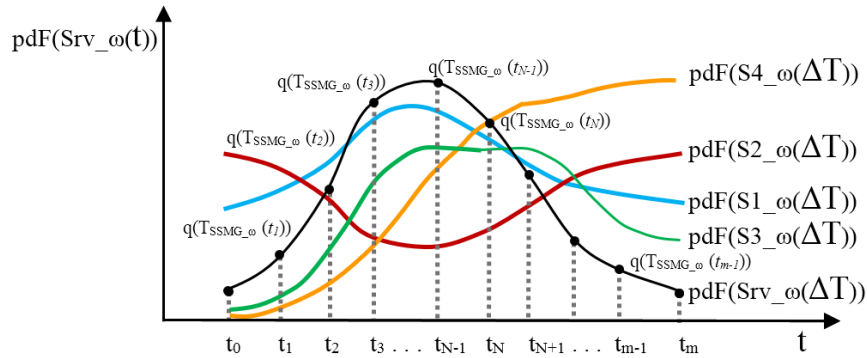
Овако дефинисана и изведена функција дистрибуције података истовремено посредством свих заступљених апликативних сервиса може се користити у симулационом моделу ИТРМ за примену мрежног саобраћаја и симулацију применом једноставније тзв. анализе токова (Flow Analysis) која је знатно мање сложена у односу на дефинисање мрежног саобраћаја потребног за примену дискретне анализе (DES).

Наведени начин се користи за дефинисање и израду графика функције дистрибуције података сваког једно-сервисног мултиграфа за сваки апликативни сервис појединачно $pdF(S1_Atd(\Delta T))$, $pdF(S2_Atd(\Delta T))$, $pdF(S3_Atd(\Delta T))$, $pdF(S4_Atd(\Delta T))$ итд. Исти методолошки поступак се спроводи и за дефинисање графика функције дистрибуције података више-сервисног мултиграфа свих апликативних сервиса истовремено $pdF(S1Sn_Atd(\Delta T))$ у комуникационом интервалу времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

Методолошки поступак се примењује и на једно-сервисне мултиграфове комуникационих интеракција, где матрица $T_{SSMG_w}(t) = T_{SSMG_Srv_wt}$ припада скупу придружених симетричних матрица комуникационих интеракција између мрежних елемената E_i и E_j ($i \neq j$) посредством апликативног сервиса Srv у временском тренутку $t = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1}, t_N, t_m)$, и где је ΣT број матрица у скупу.

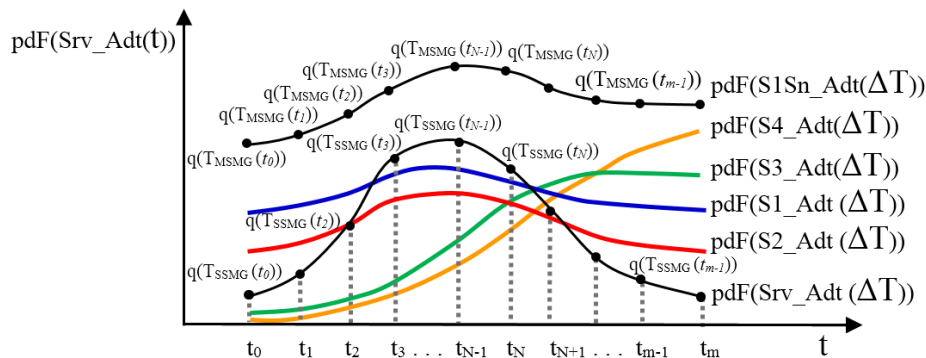
Вредности функције расподеле $pdF(q(T_{SSMG_w}(t)))$ се израчунавају описаним поступком и дефинишу функцију расподеле комуникационих интеракција $pdF(Srv_w(\Delta T))$ посредством апликативног сервиса Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.

График функције расподеле комуникационих интеракција $pdF(Srv_w(\Delta T))$ начелно приказан на *Слици 84*. приказује законитост временског догађања комуникационих интеракција између мрежних елемената ИТРМ апликативним сервисом Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.



Слика 84. График функције дистрибуције догађања $pdF(Srv_{\omega})$ комуникационих интеракција апликативним сервисом Srv у комуникационом интервалу времена ΔT

График функције дистрибуције података $pdF(Srv_Adt(\Delta T))$ је начелно приказан на Слици 85. и приказује законитост временске дистрибуције вредности количине података између мрежних елемената ИТРМ апликативним сервисом Srv у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$. Овде је у начелу графички приказана и законитост дистрибуције података за сваки апликативни сервис појединачно $pdF(S1_Adt(\Delta T))$, $pdF(S2_Adt(\Delta T))$, $pdF(S3_Adt(\Delta T))$, $pdF(S4_Adt(\Delta T))$, као и законитост дистрибуције података више-сервисног мултиграфа свих апликативних сервиса истовремено $pdF(S1Sn_Adt(\Delta T))$ у комуникационом интервалу времена $\Delta T = [t_0, t_m]$.



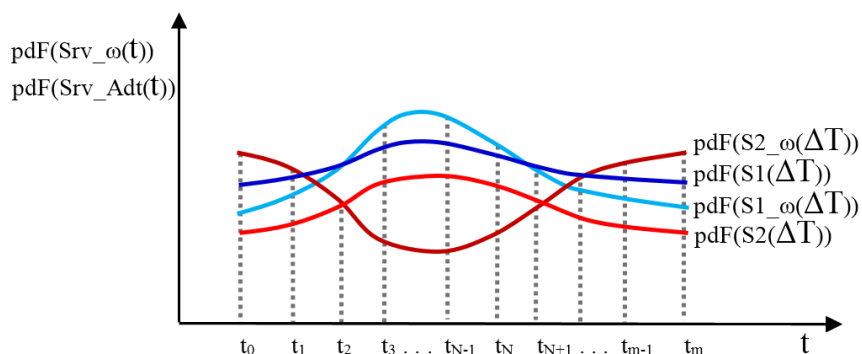
Слика 85. График функције дистрибуције података $pdF(Srv_Adt)$ апликативним сервисом Srv у комуникационом интервалу времена ΔT

На основу изведеног графика функције расподеле $pdF(Srv_Adt(t))$ могућа је и њена идентификација на основу утврђивања сличности њеног графика са графиком познатих функције расподеле (Експоненцијална, Поасонова, Нормална (Гаусова), Униформна, Вејбулова итд.) на основу описа датог у [42],[50],[51],[52] или у претходном поглављу. Постојање сличности графика и идентификација са познатом функцијом расподеле у изради OPNET симулационог модела омогућава избор постојеће математички интегрисане функције у симулациони софтвер, и дефинисање њених параметара на основу графика.

Ако сличност није утврђена, тада се употребом софтверског алата (PDF Editor) интегрисаног у софтвер OPNET може извршити унос графика функције расподеле pdF са вредностима параметара који га одређују. На дати начин изведена функција расподеле се у изради симулационог модела ИТРМ може користити као нова дефинисана функција расподела за дефинисање комуникационих интеракција апликативним сервисом, односно за дефинисање дистрибуције података у мрежном саобраћају.

За израду симулационог модела потребна је истовремена временски синхронизована употреба функције расподеле комуникационих интеракција $pdF(Srv_w(\Delta T))$, према којој се у симулационом моделу реализује механизам успоставе комуникације посредством апликативног сервиса Srv , и употреба функције расподеле дистрибуције података $pdF(Srv_Adt(\Delta T))$, према којој се генеришу количине података посредством тог апликативног сервиса Srv .

Ради разумевања наведеног, временско догађање ова два типа функција расподеле у комуникационом интервалу времена $\Delta T = [t_0, t_m]$ је начелно приказана на *Слици 86.* на примеру апликативних сервиса $S1$ и $S2$, и са изведеним графиконима тих функција.



Слика 86. Графици функција расподеле догађања комуникационих интеракција $pdF(Srv_w)$ и дистрибуције података $pdF(Srv_Adt)$ апликативним сервисима $S1$ и $S2$ у комуникационом интервалу времена ΔT

Описана метода примене мултиграфа првенствено је намењена за израду симулационог модела мрежа са детерминистички дефинисаном и контролисаном комуникацијом. Методу је могуће применити и у мрежама са стохастички генерисаним мрежним саобраћајем уз дефинисање варијације количине података за генерисања и варијације времена у току којег се ти подаци генеришу.

5 СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ

Примена претходно изнетих теоријских анализа и примена мултиграфа, у циљу практичног доказивања спроведеног истраживања, извршена је кроз пројектовање симулационог модела ИТРМ на примеру једне организационе целине војне тактичке оперативне намене. Узимајући у обзир теоријске специфичности функционалне и географски просторне намене овакве организационе целине, извршено је извођење свих неопходних полазних елемената за дефинисање полазног, односно симулационог модела. У овом делу истраживања примењена је метода рачунарске симулације модела ИТРМ употребом напредног софтвера OPNET чије су предности у пројектовању оваког типа организационе целине наведене у [62],[63]. Такође, у [64] је описан један шири контекст и начин моделовања појединих специфичности тактичке организационе целине применом софтвера OPNET, укључујући тактичку функцију у погледу комуникације између увезаних активних мрежних елемената, као и поједине пројектне елементе које сам навео у поглављу које описује пројектовање модела ИТРМ.

Начин како треба приступити методи рачунарске симулације комуникационе мреже и како на исправан систематизован начин приступити сваком кораку у процесу симулације посматраном као експеримент је дат у [65]. На основу овде описне анализе која је спроведена између некомерцијалних и комерцијалних софтвера као симулационих алата, може се закључити оправданост избора софтвера OPNET као одговарајућег алата у процесима истраживања. Начелни преглед функционалних могућности које OPNET омогућавају истраживање у пројектовању ИТРМ за потребе организационих целина тактичке намене је приказан у [66]. Оправданост пројектовања овог типа комуникационе мреже применом методе симулације или методе емуляције употребом софтверског алата, и са генерално описаним редоследом корака и процедура које треба спроводити у овим методама је дат у [67].

Да би пројектовани симулациони модел ИТРМ био валидан у односу на прелиминарни модел ИТРМ који је дефинисан на основу спроведене теоријске анализе, односно да би био верификован кроз резултат симулације према сменицама у [68] разматрана је валидација и верификација симулационог модела. Наведено је од посебног значаја за начин дефинисања мрежног саобраћаја у симулационом моделу. Уколико примењени мрежни саобраћај није валидан у односу на реални мрежни саобраћај, тада ће након анализе резултата симулације бити погрешни закључци о моделу ИТРМ.

Пројектовање симулационог модела ИТРМ на примеру организационе целине тактичке намене употребом софтверског алата OPNET у радном окружењу са употребом интегрисаних функционалних могућности, модела и пројектним алатима реализовао сам употребом оригиналног упутства и документације [69] која је имплементирана у софтвер OPNET IT Guru 10.5 који са лиценцом поседује Војска Србије. Осим наведене документације за пројектовање употребљена је и документација дата у [70] и [71]. Пројектовани симулациони модел ИТРМ за употребљени пример организационе целине тактичке намене садржи 90 активних мрежних елемената између којих се врши размена података дефинисаним апликативним сервисима, и 90 активних мрежних елемената између којих се врши размена података сервисом гласа.

Успостава мрежног саобраћаја се реализује између 180 активних мрежних елемената. Због обимности и сложености које произилазе из теоријске анализе пројектовања модела ИТРМ, реализовани симулациони модел ИТРМ је овде представљен само појединим елементима који га дефинишу.

5.1 Топологија и основни елементи симулационог модела ИТРМ

Основна логичка структура модела ИТРМ је формирана према резултатима изведене теоријске анализе једне организационе целине војне тактичке намене. Елементи организационе структуре су у складу опште функционалне намене и концепта наведеног у тачки 2.1.2 груписани у основне модове: Сензор, Напредни сензор, Доносилац одлуке I, Доносилац одлуке II, Обрада података I, Обрада података II, Подршка, Извршилац. На основу наведених модова у симулационом моделу су дефинисани истоимени профили мрежних елемената. У складу начина за представљање основне логичке структуре приказане на *Слици 5.* и дефинисаних модова израђена основна логичка структура ИТРМ је приказана на *Слици 87.* Основна логичка структура осим функционалних комуникационих релација приказује и функционално захтевани територијални распоред груписаних мрежних елемената и њихова међусобна растојања.

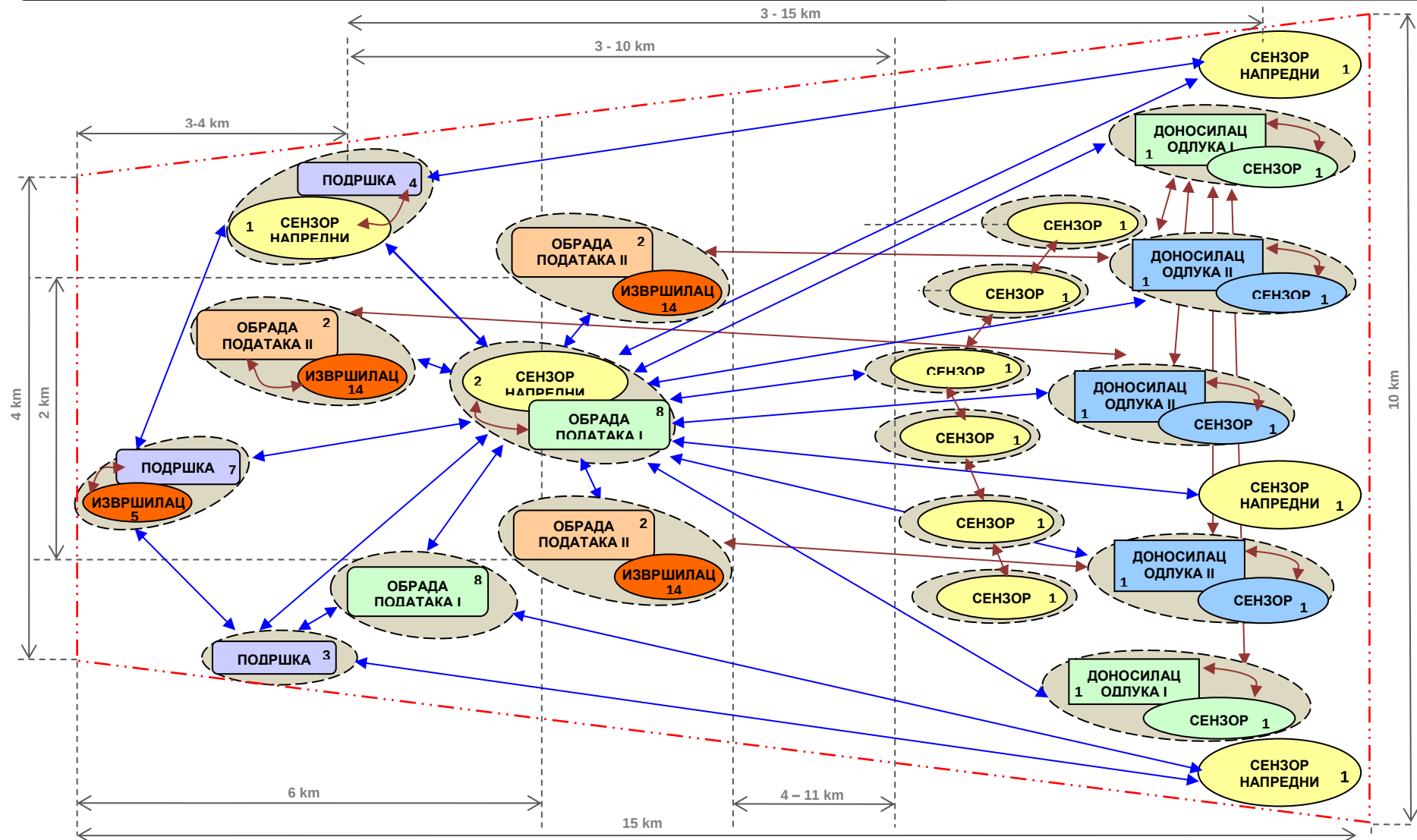
На основу анализе оперативних процедура и утврђених типова података потребних за дистрибуцију и остварење предвиђене комуникационе функције, у симулационом моделу ИТРМ су дефинисани апликативни сервиси Email, WEB, DBASE и VoIP.

На основу дефинисаних апликативних сервиса и за то потребних рачунарски заснованих апликација за потребе дефинисања истих у симулационом моделу на основу података из *Табеле 2.* може се дефинисати *Табела 5.* према следећем:

Функција организационе целине	Дигитални формат података	Информациони ток	Протоколи TCP/IP стека			
		Сервис /Апликација	Апликат.	Транспорт.	Мрежни	Физички
Руковођење Обавештавање Извештавање	Дигитализовани говор	VoIP	SIP	UDP	IP	Ethernet
	Текстуални фајл (.txt)	Email	SMTP POP3	TCP		
	Word фајл (.doc)					
Помоћне информације Прегледи и слике Симболи Подаци техничких система	Слика (.jpg, .png, .tif)	WEB	HTTP			
	Табела (.html, .xml)					
	GIS подаци					
	Дигитална порука					
Евиденције Подаци за рад Извештаји	Табела (.xls)	DBASE	FTP	TCP		
	База података (.dbf, .sql)					

Табела 5. Апликативни сервиси и мрежни протоколи за успоставу информационих токова функција организационе целине

Оперативним процедурама и на основу формиране матрице мрежног саобраћаја дефинисани су извори и одредишта података, између којих је потребно успоставити информационе токове мрежним апликативним сервисима. У складу наведеног и према основној логичкој структури модела ИТРМ дефинисан је модел информационих токова приказан на *Слици 88.*



Слика 87. Основна логичка структура модела ИТРМ

На основу датог логичког приказа информациони токови се успостављају између просторно распоређених логичких група модова мрежних елемената. Логичке групе модова активних мрежних елемената означене са A, A_10, B, B_10, C, C_10, D_1, D_2, D_3, D_10, D_20, G, L, R, V_1, V_2, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6 у симулационом моделу ИТПМ у тополошкој структури су реализоване као LAN подмреже.

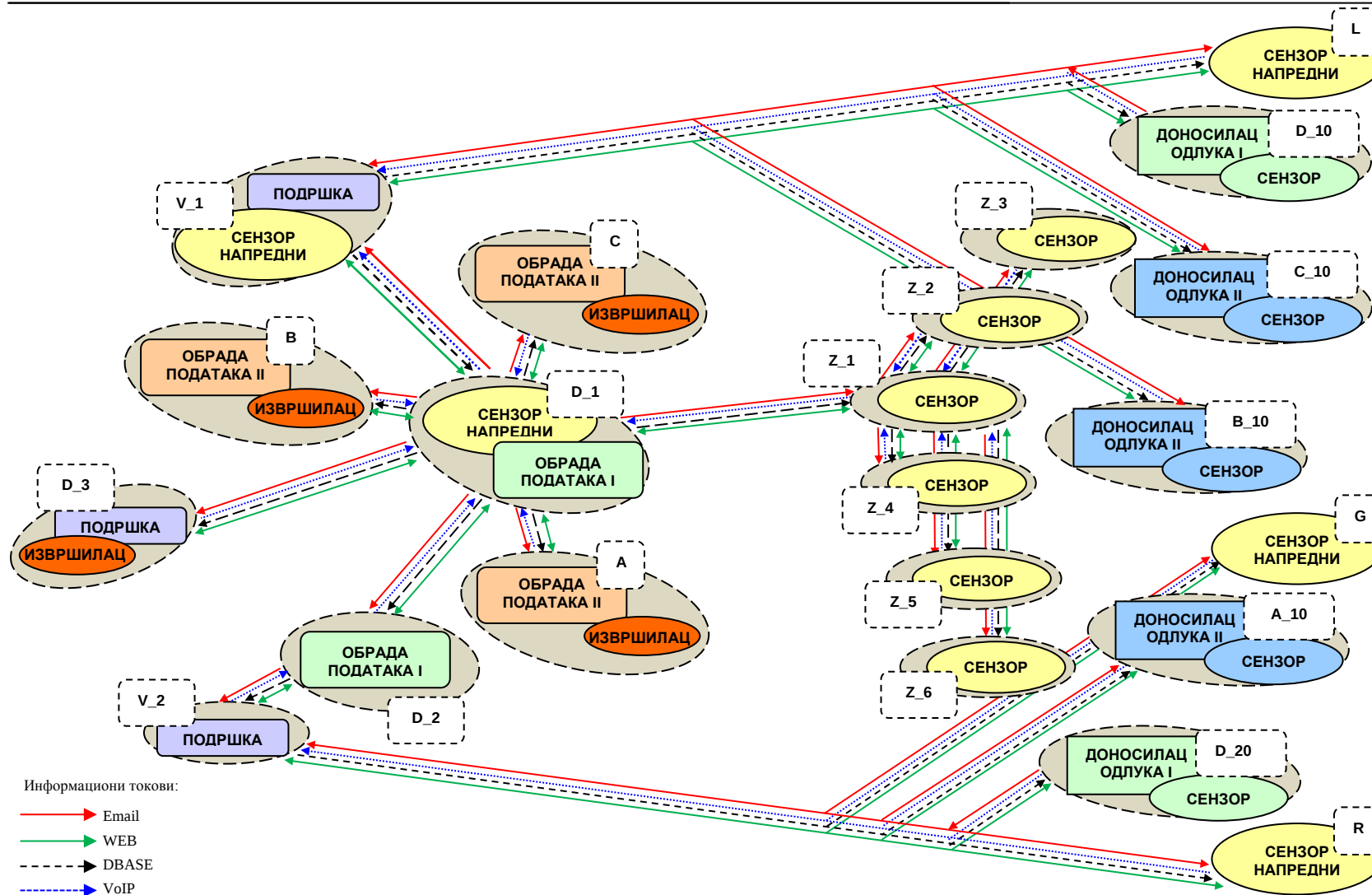
За успоставу наведених мрежних апликативних сервиса између мрежних елемената комуникацијом типа клијент-сервер дефинисани су одговарајући сервери (Email_Server, WEB_Server, DBASE_Server и VoIP_Server) и одговарајући протоколи за њихову успоставу у ИТПМ посредством сервера.

Активни мрежни елементи су клијенти именовани са почетном ознаком RSt уз редни број (1, 2, 3 ...) и са ознаком мрежног чвора (D11,D12,D13...) на који су повезани комуникационим линком.

Пример матрице мрежног саобраћаја за успоставу апликативних сервиса између мрежних елемената посредством сервера је дат у Табели 6. за мрежне елементе који припадају профилу клијента Обрада података I и налазе се у LAN подмрежама D_1 и D_2.

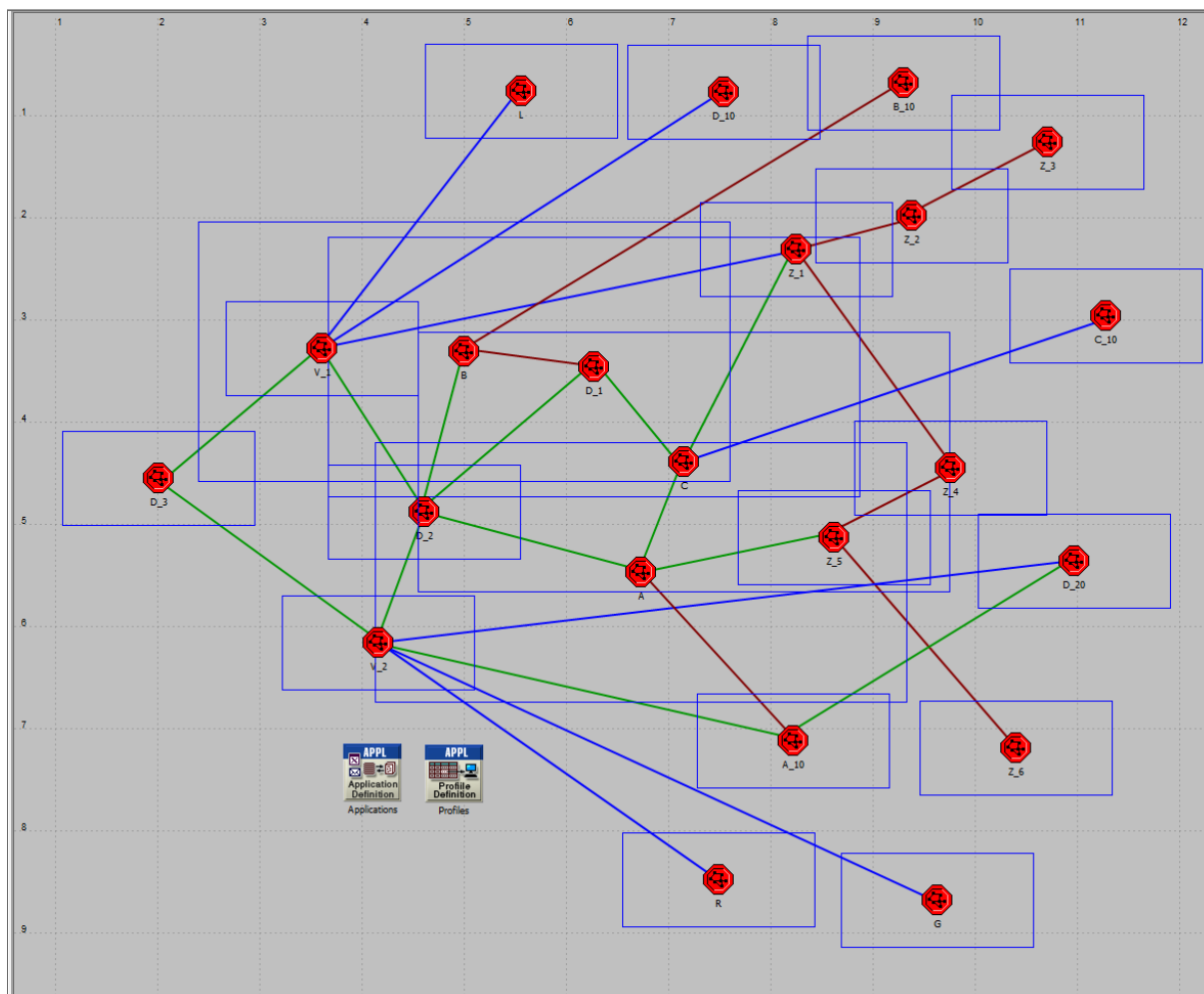
ПРОФИЛ			Сервис - Апликација у профилу			
ОБРАДА ПОДАТАКА I			Email	WEB	DBASE	VoIP
LAN			D_1		D_1	
	мрежни чвор		D_15		D_15	
	мрежни елемент		Email Server	VoIP Server	DBASE Server	WEB Server
D_1	D_11	RSt_1_D11	x	x	x	x
		RSt_2_D11	x	x	x	x
		RSt_3_D11	x	x	x	x
		RSt_4_D11	x	x	x	x
	D_12	RSt_1_D12	x	x	x	x
		RSt_2_D12	x	x	x	x
	D_13	RSt_1_D13	x	x	x	x
		RSt_2_D13	x	x	x	x
D_2	D_21	RSt_1_D21	x	x	x	x
		RSt_2_D21	x	x	x	x
		RSt_3_D21	x	x	x	x
		RSt_4_D21	x	x	x	x
	D_22	RSt_1_D22	x	x	x	x
		RSt_2_D22	x	x	x	x
	D_23	RSt_1_D23	x	x	x	x
		RSt_2_D23	x	x	x	x

Табела 6. Матрица мрежног саобраћаја за успоставу апликативних сервиса профила Обрада података I мрежних елемената у LAN D_1 и LAN D_2



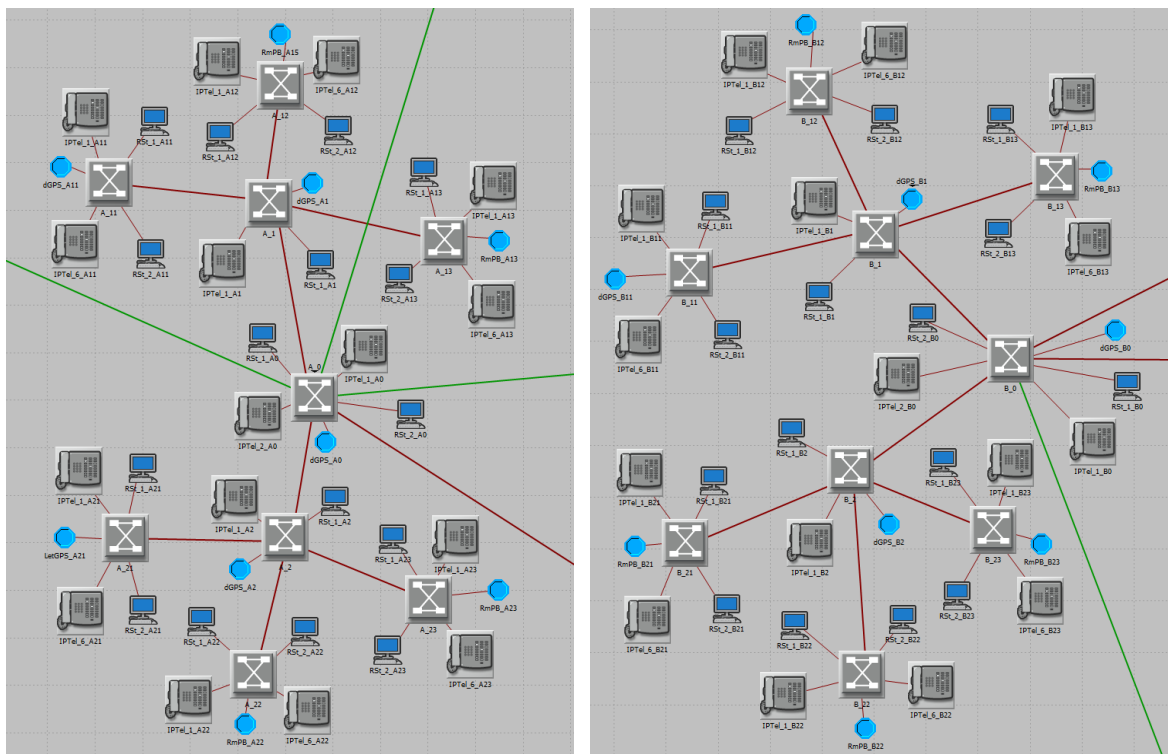
Слика 88. Информациони токови у основној логичкој структури модела ИТРМ

Полазећи од основне логичке структуре ITRM и претходно наведених основних елемената и информационих токова у симулационом моделу у радном окружењу софтвера OPNET је реализована топологија модела ИТРМ приказана на *Слици 89*. Основну топологију чине наведене LAN подмреже које су повезане комуникационим линковима. Техничко-технолошки избор комуникационих линкова је извршен у складу почетних захтева за успоставу информационих токова преносом одређених типова и количина података, у односу на телекомуникациона ограничења одређена растојањем, рељефом, локацијом мрежних елемената у простору и осталим ограничењима међу којима знатну улогу има и финансијски буџет за реализацију модела ИТРМ.

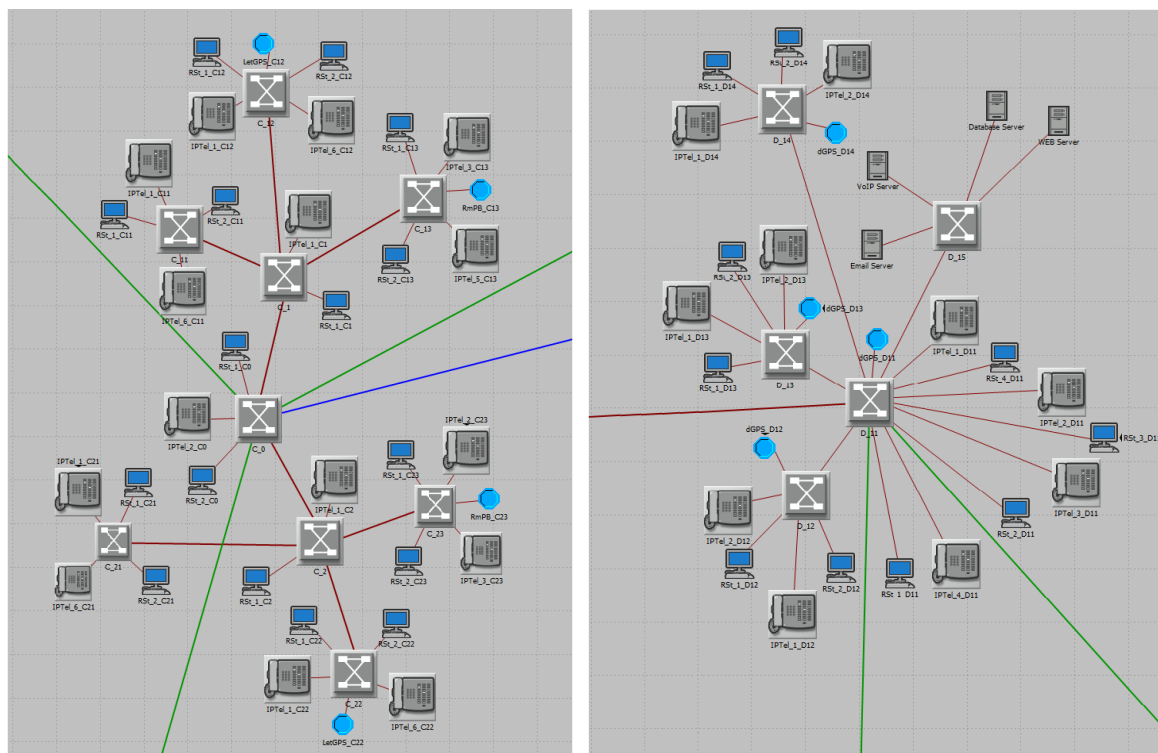


Слика 89. Топологија модела ИТРМ у симулационом моделу

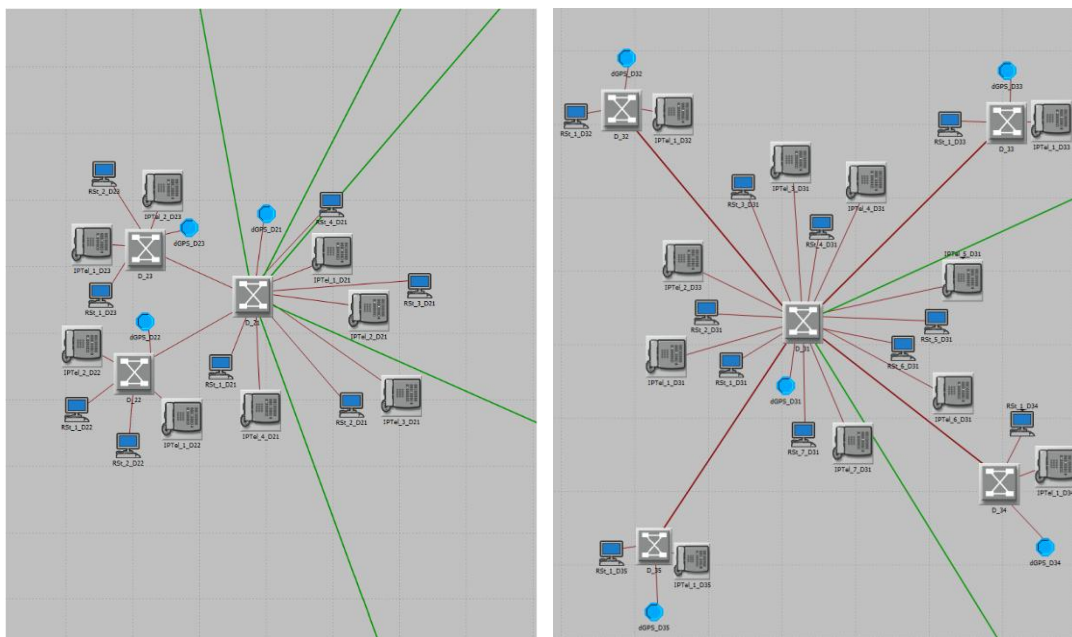
У тополошкој структури сваке LAN подмреже су тополошки посредством комуникационих мрежних чворова (L-2 Switch, L-3 Switch, router) повезани активни мрежни елементи (клијенти) који су технички реализовани као терминална опрема (рачунари, хардверско-софтверски сензори, VoIP терминали). Тополошке структуре LAN подмрежа (A, A_10, B, B_10, C, C_10, D_1, D_2, D_3, D_10, D_20, G, L, R, V_1, V_2, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6) у топологији ИТРМ реализоване у симулационом моделу су приказане од *Слике 90.* до *Слике 98.*



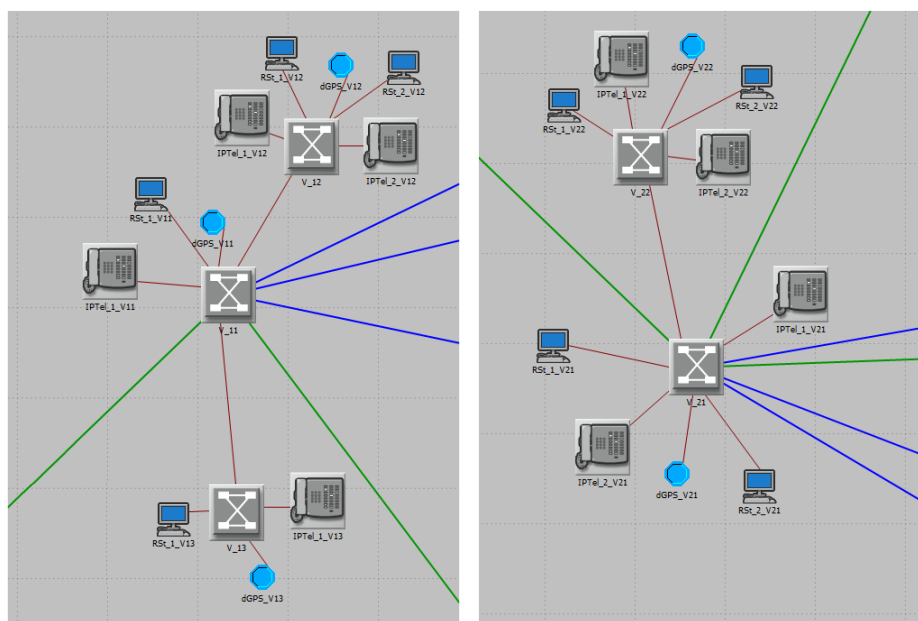
Слика 90. Топологија LAN А (лево), LAN В (десно)



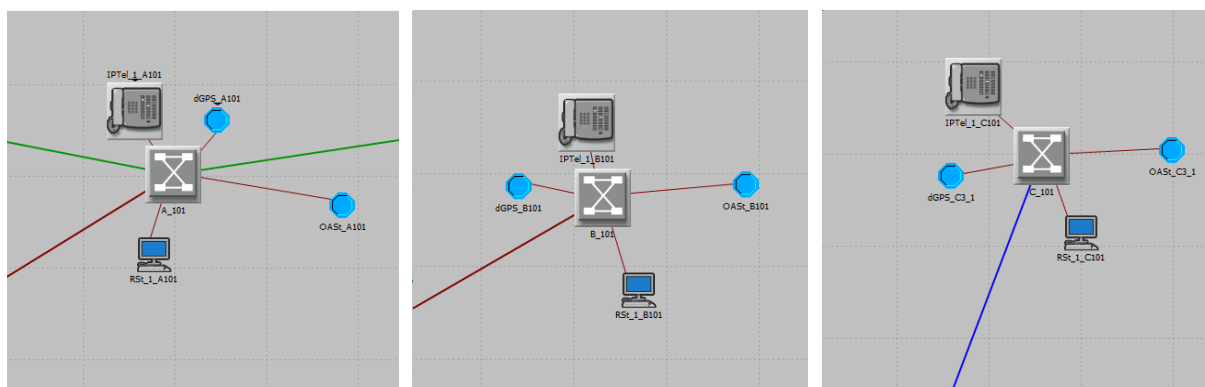
Слика 91. Топологија LAN С (лево), LAN D_1 (десно)



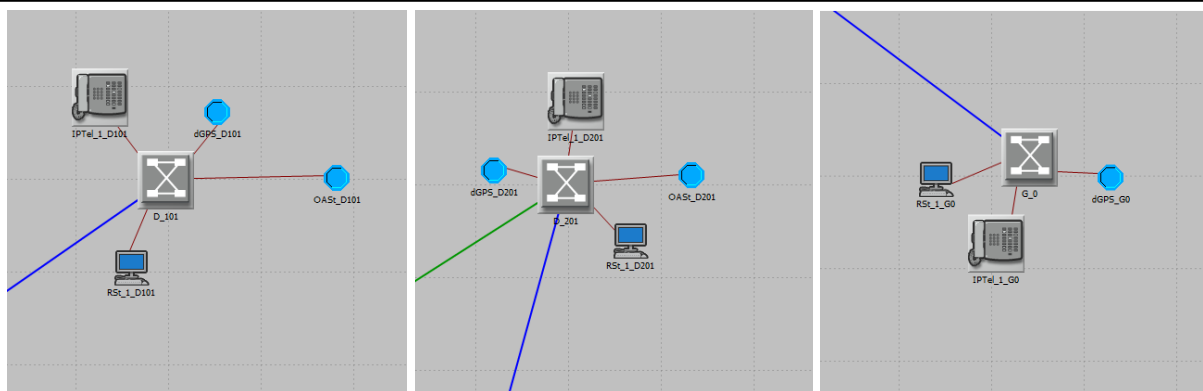
Слика 92. Топологија LAN D_2 (лево), LAN D_3 (десно)



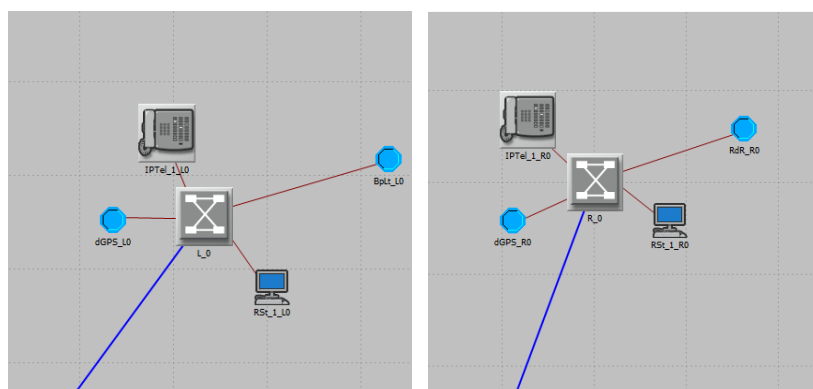
Слика 93. Топологија LAN V_1 (лево), LAN V_2 (десно)



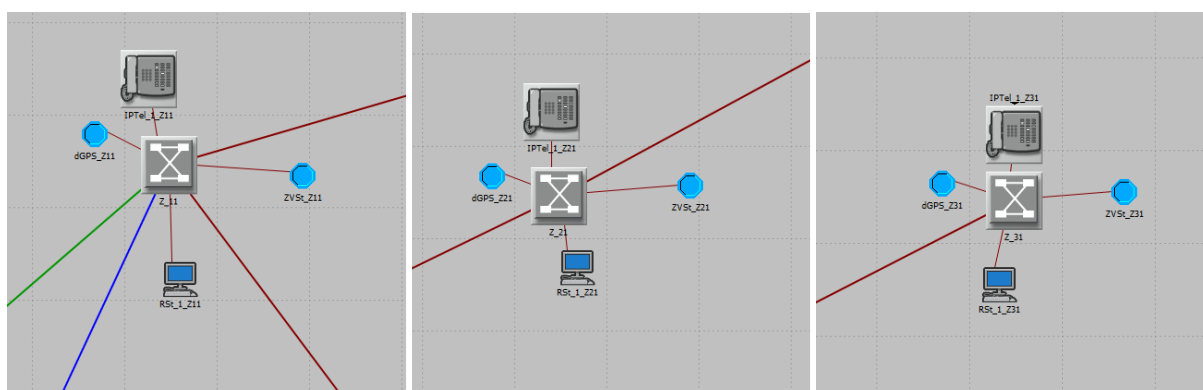
Слика 94. Топологија LAN A_10 (лево), LAN B_10 (средина), LAN C_10 (десно)



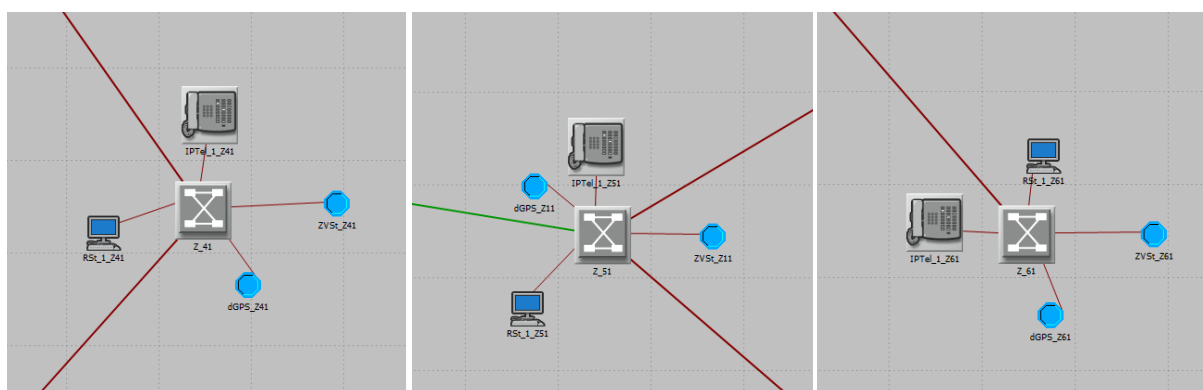
Слика 95. Топологија LAN D_10 (лево), LAN D_20 (средина), LAN G (десно)



Слика 96. Топологија LAN L (лево), LAN R (десно)



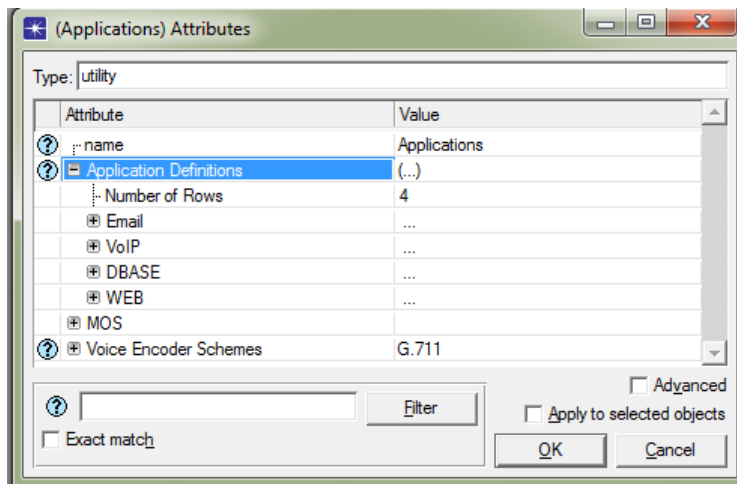
Слика 97. Топологија LAN Z_1 (лево), LAN Z_2 (средина), LAN Z_3 (десно)



Слика 98. Топологија LAN Z_4 (лево), LAN Z_5 (средина), LAN Z_6 (десно)

5.2 Мрежни саобраћај симулационог модела ИТРМ

Полазно дефинисање мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТРМ се реализује дефинисањем апликативних сервиса Email, WEB, DBASE и VoIP у радном окружењу софтвера OPNET што је приказано на *Слици 99*.



Слика 99. Апликативни сервиси у симулационом моделу ИТРМ

Апликативни сервис је дефинисан типом и параметрима комуникационог протокола и функцијом дистрибуције временских тренутака комуникационих интеракција и функцијом дистрибуције количина података у тим тренуцима. Да би се применом методе симулације извршило упоређивање резултата и извели закључци, мрежни саобраћај је реализован у два сценарија:

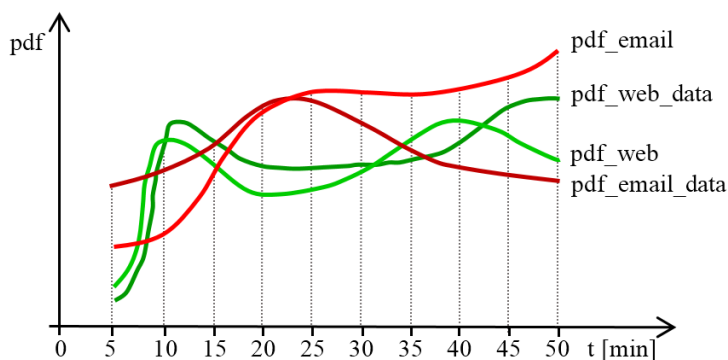
1. Сценарио мултиграфа означен са **Scenario_multigraf_pdf** у којем се мрежни саобраћај дефинише функцијама дистрибуције изведене применом методе мултиграфа, на основу оперативних процедура и матрице мрежног саобраћаја.
2. Сценарио апроксимација означен **Scenario_aproksimacija_pdf** у којем се мрежни саобраћај дефинише познатим функцијама дистрибуције које се типски користе за апроксимацију законитости догађања временских тренутака комуникационих интеракција и генерисање података према типу апликативног сервиса.

На основу анализе оперативних процедура и изведене матрице мрежног саобраћаја функције дистрибуције посредством предвиђеног апликативног сервиса (Email, WEB, DBASE, VoIP) су дефинисане за сваки профил клијента и апликативни сервис предвиђен за примену на том клијенту. У складу тога у сценарију мултиграфа за сваки профил клијента и апликативни сервис дефинисане су функције дистрибуције комуникационих интеракција и функције дистрибуције количине података, респективно означене са:

- **pdf_email** и **pdf_email_data** за апликативни сервис Email,
- **pdf_web** и **pdf_web_data** за апликативни сервис WEB,
- **pdf_dbase** и **pdf_dbase_data** за апликативни сервис DBASE и
- **pdf_voip** за апликативни сервис VoIP.

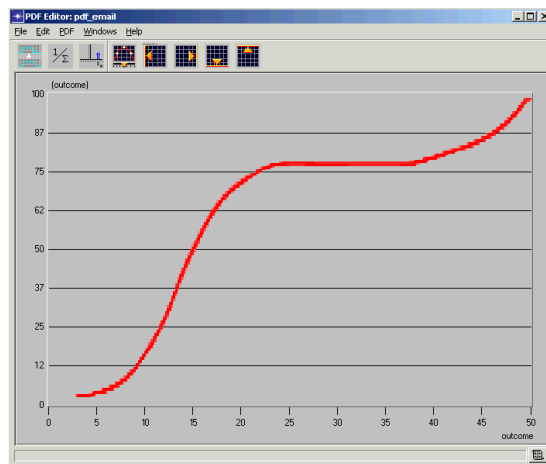
Графичко извођење функције дистрибуције се због обимности података који одређују једно-сервисне мултиграфе, за сваки од апликативних сервиса може се извршити употребом помоћног програма који може бити реализован у софтверима Matlab, Mathematica Wolfram или у било ком другом програмском језику, а према алгоритму дефинисаном на основу представљене методе примене мултиграфа.

На *Слици 100.* су представљени примери графички изведених функције дистрибуције у току комуникационог интервала трајања 50 min.



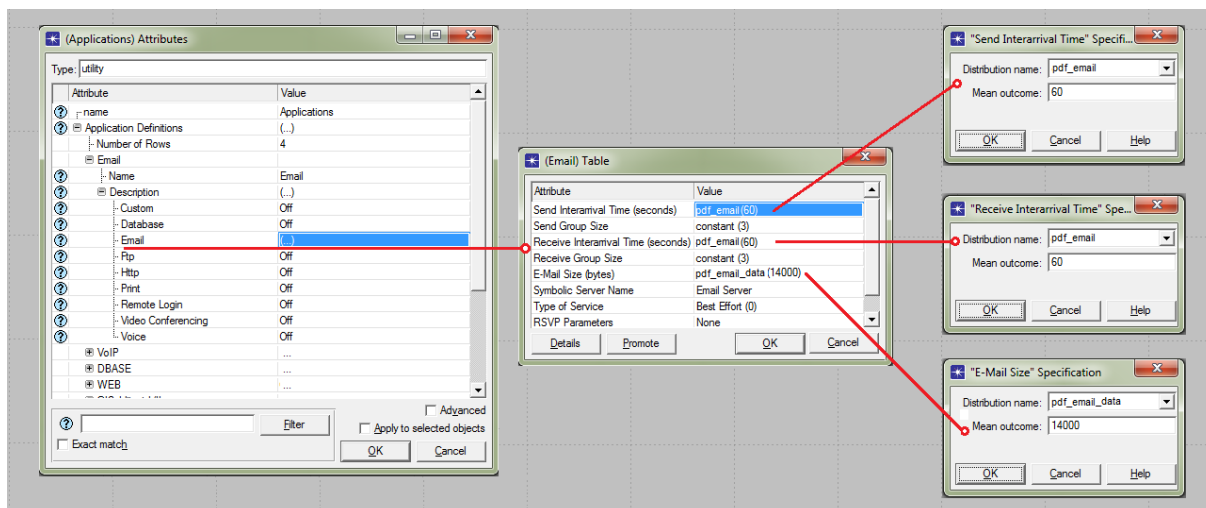
Слика 100. Графици функција дистрибуције догађања комуникационих интеракција и дистрибуције података апликативним сервисима Email и WEB

Употребом софтверског алата PDF Editor (*Слика 101.*) који је интегрисан у софтвер OPNET према [69] врши се унос изведених функција расподеле и референтних вредности које их одређују.

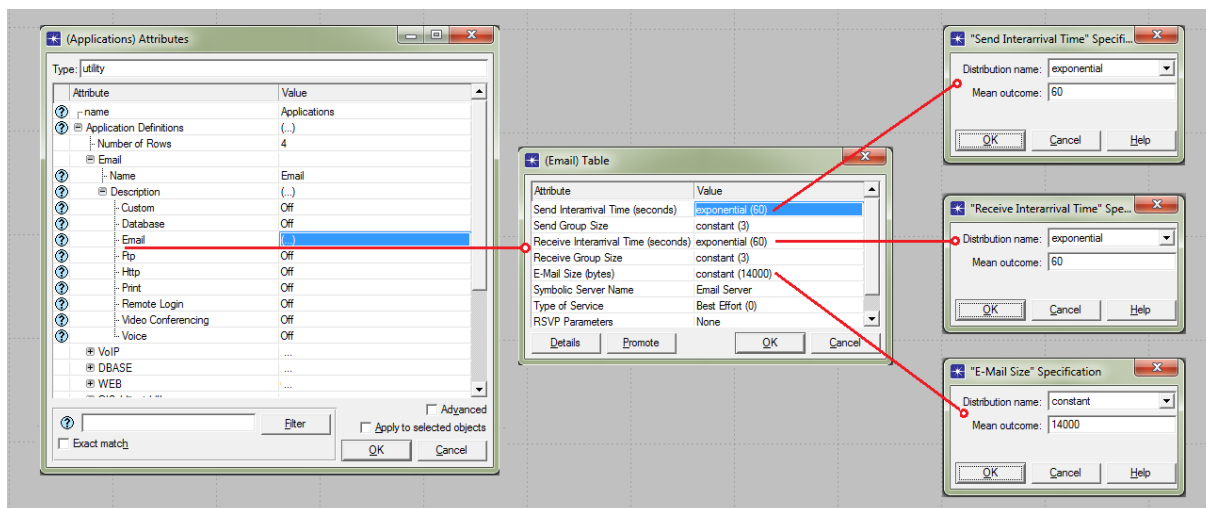


Слика 101. OPNET PDF Editor за унос графика изведене функције дистрибуције

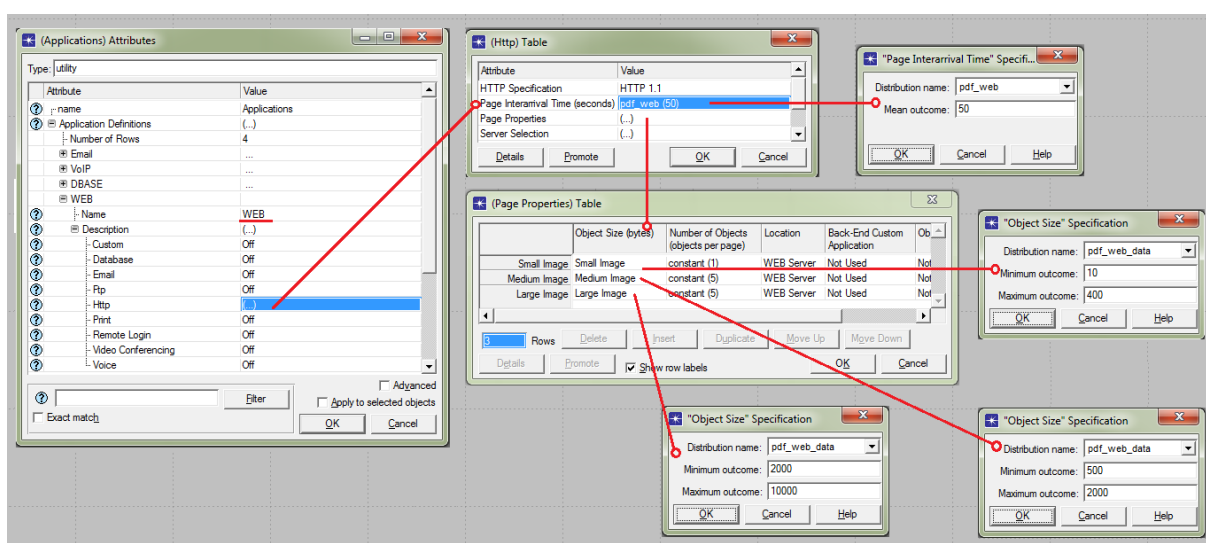
Избор у симулационом моделу ИТРМ и употреба функција дистрибуције за дефинисање апликативних сервиса, изведених применом мултиграфа за **Scenario_multigraf_pdf** и функција дистрибуције дефинисаних апроксимацијом за **Scenario_aproksimacija_pdf**, у радном окружењу софтвера OPNET је приказан од *Слике 102.* до *Слике 109.*



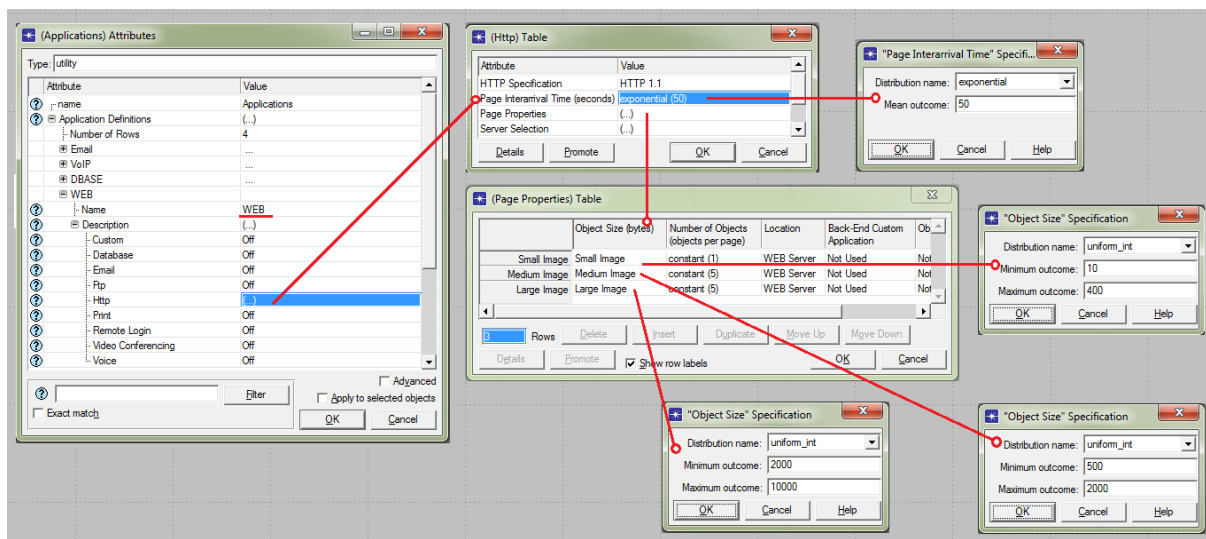
Слика 102. Дефинисање апликативног сервиса Email за Scenario_multigraf_pdf



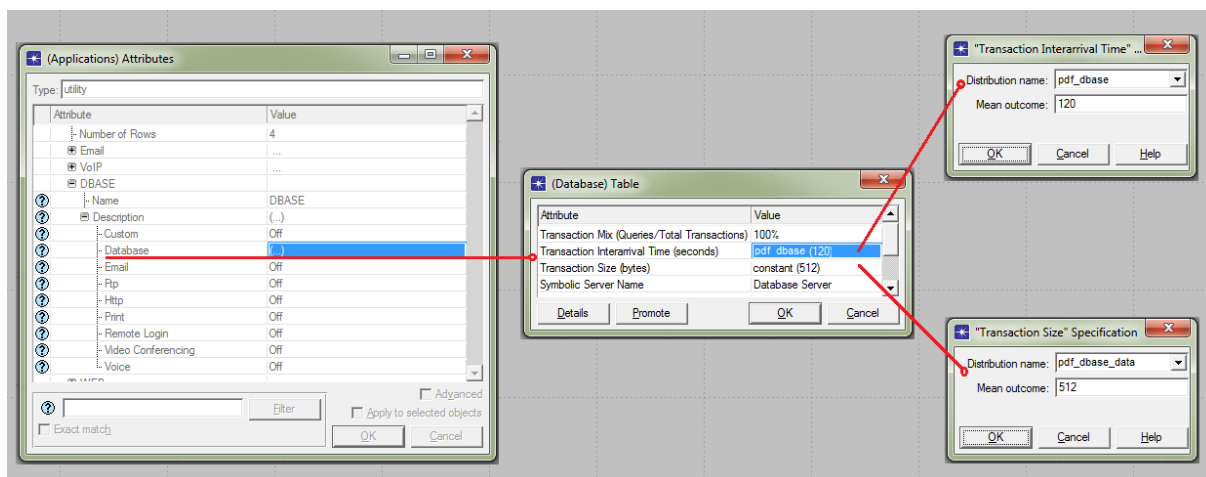
Слика 103. Дефинисање апликативног сервиса Email за Scenario_aproksimacija_pdf



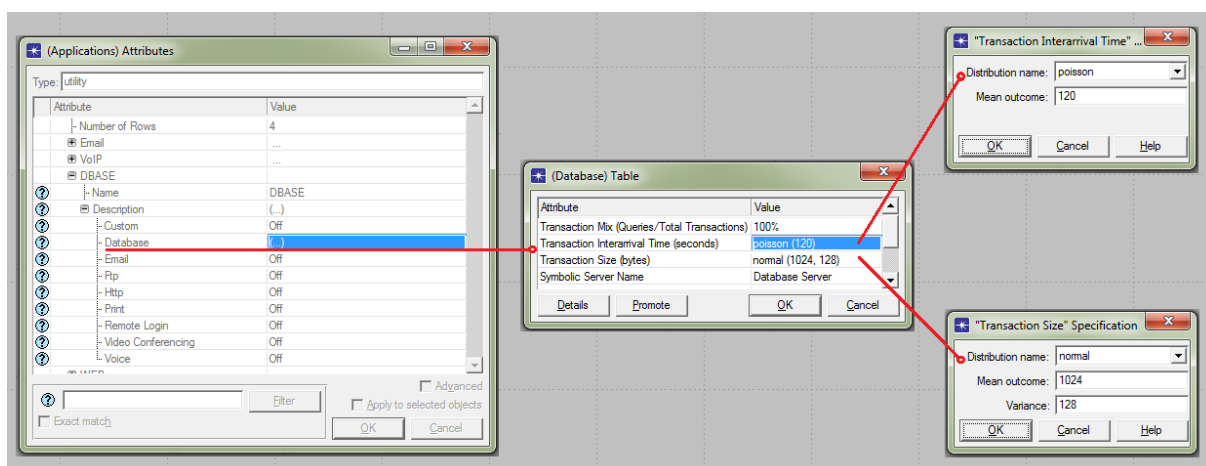
Слика 104. Дефинисање апликативног сервиса WEB за Scenario_multigraf_pdf



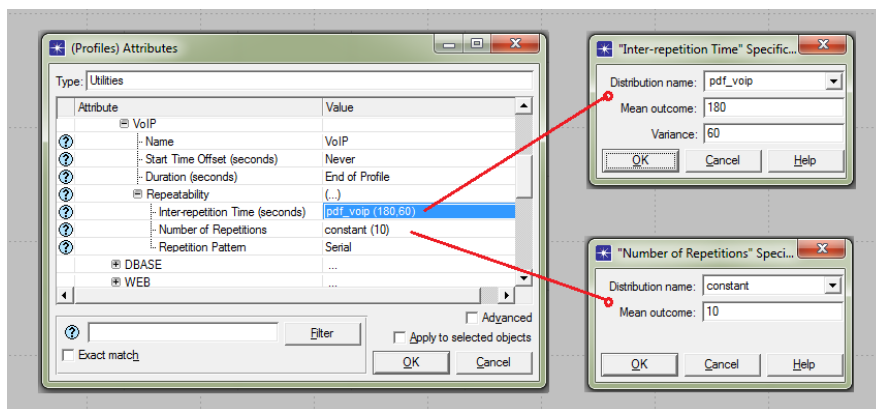
Слика 105. Дефинисање апликативног сервиса WEB за Scenario_aproksimacija_pdf



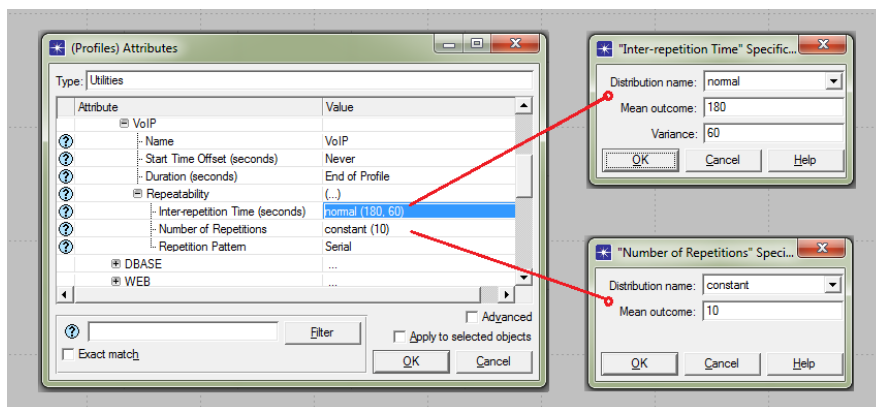
Слика 106. Дефинисање апликативног сервиса DBASE за Scenario_multigraf_pdf



Слика 107. Дефинисање апликативног сервиса DBASE за Scenario_aproksimacija_pdf

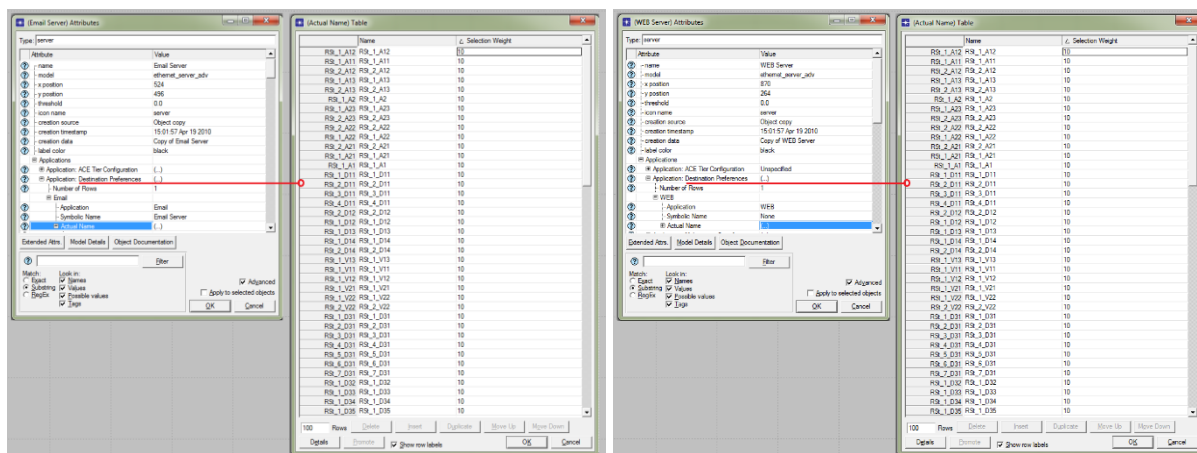


Слика 108. Дефинисање апликативног сервиса VoIP за Scenario_multigraf_pdf



Слика 109. Дефинисање апликативног сервиса VoIP за Scenario_aproksimacija_pdf

На основу информационих токова дефинисаних у основном структурном моделу ИТРМ изводи се матрица мрежног саобраћаја у којој се дефинише комуникациона релација између активних мрежних елемената посредством апликативног сервиса. Дате релације у симулационом моделу ИТРМ се остварују посредством сервера и у радном окружењу софтвера OPNET дефинисани су клијенти као одредишта (Destination) за сваки апликативни сервис појединачно, на начин приказан примером на Сlici 110. за апликативне сервисе Email и WEB.



Слика 110. Дефинисање матрице мрежног саобраћаја у симулационом моделу ИТРМ за апликативне сервисе Email и WEB

У симулационом моделу ИТРМ у радном софтвера OPNET посредством интегрисаних алата дефинишу се и сви остали елементи са којим је одређен прелиминарни модел ИТРМ (*Слика 22.*) као и сви параметри који дефинишу те елементе, што је објашњено у поглављу пројектовања модела ИТРМ.

Такође, у симулационом моделу се одговарајућим техничким параметрима дефинишу техничко-технолошки елементи телекомуникационе опреме, комутационе, рачунарске и терминалне опреме, телекомуникациони линкови, услови бежичног простирања сигнала, комуникациони протоколи и њихови параметри, формати пакета, MTU, именовање, адресирање и сви остали технички и системски детаљи потребни за извршење симулације мрежног саобраћаја у моделу ИТРМ.

У циљу анализе квалитета пројектованог модела ИТРМ за дефинисани мрежни саобраћај врши се избор потребне статистике комуникационих параметара као резултата симулације, и који се могу дефинисати за модел ИТРМ у целини и дефинисати за све појединачне елементе у моделу ИТРМ у којима се врши неко процесирање (генерисање, обрада, дистрибуција, пренос, прихват) мрежног саобраћаја.

За потребе истраживања дефинисања мрежног саобраћаја применом мултиграфа, за овде пројектовани модел ИТРМ извршена је дискретна симулација (DES) како би статистички резултати били веродостојнији и ближе приказали утицај тополошке и техничко-технолошке комуникационе структуре ИТРМ на дефинисани мрежни саобраћај. Процес рачунарске симулације зависно од одабране резолуције узорковања података и комуникационог интервала времена у којем се симулира комуникација у ИТРМ може трајати више сати и дана. Симулација је извршена за комуникациони интервал времена у трајању првих 35 min када се према оперативним процедурама остварује највише комуникације и размене података. Добијени статистички резултати су издвојени и њихова анализа је дата у наредном поглављу ове дисертације.

6 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати процеса симулације модела ИТРМ употребом симулационог софтвера представљају меру комуникационих параметара на основу чијих вредности се процењује да ли и у којој мери пројектовано решење модела ИТРМ може да испуни постављене комуникационе захтеве, који треба да омогуће извршење функције организационе целине. Форма у којој се резултати симулације представљају је временски график на којем се читава промена посматраног параметра комуникације у току комуникационог интервала времена $\Delta T = [t_0, t_m]$ у којем се симулира догађање мрежног саобраћаја.

Досадашња примена и истраживања спроведена применом методе рачунарске симулације указују да се за различито дефинисан мрежни саобраћај на истој комуникационој структури ИТРМ добијају различити резултати. При томе једној дефиницији мрежног саобраћаја одговарају једни резултати симулације и они су поновљиви. Свака значајнија промена у дефиницији мрежног саобраћаја у целини или појединих апликативних сервиса који га чине, условиће промену у резултатима, посебно у тополошкој структури ИТРМ где су мање вредности преносних капацитета линкова или је заступљена хардверски слабија комуникациона опрема.

Полазећи од дате чињенице може се закључити да се применом методе компаративне анализе резултата симулације може утврдити тачност утицаја мрежног саобраћаја дефинисаног неком од метода. Симулација се реализује на истој тополошкој структури ИТРМ за сваки сценарио посебно чиме су добијени засебни резултати.

Тачност методе дефинисања мрежног саобраћаја применом мултиграфа се утврђује упоређивањем резултата симулације мрежног саобраћаја дефинисаног функцијама расподеле које су изведене применом мултиграфа за *Scenario_multigraf_pdf* и резултата симулације мрежног саобраћаја дефинисаног апроксимацијом познатим функцијама расподеле за *Scenario_aproksimacija_pdf*.

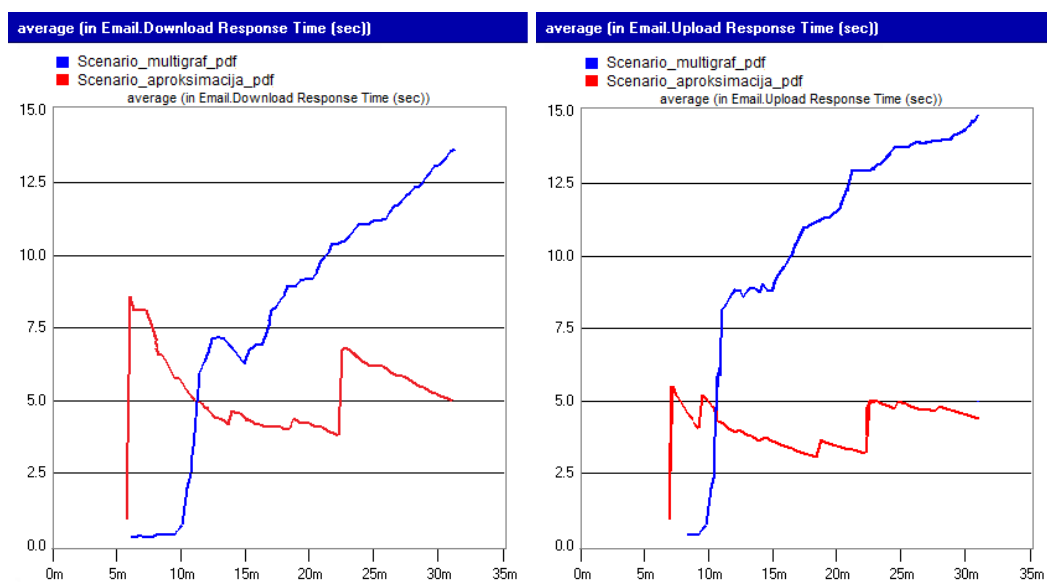
Симулациони софтвер OPNET омогућава избор многобројних параметара чије се вредности могу утврдити симулацијом. Основни захтев квалитета у пројектовању ИТРМ су да податак, односно информација стигне на своје одредиште као правовремена, потпуно тачна и веродостојна како би била употребљена за извршење функције од стране елемента организационе целине. Параметар који у највећој мери приказује утицај пројектованог модела ИТРМ на правовремену дистрибуцију мрежног саобраћаја између активних мрежних елемената је средње време кашњења података (Average Time) апликативног сервиса у (sec). Прихватање потпуно тачног података на одредишту се односи на прихват пакета величине MTU који формирају податак, и параметар којим се приказује мера комплетности пакета је количина одбачених пакета (Dropped packets/sec). Додатно, параметар којим се утврђује потребан преносни опсег за пренос мрежног саобраћаја телекомуникационим линковима је вршни проток података (Throughput).

За потребе упоређивања резултата, анализу и извођење закључка издвојени су поједини резултати који са наведеним параметрима и који се односе на модел ИТРМ у целини, поједине клијенте у ИТРМ и на појединачне комуникационе линкове. Резултати за *Scenario_multigraf_pdf* и *Scenario_aproksimacija_pdf* су приказани на истом графикону што за потребе поређења сценарија омогућава софтверски алат OPNET.

6.1 Резултати симулације модела ИТРМ у целини

Средње време кашњења (Average Time (sec)) за апликативне сервисе Email, WEB, DBASE, VoIP у мрежном саобраћају се односи на модел ИТРМ у целини и дистрибуцију података овим сервисима у току комуникационог интервала времена $\Delta T = 35 \text{ min}$.

Резултат за средње време кашњења Email апликативног сервиса је приказан на Слици 111. и односи се на средње време преузимања података (Download Time) и средње време слања података (Upload Time) посредством Email сервера.



Слика 111. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса Email у ИТРМ

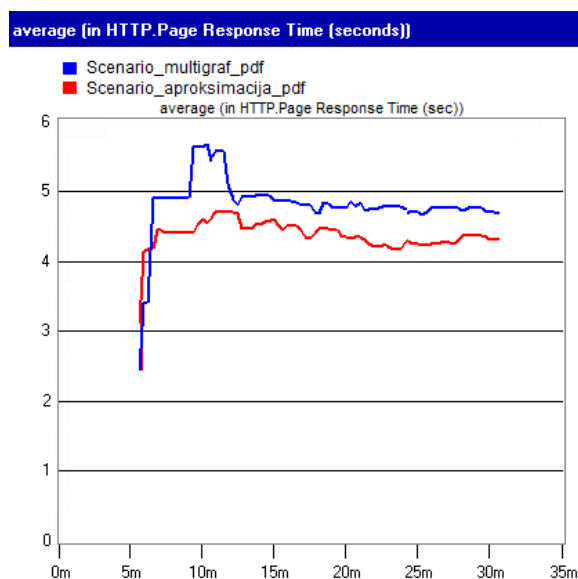
На основу приказаних резултата за апликативни сервис Email може се закључити следеће:

- Апроксимација активације сервиса за Scenario_aproksimacija_pdf се догађа раније у односу на почетну активацију за Scenario_multigraf_pdf где су времена тачно дефинисана, што указује на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функције дистрибуције у овом делу комуникационог интервала времена.
- Постојање тачке пресека графика у 12 min сценарија комуникације где је исто средње време кашњења (5 sec), указује на приближно тачну апроксимацију функције дистрибуције активације сервиса за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Средње време преузимања података (Download Time) за Scenario_multigraf_pdf је до 2,5 пута веће од времена преузимања података за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Средње време слања података (Upload Time) за Scenario_multigraf_pdf је до 3 пута веће од времена одзива за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Велика разлика и варијација у вредностима времена преузимања и времена слања података (до 8 sec), посебно у делу пре заједничке тачке пресека за средње време кашњења, као и знатна разлика у облику графика кривих за оба сценарија указује на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података за Scenario_aproksimacija_pdf.

- Сличан облик и ток графика криве средњих времена кашњења за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа
- Мања времена кашњења за Scenario_aproksimacija_pdf доводе до закључка да се поједини техничко технолошки елементи тополошке структуре модела ИТРМ могу смањити у погледу техничких карактеристике, а тиме и у складу смањења финансијског буџета. Обзиром да је указано на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функција дистрибуције, тада је наведени закључак погрешан и чија би примена на реалном моделу ИТРМ условила већа кашњења дистрибуцијом количина података реалног мрежног саобраћаја.
- Већа времена кашњења тачно дефинисаних количина података за Scenario_multigraf_pdf доводе до закључка да су поједини техничко технолошки елементи тополошке структуре модела ИТРМ димензионисани у потребној мери или да се требају повећати уколико дата времена не задовољавају постављени критеријум организационе целине за правовременост информација. Исправност овог закључка посредно потврђује тачност дефинисање функција дистрибуције изведених применом методе мултиграфа.

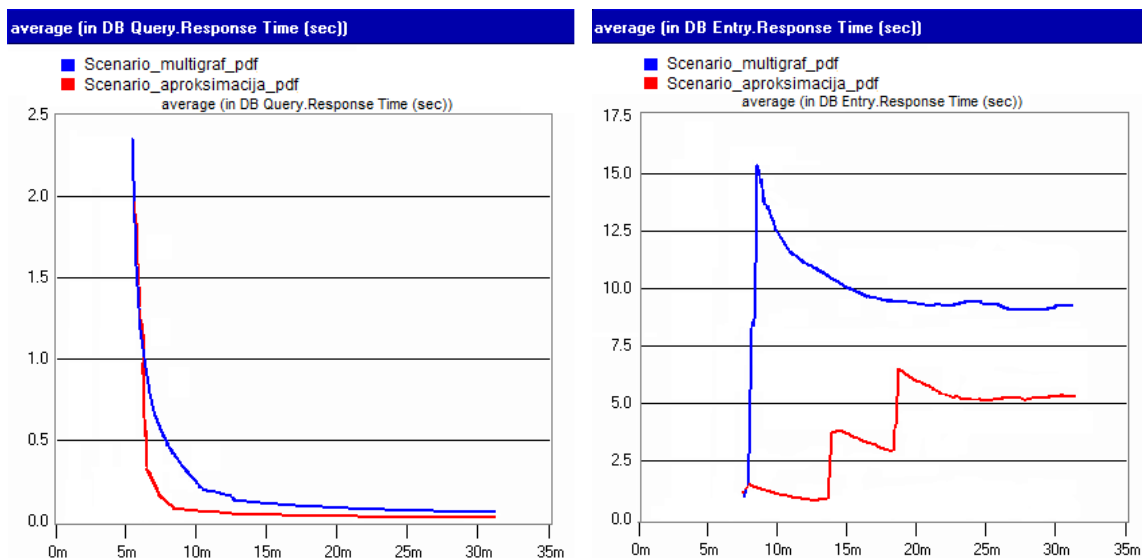
Резултат за средње време кашњења WEB апликативног сервиса је приказан на Слици 112. и односи се на средње време одзива web странице (Page Response Time) употребом HTTP протокола посредством WEB сервера. На основу приказаних резултата за апликативни сервис WEB може се закључити следеће:

- Средње време одзива web странице за Scenario_multigraf_pdf незнатно се разликује (до 1 sec) од времена одзива за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Сличност облика и непрекидност графика криве у оба сценарија указује на тачну апроксимацију функција дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а што за Scenario_multigraf_pdf додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа



Слика 112. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB у ИТРМ

Резултат за средње време кашњења DBASE апликативног сервиса је приказан на Слици 113. и односи се на средње време трајања преузимања података (Query Time) из базе података на серверу и средње време трајања уписа података (Entry Time) у базу података на DBASE серверу.



Слика 113. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE у ИТПМ

На основу приказаних резултата за апликативни сервис DBASE може се закључити следеће:

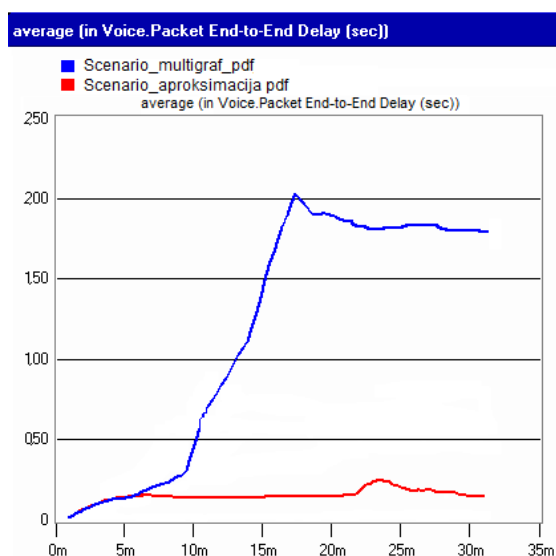
- За оба сценарија у истом временском тренутку комуникационог сценарија средње време трајања преузимања података се незнатно разликују (до 0.5 sec), што указује на одговарајућу или тачну апроксимацију функција дистрибуције догађаја за Scenario_aproksimacija_pdf, а што за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа, и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Сличност облика и тока криве графика за средње време преузимања података (Query Time) оба сценарија указује на тачну апроксимацију функција дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Велика разлика и варијација у вредностима времена уписа података (Entry Time) у базу података (до 14 sec), као и разлика у облику и току графика криве за Scenario_multigraf_pdf где су применом мултиграфа количине података тачно дефинисане, у односу на облик и ток графика криве за Scenario_aproksimacija_pdf указује на погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података.
- Функција дистрибуције количине података за Scenario_multigraf_pdf је иста за преузимање и за упис података и где су количине података тачно дефинисане, а на шта указује и сличност кривих оба сценарија, што додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције изведене применом методе мултиграфа.
- Мања времена за упис податак за Scenario_aproksimacija_pdf доводе до закључка да се технички елементи DBASE сервера могу смањити у погледу техничких

карактеристике, а тиме и у складу смањења финансијског буџета. Обзиром да је указано на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података, наведени закључак је погрешан и примена у моделу ИТРМ би условила веће време уписа количина података реалног мрежног саобраћаја.

- Већа времена за упис података за Scenario_multigraf_pdf доводе до закључка да су поједини технички елементи DBASE сервера димензионисани у потребној мери или да се требају повећати уколико дата времена не задовољавају постављени критеријум организационе целине за правовременост информација. Исправност овог закључка потврђује тачност дефинисање функција дистрибуције изведених применом методе мултиграфа.

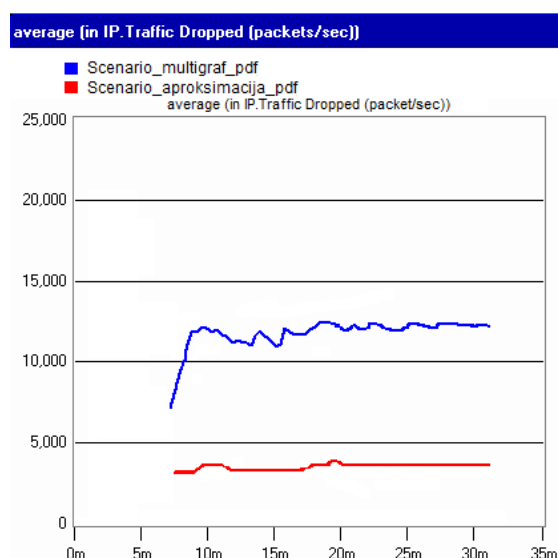
Резултат за средње време кашњења VoIP сервиса за комуникацију гласом је приказан на *Слици 114.* и односи се на средње време кашњења гласа између клијената са краја на крај (Voice End-to-End Delay). На основу приказаних резултата за апликативни сервис VoIP може се закључити следеће:

- Средње време кашњења гласа за Scenario_multigraf_pdf разликује се до 2.00 sec од времена кашњења за Scenario_aproksimacija_pdf код којег се средње време кашњење креће до 0.25 sec, а што је нереално мала вредност за модел ИТРМ у целини који садржи и линкове технолошки ускопојасног бежичног преноса. Наведено указује на неодговарајућу апроксимацију функције дистрибуције телефонских позива за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Разлика у вредностима времена кашњења гласа, као и знатна разлика у облицима графика кривих оба сценарија указује на неодговарајућу апроксимацију функције дистрибуције количине података за Scenario_aproksimacija_pdf.
- Средње време кашњења гласа за Scenario_multigraf_pdf је веће и практично реалније за модел ИТРМ у целини, што потврђује примену дефинисања функције дистрибуције где су количине позива и података тачно дефинисане применом мултиграфа, што посредно потврђује методу примене мултиграфа.



Слика 114. Средње време кашњења (Average Time) сервиса гласа VoIP у ИТРМ

Резултат за количину одбачених пакета (Dropped packets/sec) за модел ИТРМ у целини је приказан на *Слици 115*. где је количина одбачених пакета за Scenario_multigraf_pdf до 3 пута већа у односу за Scenario_aproksimacija_pdf. Обзиром да претходно анализирани резултати указују на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података за Scenario_aproksimacija_pdf, закључује се да је узрочна последица тих функција дистрибуције и мања количина одбачених пакета. На основу наведеног може бити изведен погрешан закључак да није потребно повећати преносни капацитет линкова и примена тог закључка би у реалном моделу ИТРМ условила веће комуникационе недостатке дистрибуцијом количина података реалног мрежног саобраћаја. Велика количина одбачених пакета за Scenario_multigraf_pdf упућује на закључак супротан од претходног, да је потребно повећање капацитета линкова у већој мери. Исправност овог закључка потврђује примену функција дистрибуције где су количине података тачно дефинисане применом мултиграфа, а што посредно потврђује методу примене мултиграфа.



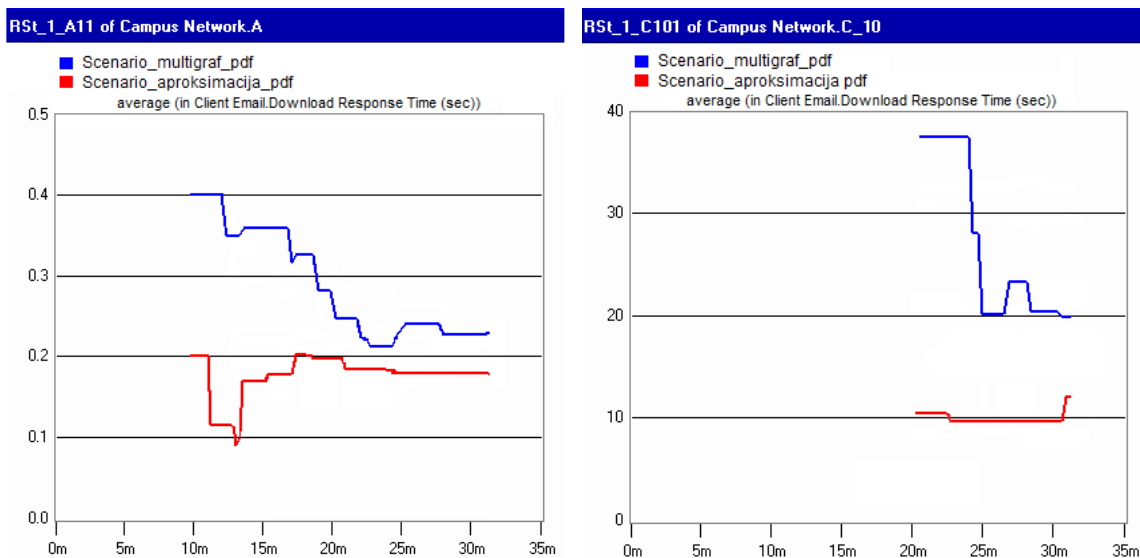
Слика 115. Средња количина одбачених пакета у јединици времена (Dropped packets/sec) података апликативних сервиса у ИТРМ

Издвојени резултати који се односе на модел ИТРМ у целини уједно приказују и утицај примењених функција дистрибуције на параметре у појединим елементима модела ИТРМ као што су клијенти и линкови.

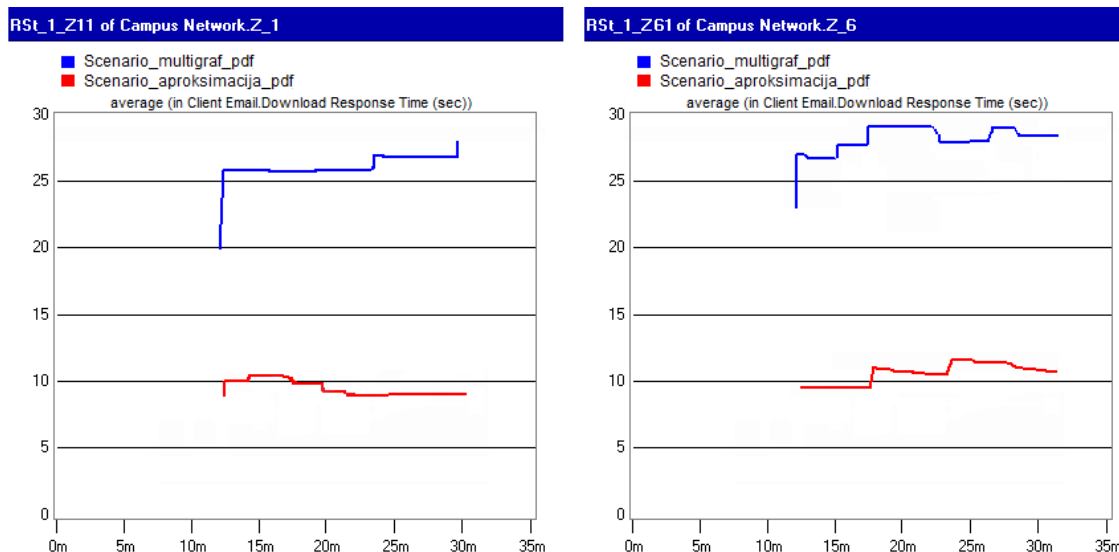
На основу резултата за средње време преузимања података (Download Time) апликативног сервиса Email на појединим клијентима у топологији ИТРМ приказаних на *Слици 116*. и *Слици 117.*, може се закључити следеће:

- Разлика у вредностима времена трајања преузимања података у истим временским тренуцима, и разлика у облику и току графика криве за Scenario_multigraf_pdf где су применом мултиграфа количине података тачно дефинисане, у односу на облик и ток графика криве за Scenario_aproksimacija_pdf, указује на погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података.

- Облици графика криве времена трајања преузимања података (Download Time) (од 20 min до 32 min сценарија комуникације) клијената у различитим LAN за Scenario_multigraf_pdf имају сличне облике и токове, што указује на тачност примене методе мултиграфа.
- За Scenario_aproksimacija_pdf сличност графика криве клијената у различитим LAN је незнатна или је нема, што указује на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функција дистрибуције.
- Мања времена преузимања података за Scenario_aproksimacija_pdf доводе до закључка да се поједини техничко технолошки елементи тополошке структуре модела ИТРМ могу смањити у погледу техничких карактеристике, а тиме и у складу смањења финансијског буџета. Обзиром да је указано на неодговарајућу апроксимацију функције дистрибуције количине података, тада је и наведени закључак погрешан.
- Већа времена преузимања тачно дефинисаних количина података за Scenario_multigraf_pdf код клијената у различитим LAN, доводе до закључка да су поједини техничко технолошки елементи тополошке структуре модела ИТРМ димензионисани у потребној мери или да се требају повећати уколико дата времена не задовољавају постављени критеријум организационе целине за правовременост информација. Исправност овог закључка посредно потврђује тачност дефинисање функција дистрибуције изведених применом методе мултиграфа.



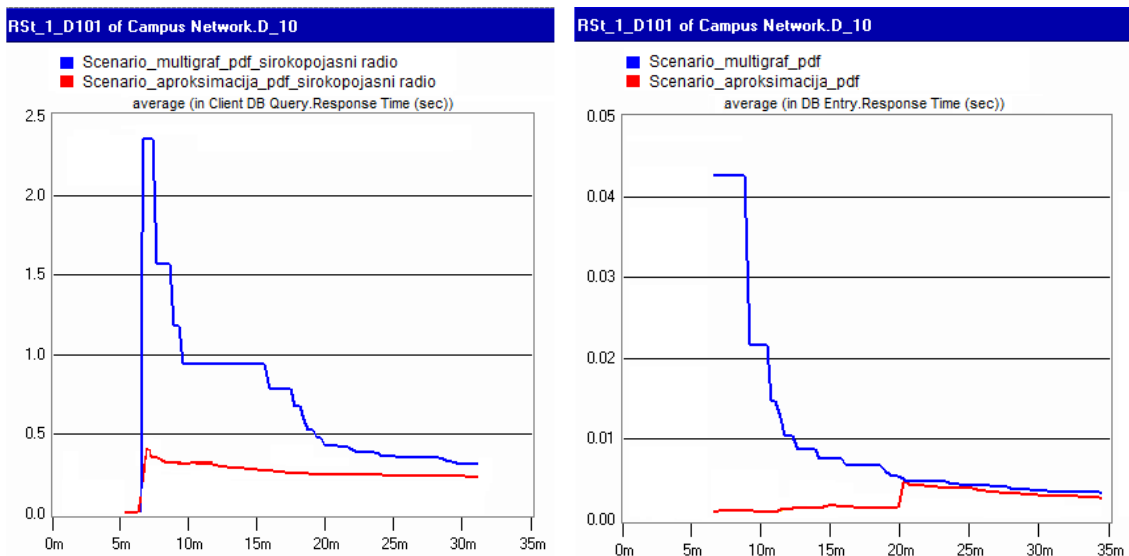
Слика 116. Средње време преузимања података (Download Time) апликативног сервиса Email на клијентима у LAN A (лево) и LAN C_10 (десно)



Слика 117. Средње време преузимања података (Download Time) апликативног сервиса Email на клијентима у LAN Z_1 и LAN Z_6

На основу приказаних резултата за средње време кашњења за апликативни сервис DBASE на појединим клијентима у топологији ИТРМ приказаних на *Слици 118*. може се закључити следеће:

- За оба сценарија у истом временском тренутку трајања комуникације, незнатно се (до 2 sec) разликује средње време трајања преузимања података из базе података, односно незнатно се (до 0.04 sec) разликује средње време трајања уписа података у базу података, што указује на одговарајућу или тачну апроксимацију функција дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа, и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Сличност облика и тока криве графика за средње време преузимања података (Query Time) у оба сценарија од 7 min до 32 min трајања комуникације, указује на тачну апроксимацију функција дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Сличност облика и тока криве графика за средње време преузимања података (Response Time) оба сценарија од 20 min до 35 min трајања комуникације, указује на тачну апроксимацију функција дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Функција дистрибуције количине података за Scenario_multigraf_pdf је иста за преузимање и за упис података и где су количине података тачно дефинисане, а на шта указује и сличности графика кривих у оба сценарија, што додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције изведене применом методе мултиграфа.

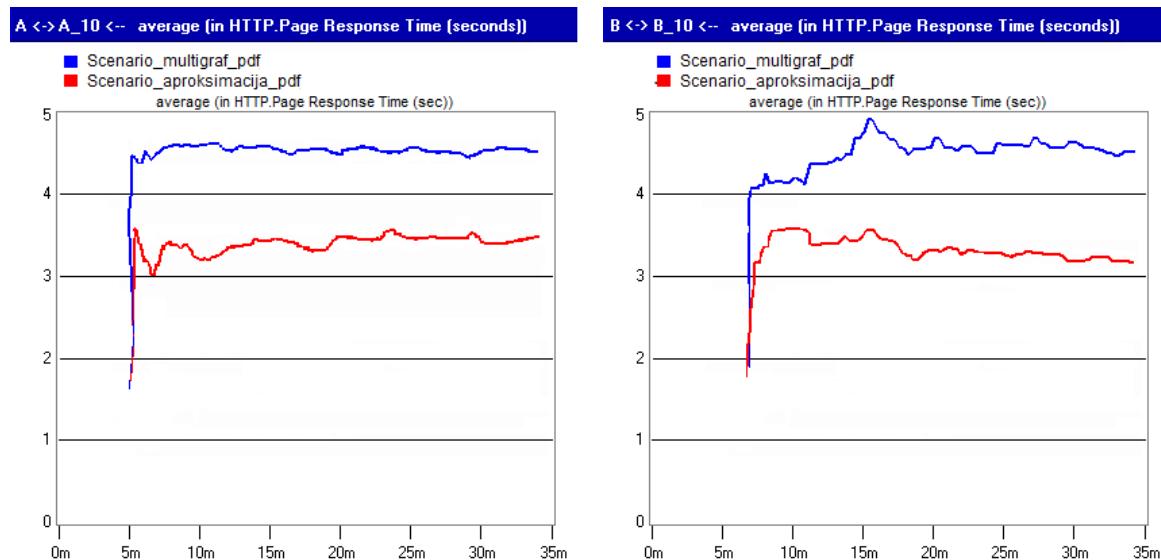


Слика 118. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE на клијенту у LAN D_10

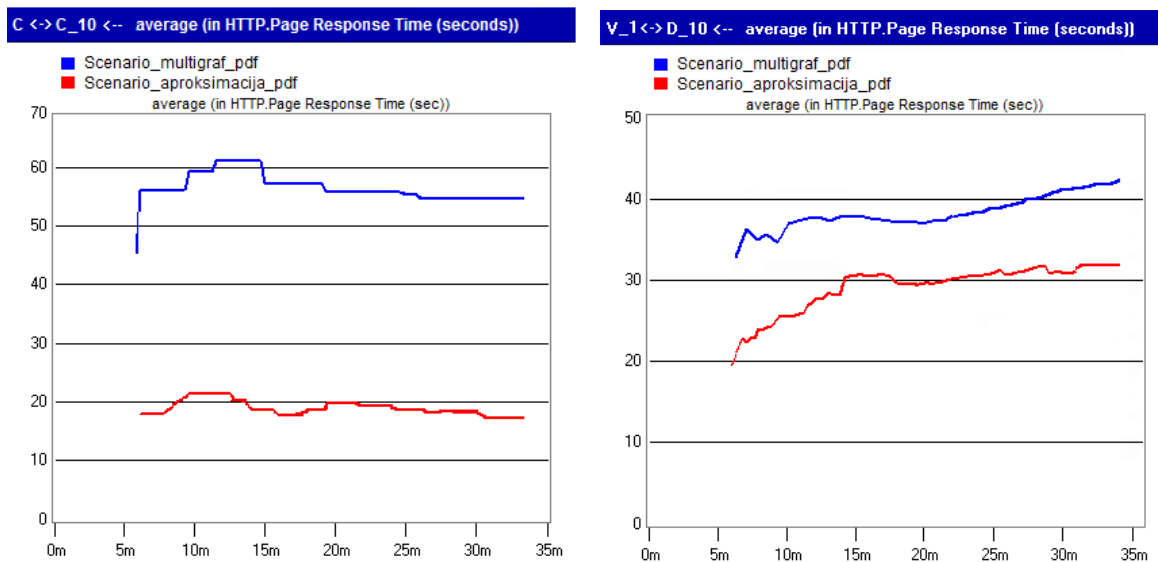
Резултати симулације за средње време кашњења WEB апликативног сервиса на широкопојасним и ускопојаснима радио линковима који су у топологији ИТРМ издвојени као пример, приказани су на Слици 119. и Слици 120.. На основу приказаних резултата може се закључити следеће:

- Средње време одзива web странице оба сценарија, код клијената повезаних са широкопојасним радио линковима, у већем делу времена трајања комуникације се међусобно незнатно (до 1.5 сек) и скоро константно разликује, што указује на тачну апроксимацију функције дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а што за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа.
- Средње време одзива web странице оба сценарија, код клијената повезаних са ускопојасним радио линковима, у већем делу времена трајања комуникације се међусобно скоро константно разликује, што опет указује на тачну апроксимацију функције дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, и за Scenario_multigraf_pdf додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа.
- Сличност облика и тока криве графика криве у оба сценарија указује на тачну апроксимацију функције дистрибуције за Scenario_aproksimacija_pdf, а што за Scenario_multigraf_pdf додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.

Сличност изведених закључака као у случају резултата који се односе на модел ИТРМ у целини, додатно потврђује тачност методе примене мултиграфа.



Слика 119. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB на широкопојасном радио линку између LAN A и LAN A_10(лево), LAN B и LAN B_10(десно)



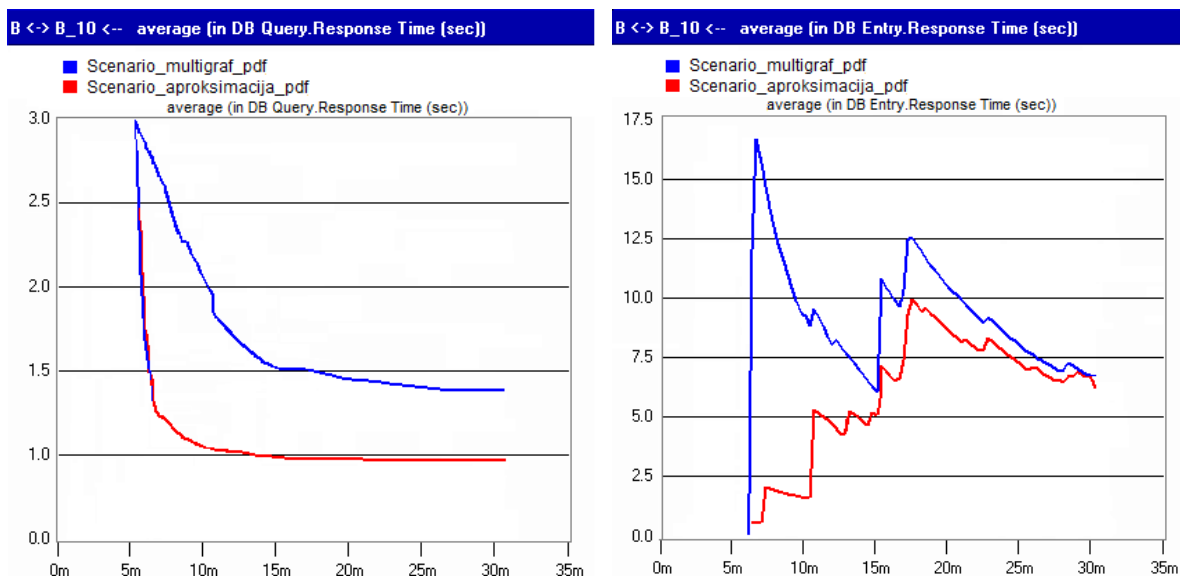
Слика 120. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса WEB на ускопојасном радио линку између LAN C и LAN C_10 (лево), LAN V_1 и LAN D_10 (десно)

Резултати симулације за средње време преузимања и уписивања података посредством апликативног сервиса DBASE на сервер, на широкопојасним радио линковима који су у топологији ИТРМ издвојени као пример, приказани су на Слици 121. На основу приказаних резултата може се закључити следеће:

- За оба сценарија у истом временском тренутку трајања комуникације, незнатно се (до 1.5 sec) разликује средње време трајања преузимања података из базе података указује на одговарајућу или тачну апроксимацију функција дистрибуције догађаја за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа, и потврђује тачност методе примене мултиграфа.

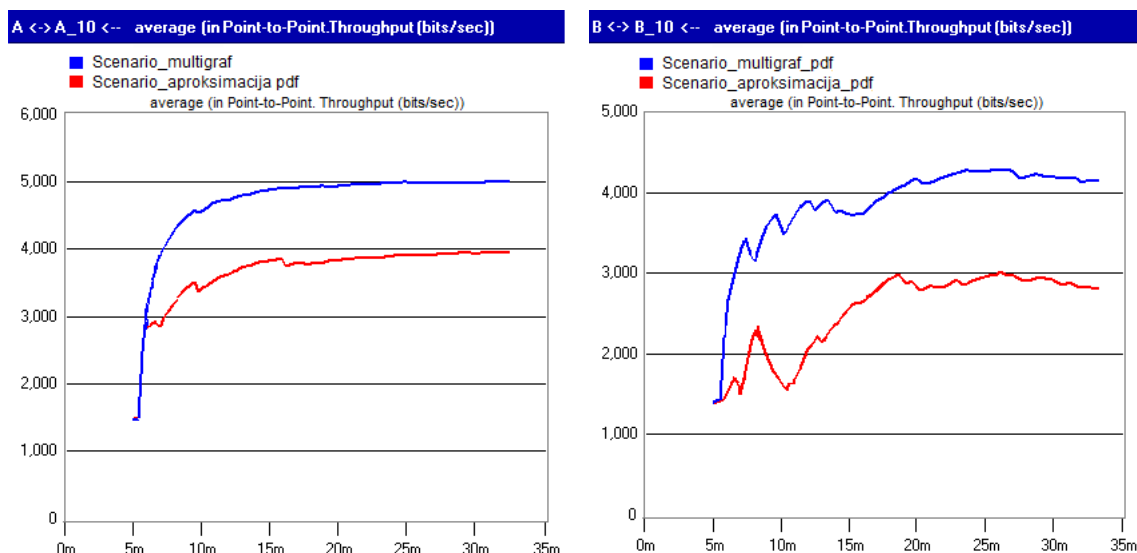
- Сличност облика и тока криве графика за средње време преузимања података (Query Time) у оба сценарија од 7 min до 32 min трајања комуникације, указује на тачну апроксимацију функција дистрибуције догађаја за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Сличност облика и тока криве графика за средње време преузимања података (Response Time) оба сценарија од 7 min до 32 min трајања комуникације, указује на тачну апроксимацију функције дистрибуције догађаја за Scenario_aproksimacija_pdf, а за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и потврђује тачност методе примене мултиграфа.
- Функција дистрибуције количине података за Scenario_multigraf_pdf је иста за преузимање и за упис података и где су количине података тачно дефинисане, а на шта указује и сличности графика кривих у оба сценарија, што додатно потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције изведене применом методе мултиграфа.

На основу приказаних резултата могу се извести закључци као у случају резултата који се односе на модел ИТРМ у целини, чиме се додатно потврђује тачност методе примене мултиграфа.



Слика 121. Средње време кашњења (Average Time) апликативног сервиса DBASE на широкопојасном радио линку између LAN B и LAN B_10

Резултати за вршни проток (Throughput) дистрибуције података на широкопојасним радио линковима који су у топологији ИТРМ издвојени као пример, приказани су на Слици 122..



Слика 122. Вршни проток (Throughput) дистрибуције података на широкопојасном радио линку између LAN A и LAN A_10 (лево), LAN B и LAN B_10 (десно)

Вршни проток је комуникациони параметар који у знатној мери одражава могућност и квалитет реализације топологије модела ИТРМ по више параметара, од којих се посебно издвајају средње време кашњења и количина одбачених пакета.

Обзиром да претходно анализирани резултати за Scenario_aproksimacija_pdf указују на неодговарајућу или погрешну апроксимацију функције дистрибуције количине података, на основу резултата за вршни проток података може се закључити да је узрочна последица примене тих функција дистрибуције и мањи проток података. На основу наведеног може бити изведен погрешан закључак да су капацитети постојећих линкова већи и да се могу смањити што је у складу смањења финансијског буџета. Примена тог закључка би у реалном моделу ИТРМ дистрибуцијом количина података реалног мрежног саобраћаја условила већа времена кашњења и веће количине одбачених пакета.

Већа вредност вршног протока за Scenario_multigraf_pdf упућује на закључак супротан од претходног, да је потребно повећање капацитета линкова. Исправност овог закључка потврђују и закључци који су претходно изведени за модел ИТРМ у целини, и који се односе на резултате средњих времена кашњења и на резултате за количине одбачених пакета. На основу наведеног додатно се потврђује примена функција дистрибуције где су количине података тачно дефинисане применом мултиграфа, а што посредно потврђује методу примене мултиграфа.

Сличност облика и тока криве у оба сценарија на различитим широкопојасним радио линковима указује на тачну апроксимацију функције дистрибуције догађаја за Scenario_aproksimacija_pdf и за Scenario_multigraf_pdf потврђује тачност дефинисања функција дистрибуције применом мултиграфа и тачност методе примене мултиграфа.

Резултати симулације могу бити многобројни и издвојени за велики део сегмената и елемената симулационог модела ИТРМ. За потребе истраживања су издвојени само појединачни типични примери, а издвајањем додатних резултата и њиховом анализом се изводи закључак о исправности примене функција дистрибуције које су дефинисане применом мултиграфа, а што потврђује исправност методе примене мултиграфа.

7 ЗАКЉУЧАК

Истраживање представљено у овој дисертацији приказује сложеност пројектовања модела интегрисане телекомуникационе и рачунарске комуникационе мреже за реализацију симулационог модела, и указује на значај проблема дефинисања мрежног саобраћаја као веома важног сегмента од којег зависи пројектовани модел у целини. У развоју комуникационо-информационих система применом симулационих модела комуникационих мрежа, увек је постојала тенденција и настојање да се мрежни саобраћај у симулационом моделу у што већој мери тачније дефинише у складу реалног мрежног саобраћаја. Тополошки и техничко-технолошки одлично пројектован симулациони модел ИТРМ губи свој значај и улогу у пројектовању реалног модела уколико је мрежни саобраћај неодговарајуће или погрешно дефинисан.

У дисертацији је представљена метода примене мултиграфа која омогућава дефинисање мрежног саобраћаја у времену, придруживање симетричних матрица са дијагоналом нула и примену математичког модела за извођење временских функција дистрибуције које се интегришу у симулациони модел. Изведене и графички представљене функције дистрибуције приказују временску слику догађања мрежног саобраћаја као комуникације у временским тренуцима. Користећи улазне податке о учесницима у комуникацији, временима и релацијама комуникације између њих, типовима и количини података која се том комуникацијом размењује, применом методе мултиграфа постигнуто је извођење функција дистрибуције комуникационих интеракција и функција дистрибуције количине података. Интергацијом изведених функција дистрибуције у симулациони модел ИТРМ, употребом симулационог софтвера OPNET постигнуто је реализовање механизма симулације мрежног саобраћаја посредством апликативних сервиса, према временском току и законитости промене вредности изведених функција дистрибуције. Симулацијом генерисани статистички резултати који графички приказују промене вредности комуникационих параметара у току времена одвијања механизма комуникације, омогућили су компаративну анализу којом је потврђена тачност примене методе мултиграфа у односу на досадашњу примену апроксимација функцијама дистрибуције.

Примена методе мултиграфа је омогућила да се генеришу резултати који су засновани на улазним подацима из реалног мрежног саобраћаја, што је омогућило да се реалније сагледају вредности комуникационих параметара који су од значаја за квалитет комуникације. На основу овако добијених вредности параметара у односу на постављене критеријуме комуникације, изведени су закључци о квалитету модела ИТРМ и потребној оптимизацији комуникационе структуре. Резултатима се оптимизација усмерава на измену појединих техничких, технолошких и/или тополошких сегмената и мрежних елементе ИТРМ, а могуће је и на елементе у оперативним процедурама функционисања организационе целине. Закључак је да примена методе мултиграфа осим веродостојности представљања мрежног саобраћаја, омогућава и ефикасније пројектовање модела ИТРМ и смањује грешку пројектовања насталу неодговарајућом или нетачном апроксимацијом у опису мрежног саобраћаја.

Такође, закључак је и да примена методе мултиграфа пројектанту комуникационе мреже омогућава тачније дефинисање симулационог, односно макон тога израду и реализацију реалног модела ИТРМ.

Планирани правци даљег истраживања и развоја методе примене мултиграфа су вишеструки и сложенији, са намером за ширу научну и практичну примену.

Први правац истраживања се односи на развој хибридне методе примене мултиграфа и постојећих модела описа мрежног саобраћаја познатим статистичким функцијама дистрибуције, што треба да омогући извођење функција дистрибуције којима се дефинишу детерминистички и стохастички типови мрежног саобраћаја.

Други правац истраживања се препознаје у примени мултиграфа за представљање комуникационих параметара захтеваног и оствареног квалитета комуникације у моделу ИТРМ и дефинисање функција дистрибуције параметара којима се динамички представља законитост расподеле параметара у времену. Корелација функција дистрибуције комуникационих интеракција, функција дистрибуције количина података и функција дистрибуције параметара треба да омогући додатну напреднију анализу и оптимизацију комуникационе тополошке структуре модела ИТРМ и оптимизацију мрежног саобраћаја.

Метода примене мултиграфа за дефинисање мрежног саобраћаја симулационог модела даљом употребом и усавршавањем може постати напредни и перспективни алат за софтверску интеграцију у симулационе софтверске алате, чиме се пројектантима модела ИТРМ олакшава употреба методе мултиграфа у изради симулационог модела.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] DoD Architecture Framework Version 2.02, Change 1 Volume II: *Architectural Data and Models*, ISBN 978-0-470-87429-5, 2015.
- [2] S. Miletic, M. Milosevic, V. Mladenovic, “*A New Methodology for Designing of Tactical Integrated Telecommunication and Computer Networks for OPNET Simulation*”, 9th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2020, Belgrade, Technical Review, vol. 70, No. 2, pp. 35–40, October 2020.
- [3] Andreas Tolk, “*Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*”, John Wiley & Sons, Inc., ISBN:9780470874295, Online ISBN:9781118180310, 2012.
- [4] *Integrated Tactical Networking Environment Concept of Operations*, Signal Center of Excellence (SIGCoE) Ft. Gordon, GA 30905 Version 1.0, 2013.
- [5] Shchurov A., “*A Multilayer Model of Computer Networks*”, International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT), Volume 26, Number 1, ISSN: 2231-2803, DOI: 10.14445/22312803 / IJCTT-V26P103, 2015.
- [6] Wang M. C., Chuang S., Davidson S. A., Liu B., “*In the Design of Tactical Communication Systems*”, Annual IEEE International Systems Conference, DOI: 10.1109 / SYSCON.2018. 8369512, 2018.
- [7] Paul Sass, “*Communications networks for the Force XXI Digitized Battlefield*”, Mobile Networks and Applications 4, pp. 139–155, 1999.
- [8] Lai Ying Cheung, Chia Wan Yin, *Designing Tactical Networks – Perspectives from a Practitioner*, DSTA Horizons, 2012.
- [9] Young C. Park, “*Terrestrial communications system design and MOE factors*”, International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 3 (2008) No. 3, pp. 232-240, ISSN 1750-9653, England, UK, 2008.
- [10] Alberts D., Garstka J., Stein F., *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*, 2nd Edition (Revised) DoD C4ISR Cooperative Research Program, CCRP Publications Series, ISBN 1-57906-019-6, 2000.
- [11] C4ISR Architecture Working Group (AWG), *C4ISR Architecture Framework V 2.0*, 1997.
- [12] Anand D., Raja Ch., Rajan E. G., “*Network Centric Warfare- Concepts and Challenges*”, CiiT International Journal of Networking and Communication Engineering, Vol 3, No 14, DOI: NCE112011005, 2011.
- [13] Fras M., Mohorko J., Čučej Ž., “*Modeling and Simulating the Self-Similar Network Traffic in Simulation Tool*”, Telecommunications Networks, InTech, ISBN: 978-953-51-0341-7, 2012.
- [14] Kenneth D. Stewart III, Aubrey Adams, *Designing and Supporting Computer Networks*, CCNA Discovery Learning Guide, CISCO Press, ISBN-13: 978-1-58713-212-4, ISBN-10: 1-58713-212-5, 2008.

- [15] Jaime Loret, Carlos Palau, Fernando Boronat, Jesus Tomas, “*Improving networks using group-based topologies*”, ELSEVIER Computer Communications, 2008.
- [16] Fayez Gebali, “*Analysis of Computer and Communication Networks*”, Springer Science Business Media, ISBN: 978-0-387-74436-0, e-ISBN: 978-0-387-74437-7, 2008.
- [17] Priscilla Oppenheimer, Top-Down Network Design Third Edition, Copyright© 2011 Cisco Systems, Inc. CISCO Press, ISBN-13: 978-1-58720-283-4, ISBN-10:1-58720-283-2, 2011.
- [18] James J. Kelleher, “*Tactical Communications Network Modelling and Reliability Analysis: Overview*”, US Army Laboratory Command, USA Survivability Management Office Adelphi, MD 20783-1145, JC-2091-GT-F3, November 1991.
- [19] Farzaneh Heidarpour, Mostafa Nouripour, “*Presenting the proposed model of network capabilities as a means to improve the management and connectivity customer in the context of information technology*”, International Research Journal of Applied and Basic Sciences, ISSN 2251-838X / Vol, 10 (8): 1037-1040, 2016.
- [20] Erdal Cayirci, Cem Ersoy, “*A PCS based architecture for tactical mobile communications*”, ELSEVIER Computer Networks 35, 2001.
- [21] Rudolf Ahlswede, Ning Cai, Shuo-Yen Robert Li, Raymond W. Yeung, “*Network Information Flow*”, IEEE Transactions on information theory, Vol. 46, No. 4, July 2000.
- [22] Chuang S., Wang M., Davidson A., Liu B., “*Achieving Dynamic Load Distribution and Balancing in Tactical Communications Networks*”, Conference: IEEE 15th Student Conference on Research and Development, DOI:10.1109/SCORED.2017.8305382, 2017.
- [23] Vjekoslav Sinković, Alen Bažant, Mladen Kod, Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, ISBN: 978-953-197-601-5, 2003.
- [24] ITU-T Rec. P.1010, “*Transmission performance and QoS aspects of IP endpoints, Fundamental voice transmission objectives for VoIP terminals and gateways*”, July 2004.
- [25] ITU-T Rec. H.323, “*Infrastructure of audiovisual services – Systems and terminal equipment for audiovisual services, Packet-based multimedia communications systems*”, June 2006.
- [26] ITU-T Rec. T.810, “*Information technology – JPEG 2000 image coding system: Wireless*”, May 2006.
- [27] ITU-T Rec. G.726 Annex B, “*Digital terminal equipments – Coding of analogue signals by methods other than PCM, 40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM), Annex B: Packet format, capability identifier and capability parameters for H.245 signalling*”, July 2003.
- [28] ITU-T Rec. G.723.1, “*Digital terminal equipments – Coding of analogue signals by methods other than PCM, Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s*”, May 2006.

- [29] ITU-T Rec. G.711 Amendment 2, “Digital terminal equipments – Coding of voice and audio signals, Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, Amendment 2: New Appendix III – Audio quality enhancement toolbox”, November 2009.
- [30] ITU-T Rec. G.722, “Digital terminal equipments – Coding of voice and audio signals, 7 kHz audio-coding within 64 kbit/s”, September 2012.
- [31] ITU-T Rec. G.728, “Digital terminal equipments – Coding of voice and audio signals, Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction”, June 2012.
- [32] ITU-T Rec. G.729, “Digital terminal equipments – Coding of voice and audio signals, Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)”, May 2012.
- [33] ITU-T Rec. G.1029, “Multimedia Quality of Service and performance – Generic and user-related aspects, Voice service diagnosis framework”, February 2014.
- [34] Tanenbaum S. Andrew, Wetherall J. David, Computer Networks 5thed. Prentice Hall, 2011.
- [35] A. Aloisio, M. Autili, A. D’Angelo, A. Viidanoja, J. Leguay, T. Ginzler, T. Lampe, L. Spagnolo, S. Wolthusen, A. Flizikowski, J. Śliwa, “TACTICS: TACTICAl Service Oriented Architecture”, 3rd International Conference in Software Engineering for Defence Applications, Rome, Italy, September 22-23, 2014.
- [36] Vjekoslav Sinković, Informacijske mreže, Školska knjiga Zagreb, 1994.
- [37] Antoniuo, V.V. Ivanov, Valery V. Ivanov, P.V. Zrelov, “*Statistical model of network traffic*”, Physics of Particles and Nuclei, July 2004.
- [38] Thomas M. Chen, “*Network traffic modeling*”, Chapter in The Handbook of Computer Networks, Hossein Bidgoli ed., Wiley, 2007.
- [39] M. Alsamar, G. Parisi, R. Clegg, N. Zakhleniuk, “*On the distribution of traffic volumes in the Internet and its implications*”, INFOCOM 2019, arXiv:1902.03853v1 [cs.NI], 2019.
- [40] S. Manaseer, O. M. Al-Nahar, A. S. Hyassat, “*Network traffic modeling*”, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), ISSN: 2277-3878, 7-5, 2019.
- [41] P. Dymora, M. Mazurek, D. Strzalka, “*Computer network traffic analysis with the use of statistical self-similarity factor*”, Annales UMCS Informatica AI XIII, 2 (2013) 69–81 DOI: 10.2478/v10065-012-0040-0, 2013.
- [42] R. De O. Schmidt, R. Sadre, A. Pras, “*Gaussian traffic revisited*”, 2013 IFIP Networking Conference, ISBN:978-3-901882-55-5, May 2013.
- [43] O. Malyeyeva, Y. Davydovskiy, V. Kosenko, “*Statistical Analysis of Data on the Traffic Intensity of Internet Networks for the Different Periods of Time*”, Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), P.897–910, 2019.
- [44] Paul J. Sanchez, “*Fundamentals of simulation modeling*”, Winter Simulation Conference 2007, 1-4244-1306-0/07/ 2007 IEEE, 2007.

- [45] Y. Davydovskiy, O. Reva, O. Artiukh, V. Kosenko, “*Simulation of Computer Network Load Parameters over a Given Period of Time*”, Innovative technologies and scientific solutions for industries. No.3(9), ISSN 2524-2296, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.072>, 2019.
- [46] T. Tatarnikova, I. Sikarev, V. Karetnikov, A. Butsanets, “*Statistical research and modeling network traffic*”, E3S Web Conf. Volume 244, 2021, XXII International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020), March 2021.
- [47] Barner K., Gonzalo R. A., Processing Theory, “*Methods and Applications*”, CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431, ISBN 0-8493-1427-5, 2004.
- [48] G.R. Arce, *Nonlinear Signal Processing: A statistical Approach*, Wiley and Sons, 2004.
- [49] Schmidt D. F., Makalic E., ‘Universal Models for the Exponential Distribution’, IEEE Transactions on Information Theory, Volume 55, Number 7, 2009.
- [50] B. Chandrasekaran, “*Survey of network traffic models*”, https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3/index.html, Technical report accessed in May 2018.
- [51] O. Markelov, V. N. Duc, M. Bogachev, “*Statistical modeling of the Internet traffic dynamics: To which extent do we need long-term correlations?*”, Physica A 485 (2017) 48–60, 0378-4371/© 2017 Elsevier, DOI: 10.1016/j.physa.2017.05.023, 2017.
- [52] L. Leemis, “*Input modeling techniques for discrete-event simulations*”, Department of Mathematics, The College of William & Mary, Williamsburg, VA 23187–8795, U.S.A Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, 2001.
- [53] S. Siraj, A. K. Gupta, R. Badgujar, “*Network Simulation Tools Survey*”, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 1, Issue 4, June 2012
- [54] Y. Gongx, X. Wang, M. Malboubi, “*Towards Accurate Online Traffic Matrix Estimation in Software-Defined Networks*”, Symposium on Software Defined Network Research, Article No.:26, Page 1-7, ISBN 978-1-4503-3451-8/15/06, June 2015.
- [55] Mukhin V., Romanenkov Y., Bilokin J., Rohovyi A., Kharazii A., Kosenko V., Kosenko N., Su J., “*The Method of Variant Synthesis of Information and Communication Network Structures on the Basis of the Graph and Set-Theoretical Models*”, I.J. Intelligent Systems and Applications, 2017, 11, 42-51, DOI:10.5815/ijisa.2017.11.06, 2017.
- [56] S. Miletic, V. Mladenovic, I. Pokrajac, “*Application of multigraph sampling method in network traffic design of simulation model of Integrated Telecommunication and Computer Network*”, E3S Web of Conference 279, 02011EEESTS-2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127902011>, 2021.
- [57] S. Miletic, I. Pokrajac, K. Pena, G. Arce, V. Mladenovic, “*Multigraphs-defined distribution function in a simulation model of communication network*”, Entropy (ISSN 1099-4300), MDPI, Basel, September 2022.

- [58] R. D. Eisinger, Y. Chen, “*Sampling strategies for conditional inference on multigraphs*”, Statistics and Its Interface, Volume 11, 649-656, 2018.
- [59] Y. Chen, P. Diaconis, S. P. Holmes, J. S. Liu, “*Sequential Monte Carlo methods for statistical analysis of tables*”, Journal of the American Statistical Association, Vol. 100, No. 469, Theory and Methods, DOI: 10.1198/016214504000001303, March 2005
- [60] Sardellitti S., Barbarossa S., Di Lorenzo P., “*Enabling Prediction via Multi-Layer Graph Inference and Sampling*”, Auckland University of Technology, IEEE, 2020.
- [61] A. Barrat, M. Barthélemy, R. P. Satorras, A. Vespignani, “*The architecture of complex weighted networks*”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 3747, 2004.
- [62] Sparsh Mittal, “OPNET: An Integrated Design Paradigm for Simulations”, Software Engineering: An International Journal (SEIJ), Vol. 2, No. 2, September 2012.
- [63] Carlos Leon-Barth, Ronald F. DeMara, Avelino J. Gonzalez, Michael Georgiopoulos, “*Bandwidth Optimizations for Integrated Tactical and Training Networks*”, in Proceedings of the Second Swedish American Workshop on Modeling and Simulation (SAWMAS’04), pp. 24–31, Cocoa Beach, Florida, U.S.A., February 2004.
- [64] Andreas Tolk, “*Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*”, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, ISBN 978-0-470-87429-5, 2012.
- [65] Razvan Beuran, “*Introduction to Network Emulation*”, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., ISBN 978-981-4364-09-6, 2013.
- [66] OPNETWORK 2010 “*Planning Tactical Mobile Network Deployments*”, Session 1582, OPNET Technologies, Inc., 2010.
- [67] Stuart Marsden, Jouko Vankka, “*Tactical Network Modeller Simulation Tool*”, MILCOM 2015 IEEE Military Communications Conference, ISBN: 978-1-5090-0073-9, 2015.
- [68] Robert G. Sargent, “*Verification and Validation of Simulation Models*”, Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 1-4244-1306-0/07/\$25.00, IEEE, 2007.
- [69] OPNET IT Guru Products Documentation, release 10.5, Part number: D00253 Version: 6, OPNET Technologies, 2004.
- [70] Zheng Lu, Hongji Yang, “*Unlocking the Power of OPNET Modeler*”, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-19874-5, 2012.
- [71] Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin, “*The Practical OPNET® User Guide for Computer Network Simulation*”, CRC PressTaylor&Francis Group, ISBN:978-1-4398-1206-8, 2013.

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Слободан Милетић је рођен 30. априла 1972. године у Крагујевцу, где је завршио основну школу са одличним успехом, 1. и 2. разред средње школе завршио је у Крагујевачкој Гимназији, на природно математичком смеру образовни профил програмер са одличним успехом, 3. и 4. разред средње школе завршио је у Војној гимназији „Иво Лола Рибар“ у Загребу са одличним успехом.

Основне петогодишње студије завршио је на Војнотехничкој академији коју је уписао 1991.године у Загребу и завршио 1996.године у Београду са одличним успехом и стекао звање дипломирани инжењер електротехнике.

Магистарске студије завршио је 2010.године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на катедри телекомуникација, са одличним успехом и стекао звање магистар техничких наука за област Телекомуникације.

Докторске академске студије уписао је школске 2016/2017. године на Факултету техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Електротехничко и рачунарско инжењерство, и положио све испите.

Током академског образовања, све време је у радном односу у Војсци Србије, где је променио више дужности, од дужности командира у средњем ремонту електронских система, дужности у Центру за командно информационе системе и информатичку подршку Управе за телекомуникације и информатику (Ј-6) Генералштаба Војске Србије, као пројектант аутоматизованих информационих система, Начелник одсека за рачунарске мреже војске, Начелник одсека за експлоатацију рачунарских мрежа и информационих система, дужност Начелника одсека за информационе технологије и телекомуникационе системе Сектора за електронске системе у Војнотехничком институту Министарства одбране Републике Србије.

Тренутно ради у Војнотехничком институту Министарства одбране на дужности Начелника одељења за комуникационо информационе системе у сектору за електронске системе где се поред редовних радних обавеза и руковођења значајним пројектима из области комуникационо информационих система, бави и истраживањем у склопу докторских академских студија ФТН Чачак.

Објављивао је радове као аутор или коаутор у истакнутим међународним часописима са ИФ-ом, домаћим часописима међународног значаја и такође презентовао радове на међународним и домаћим научним конференцијама.

У току досадашње каријере био је ангажован у више стручних радних тимова као члан односно као руководилац и главни пројектант на више научно-истраживачких и развојних пројеката Министарства одбране и Војске Србије у домену телекомуникација, информационих технологија и посебно командно информационих система.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

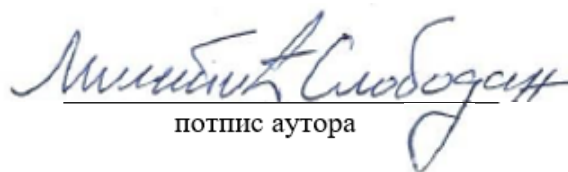
**ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИМУЛАЦИОНОГ МОДЕЛА
ИНТЕГРИСАНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ И РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ**

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Чачку, 12. Септембар 2024. године,


потпис аутора

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

**ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИМУЛАЦИОНОГ МОДЕЛА
ИНТЕГРИСАНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ И РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ**

истоветне.

У Чачку, 12. Септембар 2024. године,


потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Слободан Милетић,

☒ дозвољавам

☐ не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

**ПРИМЕНА МУЛТИГРАФА У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИМУЛАЦИОНОГ МОДЕЛА
ИНТЕГРИСАНЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ И РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ**

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

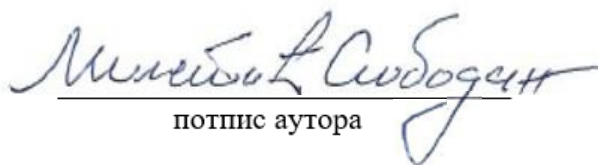
Овом Изјавом такође

☒ дозвољавам

☐ не дозвољавам¹

- 1) Ауторство
- ② Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Чачку, 12. Септембар 2024. године,


потпис аутора

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од Creative Commons лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од Creative Commons лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>