

DinRut – СИСТЕМ ЗА СИМУЛАЦИЈУ ДИНАМИЧКОГ РУТИРАЊА У ИНТЕРКОНЕКТОВАНИМ МРЕЖАМА

Руководилац пројекта: Владанка Аћимовић-Распоповић, Мирјана Стојановић

Одговорно лице: Снежана Младеновић

Аутори: Снежана Младеновић, Александра Костић-Љубисављевић, Владанка Аћимовић-Распоповић, Весна Радоњић

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32025

Година: 2010-2011.

Примена: 2011. година

Кратак опис

Циљ нашег истраживања је анализа ефеката различитих метода динамичког рутирања при различитим начинима наплате интерконекије. За потребе оваквог истраживања развијен је оригинални софтвер чији је основни задатак симулација саобраћаја у телекомуникационој мрежи коришћењем различитих метода динамичког рутирања саобраћаја при различитим начинима наплате интерконекије. Додатни задатак софтвера је статистичка обрада релеватних параметара резултата симулације.

При пројектовању система DinRut разматрано је 5 метода динамичког рутирања:

- рутирање по најкраћој путањи (метода 1-*j*),
- рутирање по путањама које у себи садрже максимално 4 чвора – рута са највише 3 линка (метода 2-*j*),
- рутирање по путањама које су на случајан начин изабране из сета могућих путања (метода 3-*j*), *i*
- рутирање по последњој успешној путањи (метода 4-*j*),
- рутирање по најмање искоришћеном линку (метода 5-*j*).

За прве четири методе модификовани су алгоритми од раније позати у литератури, а за пету методу развијене су две верзије оригиналног алгоритма.

Свака од метода посматрана је при два најчешће коришћена концепта за наплату интерконекије:

- "*bill and keep*" концепт (метода *i-0*) *i*
- "*cost based*" концепт (метода *i-1*).

За развој софтвера одабран је спирални модел развоја. Идеја је да се софтверски систем развија инкрементално, развојем серије прототипова, при чему ће сваки следећи прототип узимати у обзир нове, измењене или допуњене захтеве корисника. У структури софтвера, издвајају се следеће логичке целине: иницијализација мреже, генерисање захтева за конекцијама, симулација опслуживања конекција и статистичка обрада резултата симулације. Свака логичка целина реализована је кроз низ одговарајућих процедура.

Техничке карактеристике:

PC Windows платформа, програмски језик Visual Basic, објектно оријентисано пројектовање и објектно оријентисано програмирање, модуларна структура, графичка веза са корисником, коректност, задовољавајућа ефикасност, прилагодљивост, реупотребљивост.

Техничке могућности:

Незнатим модификацијама се може проширити и прилагодити додатним захтевима корисника (нове методе рутирања, нови типови статистика, кастомизација корисничког интерферјса, ...)

Реализатори:

Саобраћајни факултет Универзитета у Београду

Корисници:

Саобраћајни факултет интерно; потенцијално телекомуникациони оператори

Подтип решења:

Софтвер (М85)

Стање у свету

Већи број оператора на неком телекомуникационом тржишту подразумева постојање њихове међусобне интерконекије. Начин одређивања интерконекијских задужења мора бити јасан и транспарентан да би се задовољили интереси и оператора и регулатора. С друге стране, динамичко рутирање саобраћаја даје могућност ефикаснијег и рационалнијег коришћења постојећих ресурса телекомуникационе мреже. Другим речима, начин наплате интерконекије и примењена метода динамичког рутирања могу значајно утицати на приход оператора.

Европска комисија дефинише интерконекију као "физичку и логичку везу телекомуникационих мрежа коришћену од стране истог или различитих оператора, на захтев претплатника једног оператора да комуницирају са претплатницима истог или другог оператора. Интерконекија, исто тако, подразумева да се претплатницима даје могућност да користе услуге које пружају други оператори. Услуге могу да пружају делови мрежа које су обухваћене интерконекијом или други провајдери који имају приступ мрежи."

Постоје бројни концепти који се примењују у телекомуникационим мрежама широм света у циљу одређивања адекватне и прихватљиве цене интерконекије са аспекта оператора и регулатора. Најчешће су у употреби концепти у којима су цене базиране на трошковима, на малопродаји, "*price cap*" концепт, концепт поделе профита или "*bill and keep*" концепт. У досадашњем истрживању смо се бавили са два најчешће коришћена концепта за наплату интерконекије:

- "*bill and keep*" концепт и
- "*cost based*" концепт.

"***Bill and keep***" приступ подразумева да се операторима интерконекија уопште не наплаћује. Сваки оператор "наплати" својим крајњим корисницима излазни саобраћај који они генеришу ка другој мрежи, и "задржава" сав приход који тако проистекне. Модел "наплати-и-задржи" претпоставља следеће: да постоје надокнаде за интерконекију оне би се ионако међусобно понишtile, што не би резултирало ни губитком ни добитком ни за једног оператора. Даље, тиме што пропуштају те надокнаде, оператори избегавају административни терет наплате једне другој за размењен саобраћај. Овај концепт се примењује у ситуацијама када је саобраћај између оператора у равнотежи. Да би се установило да та равнотежа постоји потребно је континуално мерење саобраћаја и трошкова који из њега проистичу.

"*Cost based*" концепт је заснован на трошковима и подразумева да се коришћењем студија трошкова и принципа економске ефикасности, цене интерконеције формирају тако да се постигне повраћај трошкова оператора. Фиксни трошкови се могу надокнадити применом пропорционалних фиксних или *flat* тарифа. На пример, једнократни трошак успостављања канала везе се може надокнадити неповратном тарифом у адекватном износу. Варијабилни трошкови би се требали надокнадити применом варијабилних тарифа. То јест, трошкове зависне од саобраћаја би требало надокнадити наплатом интерконеције по минути.

Ово су наизглед једноставни концепти, али они су се на многим тржиштима практиковали само повремено. Регулатори радије изаберу да укључе велику количину трошкова у минутне тарифе, него да раздвоје трошкове за различите компоненте мреже и сервисе. Доминантни оператори се радије одлучују за тарифе које су базиране на употреби, јер такве тарифе осигуравају растући профит од интерконеције кад год се конкурент прошири и повећа саобраћај у оквиру своје мреже. Међутим, ослањање искључиво на тарифе базиране на употреби и није баш економски најприкладније.

У сваком случају, веома је тешко установити све садржане трошкове. Још је теже када када се цена мора установити за необједињени приступ мрежи. Ипак, овај концепт је један од најприхваћенијих начина утврђивања цене интерконеције широм света и стога је нашао место и у нашем истраживању.

За разлику од метода са фиксним правилима рутирања, у којима се капацитети у мрежи додељују сагласно прогнозираним саобраћајним захтевима између парова комутационих чворова, динамичко рутирање се заснива на другачијем приступу: саобраћај се додељује оним путањама на којима тренутно постоје слободни капацитети. Применом метода динамичког рутирања саобраћаја могу се остварити значајне уштеде у трошковима мреже јер је акценат на што је могуће бољем искоришћењу расположивих а не на ангажовању додатних ресурса. Поред уштеде, постоје и друге предности динамичког над фиксним рутирањем.

DinRut – софтверски систем за симлацију различитих метода рутирања

Основни мотив за израду софтвера је поређење различитих метода наплате интерконеције при различитим методама рутирања саобраћаја у мрежи. Ово поређење треба обавити уз варирање бројних улазних величина: топологије мреже, броја присутних оператора, капацитета чворова, трошкова чворова, капацитета линкова, трошкова линкова, броја конекција и њихове расподеле, ... Такође, закључци се могу сматрати валидним само ако су изведени на основу "довољног" великог броја експеримената. Реализовани софтвер симулира опслуживање конекција у телекомуникационој мрежи и врши статистичку обраду релевантних параметара.

Спирални модел у развоју система DinRut – први и други прототип

Полазећи од дефинисаних захтева, развијен је први прототип система DinRut. Он је имплементирао 4 познате методе динамичког рутирања:

- рутирање по најкраћој путањи (метода 1-*j*),
- рутирање по путањама које у себи садрже максимално 4 чвора – рута са највише 3 линка (метода 2-*j*),

- рутирање по путањама које су на случајан начин изабране из сета могућих путања (метода 3-*j*), и
- рутирање по последњој успешној путањи (метода 4-*j*).

Свака од метода посматрана је за два концепта наплате интерконекције:

- "bill and keep" концепт (метода *i*-0) и
- "cost based" концепт (метода *i*-1).

У процесу тестирања првог прототипа дошло се до бројних идеја за његово унапређење: побољшање корисничког интерфејса, оптимизација симулационих процедура, увођење нових типова статистика, ... Међутим, кључна замерка односила се на саме методе рутирања. Наиме, анализом бројних излазних резултата, уочено је да неки линкови имају значајно мању искоришћеност у односу на остале при истом интензитету саобраћаја. То се драстично одражава на избалансираност оптерећења. Директна последица тога је "нелегалана" примена *bill-and-keep* приступа за тарифирање интерконекције, чији је основни предуслов управо избалансираност саобраћаја у мрежи.

То је био мотив да се осмисли нова, оригинална метода рутирања чији је примарни циљ повећање избалансираности оптерећења у мрежи, рутирање по најмање искоришћеном линку (метода 5-*j*). Генерални концепт новог рутирања се огледа у следећем: на основу вредности неке унапред дефинисане функције врши се периодична промена табеле рутирања. Функција је тако осмишљена да у следећем периоду форсира линкове који су најмање искоришћени у претходном. На слици 1. је приказан глобални алгоритам рутирања за балансирање оптерећења, *lulr* метода (*load balance routing*).

Следе објашњења ознака и процедура које су коришћене при формулисању алгоритма:

- *int* се односи на одабрани начин тарифирања интерконекције (*int*=0 - "bill and keep" концепт, *int*=1 - "cost based" концепт),
- $P_{g,t}^{lulr,int}$ представља скуп свих путања између чвора *g* у коме је генерисана конекција и чвора *t* у коме терминира конекција при *lulr* методи рутирања и *int* начину тарифирања интерконекције. Овај скуп се иницијализује на скуп путања који се користи код рутирања по најкраћој путањи $P_{g,t}^{spr,int}$,
- *m* представља параметар који се односи на тренутак времена у коме се врши промена табеле рутирања. Овај тренутак времена је целобројни умножак средњег времена трајања конекције,
- за сваку путању $P_{g,t}^{lulr,int}(k)$ у низу $P_{g,t}^{lulr,int}$ израчунава се вредност f_k
- сагласно придруженим вредностима f_k , процедура *sortiraj_niz_po_zadatom_kriterijumu* сортира низ $P_{g,t}^{lulr,int}$ према неоппадајућим вредностима f_k .

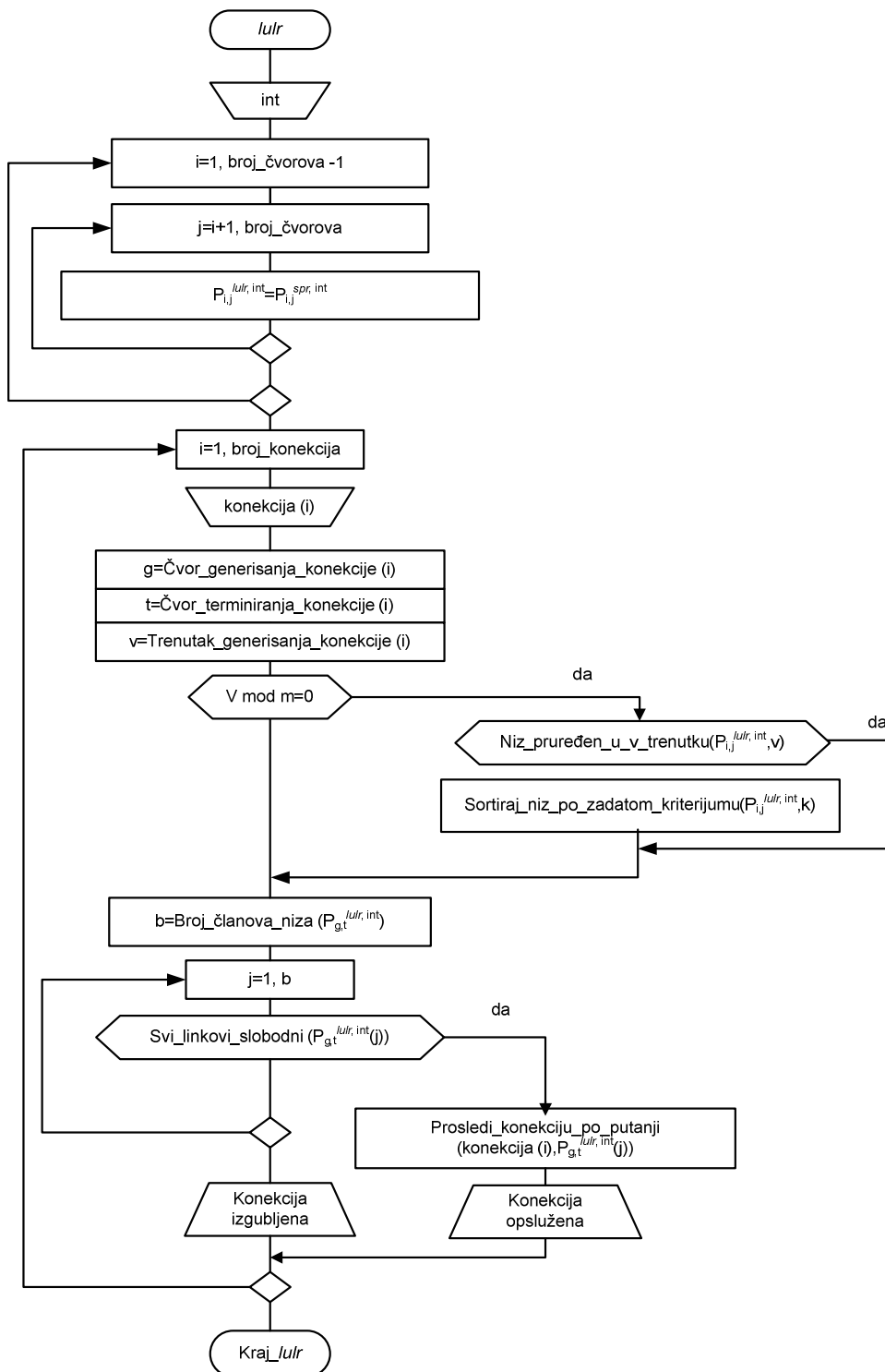
За потребе овог истраживања формулисане су две емпиријски изведене функције, које су приказане изразима (1) и (2):

$$f_k = \min(u_1, \dots, u_{n_l}) - 0,2 \cdot n_l \quad (1)$$

$$f_k = \sum_{i=1}^{n_l} u_i + 0,1 \cdot n_l \quad (2)$$

где је са u_i означена искоришћеност линка i а n_l представља број линкова у посматраној путањи.

Први прототип прототип система DinRut проширен је овом оригиналном методом. Уз укључење још неких додатних унапређења, дошло се до другог прототипа система DinRut. Стога, карактеристике софтвера чији опис следи односе се на његов други прототип.



Слика 1. Глобални алгоритам рутирања по најмање искоришћеном линку, *lulr* метода рутирања

Структура реализованог софтвера

У структури софтвера издвајају се следеће логичке целине:

ИНИЦИЈАЛИЗАЦИЈА МРЕЖЕ. Задатак подсистема за иницијализацију мреже је да конститутивне елементе графа конкретне мреже репрезентује структурама података (низовима, матрицама, скуповима, повезаним листама, ..) подесним за процес симулације. Конститутивни елементи мреже су чворови и линкови. Атрибути чвора су капацитет и трошак чвора, а атрибути линка су почетни и крајњи чвор, капацитет линка и трошак линка.

Под појмом **капацитет чвора** овде се сматра средњи број захтева за конекцијом који се може генерисати у сваком чвору. Због једноставнијег рада, а и касније лакше обраде добијених резултата, капацитети чворова су нормализовани. Претпостављено је да сваки чвор може да проследи сав транзитни саобраћај који кроз њега пролази, под условом да су линкови који улазе и излазе из њега слободни.

Трошак чвора је параметар који представља трошак прослеђивања конекције кроз посматрани чвор. У зависности од тога која је функција датог чвора у процесу опслуживања саобраћаја, трошак може да се односи на генерисање, транзитирање и терминирање конекције. За све чворове смо унапред дефинисале да су трошкови генерисања и терминирања конекције једнаки и дупло већи од трошкова транзитирања.

Капацитет линка је број канала за опслуживање и представља улазну величину. Једноставности ради, претпоставиле смо да сви линкови у мрежи имају исти капацитет за једно извршење софтвера.

Трошак линка се дефинише као онај трошак који сноси оператор да би опслужио захтев за конекцијом која је генерисана у његовој мрежи, или транзитира кроз његову мрежу, или терминира у његовој мрежи. Иако ови трошкови у пракси нису на исти начин дефинисани, нити се на исти начин рачунају, у овом раду ће они бити посматрани под заједничким називом трошак линка. Ми смо увеле „фактор трошка интерконекције“ којим се множи трошак линка који се налази у изабраној путањи којом се опслужује конекција, под условом да се тај линк налази у другој мрежи.

Примера ради, мрежа представљена на Слици 1. репрезентована је матрицом T са исте слике, при чему важи: ако је $0 < t_{ij} < 100$, између чворова i и j постоји линк и његов трошак је t_{ij} , иначе линк између чворова i и j не постоји. Даље, припадност чворова и линкова подмрежама (операторима А, В и С) репрезентована је скуповима:

$$O_A = \{1, 2, 4\}$$

$$L_A = \{(1, 2), (1, 4), (2, 4), (4,5)\}$$

$$O_B = \{3, 5, 6, 7,8\}$$

$$L_B = \{(2,3), (3,5), (4, 6), (4, 7), (5,7), (6,7), (7,8) \}$$

$$O_C = \{9,10\}$$

$$L_C = \{(7,9), (7,10), (8,9), (9,10)\}$$

- редни број (g) изворишног чвора,
- редни број (t) одредишног чвора,
- тренутак генерисања конекције,
- трајање конекције у секундама,
- путања по којој је конекција реализована или назнака да није реализована,
- трошак опслужене конекције,
- тренутак окончања конекције,
- ранг путање по којој је конекција реализована (индекс путање у одговарајућем низу $P_{g,t}$).

СТАТИСТИЧКА ОБРАДА. Излази из претходне фазе дају могућност формирања бројних статистика које се односе на:

- процентуалну заузетост сваког од линкова,
 - трошкове реализованих конекција (укупне, просечне, по мрежама, по чворовима, ...),
 - број конекција који је генерисан, транзитирао и терминирао у сваком од чворова или мрежа,
 - приходе настале опслуживањем конекција (укупне и по мрежама),
 - за сваку путању која је коришћена меморишу се подаци о линковима који је сачињавају, броју конекција које су ту путању користиле, као и о времену заузећа, и др
- Један избор излазних датотека презентираан је на Сликама 3, 4 и 5.

Generisanje Transit Terminiranje - Notepad

File Edit Format View Help

saob: 3 br. kanala: 30 tarifa: 20 inter: 0 model: 1

	GENERISANE	OPSLUZENE	TRANZIT	TERMINIRANJE
1. cvor	62	58	29	82
2. cvor	107	93	115	85
3. cvor	68	61	68	43
4. cvor	179	173	164	162
5. cvor	99	90	114	51
6. cvor	113	100	42	71
7. cvor	240	229	213	334
8. cvor	160	139	32	132
9. cvor	126	116	133	91
10. cvor	191	160	9	168
<hr/>				
	1345	1219		1219

TERMINIRANJE KONERCIJA

	u mresu 0	u mresu 1	u mresu 2
is mrese 0	153	130	41 324
is mrese 1	136	375	108 619
is mrese 2	40	126	110 276
<hr/>			
	329	631	259 1219

Ln 17, Col 1

Слика 3. Фрагмент датотеке *Генерисање Транзит Терминирање* - преглед генерисаних, опслужених, транзитирајућих и терминирајућих конекција за сваки чвор и сваку мрежу

Prihodi - Notepad

File Edit Format View Help

saob: 3 br. kanala: 30 tarifa: 20 inter: 0 model: 1

PRIHODI MREZA

0. mresa	3385
1. mresa	6167
2. mresa	2431

UKUPAN PRIHOD OSTVARENIH 1219 KONEKCIJA: 11983

Ln 11, Col 1

Слика 4. Фрагмент датотеке *Приходи* - расподела прихода о мрежама

Troskovi - Notepad

File Edit Format View Help

saob: 3 br. kanala: 30 tarifa: 20 inter: 0 model: 1

TROSKOVI KONEKCIJA PO MREZAMA - tip 1

0. mresa	3095
1. mresa	6213
2. mresa	3089

UKUPAN TROSAK OSTVARENIH KONEKCIJA: 12397

TROSKOVI KONEKCIJA PO MREZAMA - tip 2

0. mresa	2370
1. mresa	6075
2. mresa	3952

UKUPAN TROSAK OSTVARENIH KONEKCIJA: 12397

KUMULATIVNI TROSKOVI REALIZOVANIH KONEKCIJA IZMEDJU PAROVA CVOROVA

60	10	21	84	18	36	138	66	47	146	626
55	76	25	77	77	166	88	79	72	147	862
28	30	40	41	20	64	134	143	102	111	713
84	160	44	196	30	86	382	207	109	309	1607
96	28	20	119	56	106	226	109	21	166	947
144	118	50	136	48	72	84	169	98	86	1005
28	118	50	156	60	14	440	321	80	642	1909
166	126	88	192	22	63	607	132	63	180	1639
40	70	43	39	45	28	369	28	192	171	1025
207	44	65	466	66	64	624	352	16	160	2064

908	780	446	1506	442	699	3092	1606	800	2118	12397= 12397

PROSECNI TROSKOVI REALIZOVANIH KONEKCIJA IZMEDJU PAROVA CVOROVA

4	5	7	7	9	12	13.8	22	23.5	24.33
6.11	4	5	5.92	7	11.86	12.57	19.75	18	21
7	5	4	8.2	5	12.8	13.4	20.43	20.4	22.2
7	7.27	7.33	4	7.5	8.6	10.32	18.82	18.17	19.31
9.6	7	10	7	4	11.78	11.3	18.17	21	23.71
12	10.73	12.5	8	12	4	7	16.9	14	17.2
14	11.8	12.5	10.4	10	7	4	12.35	11.43	13.66
23.71	21	22	19.2	22	15.75	12.14	4	7	12
20	23.33	21.5	19.5	22.5	14	11.9	7	4	8.55
23	22	21.67	21.18	22	16	13.28	12.57	8	4

Prosecan trosak realizovanih konekcija: 12397/ 1219 = 10.17

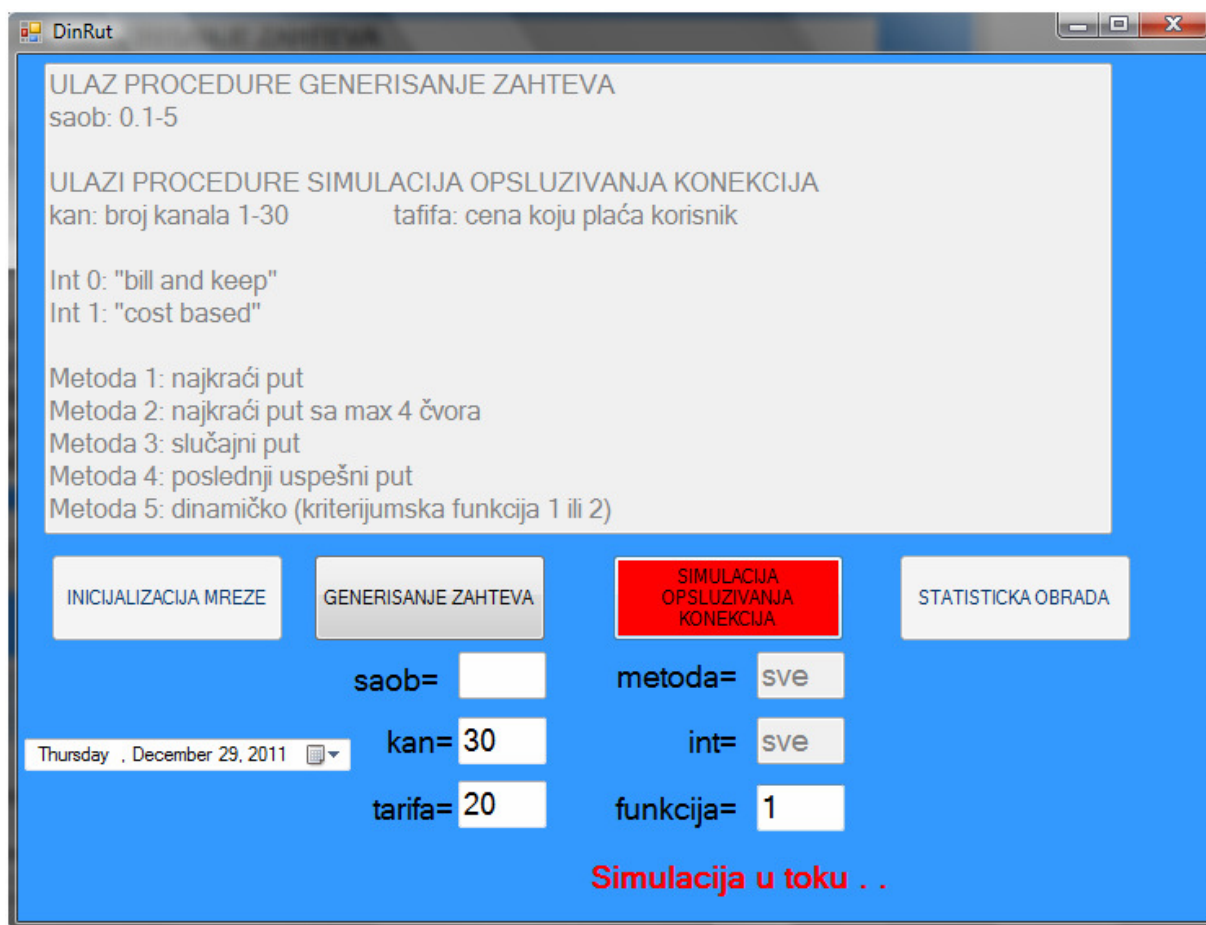
Ln 17, Col 67

Слика 5. Фрагмент датотеке *Трошкови* - преглед различитих типова трошкова

Имплементација софтвера

Ауторима познати симулациони језици и софтверски алати нису давали могућност да корисник посредством једноставног корисничког интерфејса прати саобраћајну ситуацију у којој је свака конкретна конекција опслужена или изгубљена. Основна идеја је била да се памћењем "трага" о свакој конекцији корисник лако може уверити да је опслужена конекција прослеђена оптимално према задатом критеријуму у текућој саобраћајној ситуацији, односно да за изгубљену конекцију није било алтернативе.

Стога је одабрано да се програмски систем развија "од нуле", у програмском језику опште намене. Све описане логичке целине су имплементирание као програмске целине у Microsoft Visual Basic окружењу и обједињене у Windows апликацију названу **DinRut**. Главни прозор апликације представљен је на Слици 6.



Слика 6. Главни прозор апликације *DinRut*

Тестирање софтвера

Тестирање овог софтвера је обављено према стандардним критеријумима квалитета, а посебна пажња је, узимајући у обзир природу проблема, посвећена **коректности, ефикасности и прилагодљивости**.

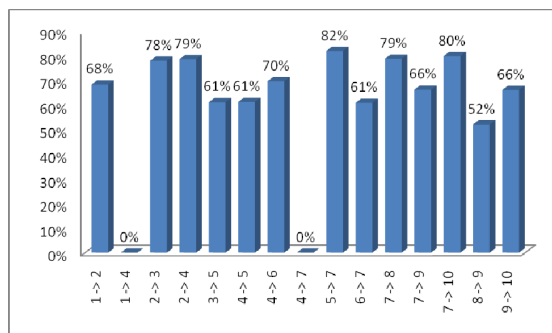
Увидом у обимне излазне датотеке које чувају траг о свакој опслуженој или изгубљеној конекцији, може се са великом вероватноћом тврдити да је софтвер **коректан**, тј. да имплементира сва важећа правила опслуживања конекција и верно опонаша Пројекат ТР 32025

саобраћај у телекомуникационој мрежи. Симулациони софтвер, по правилу мора бити **ефикасан** (са што је могуће краћим временом извршавања) како би корисник био у прилици да закључке изводи на основу великог броја спроведених експеримената. Реализовани софтвер испољава задовољаваћи степен ефикасности. Посматрани софтверски систем је апсолутно **прилагодљив** - незнатним модификацијама кода се може проширити и прилагодити новим корисничким захтевима (нпр. новим методама рутирања, новим начинима наплате интерконекције, новим расподелама које се тичу генерисања конекција, новим типовима статистика) или се неке од постојећих функција могу усавршити.

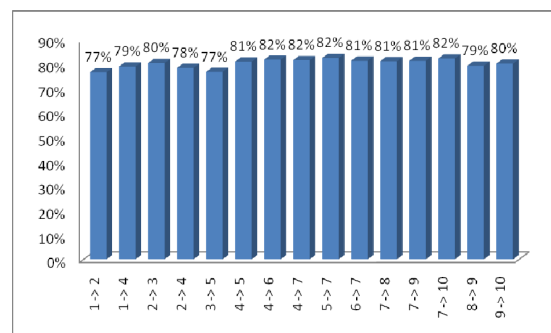
Софтвер је до сада тестиран на мрежама са различитом топологијом, нпр. на мрежи приказаној на Слици 1. У овом експерименту посматран је период од 21 минута рада мреже, при чему су из статистичке обраде изостављена прва 3 и последња 3 минута овог периода.

Могућности примене

Софтвер омогућава да управљамо ресурсима мреже и да постигнемо баланс између захтева корисника и захтева оператора, с обзиром да комбинација различитих метода рутирања и начина наплате интерконекције значајно утиче на приход и трошкове оператора. Нпр. ако је циљ исбалансирани саобраћај применићемо рутирање по најмање искоришћеном линку а не рутирање по последњој успешној путањи, Слика 7. Дакле, могу га користити и регулатори и оператори телекомуникационих сервиса.



а) Метода рутирања 4-0



б) Метода рутирања 5-0

Слика 7. Процент искоришћености линкова за различите методе рутирања при истом интензитету саобраћаја

DinRut – систем за симулацију динамичког рутирања у интерконектованим мрежама је развијен на Саобраћајном факултету у Београду у оквиру пројекта ТР 32025 Министарства за просвету и науку

Штампано: јануара 2012.