РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“

инж. Елена Пламенова Иванова

АВТОРЕФЕРАТ

МОДЕЛИРАНЕ НА ТРАФИКА В ШИРОКОЛЕНТОВИ КОНВЕРГЕНТНИ МРЕЖИ

на дисертация

за присъждане на научна - образователна степен „ доктор“

по научна специалност:

“Комуникационни мрежи и системи“

Русе

2013 г.

инж. Елена Пламенова Иванова

АВТОРЕФЕРАТ

МОДЕЛИРАНЕ НА ТРАФИКА В ШИРОКОЛЕНТОВИ КОНВЕРГЕНТНИ МРЕЖИ

за присъждане на научна - образователна степен „ доктор“

по научна специалност:

“Комуникационни мрежи и системи“

Научен ръководител:

Проф. дтн. инж. Димитър Радев

Рецензенти:

Доц. д-р инж. Георги Христов

Доц. д-р Стоян Порязов

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Гарантирането на качеството на услугите при предаването на данни в широколентовите конвергентни мрежи е в пряка зависимост от възникващите блокировки в отделни възли. Създаването на телетрафични модели за симулация и оценката на вероятностните параметри за блокировка, са едни от основните задачи при планирането и проектирането на мрежите.

Основните проблеми, които възникват в процеса на моделиране и симулация, са свързани с необходимостта от установяване на вероятностните параметри на качеството на обслужване, като редки събития, получени в резултат от претоварването на мрежата и смущенията при пренасяне на информация. Задачата се усложнява поради разнородния характер на трафичните източници и необходимостта от модифициране на съществуващи алгоритми.

Предмет на изследване на дисертационния труд са вероятностните параметри на качеството на обслужване, като вероятността за блокировки, вероятностите за загуби на клетки, пакети и серии, закъсненията при обслужване в телетрафични модели, описващи широколентови конвергентни мрежи.

ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Основната цел на дисертационния труд е създаването на симулационни модели на телетрафични системи. Също така усъвършенстването на алгоритмите за симулация на редки събития и методиките за оценка на вероятностните параметри, характеризиращи загуби в телетрафичния поток, които намират приложение при моделирането на възли в широколентовите конвергентни мрежи.

В дисертационния труд се решават следните задачи:

1. Разработване на усъвършенствани телетрафични модели на телетрафични системи с една и няколко опашки, които се използват в широколентовите конвергентни мрежи.
2. Създаване на алгоритми и обобщен алгоритъм за приложение на метода за разклоненията на траекторията на образците на статистическа извадка и ограничената относителна грешка при телетрафични системи с една или няколко опашки.
3. Верификация на предложените модели и алгоритми чрез симулационни изследвания на телетрафични системи с единични опашки.

4. Верификация на предложените модели и алгоритми чрез симулационни изследвания на телетрафични системи с последователни и паралелни опашки.
5. Разработване на методика за симулационно моделиране на широколентов мултиплексор с интегрирани трафични източници с приоритетно разпределение на входящите потоци.
6. Разработване на методика за симулационно моделиране на широколентов хендовър за мобилни клетъчни радио мрежи с приоритетно разделяне на каналите.

Публикуване на резултатите от дисертационния труд

Основните подходи и концепции са публикувани в 7 публикации на български и английски език. Предложените модифицирани алгоритми са докладвани на международните конференции на ECCSC в Букурещ, Румъния 2008, на ISCCS 2008 в Кавала, Гърция, на ICEST 2012 във Велико Търново и в списание „Електротехника и Електроника (E+E)“ през 2011г. Резултати от направените изследвания са представени на TELECOM 2008 и в Научните трудове на Русенски университет през 2008 и 2010.

Получените резултати в дисертационния труд са предмет на изследвания в проект ВУ-ТН-105/2005 към националния фонд „Научни изследвания“, а също и проекти на Русенски университет, като „Прогнозиране и моделиране на трафика в цифрови комуникационни мрежи с помощта на методите на изкуствения интелект“ - 2004, „Методи за симулационно моделиране на редки събития в комуникационни мрежи“ - 2005г, „Методи за симулационно моделиране на редки събития в телекомуникациите“ - 2006 г. и др.

Обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран в 5 глави с общ обем от 141 страници, фигури и таблици. Статистическата обработка на изследванията е представена в три приложения.

Номерацията на фигурите, таблиците и формулите, в автореферата, съвпада със съответната номерация в дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ И СРЕДСТВАТА ЗА ГАРАНТИРАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ОБСЛУЖВАНЕ В ШИРОКОЛЕНТОВИ КОНВЕРГЕНТНИ МРЕЖИ

1.1. Съвременни представи за широколентовите конвергентни мрежи

Широколентовите конвергентни мрежи представляват IP базирани мрежи с интегрирани услуги, достъпни от разнообразни и динамични точки на достъп, безжичен достъп и оптични връзки, като FTTH (*Fiber To The Home*), FTTB (*Fiber To The Building*), FTTC (*Fiber To The Cabinet*), HFC (*Hibrid Fiber Coaxial*) и широколентови мрежи BHN (*Broadband Home Network*), VDSL, WiBro.

Гарантирането на качеството на обслужване е необходимост за всички възли и елементи на широколентовите конвергентни мрежи, като WiBro, оптичните магистрали и хендовърите, като критични точки при предаването на високоскоростна информация. Разнородният характер на трафика налага усъвършенстване на съществуващите модели на телетрафични системи с марковски закони на входящия и обслужващия потоци. За симулацията на видео трафик, предаване на пакети и моментен пик при обслужване в дадено комуникационно устройство, се използва себеподобен трафик с висока автокорелация. Мрежите от опашки с дълговремеви зависимости на обслужване описват типа на действие на последователни маршрутизиращи устройства. Високоскоростни мултиплексори от ново поколение се моделират с различни полумарковски закони на входящия и обслужващия потоци и с приоритетни заемания на обслужващата система.

1.2. Дефиниране на редки събития в широколентовия трафик

Оценката на параметрите на качеството на обслуважане в ATM за различните типове пакети, както и класове услуги е свързана с вероятностни параметри от порядъка на редки събития, като загубата на клетки и загубите на ниво серии са с вероятност не по-голяма от 10^{-9}.

Изследването на появата на ограничената относителна грешка BRE (*Bounded Relative Error*) и вероятността за грешката за битове BER (*Bit Error Rate*) в оптични магистрални трасета, както и оптични устройства като мултиплексори, се разглеждат като редки събития с вероятност за поява от порядък 10^{-6} до 10^{-12}.

Параметрите на качеството на обслужване в IP базираните мрежови архитектури, също така се моделират и изучават като редки събития [A7]. Тук вероятността за загуба на пакети IPPLR (*IP Packet Loss Ratio*) е по-малка от 10^{-6}.

Хендовърите в безжичните мрежи от поколение 3G и 4G, като част от конвергентните широколентови мрежи, трябва да отговарят на редица параметри, осигуряващи необходимото качество на обслужване, като вероятностните параметри за блокировка са от порядък на 10^{-6}. Нивото на загуби при UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) за различните трафични класове, не трябва да надвишава 10^{-6}.

1.3. Изследване на редки събития за гарантиране на параметрите на качеството на обслужване в широколентови конвергентни мрежи

Симулацията на редки събития изисква значителен разход на време и компютърни ресурси, като за необходимата оценка на вероятностните параметри на тези редки събития, е необходимо симулацията да се изпълнява многократно. Проблемът за ускоряване на симулацията при редки събития с цел намаляване на компютърните ресурси и време, се решава с няколко основни методи за компютърно моделиране. Първоначално трябва да се генерират образци с *генератори на псевдослучайни числа* по метода Монте Карло, като оценките на действията на системата се изчисляват на базата на тези образци. След това се прилага *разклоняването на траекторията на образците на статистическата извадка на закона на разпределение* (*Importance Splitting*), като се извършва директно преразпределяне на вероятностите в отделни некорелирани подмножества.

Условието за разделяне на пространството на състояния се свързва със събитието напускане на дадено подмножество и влизане в друго подмножество, при което е разрешено преминаването между всеки две подмножества. Основният метод, който използва концепцията на техниката за разклоняване на траекторията на закона за разпределение на случайните числа е RESTART (*Repetitive Simulation Trials After Reaching Thresholds*). Този метод за разклоняване на траекторията на образците на закона за разпределение на статистическата извадка се комбинира с подхода на ограничената относителна грешка LRE (*Limited Relative Error*). Обобщеният алгоритъм позволява симулационна оценка на изключително ниски вероятности в порядък над 10^{-25}.

1.4. Изводи

В резултат на анализа на методите и средствата за гарантиране на качеството на обслужване в широколентовите конвергентни мрежи, са направени следните изводи:

- Анализирани са съвременните конвергентни мрежи, спецефикациите и изискванията за достигане на необходимото ниво на качеството на обслужване *QoS* (*Quality of Service*).
- Анализирани са редките събития, които ще бъдат изследвани със симулационни методи, при различните видове мрежи.
- Анализиран е алгоритъм за генериране на псевдослучайна статистическа извадка, който служи за стартиране на следващите техники за ускоряване на симулацията, както и двата основни метода за ускоряване на симулацията, „генерирането на значима извадка от образци“ и „разклоняването на траекторията на образците на закона за разпределение на статистическата извадка“.

ГЛАВА 2. СИМУЛАЦИЯ НА РЕДКИ СЪБИТИЯ В ТЕЛЕТРАФИЧНИ СИСТЕМИ И В МРЕЖИ ОТ ОПАШКИ

Един от главните проблеми при анализа на редки събития в комуникационните мрежи е необходимостта от точност на симулацията, което води до значителен разход на време и компютърни ресурси. Обект на изследване са телетрафични модели, които описват единични елементи или системи от устройства в широколентови конвергентни мрежи, като основната цел на ускорената симулация е получаването на оценка на параметрите на качеството на обслужване в широколентовите мрежи [A4].

2.1. Теоретични модели на телетрафични системи, използвани в телекомуникационните мрежи

Законите на разпределение на входящия и обслужвания потоци са от съществено значение при моделирането на основните елементи в една телетрафична система, описваща широколентова конвергентна мрежа. Стохастичните входящи потоци биват: еднородни и нееднородни. Телетрафичните модели на отделни възли на широколентовите конвергентни мрежи използват различни разпределения на входящия и обслужващия трафик, като Поасоново, MMPP, SSM, Ерланг, Парето, Геометрично. Теоретично

изследваните модели са класифицирани спрямо броя опашки, като в първата част на глава 2 са разгледани телетрафичните системи с единични опашки, а във втората част на глава 2 са разгледани модели на мрежи от опашки.

2.1.1. Телетрафична система тип M/M/1/N

Моделът M/M/1/N представлява едноканална система за чакане, като входящият поток е Поасонов, времето на обслужване е екпоненциално и опашката има максимална дължина *N*. Тези свойства се използват при разработването на алгоритми и симулацията на модели на телетрафични системи. Поради тази причина моделът на телетрафичната система M/M/1/N се изследва обстойно, с цел използване на резултатите на симулационния метод RESTART за оценка на появата на редки събития.

Вероятността за блокировка P_B на системата се определя от нейното натоварване ρ като

$$P_B = \frac{\rho^N (1-\rho)}{1-\rho^{N+1}}. \tag{2.5}$$

Изведени са и вероятността за блокировка и вероятността за пълна загуба на повиквания в телетрафичната система, които могат да послужат като еталон за проверка на симулационната вероятност за блокировка.

2.1.2. Телетрафична система тип [X]/M/1/N

Телетрафичните системи от тип [X]/M/1/N имат полумарковски закон за разпределение на входящия поток и намират широко приложение в съвременните телекомуникационни мрежи. Обслужването в системите се извършва с марковски закон на разпределение, при които липсва последействие.

Телетрафична система от тип Geo/M/1/N има входящ поток, който постъпва съгласно геометричен закон на разпределение в една опашка с дължина *N*. Този модел се изучава поради необходимостта от изследване на нови телекомуникационни мрежи с високоскоростен трафик (*FTTH*, *FTTB* и др.).

Началната и *k*-тата генераторна функция на вероятността за блокирвоки P_k, при зададена *z* трансформация на една случайна променлива, се изчислява съгласно

$$p_0 = G_0(0); \qquad P_k = \frac{1}{k!}.\frac{d^k G_X(z)}{dz^k}\Big| z=0, k=1,2,3. \tag{2.9}$$

Генераторната функция за сума от независими случайни променливи е произведение от генераторните функции на всяка променлива

$$G_z(z) = \prod_{i=1}^{n} G_{X_i}(z), X = \sum_{i=1}^{n} X_i. \tag{2.10}$$

Аналитичното изчисляване на вероятностните параметри на системата се затруднява от изчислителната сложност. Това е основната причина за използване на симулационни изследвания при този тип системи.

Освен това в този раздел са изведени и вероятностните параметри за блокировка на системи от тип [X]/M/1/N, Erl/M/1/N, Pareto/M/1/N и SSM/M/1/N, при които се наблюдават опашки с голям капацитет и дълговремеви зависимости на широколентовия трафик.

2.1.3. Телетрафична система тип M/[X]/1/N

Съществуват много системи, при които времеинтервалите на обслужване не са експоненциално разпределени. При тях входящият поток пристига със стандартно експоненциално разпределение, но времемеинтервалите на обслужване на заявките нямат експоненцално разпределение. Пример за това са телетрафичните системи M/G/1/N, M/D/1/N и M/Erl/1/N, като в случая се приема, че M/G/1/N е специален случай на M/D/1/N.

Вероятността за блокировка в опашката с краен брой заявки за обслужване *N*, с натоварване ρ и квадрат на коефициента на вариация на времето за обслужване s^2, за телетрафични системи от тип M/G/1/N, се определя от

$$P_N = \frac{\rho^{(2+\sqrt{\rho}s^2-\sqrt{\rho}+2N)/(2+\sqrt{\rho}s^2-\sqrt{\rho})}(-1+\rho)}{\rho^{2((2+\sqrt{\rho}s^2-\sqrt{\rho}+N)/(2+\sqrt{\rho}s^2-\sqrt{\rho}))}-1}. \tag{2.21}$$

В зависимост от реда на обслужване и зададените параметри в тази система, вероятностите за блокировка се променят.

При телетрафични системи описващи IP мрежи (техните маршрутизатори и комутатори), най-често се използва сиситема от тип M/Pareto/1/N, при които загубата на пакети и вероятността за блокировка се определя като

$$P_B = 1 - \frac{\Gamma(k)}{m + \lambda.\Gamma(k)}, \tag{2.22}$$

където средната интензивност на пристигане на заявките е λ, m е първият зает период, а $\Gamma(k)$ е k-тия период на заемане, който се описва с израза

$$\Gamma(k) = \frac{m}{1-\rho}(P_0 + P_1 + .. + P_k). \tag{2.23}$$

След преобразувания системата се свежда отново до M/G/1/N.

2.1.4. Телетрафична система тип [X]/[X]/1/N

Анализирани са системи от тип Erl/D/1/N и MMAP/D/1/N, при което е установено, че извеждането на аналитични изрази за вероятностните параметри за тези системи е силно ограничено. В такива случаи вероятностите за блокировка се търсят с помощта на симулационни методи.

2.2. Теоретични модели на мрежи от опашки

За гарантирането на необходимото качество на обслужване, при взаимодействието на няколко мрежови устройства се извършва симулацията на мрежи от опашки. Основните мрежи от опашки, които се разглеждат се делят на мрежи с последователни и с паралелни опашки, както и на мрежи с приоритети.

2.2.1. Мрежа от последователни опашки

Разглеждат се мрежи от последователни опашки от тип M/M/n/N, с поасонови входящи потоци с интензивност на постъпване от един източник α, експоненциално обслужване на заявките и n обслужващи устройства с максимална дължина N.

Загубите по повиквания са равни на отношението на интензивността на необслужените повиквания към средната интензивност на постъпващите повиквания и се определят като

$$P_c = \frac{(n-N)\alpha P_n}{\sum_{i=0}^{N}(n-i)\alpha P_i}. \tag{2.35}$$

Загубите по трафик са равни на разликата между потенциалния и обслужен трафик към потенциалния трафик и се дефинирани като

$$P_a = \left(1 - \frac{N}{n}\right) \frac{\binom{n}{N} \alpha^n}{\sum_{i=0}^{N} \binom{n}{i} \alpha^i}. \tag{2.36}$$

Аналитичното пресмятане на загубите, зададени чрез (2.35) и (2.36) позволява да се определи адекватноста на симулационните модели, описващи, телетрафичните процеси посредством мрежи от последователни опашки.

2.2.2. Мрежа от паралелни опашки

Мрежата от паралелни опашки се описва с различни входящи потоци и различни източници.

При идеална симетрична непълнодостъпна схема, в която има k заети изхода, с d определени изхода в интервала $d \leq k \leq n$, вероятността за блокировки се изчислява чрез формулата на Ерланг. След преобразуване се получава израза

$$P_k = \binom{n-d}{k-d} \Big/ \binom{n}{k} = \frac{(n-d)!}{(k-d)!(n-k)!} \frac{k!(n-k)!}{n!} P_c = \frac{\binom{k}{d}}{\binom{n}{d}}. \tag{2.37}$$

В съвременните телекомуникационни системи се използват най-често паралелни опашки.

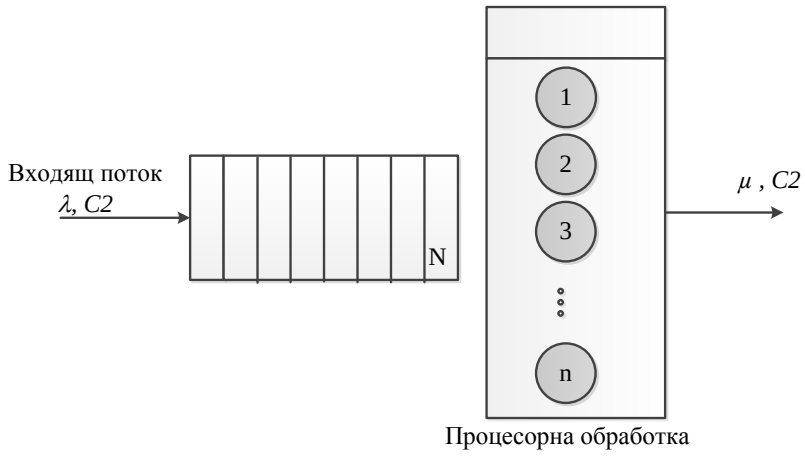
2.2.3. Мрежа с процесорно обслужване на опашка с максимална дължина от тип Geo/Geo/1/N/PS

Телетрафична система от тип Geo/Geo/1/N/PS с различни приоритетни класове, може да послужи за модел на системи с дълговремеви зависимости и тежки опашки, с едно обслужващо устройство, с n канала за обслужване в него и дължина на опашката N (фиг.2.8). В зависимост от реда на обслужване се променят значително вероятностите за блокировка [A4].

Апроксимационният израз за вероятността за блокировка за всеки един от каналите с възможна дължина n=1,2,…,N се изчислява със зависимоста

$$P_B(N) = \sum_{\nu=0}^{N} \delta_i(\nu)(1-\sigma_i)^{[N-\nu]^+} P(\nu), \tag{2.39}$$

където $\tau = 2/(C^2+1)$ и $\sigma = \tau\nu$, C^2 е квадрат на коефициента на вариацията *W*, която е случайна величина описваща, произволните времена на заемане и обслужване на системата, когато ν=0 то $\delta_i(\nu) = \delta_i$.



Фиг. 2.8. Geo/Geo/1/N/PS система с канали и ред на обслужване базиран на процесорно разделяне на каналите

2.3. Алгоритъм за разклояване на траекторията на образците по метода RESTART и определяне на ограничената относителна грешка при телетрафични системи

Методът RESTART ускорява симулацията на редки събития, чрез оценката на отношението, показващо необслужени заявки. Комплементарната функция $G_l = 1 - P_L$ намалява монотонно, а ускоряването на симулацията се увеличава, защото нейната продължителност намалява, когато праговете на разклоненията на траекторията на образците са избрани коректно. Комплементарната функия се определя като

$$G_l = P\{\lambda \geq L\} = P\{\lambda \geq L | \lambda \geq L_{m-1}\} P\{\lambda \geq L_{m-1} | \lambda \geq L_{m-2}\} \\ \ldots P\{\lambda \geq L_1 | \lambda \geq L_0\} P\{\lambda \geq L_0\}. \tag{2.49}$$

Алгоритъмът за ограничената относителна грешка LRE е вложен в метода RESTART. Алгоритъмът за ограничената относителна грешка се моделира с помощта на дискретна марковска верига. За целта еднозначно се определя марковска верига с два възела, след което чрез смяна на състоянията *n* пъти се получава оценка за локалния корелационен коефициент $\hat{\rho}(x)$. За целта се обвързва броят на преходите през разделителната линия $a_i \approx c_i$, с общия брой от наблюдаваните събития в лявата част l_i=n-d_i $(\beta = 0,1,\ldots,i-1)$ и в дясната част d_i

$(\beta = i, i+2, ..., k)$. Стойността $\hat{G}_i$ на симулираната комплементарна функция на разпределение може да се определи директно чрез d_i/n, ако са изпълнени достатъчните условия за голям брой на образците

$$n \geq 10^3; \quad (l_i, d_i \geq 10^2); \quad (a_i, c_i, l_i - a_i, d_i - c_i) \geq 10. \tag{2.57}$$

Основното предимство на подхода е това, че честотата на преходите c_i се достига чрез рутинни статистически изчисления.

2.3.1. Алгоритъм за разклоняване на траекторията на образците и определяне на ограничената относителна грешка, при телетрафични системи с единични опашки

Резултатите от алгоритъма RESTART за телетрафични системи с единични опашки, зависят от няколко основни прараметъра, както и от типа разклоняване. В този случай законът на входящото разпределение и относителната грешка, са от съществено значение. В зависимост от закона за обслужване на заявките, могат да се получат различни симулационни резултати.

В дисертацията е разработен следния алгоритъм за разклоняване на траекторията на образците при телетрафични системи с единичини опашки.

АЛГОРИТЪМ 1:

СТЪПКА 1: Дефиниране на параметрите на системата и инициализиране на променливите:

Дефиниране на фиксирана дължина на опашката *N*. Избор и задаване на вида на разпределение на входящия поток и на потока на обслужване: (експоненциално, геометрично, Парето или Поасоново разпределение). Избор на дисциплина на обслужване: *FCFS, LCLS*, с приоритетно обслужване или на обслужване на случаен принцип. Задаване на параметрите на алгоритъма: броя на праговете (L, m, $L_0, \ldots, L_{m-1}$, n_1, n_2, $n_3 \ldots n_m$, $REmax_1$, $REmax_m \beta$) и броя на блокираните повиквания B;

Инициализация на променливите $count=0$; $n=0$; $Buffer=0$; $U=1$; $i=0$.

СТЪПКА 2: Получаване на аналитични резултати:

Изчисляване на аналитичните резултати за вероятността за блокиране или препълване на системата, ако е възможо.

СТЪПКА 3: Стартиране на симулацията с поредните стойности

ВЪНШЕН ЦИКЪЛ

Проверка за коректност на резултатите

If (($n \geq 10^3$) and (l_i, d_i) $\geq 10^2$ and (a_i, l_i-a_i, d_i-a) ≥ 10) then условието за ограничена относителна грешка е изпълнено.

Генериране на статистическата извадка със закона на съответното разпределение. Определяне на математичиското очакване и средното време за престой в опашката, за да се получи съдържанието на буфера за всеки момент от време, при избраната дисциплината на обслужване.

СТЪПКА 4:

ВЪТРЕШЕН ЦИКЪЛ

За ниво i

Докато ($error > RE_{max}$ за L_0 до L_{m-1}) симулацията продължава да генерира нови стойности от статистическата извадка със закона за разпределение, като се следи състоянието на опашката, да не надвишава зададения праг на съответното разпределение β. Ако прага на разклоняване не е достигнат, симулацията продължава.

СТЪПКА 5:

При достигане на прага за разклоняване се оценява генерираната значима извадка чрез променливата *Buffer* в момента на пристигане на нови заявки и в предходния момент на процеса на обслужване. Проверява се дали получената стойност е в лявата част на L_{0-1} или е в дясната част, т.е. е по-голяма от стойността на прага на разклоняване L_0; Резултатът от симулацията се приема, ако получената стойност е в дясната част, т.е. ако е по-голяма от стойността на прага на разклоняването. В този случай тя се запазва за повторно разклоняване при RESTART;

СТЪПКА 6:

За съответното ниво L_i, се увеличава брояча $Count=Count+1$.

Проверява се дали не е достигнато последното ниво за разклоняване. Ако не, то $i=i+1$ и се преминава към Стъпка 4.

СТЪПКА 7:

Възстановяване на едно рядко събитие от L_{i-1};

Изчисляване на относителната грешка RE за комплементарната функция на разпределение.

If $RE>RE_{max}$ then симулацията спира и се симулира ново случайно състояние

If $L>0$, then $Count=Count+1$ за съответното разклоняване на траекторията на образците;

Проверка на коректност на резултатите с алгоритъма за ограничена относителна грешка LRE.

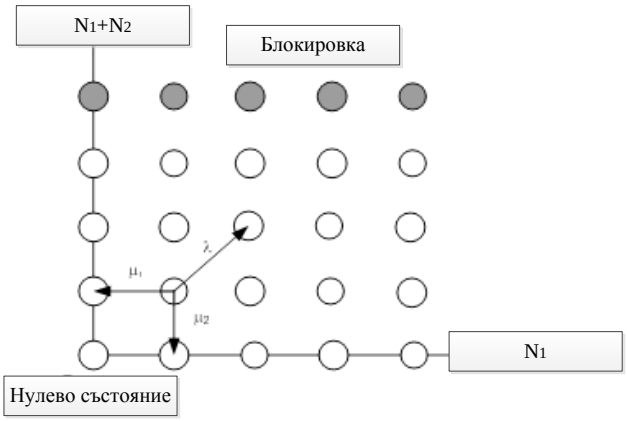
СТЪПКА 8: Извеждане на резултати:

Извежда се броя редки събития за всяко разклоняване. Резултатите от различните разклонявания се обработват, като разклоняванията, в които не са възникнали редки събития се пренебрегват. Възникналите вероятности за блокировки за всяка траектория на образците се сумират, след което се получава крайната вероятност за блокировка, като произведение на вероятностите на всички симулационни пътечки.

СТЪПКА 9: Ако е изпълнено условието *error<REmax* край на симулацията, в противен случай преминаване на стъпка 3.

2.3.2. Алгоритъм за разклоняване на траекторията на образците и определяне на ограничената относителна грешка, при мрежа от две последователни опашки

Основен проблем тук е определянето на разклоненията и големината на статистическата извадка в алгоритъма, като се взимат предвид възловите места, където могат да възникнат редки събития. Препълване и блокировка могат да настъпят, в първата или втората опашка.



Фиг. 2.9. Възможност за препълване и блокировка в две последователни опашки

Разглеждаме две последователни опашки, като се дефинират три възможни области на възникване на рядкото събитие както следва

$$N_1 + N_2 \geq L$$
$$N_2 \geq L \qquad (2.63)$$
$$Min(N_1 + N_2) \geq L.$$

В първия дефиниран случай , възможните състояния на възникването на събитието B са: (0, N_1+N_2) или (0, (N_1+N_2-1)). Съществуват следните три възможности: в първият случай заявката постъпва в първото обслужващо устройство и трябва да бъде обслужена и от двата сървъра преди да напусне системата, докато заявката във втората опашка n_2 трябва да бъде обслужена от втория сървър. Тук проблемът възниква в първата опашка, когато се наблюдава висока стойност на N_1, а ниска стойноста на N_2.

Разглежда се случай, когато областта на рядкото събитие е $n_1 \geq L$, функцията не принадлежи на $\Phi=N_2$. За да се получат състоянията с по-голяма точност, тегловият коефициент на n_1 трябва да се присвои на n_2, така че $\Phi=a(N_1+N_2)$, като $0 \leq a \leq 1$.

Третият вариант за навлизане в областта на рядки събития е при дефиницията $Min\ (N_1,\ N_2) \geq L$, за $N_1 \leq L$ и $N_2 \leq L$, където стойностите за коефициента a трябва да са по-малки от 1. В този случай определянето на Φ е $\Phi=a(\Phi_1+\Phi_2)$ и се задава като

$$\Phi_i = \begin{cases} N_i, & \text{ако} \quad N_i \leq L \\ L + b(N_1 - L), & \text{ако} \quad N_i > L. \end{cases} \tag{2.64}$$

В дисертацията е разработен следния алгоритъм по метода RESTART за мрежа от две последователни опашки.

АЛГОРИТЪМ 2:

СТЪПКА 1: Дефиниране на параметрите на системата и инициализиране на променливите:

Капацитети за обслужване N_1 и N_2 в системата; Избор и задаване на параметри за разпределение на входящия поток на първата опашка, като експоненциално, геометрично, Парето или Поасоново разпределение; Избор и задаване на параметри за разпределение на потока на обслужване на първата и втората опашка: (експоненциално, геометрично, Парето или Поасоново разпределение). Определяне на броя на праговете.

Задаване на прага за блокировка:

Вариант 1: Блокировката се определя като $N_1+N_2 \geq L$

Вариант 2: Блокировката се определя като $N_2 \geq L$

Вариант 3: Блокировката се определя като $Min(N_1+N_2) \geq L$

Инициализация на променливите: $count$=0; n=0; $Buffer1$=0; $Buffer2$=0; U=1; i=0.

СТЪПКА 2: Изчисляване на аналитичните резултати за вероятността за блокиране или препълване на всяка системата, ако е възможно.

СТЪПКА 3: Стартиране на симулацията като стандартна Монте Карло симулация.

СТЪПКА 4: Проверка за достигане до поредния праг L_i за първата опашка.

Ако да, тогава симулаторът генерира репликации на вътрешните променливи и симулацията продължава паралелно за всяко от копията.

СТЪПКА 5: За всяко копие се генерира независима последователност от случайни числа с една и съща начална стойност.

СТЪПКА 6: Проверка за достигане на пореден праг L_i за втората опашка.

Ако да, тогава симулаторът генерира репликации на вътрешните променливи.

СТЪПКА 7: За всяко копие се генерира независима последователност от случайни числа с една и съща начална стойност.

СТЪПКА 8: Проверка за достигане на последния праг L_{m-1}.

Ако не, преминаване към стъпка 3.

Ако да, пресмятане на относителната грешка с LRE алгоритъм и отчитане на достоверността на получените резултати. Сравняване с аналитичните резултати, ако има такива, с резултатите получени от симулацията. Извеждане на получените резултати.

2.3.3. Алгоритъм за разклоняване на траекторията на образците и ограничената относителна грешка, при мрежа от две паралелни приоритетни опашки

АЛГОРИТЪМ 3:

СТЪПКА 1: Дефиниране на параметрите на системата и инициализиране на променливите:

N_1 и N_2, броя канали за обслужване в системата. Задаване на приоритети N_{Pr1} и N_{Pr2}. Дефиниране на L, m, $L_0, \ldots, L_{m-1}$, n_1, n_2, $n_3 \ldots n_m$, $REmax_1$ до $REmax_m$ β и B. Избор и задаване на вида на разпределение на входящия поток на първата и втората опашка (експоненциално, геометрично, Парето или Поасоново разпределение). Избор и задаване на разпределение на потока на обслужване μ_2 (експоненциално, геометрично, Парето или Поасоново разпределение).

Инициализации на променливите $count=0$; $n=0$; $Buffer1=0$; $U=1$.

СТЪПКА 2: Изчисляване при възможност на аналитичните резултати за вероятността на блокиране или препълване на всяка система.

СТЪПКА 3: Симулация с генерираната последователност от стохастични образци.

СТЪПКА 4: Проверка за достигане на поредния праг L_i за разклоняване на траекторията на образците.

Ако не, преминаване на към стъпка 3.

СТЪПКА 5: Определяне на опашката, при която се достигна прага L_i и генериране на репликации на вътрешните променливи.

СТЪПКА 6: За всяко копие се генерира независима последователност от случайни числа с една и съща начална стойност.

СТЪПКА 7: Симулация с генерираната последователност от образци.

СТЪПКА 8: Проверка за достигане на последния праг L_{m-1}. Ако не, преминаване към стъпка 3.

СТЪПКА 9: Пресмятане на отнсителната грешка с LRE алгоритъма.

СТЪПКА 10: Сравняване на получените резултати с аналитичните резултати, ако има такива и спиране на симулацията.

2.3.4. Обобщен алгоритъм за разклоняване на траекторията на образците и определяне на ограничената относителна грешка по метода RESTART

Параметрите на обобщения алгоритъм трябва да се подберат спрямо типа телетрафична система и за коя точка да бъде изследвана вероятността за препълване и загуби. Аналитичните резултати могат да се получат, само ако е възможно представянето на системата с марковски вериги. Укрупнена блок диаграма на разработения обобщен алгоритъм е представена на фиг. 2.10. Алгоритъмът за пресмятане на ограничената относителна грешка е представен на фиг. 2.11.

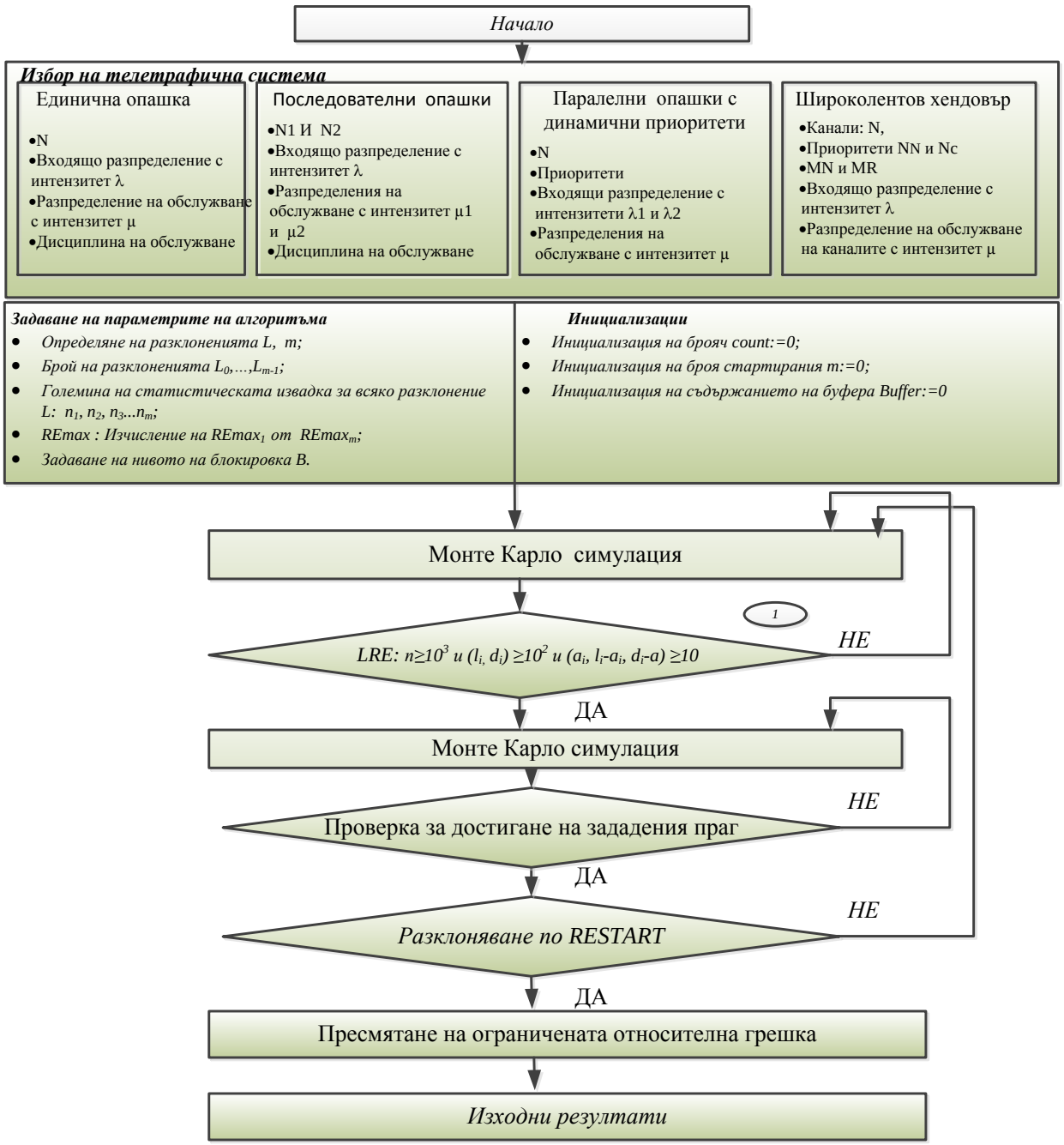
2.4. Изводи

Систематизирани са основни типове телетрафични системи с единични опашки, като са изведени вероятностните параметри за оценка състоянието на системата (2.5), (2.9), (2.15), (2.21), (2.22), (2.23), (2.35), (2.36), (2.37), (2.39).

Анализирани са три типа често срещащи се в телекомуникационните мрежи, телетрафични системи с няколко опашки: паралелни опашки, последователни опашки и опашки с приоритетно обслужване.

Създадени са алгоритми за симулация по метода RESTART, комбиниран с ограничената относителна грешка LRE. По този начин се постига ускоряване на симулацията и възможност за изследване на телетрафични системи с марковски и полумарковски процеси без да е необходимо тяхното аналитично описание.

Алгоритмите са обобщени с цел да се обхване по-голямата част телетрафични системи в реалните телекомуникационни мрежи.



Фиг. 2.10 Обощен алгоритъм RESTART/LRE за различни типове телетрафични системи

цикъл L_1

$\omega := \beta$ задава се текущата променлива за изчисляване на Марковската верига;

Генерира се нова стойност за β със зададено разпределение $h_{\beta} = h_{\beta+1}$

Ако е $\beta < \omega$ броячът за преходи се увеличава

цикъл L_2

Установява се l_i, d_i и h_i

$$n \geq 10^3; \quad ((l_i, d)_i \geq 10^2); \quad (a_i, c_i, l_i - a_i, d_i - c_i) \geq 10$$

Ако $s<k$, то се напуска се цикъл L_2.

Ако е достигнат индекс $s=k$, то се напуска цикъл L_1 и се увеличава се индексът за симулационно време $s:=s+1$;

Извеждане на експериментални резултати за $i=1,2,\ldots,K$

$$d_i = \sum_{j=1}^{k} h_j \quad \text{за} \quad i = 0,1,\ldots,k \quad \text{с} \quad d_0 = n$$

$$\begin{aligned}
&\hat{G}(x) = \hat{G}_i = d_i / n \\
&\hat{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{k} d_i \\
&\hat{\rho}(x) = \hat{\rho}_i = 1 - \frac{c_i / d_i}{1 - d_i / n} \\
&\mathrm{Cor}[x] = \mathrm{Cor}_i = (1 + \hat{\rho}_i)(1 - \hat{\rho}_i) \\
&\mathrm{RE}[x]^2 = \mathrm{RE}_i = \frac{1 - d_i / n}{d_i} \cdot \mathrm{Cor}_i
\end{aligned} \qquad (2.58)$$

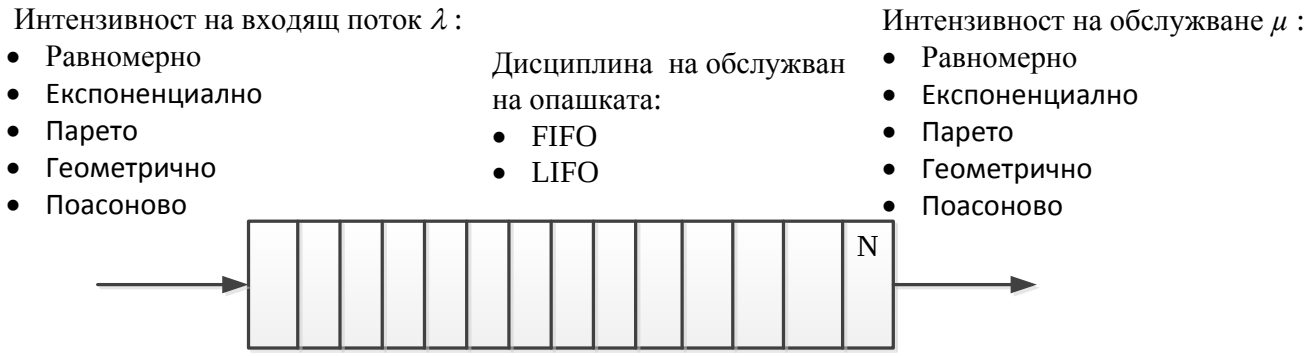
Фиг. 2.11. Алгоритъм за ограничена относителна грешка LRE

ГЛАВА 3. СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ТЕЛЕТРАФИЧНИ СИСТЕМИ С ЕДИНИЧНИ ОПАШКИ

3.1. Обект и методика на изследването

Планирането на експериментите за симулация на телетрафични системи с единични опашки и мрежи от опашки се базира на вариацията на редица параметри, които могат да се групират в две основни групи: параметри, определящи самата телетрафична система и параметрите на метода за симулация.

На фиг. 3.1. е представен модел на телетрафична система, който е обекта на симулационното изследване. Отбелязани са и изследваните избираеми параметри, определящи изследваната телетрафична система, като вид на разпределение на входящия поток, дисциплина на обслужване на опашката и разпределение на обслужването на заявките. Всеки един от тези параметри променя крайните експериментални резултати. Разглеждат се системи в стационарно състояние.



Фиг. 3.1. Модел на телетрафична система с единична опашка с максимална дължина N

Основните параметри, които оказват влияние на резултатите от алгоритъма RESTART са: относителна грешка *RE*; брой на нивата на разклонение на траекторията L и големина на статистическата извадка за всяко ниво n [A2]. Началното запълване на различните модели телетрафични системи, е в много кратък период, за това не оказва практически влияние върху крайните стойности на симулационната вероятност за блокировка. Това допускане се прави за всички изследвани системи.

3.2. Изследване на телетрафични системи с единични опашки

Според направената методика за симулационно изследване на телетрафични системи с единични опашки и алгоритъмът представен в глава 2.3.1. са проведени изследвания за определяне на параметрите, които оказват влияние върху ускоряването на симулацията.

Телетрафична система от тип M/M/1/N

Системата от тип M/M/1/N е едноканална система за чакане, като входящият поток има експоненциален закон на разпределение, времето на обслужване е екпоненциално разпределено и опашка има ограничен капацитет N. Такава система е без последействие, но е от особено значение, защото нейните свойства се използват при доказване на метода и неговите характреристиките.

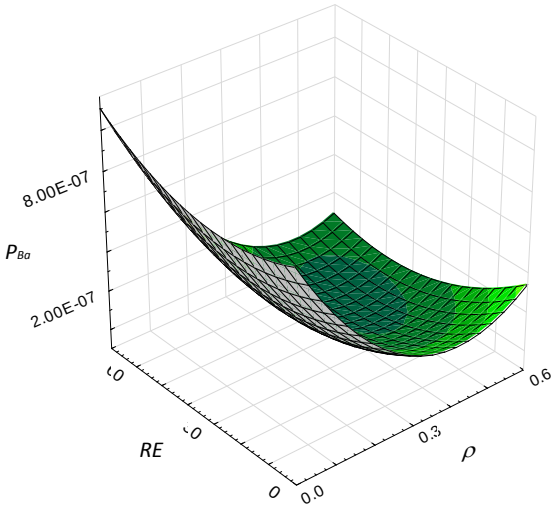
Корелационният анализ е извършен и показва липсата на големи стойности над 0.7 и линейна зависимост между параметрите на системата (λ,μ,N) и параметрите на алгоритъма. При проведения многофакторен регресионен анализ за системата M/M/1/N бяха получени стойности за коефициента на Фишер, които са в допустимите граници F=23.21. Симулационната вероятност за рядко събитие зависи от: n с коефициент 0,627, от L с коефициент 0.298; натоварването на система оказва влияние на крайния резултат с коефициент 0.647, като тук съществено значение оказва интензивността на обслужване. Фиг. 3.3. (а) и (б) показват, че стойностите на аналитичната и симулационната вероятност за блокировка са от един порядък, което доказва адекватността на симулационните резултати.

В този случай симулационните резултати припокриват аналитичните вероятности за блокировка, като за получаването на тези резултати е необходимо симулирането на 4 нива на разклоняване на алгоритъма, като статистическата извадка симулирана за всяко разклонение включва еднакъв брой образци, който е от 10000 до 1 000 000. Вероятността за блокировка в този случай е толкова ниска поради факта, че натоварването, което осигурява експоненциалното разпределение като входящ поток, трудно насища каналите за обслужване в буфера. При програмната реализация е зададен параметър за изследване на дисциплината на обслужване LIFO и FIFO. Въз основа на проведения анализ се доказа, че дисциплината на обслужване не оказва съществено и значимо влияние и може да се пренебрегне при бъдещи изследвания.

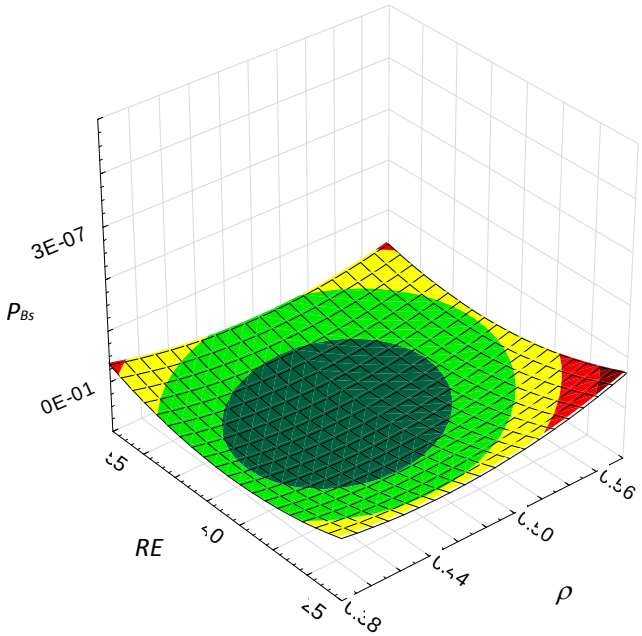
След прилагането на статистическите анализи се задават нови параметри на телетрафичната система и се изчисляват аналитичните вероятности за блокировка

и вероятността за поява на рядко събитие P_B. Представената случайна извадка от изследванията на фиг. 3.4., дава сравнение на симулационните и аналитичните вероятности, за система с N=30, при 3 или 4 нива на алгоритъма на разклонение на траекторията на образците при n=10 000 за всяко ниво.

При прилагането на статистистическите анализи за телетрафична система M/M/1/N и алгоритъм RESTART, след експерименталните изследвания може да се направи извод, че алгоритъмът води до коректни стойности спрямо аналитичните резултати.

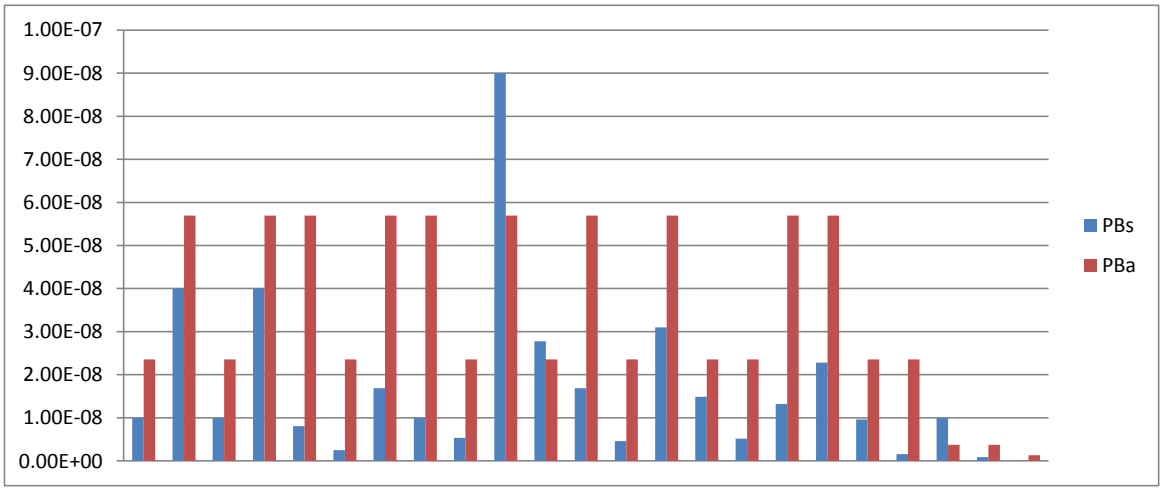


а)



б)

Фиг. 3.3 Графична зависимост между симулационната вероятност (а) и аналитичната вероятност за блокировка (б), от натоварването и *RE*



Фиг. 3.4. Сравнение между симулационна вероятност за блокировка и аналитична вероятност за блокировка за телетрафична система с максимална дължина N=30, като по оста $0X$ са сравнени 34 произволни симулационни и аналитични стойности, на вероятността за блокировка

Получените резултати за телетрафична система M/M/1/N колерират и зависят с най-високи стойности от n, интензитета на натоварването, пристигането и обслужването на новодошлите заявки, зададени в изследвания алгоритъм.

Модел за симулация на телетрафична система от тип M/Geo/1/N

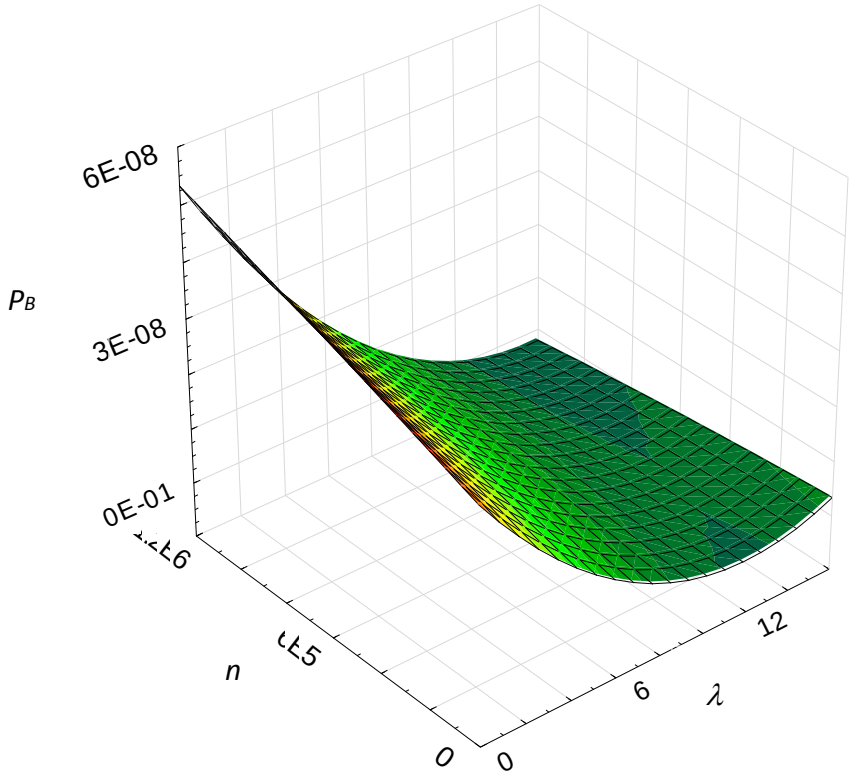
Разпределение с тежки опашки и дълговрееви зависимости, като Ерланг е приложимо при изследването на широколентови конвергентни мрежи. Въз основа на това се прави допускането, че заявките се обслужват с разпределението на Ерланг, а входящият поток е с експоненциално разпределение. Опашката е с максимална дължина N. Разглежда се дисциплина на обслужване *FIFO* и *LIFO*.

Корелационните зависимости на симулационната вероятност за блокировка са по-ниски от 0.7, което води до извършване на многофакторния регресионен анализ за параметрите на телетрафичната система и на алгоритъма RESTART. Установява се, че натоварването на системата влияе с най-висок коефициент 2.09. Това говори, че влиянието на коефициента на натоварване е от първостепенно значение, докато интензитета на геометричното разпределение на обслужването в опашката влие с коефициент 1.89. Коефициентът на влияение на параметъра, определящ отношението на относителната грешка към броя на каналите за обслужване има стойност 1.54. Тук може да се направи аналог и със системата Geo/M/1/N, където този параметър беше от съществено значение при определяне на областта с най-добри резултати. Следващият параметър на влиение изведен от многофакторния регресинен анализ е зависимостта от дължината на опашката N, чиято стойност на коефициента на влияние е 1.44.

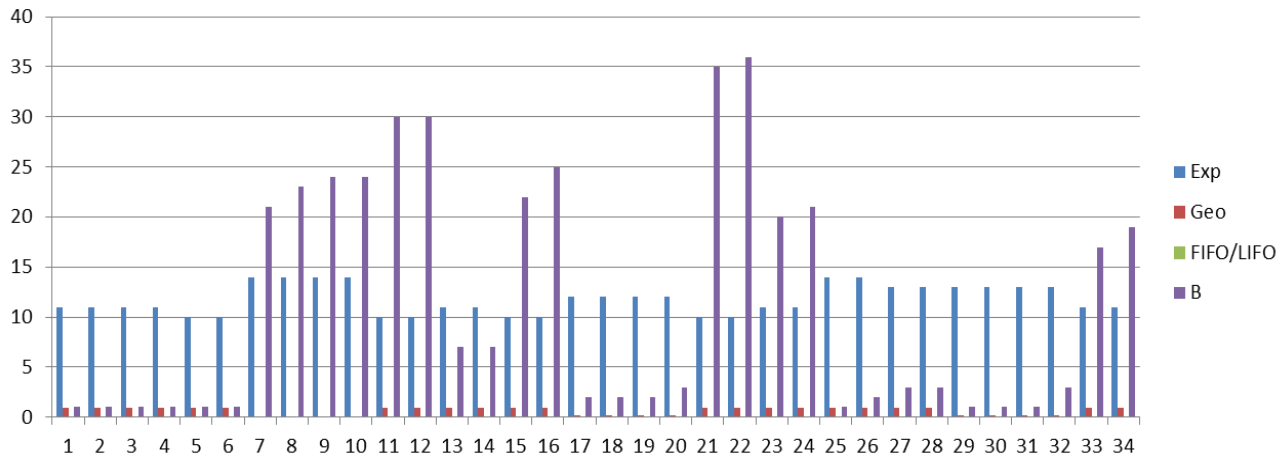
Геометричното разпределение се изразява със стойност на параметъра на влияние от 0.1 до 0.9, докато експоненциалното разпределение на входящия поток приема степенен параметър с максимална стойност 14.

Графичната зависимост на симулационната вероятност за блокировка от входящото експоненциално разпределение и големината на статистичеката извадка *n* е преставена на фиг. 3.8. На фиг. 3.9 са представени 34 произволно изведени зависимости между броя на възникналите редки събития и избраните параметри на входното разпределение и разпределението на обслужване, като максимално възникналите редки събития са 36.

Порядъкът на получените резултати варира от 10^{-9} до 10^{-12}. Натоварването в телетрафична система от тип M/Geo/1/N, оказва съществено значение, като в този тип система резултатите от симулацията зависят с първостепенно значение от самите параметри на телетрафичната система, а не от стойностите на параметрите на алгоритъма. Поради тази причина стойностите на параметрите на алгоритъма могат да бъдат подходящо подбрани, с цел намаляване на времето за симулация.



Фиг. 3.8. Графична зависимост на симулационната вероятност за блокировка от входящото експоненциално разпределение и големината на статистическата извадка



Фиг. 3.9 Графични зависимости между изследваните параметри за в система M/Geo/1/N, между посочените изследвани параметри (λ, μ, FIFO/LIFO) и възникналите блокировки *B* за 34 случайно избрани симулационни резултата

Телетрафична система Pareto/Geo/1/N

Телетрафична система от тип Pareto/Geo/1/N е с входящ поток с разпределение на Парето, като обслужването се извършва с геометрично разпределение. При тази система, интензитета на пристигане на заявките е постоянен, докато разпределението на обслужване варира в широки граници със стойност от минималната 0.1 до максималната 0.9. Тази система се разглежда поради характера на полумарковските разпределения за входен и обслужващ поток, с цел да се проследи влиянието на параметрите на самата система и влиянието на параметрите на изследвания алгоритъм.

Корелационните коефициенти на изследваните параметрите на телетрафичната система и алгоритъма, са в допустимата област от стойности. Многофакторният регресионен анализ за телетрафична система Pareto/Geo/1/N установява високо влияние на симулационната вероятност за блокировка от дължината на опашката *N* в системата със стойности на коефициента от -2.08. Отново, като и при другите неекспоненциални разпределения, отношението *RE/N* има сравнително високо влияние със стойност 1.94. Експерименталната симулационна вероятност за блокировка се влияе и от параметъра *n*, с коефициент 0.55 и от параметъра *L* с коефициент 0.38. За извършеният регресионен анализ коефициентът на Фишър има стойност F=14.66.

Нивата на разклоняване на алгоритъма са 2 или 3, при това с много ниска вариация. Както и при предходните системи от типа M/M/1/N, [X]/M/1/N и M/[X]/1/N, дисциплината на обслужване е с пренебрежимо ниско влияние.

Изследването на симулационната вероятност за блокировка за телетрафична система от тип Pareto/Geo/1/N се базира първоначално на статистическите резултати от анализите, като следващата стъпка е промяната на дължината на опашката N=120 и N=150, за да се установи областа с оптимални резултати спрямо изследваната симулационна вероятност за блокировка (табл. 3.15).

Таблица 3.15 Симулационна вероятност за блокировка при L=3, за различни стойности на n, при системи с N=120 и N=150 канала за обслужване

N=120			N=150		
	μ	PвE^{-12}		μ	PвE^{-10}
n=100 000	0.9	6.72	n=10 000	0.9	2.16
	0.9	7.74		0.9	1.25
	0.8	1.42		0.8	3.43
	0.8	16.30		0.8	2.16
	0.7	12.50		0.7	2.16
	0.7	13.70		0.7	5.12
	0.6	6.88		0.6	0.64
	0.6	11.20		0.6	1.25
	0.6	13.00		0.5	3.43
	0.5	5.90		0.5	3.43
	0.5	11.20		0.4	1.25
	0.4	3.93		0.4	3.43
	0.4	4.48		0.3	10.00
	0.3	11.00		0.3	10.00
	0.3	13.00		0.2	2.16
	0.2	4.22		0.2	2.16
	0.2	5.18		0.1	0.60
	0.1	19.00		0.1	0.60

Промяната на интензитетите на заемане и обслужване оказват незначително влияние, както и броя нивата на разклоняване на траекторията на образците. Може да се обобщи, че капацитета на системата е параметъра, който оказва най-голямо влияние върху крайния резултат, като при един по-голям буфер блокировките рязко намаляват.

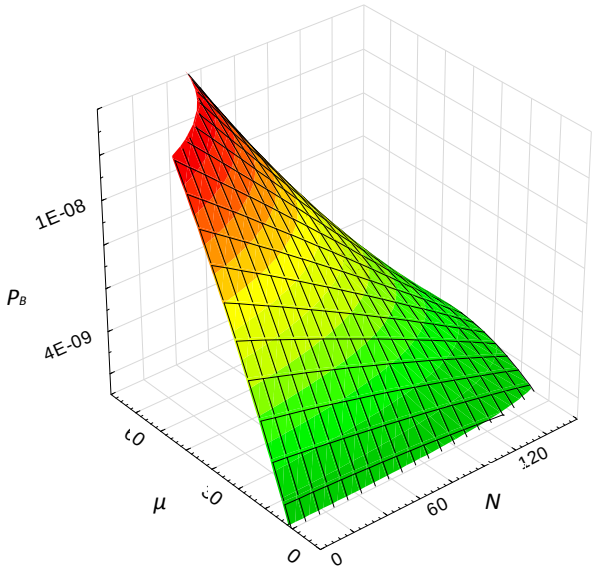
Телетрафична система Pareto/M/1/N

Изследванията на телетрафична система Pareto/M/1/N с алгоритъма RESTART цели да се намери зависимост между параметрите с най-високо влияние на системи с входно разпределение от тип Pareto, което е много подходящо за провеждане на изследвания в IP базирани системи.

Корелационната матрица на изследваните зависими и независими параметри за различните случаи установява липсата на линейни зависимости между параметрите. Провеждането на многофакторен регресионен анализ за система Pareto/M/1/N установява, че параметърът с най-голямо влияние върху

симулационна вероятност за блокировка е N със стойност 4.85. Следващият коефициент по значение е със стойност 4.54 за RE/N. Интензитета на обслужване е експоненциато разпределен, като стойността на коефициента е 0.51.

На фиг. 3.12 е представена зависимостта между дължината на опашката N, вероятността за блокировка P_B и интензитета на обслужване на телетрафичната система.



Фиг. 3.12. Графична зависимост между вероятността за блокировка P_B, дължината на опашката N и интензитета на обслужване на телетрафичната система

Симулационните вероятности за блокировка в система от типа Pareto/M/1/N са показани в таблица 3.17, за различна дължина на опашката N.

Таблица 3.17 Симулационна вероятност за блокировка за сиситема с N=90, 120 и 150 дължина на опашката, за $n=10\ 000$ за 3 нива на разклоняване на траекторията на образците

N=90			N=120			N=150		
RE	Exp	P_BE-10	*RE*	Exp	P_BE-10	*RE*	Exp	P_BE-10
5	10	1.25	5	10	7.29	5	10	1.25
10	10	21.00	10	10	10.00	10	10	13.00
5	20	5.12	5	20	3.43	5	20	2.10
5	20	5.12	5	20	3.43	5	20	2.10
10	20	94.00	10	20	13.00	10	20	33.70
5	30	10.00	5	30	13.00	5	30	17.20
10	30	68.00	10	30	58.00	10	30	33.70

3.3. Изводи

В трета глава са изследвани телетрафични системи с единични опашки, за които е разработена методика за ускорена симулация на вероятността за препълване в опашките. Методиката включва дефиниране на корелационна матрица, в която са изследвани зависимостите на работните параметри на телетрафичната система и параметрите за ефективна симулация. Чрез многофакторен регресионен анализ се оценява влиянието на изследваните параметри за симулация по метода RESTART. Симулационните изследвания се провеждат с отчитане на параметрите, водещи до по-голямо ускорение на симулацията. Параметрите са получени от корелационната матрица и проведения многофакторен регресионен анализ за съответната телетрафична система.

Ефективността на ускорената симулацията е доказана чрез сравняването с аналитични резултати за вероятността за препълване и блокировка. Аналитично е изчислена телетрафична система с марковски входящ поток и поток на обслужването с ограничен капацитет на опашката. Приложена е ускорена симулация в телетрафична система с марковски входящ поток, като в резултат от нея са установени основните параметри, влияещи върху симулационната вероятност за препълване на опашката, които са:

- Големината на статистическата извадка n;
- Натоварването на системата ρ.

Изследвани са телетрафични системи с единични опашки с полумарковски процеси от тип: [X]/M/1/N, M/[X]/1/N и [X]/[X]/1/N.

Получените резултати от симулационното изследване установяват, че при телетрафичните системи с полумарковски входящи потоци, например с разпределение от тип Pareto, ефективноста на ускорената симулация зависи от:

- Дължината на опашката N;
- Отношението на относителната грешка към броя на каналите за обслужване RE/N.

Симулационните резултати са поместени в таблици 3.15 и 3.17.

Изследвана е телетрафична система (Geo/M/1/N) с полумарковски входящ поток и с логаритмично геометрично разпределение, за която симулацията на редки събития зависи от:

- Броя на разклоненията на траекторията на образците L;
- Интензитета на входящия геометричен поток λ.

Симулирана е телетрафична система от тип M/[X]/1/N, където обслужването се извършва с логаритмично геометричен закон на разпределение. Доказано е, че основни параметри, които определят скоростта на симулация са:

- натоварването на системата, което оказва най-голямо влияние ρ;
- интензитета на обслужване μ.

Изследвана е телетрафична система от тип [X]/[X]/1/N, при която входящия поток е с Парето закон на разпределение, а обслужването се извършва с логаритмично геометрично разпределение, при което параметрите определящи скоростта на симулацията са :

- Дължината на опашката N;
- Големина на статистическата извадка n.

Изследвани са единични телетрафични системи с полумарковски и марковски закони на разпределение, като са изведени параметрите, водещи до висока ефектвност на предложения алгоритъм.

ГЛАВА 4. СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА РЕДКИ СЪБИТИЯ В ТЕЛЕТРАФИЧНИ СИСТЕМИ С МРЕЖИ ОТ ОПАШКИ

4.1. Обект и методика на изследването

Параметрите, определящи телетрафичната система с мрежи от две опашки са следните: големина на опашките, като големината на двете опашки не е взаимно свързана, капацитет за обслужване във всяка от опашките; закон на разпределение на входящия поток на всяка от двете опашки; закон на разпределение на обслужването в опашките, параметрите за съответния закон на разпределение; дисциплина на обслужване за двете опашки; отношение на относителната грешка към максималната дължина N, както и приоритет в телетрафичните системи с мрежи от опашки.

4.2. Изследване на телетрафични системи с последователни опашки

При изследването на различни части и звена от една широколентова конвергентна мрежа не трябва да се пренебрегва взаимодействието на няколко последователно свързани мрежови устройства. Конвергентността на системите е от съществено значение, като при взаимодействието на различни ситеми от различни поколения с различни трафични характеристики, възникват загуби,

представени като редки събития, които биха навредили на цялостния поток от информация, особено при свръх скоростните мрежи [A5].

Последователни опашки с марковски входящи и изходящи потоци

Изследваната система се състои от две последователни опашки с поасонов закон на разпределение на входящия поток на първата опашка, експоненциално разпределение за обслужване на първата опашка, като изходящия поток от първата опашка постъпва във втората опашка, която се обслужва с експоненциален закон на разпределение. Задава се определена относителна грешка за всяка от опашките, като вариацията в провежданите експеримети е значителна поради множеството параметри и поради необходимостта от доказателство на валидността на алгоритъма и програмната реализация.

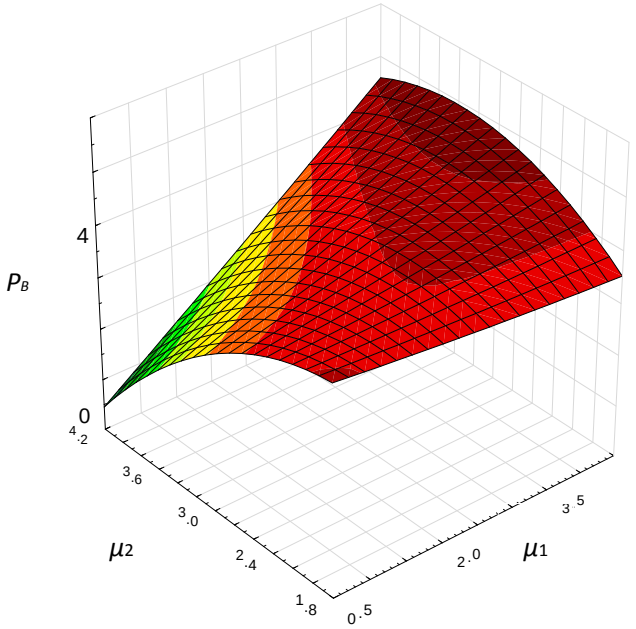
Първоначално се извършва търсене на подходящата област за поява на редки събития евристично и с натоварване на системата под 50%. Корелационната матрица за такава телетрафична система с марковски характер, доказва че няма линейни завсимости между отделните параметри.

Получените резултатите от многофакторния регресионен анализ показват, че от параметрите на алгоритъма, най-значим параметър е броя на разклоненията на траекторията на образците със стойност -0.75. Интензитетът на входящия поток и интензитетите на обслужвания на системите, като и размерът на двете последователни опашки корелират със стойности -3.3. От друга страна скоростта на обслужване на първата опашка μ_1 корелира с коефициент 1.36, докато скоростта на обслужване на втората опашка има коефициент на корелация μ_2 0.93.

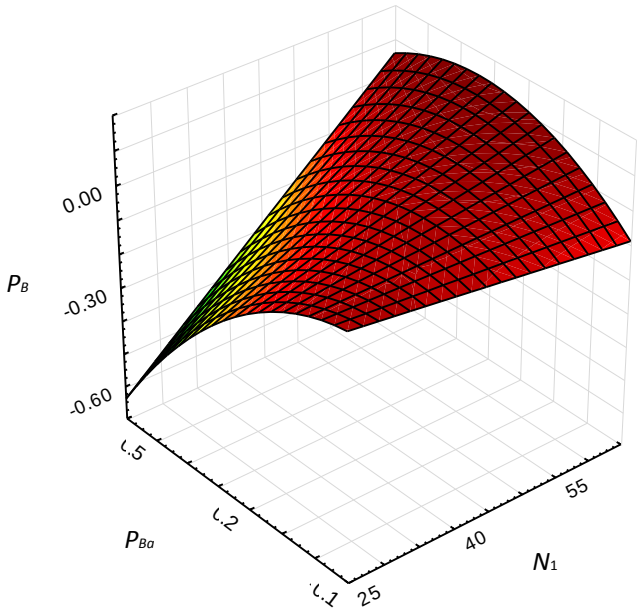
Графичните зависимости, изобразяващи съотношението на вероятностите за блокировка и параметри на телетрафичната система μ_1 и μ_2, са представени на фиг. 4.2. Повърхнината на графиката на фиг. 4.5. показва съотношението на (P_B-P_{Ba}), при промяна на стойностите на големината на първата опашка N_1. Повърхнината на графиката на фиг. 4.6. илюстрира съотношението на интензитета на първия входящ поток λ_1 и броят разклонения на статистическата извадка L, за получаване на симулационната вероятност за блокировка PB в система от две последователни опашки с марковски характер на входящите и обслужващите потоци.

В таблица 4.3 са изведени симулационните вероятности за блокировка при две последователни опашки с дължини съответно $N_1=40$ и $N_2=40$, като водещ параметър е първоначалното входящо ниво. В изследванията са симулирани

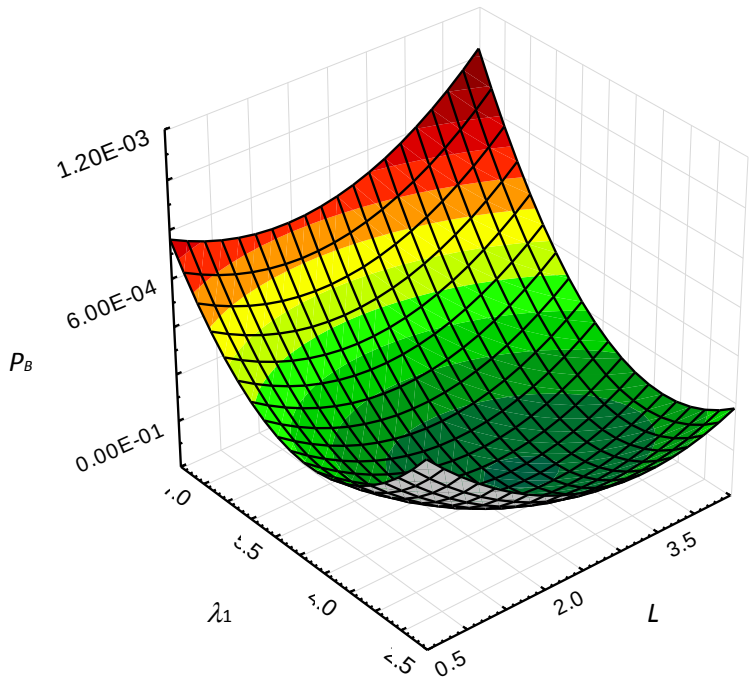
блокировките и препълванията и на двете опашки по отделно, както и блокировката на цялата система. Натоварванията в системите варират от 0.3 до 0.8, а броя на нивата за разклонения при RESTART приемат стойности от 1 до 4. Поради ниското влияние на *n* според многофакторния анализ, се приема максимална стойност на извадката 50 000, за да се ускори получаването на резултатите.



Фиг. 4.2 Графична зависимост между параметрите на телетрафичната система- входящ поасонов поток, екпоненциални разпределения за обслужване на първата и втората опашка



Фиг. 4.5 Графична зависимост между N_1 и симулационната и аналитична вероятност за блокировки



Фиг. 4.6 Графична зависимост между входящия поток на първата опашка, броят на нивата на разклонение на траекторията на образците L и симулационната вероятност за блокировки

Таблца 4.3 Симулационна вероятност за блокировка в телетрафична система от две последователни опашки, с дължини N_1=40 и N_2=40

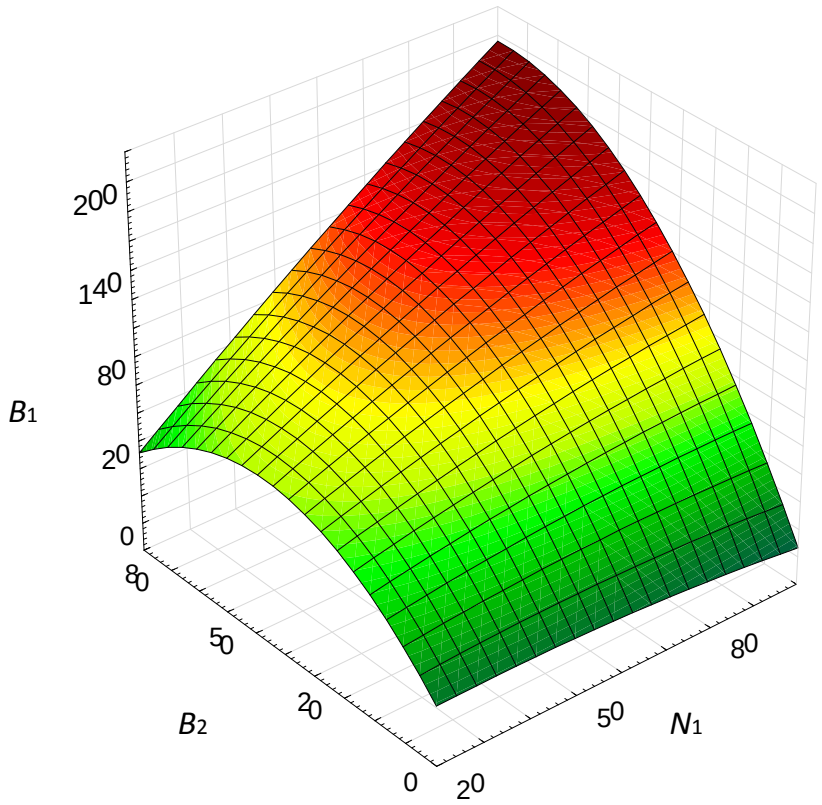
λ	$\mu 1$	$\mu 2$	ρ	L	P_{Ba}	P_{B1} E–09	P_{B2} E-09	P_B E-09
3.5	4	4	0.44	3	2.45E-15	0.00	0.00	0.00
3.5	3	3	0.58	2	1.80E-10	0.00	0.40	0.40
4	4	2.1	0.66	2	1.61E-08	1.60	6.50	8.00
4	4	2.1	0.66	2	1.61E-08	1.60	4.90	6.50
4	3	3	0.67	2	3.01E-08	0.00	1.60	1.60
4	2.5	3	0.73	2	8.01E-07	6.60	3.60	10.00
4	2.5	3	0.73	2	8.01E-07	0.90	1.60	2.50
4.6	3	3	0.77	3	5.65E-06	4.00E-04	5.12E-04	7.28E-04

Последователни опашки при водящ поток с разпределение на Парето и експоненциален закон на разпределенията на обслужване

Изследването на редки събития при мултимедиен IP базиран трафик в широколентовите конвергентни мрежи е от голямо значение, особено когато се изследват цялостни системи. Качеството на обслужване в този клас широколентови мрежи е от особено значение [A7].

Стойностите на корелационните параметри на симулационната вероятност за блокировка спрямо другите параметри не надвишават стойността 0.7, т.е. не се наблюдава линейна зависимист между параметрите на системата. Извършен е многофакторен регресионен анализ, при който коефициентът на Фишър влиза в допустимия диапазон. Параметрите, оказващи най-голямо влияние върху симулационната вероятност за блокировка са дължините на опашките N_1 и N_2. Стойността, с която те влияят върху крайния резултат е с коефициент -0.67 за всяка от двете опашки. Проведеният регресионният анализ извежда броя на нивата на разклоняване на траекторията на образците L с коефициент на влияние -0.6.

Фиг. 4.11 илюстрира плоскостта на възникналите блокировки в първата и втората опашки, съответно B_1 и B_2, спрямо различни стойности на големината на първата опашка N_1. Следващите симулационни изследвания се провеждат за три типа блокировки: симулационна вероятност за блокировка в първата опашка, симулационна верятност за блокировка в втората опашака и блокировка в цялата телетрафична система.



Фиг.4.11 Графична зависимост за възникване на блокировки в първата и втората опашки, съответно B_1 и B_2, от големината на опашката N_1

Последователни опашки с геометрично разпределение на входящият поток, геометрично разпределение за обслужването на първата опашка и Поасоново разпределение на обслужването във втората опашка.

Изследват се две последователни опашки с геометричен закон на разпределение на входящия поток в системата и с геометрично разпределение на обслужването в първата опашка, докато втората опашка се обслужва с марковски процес. Целта е да се симулира система с тежки опашки, при която обслужване на заявките се съчетава с друг вид трафик.

Стойностите на корелационните параметри на симулационната вероятност за блокировка спрямо другите параметри не надвишават стойността 0.7 и може да се премине към следваща стъпка.

Статистическият многофакторен регресионен анализ е извършен спрямо параметрите на алгоритъма и изследваната телетрафична система, като са спазени изискванията на метода. Многофакторният регресионен анализ установява, че параметрите с голямо влияние при тази система, са дължините на опашките N_1 и N_2 със стойност на коефициента на влияние 2.03. Значително влияние оказва зависимостта на Поасоновият закон на обслужване на втората опашка от вероятността за блокировка на цялата система със стойност на коефициента -2.34.

Симулационните изследвания са направени с три телетрафични системи с различен капацитет за обслужване на опашките. Първото изследване на симулациоката вероятност на блокировка е в система с $N_1=N_2=30$, следващото $N_1=N_2=40$, а последното изследване за $N_1=N_2=60$ е представено в таблица 4.10.

Таблица 4.10 Телетрафична система с дължини на опашките $N_1=N_2=60$

λ	$\mu 1$	$\mu 2$	n	L	$PB1$	$PB2$	PBE–12
0.3	0.36	17	10000	5	0	1.72E-13	0.17
0.33	0.36	18	10000		0	1.43E-13	0.14
0.35	0.4	19	10000		0	3.45E-12	3.45
0.4	0.45	29	50000	3	5.51E-10	0.00E+00	55.1
		29	10000		2.70E-11	0.00E+00	27
0.4	0.5	30	50000	3	1.00E-12	0.00E+00	1
		29	10000		1.00E-12	0.00E+00	1
		28	10000		1.00E-12	1.00E-12	2
0.4	0.6	30	10000	3	8.00E-12	0.00E+00	8
			50000		2.16E-13	0.00E+00	0.21
		29	10000		8.00E-12	0.00E+00	8
		28	100000	2	4.00E-10	0.00E+00	0.04
		26	50000	3	1.38E-11	0.00E+00	13.8
			100000	3	1.56E-11	0.00E+00	15.6
			100000	2	4.00E-10	0.00E+00	40
		25	50000	3	1.73E-12	0.00E+00	1.73

4.3. Изследване на телетрафични системи с мрежи от паралелни опашки

Телетрафичните системи с паралелни опашки са важна част от експериментите, защото представляват по-точен модел на оптичните магистрални устройства от ново поколение, където скоростта е от порядъка на гигабити за секунда, а появата на една блокировка и едно рядко събитие оказва съществено влияние на качеството на предаваната информация при тази скорост.

Марковски паралелни опашки

Първоначално се разглеждат две паралелни опашки с експоненциален закон на разпределение на входящите потоци, на обслужването с Поасоново разпределение. Избират се капацитет за обслужване за първата опашка и капацитет за обслужване на втората опашка. Задава се определена относителна грешка, като всеки от експоненциалните входящи потоци е с различен или еднакви интензитети. Задават се приоритети за всеки от входящите потоци. Вариацията в провежданите експеримети е значителна поради множеството параметри, но се установява липсата на линейна зависимост с корелационната матрица. Получените резултатите от многофакторния регресионен анализ показват, че изборът на разпределени приоритети в двете области, с общ сумарен максимален размер N, не оказва съществено влияние върху крайния резултат.

Многофакторният регресионен анализ за телетрафична система с две паралелни марковски опашки е извършен с брой на разклоненията от 2 до 5, а статистическата извадка приема стойности от от 10 000 до 500 000. Дължината на опашките е N=30 и N=60. При тази телетрафична система от две паралелни марковски опашки, съществено значение върху симулационните резултати оказват броя на разклонения на траекторията на образците L със стойност на коефициента на влияние -0.39 и дължината на опашките N, със стойност на коефициента на влияние 0.827. Направеният анализ показва, че по-голямо влияние върху крайната симулационна вероятност за блокировка или препълване в системата оказва втория входящ поток със стойност 0.3.

В таблица 4.13 е изведена симулационната вероятност за блокировка за телетрафична система с дължина на опашката N=30, която варира от порядък 10^{-10} до 10^{-17}, в зависимост от останалите параметри на системата.

Таблица 4.13 Симулационна вероятност за блокировка при две паралелни опашки с N=30 и на брой разклонения на траекторията на образците L=3, 4 и 5

L	λ_1	λ_2	μ	ρ	P_B
3	14	10	8	0.33	1.66E-10
	10	10	7	0.35	6.40E-14
	12	10	8	0.36	1.00E-12
	12	10	8		2.70E-14
	14	10	9	0.38	1.25E-13
	14	10	9		7.29E-13
	10	10	8	0.40	1.76E-10
	10	10	8	0.40	4.91E-12
	10	10	8		9.26E-12
	12	10	9	0.41	1.41E-10
	12	10	9		2.75E-10
4	10	10	7	0.35	1.00E-16
	14	10	9	0.38	7.07E-15
	12	10	9	0.41	1.05E-14
	10	10	9	0.45	2.40E-13
5	10	10	7	0.35	1.00E-20
			8	0.4	3.13E-17
			9	0.45	1.19E-13

Телетрафична система с две паралелни опашки с геометрично разпределение на входящите потоци и Поасонов закон на обслужване на заявките

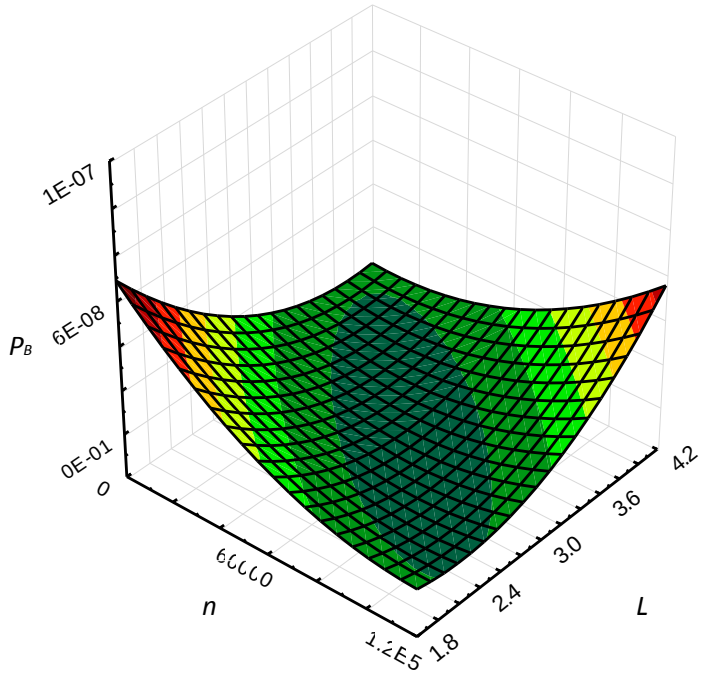
Разглежда се телетрафична система с два паралелни входящи потока с геометричен закон на разпределение. Обслужването е с Поасонов закон на разпределение, като системата е с N канала за обслужване, при което се задават и приоритети на входящите потоци. Корелационните параметри между симулационната вероятност за блокировка и останалите параметри не надвишава стойността 0.2.

Многофакторният регресионен анализ установява, че параметрите на алгоритъма при този тип система оказват значително влияние върху крайния резултат, в сравнение с параметрите на телетрафичната система. Коефициентът на влияние на обема на извадката n за ниво е -0.38, докато влиянието броя на нивата за разклоняване на траекторията на образците L е -0.42. Зависимостта между симулационната вероятност за блокировка и параметрите на алгоритъма при две паралелни опашки с марковско поведение на пристигане и обслужване на заявките е същата. Тези основни зависиости от многофакторния регресионен анализ са илюстрирани на фиг. 4.25, където повърхнината на графиката изобразява съотношението на броя на нивата за разклоняване на траекторията на образците L и големината на извадката n, при което се получават вероятности за

блокировка от порядък 10^{-8}. Дължината на опашката N също оказва влияние върху резултата, което обаче е по-слабо.

При разглеждането на паралелени опашки, може да се направи извод, че за определянето на симулационната вероятност за блокировка в телетрафичната система съществено влияние оказват броя на разклоненията на траекторията на образците и големината на статистическата извадка, които са използвани при прилагането на алгоритъма.

При системи от типа M/M/2/N броят на каналите за обслужване оказват влияние върху крайния резултат, но при системи от типа Geo/M/2/N не съществува толкова голяма зависимост. Параметрите на телетрафичната система и изборът на приоритети също така оказват влияние върху намаляването на броя редки събития.



Фиг. 4.25. Графични зависимости между симулационната вероятност за блокировка на броя на нивата за разклоняване на траекторията на образците L и големината на извадката n, при две паралелни приоритети и опашки с поасонов закон на обслужване

Проведени са симулационни изследвания в зависимост от броя разклонения на траекторията на образците и големинатра на статистическата извадка, както и с промяна на капацитета за обслужване на системата. Таблица 4.18 показва симулационната вероятност за блокировка при две паралелни опашки с геометрично разпределение на входящите потоци, като заявките се обслужват с

поасонов закон на разпределение и $N=60$, от n=10 000 до 100 000 образци за всяко ниво на разклоняване на траекторията на образците.

Таблица 4.18 Симулационна вероятност за блокировка за телетрафична система с $N=60$, от n=10 000 до 100 000 образци за всяко ниво на разклоняване на траекторията на образците

n	L	$Pr1$	$Pr2$	$\lambda 1$	$\lambda 2$	μ	P_B
10000	4	40	20	0.2	0.25	10	1.00E-16
		30	30	0.15	0.1	8.5	2.34E-11
		30	30	0.13	0.1	8.5	2.40E-13
		30	30	0.14	0.11	8.5	3.84E-12
		30	30	0.14	0.11	8.6	6.15E-11
100000	3	40	20	0.2	0.25	10	2.70E-14
		20	40	0.11	0.12	8.6	6.40E-14
		20	40	0.13	0.12	8.5	1.00E-15
		20	40	0.11	0.12	8.8	1.38E-11
		20	40	0.13	0.12	8.7	5.12E-13

4.4. Изводи

В четвърта глава са изследвани телетрафични системи представени като мрежи от опашки, за които е разработена методика за ускорена симулация на вероятността за препълване при мрежа от две последователни опашки и вероятностите за блокировки на цялата система. Определени са корелационни матрици за последователни опашки от типа: M/M/1/N и M/M/1/N; Geo/Geo/1/N и Geo/M/1/N; Pareto/M/1/N и M/M/1/N. Изследвани са работните параметри на телетрафичната система и параметрите за ефективна симулация. С многофакторен регресионен анализ е оценено влиянието на изследваните параметри за симулация по метода RESTART.

Ефективността от ускорената симулацията е оценена чрез аналитични резултати за вероятността за препълване и блокировка при последователни опашки с марковски характер. Аналитично е изчислена телетрафична система с две последователни опашки с марковски характер, при ограничен капацитет в опашките. Доказано е, че основните параметри влияещи върху симулационната вероятност за препълване в опашките са:

- Натоварването на системата ρ, интензивността на входящия поток λ и интензивностите на обслужване μ_1 и μ_2;
- Броят на разклоненията на таректорията на образците L.

Изследвана е телетрафична система с две последователни опашки: Pareto/M/1/N и M/M/1/N. При тази система ускорената симулация се постига с вариране на параметрите, оказващи влияние върху нея като:

- Дължината на двете опашки N_1 и N_2;
- Броят разклонения на таректорията на образците L.

Симулирана е телетрафична система с две последователни опашки (табл. 4.10), като първата е Geo/Geo/1/N, а втората опашка е Geo/M/1/N. Получените данни след извършения анализ на статистическите изследвания определят параметрите с най-голямо влияние, като:

- Дължината на двете опашки N_1 и N_2;
- Интензивността на обслужване във втората опашка μ_2.

Получените симулационни изследвания на телетрафични системи в мрежа от последователни опашки, с полумарковски входящ поток показват, че за ускоряване на симулацията от най-голямо значение е дължината на опашките N.

Изследвани са и телетрафични системи в мрежа от паралелни опашки, като първоначално са анализирани два паралелни марковски входящи потока, като всеки от входящите потоци има определен приоритет за обслужване (табл. 4.13). Ускоряването на симулацията за достигане до редки събития, е получена посредством увеличаването на:

- Дължината на опашките N;
- Броя на разклоненията на таректорията на образците L.

Логаритмичното геометрично разпределение е използвано, като входящ закон и за два паралелни входящи потока, със зададени приоритети за обслужване. Извършени са множество симулационни експерименти, като основното ускорение на симулацията се получава в зависимост от:

- Броят разклонения на таректорията на образците L;
- Големината на статистическата извадка n.

При симулираната мрежа от две паралелни опашки, независимо от броя на каналите за обслужване и законите на разпределение за входящия поток и потока на обслужване, основен параметър, оказващ влияние за ускоряване на симулацията е броя на разклоненията на траекторията на образците L.

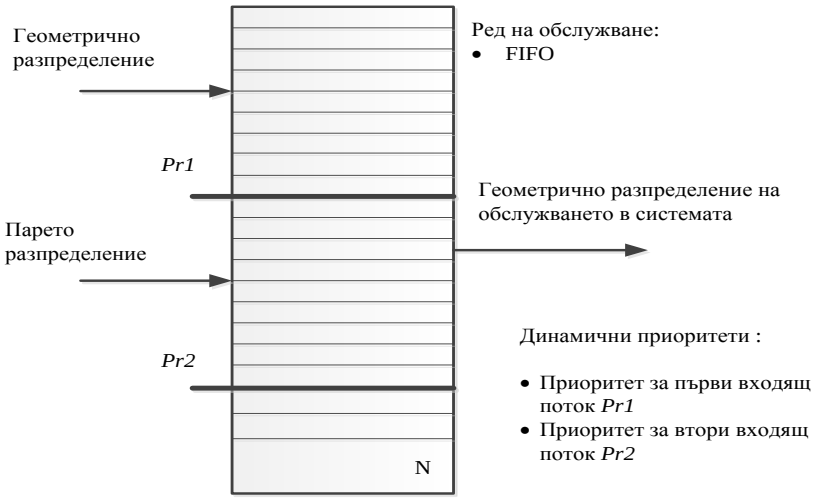
ГЛАВА 5. СИМУЛАЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ШИРОКОЛЕНТОВИ КОНВЕРГЕНТНИ МРЕЖИ

Широколентовите конвергентни мрежи са сред най-масово използваните мрежи, като предлаганите услуги непрекъснато се усъвършенстват спрямо различните изисквания на клиентите и типа на услугите. Качеството и нивото на обслужване са от съществено значение за всички телекомуникационни компании.

Предложени са модели на телетрафични системи, описващи **широколентов мултиплексор с интегрирани трафични източници с приоритетно разпределение на каналите** и **широколентов хендовър за мобилни радио мрежи с приоритетно разделяне на каналите**, както алгоритъм и методика, с които се провежда ускореното симулационно изследване [A6].

5.1. Изследване на широколентов мултиплексор с интегрирани трафични източници с приоритетно разпределение на каналите

В съвременните мрежи се предостяват различни телетрафични услуги. Различните трафични източници водят до различни видове трафик. Симулацията на такива трафични системи е свързана с моделирането на опашки с дълговремеви зависимости, при което ресурсите на системите варират в широки [A1]. Необходимо е използването на приоритети при обслужване на заявките в широколентовите конвергентни мрежи.



Фиг. 5.1. Телетрафична система с два паралелни входящи потока, с геометрично и парето разпределение, с *N* канала за обслужване, геометрично разпределение на обслужване и

задаване на динамични приоритети за първия и втория входящ поток, с *FIFO* дисциплина на обслужване

Разглежда се телетрафична система с два паралелни входящи потока, единият, от които е с геометрично разпределение, а другия с Парето разпределение, с цел да се симулира тежък и неравномерен трафик. Телетрафичната системата се обслужва с геометричен закон на разпределение. Максималният капацитет на опашката са *N*, като двата входящи потока могат да използват поравно или на случаен принцип капацитета на опашката. Третата възможност за използване на ресурса на опашката е единият поток да заеме цялата опашка, а другият поток да заема свободния ресурс, останал след първоначалното заемане от приоритетния поток. Разглежданата телетрафична система е илюстрирана в графичен вид на фиг. 5.1.

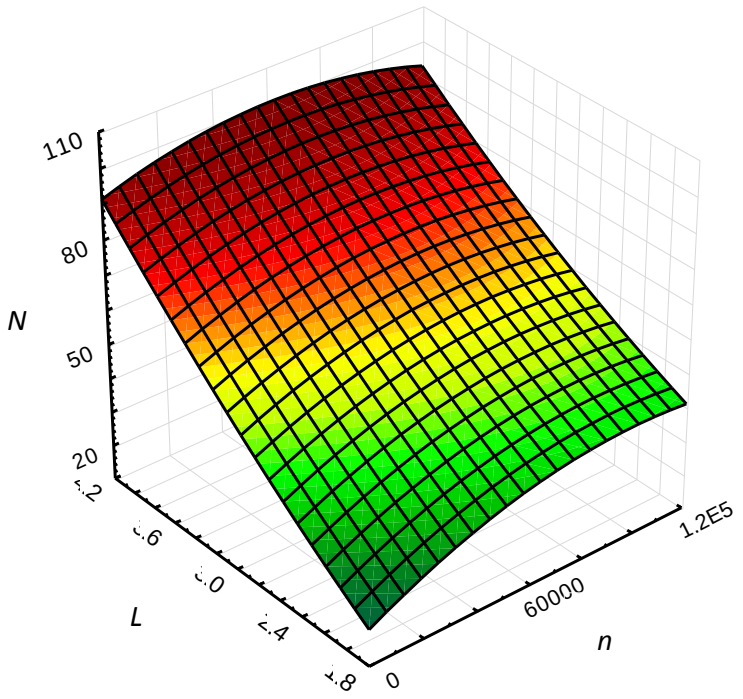
Максималната стойност на корелацията между симулационната вероятност за блокировка и параметрите брой образци за ниво и брой нива е равна съответно на -0.13 и -0.14. Тези коефициенти на корелация показват липсата на линейна зависимост между изследваните зависими и независими параметри, като следствие от провеждането на многофакторен регресионен анализ.

Многофакторният регресионен анализ е извършен отново с 256 опита, потрвърждават резултатите от предходните глави 3 и 4, при които максимално ниво на влияние оказваха броят на разклонения на траекторията на образците *L* и броя на каналите *N*.

Повърхнината на графиката на фиг. 5.4, изобразява съотношението на капацитета на каналите за обслужване на мултиплексора *N* и параметрите на алгоритъма: брой разклонения на траекторията на образците *L* и големината на статистическата извадка *n*, при което се получават симулационни вероятности за блокировки P_B от порядък 10^{-9}.

Проведени са симулационни изследвания на редки събития в мултиплексор с интегриран трафик с два различни източника, след което е извършен многофакторн регресионен анализ. Броят на разклоненията на траекторията на образците са съответно 2, 3 или 4, за които е изследван капацитета за обслужване и интензивностите на входящите потоци и обслужващия поток.

В таблица 5.4. е представена вариацията на интензивностите на входящите потоци с динамични приоритети, с с дължина на опашката 90. Необходимото входно натоварване на система с така зададените параметри, и динамичните приоритети, определя входящия поток с геометрично разпределение да варира от 0.2 до 0.5.



Фиг. 5.4.Графична зависимост между броя канали за обслужване N на мултиплексора, големината на статистистическата извадка n и броя на разклоненията на траекторията L, за получаване на P_B от порядък 10^{-9}

Рязкото покачване на броя на каналите за обслужване води до вариация на броя на нивата на разклоняване на траекторията L от 2 до 4. Ясно се вижда, че при проведените изследвания със статистическа извадка от 100 000 образци, вероятността за блокировка не влиза в търсените области на редки събития.

Направени са симулационни изследвания на мултиплексор на интегриран трафик с различни източници, според предложената методика в трета и четвърта глава. Симулационните изследвания са проведени с ускорена симулация и предложения алгоритъм в глава втора.

5.2. Изследване на широколентов хендовър за мобилни радио мрежи с приоритетно разделяне на каналите

Методиката при изследването на блокировките на каналите като редки събития в хендовъри с приоритетно разпределение на каналите е от съществено значение в съвременните широколентови конвергентни мрежи. Ускорената симулация намалява количеството използвани ресурси, както и важния фактор време. Типовете трафик при 4G са разнородни и поддържани от предаване на

данни чрез IP протоколи, при което моделът на хендовъра запазва мултимедийния си характер [A3].

Таблица 5.4. Телетрафична система с капацитет 90 канала за обслужване, варианция на параметрите на системата

μ	L	n	λ_1	λ_2	Динамичен приоритет Pr_1 и Pr_2		P_B
0.5	2	100000	Парето	0.35	60	60	4.90E-09
	3	10000		0.35	50	60	1.00E-12
		30000		0.35	50	60	1.00E-12
		50000		0.35	50	60	5.12E-13
		100000		0.35	50	60	1.25E-13
		10000		0.35	60	60	2.70E-11
		30000		0.35	60	60	1.00E-12
		50000		0.35	60	60	2.74E-12
		10000		0.35	40	90	1.00E-12
		30000		0.35	40	90	2.37E-12
		50000		0.35	40	90	1.76E-11
		100000		0.35	40	90	1.76E-11
		10000		0.35	80	60	4.10E-09
	4	10000		0.35	90	60	1.50E-10
				0.35	80	80	1.05E-10
				0.35	90	40	1.30E-11
				0.2	90	40	2.86E-12
				0.2	90	60	3.32E-11
				0.1	90	60	2.07E-12
		30000		0.1	90	60	2.86E-12
		10000		0.1	90	70	6.56E-13
			0.5	Парето	50	80	2.80E-11
0.4	3	10000	Парето	0.1	90	70	2.74E-09
		30000	Парето	0.1	90	70	1.59E-09
	4	10000	0.5	Парето	50	80	8.35E-12
0.3	2	30000	0.4	Парето	45	45	1.11E-09
		50000	0.4		45	45	4.00E-10
		100000	0.4		45	45	4.00E-10
0.3	3	10000	0.4		45	45	1.00E-12
	4		0.2		70	90	8.35E-12
			0.2		60	90	1.94E-11
			0.2		80	80	1.05E-11
			0.2		40	80	4.10E-13
			0.5		40	80	4.57E-11
		30000	0.5		40	80	6.55E-12
		10000	0.5		50	80	6.15E-11
		10000	Парето	0.1	90	70	1.05E-11
0.2	3	30000	0.4	Парето	45	45	3.94E-10
0.2	4	10000	Парето	0.1	90	70	1.05E-11
				0.1	90	40	6.15E-11
			0.4	Парето	45	45	4.10E-13

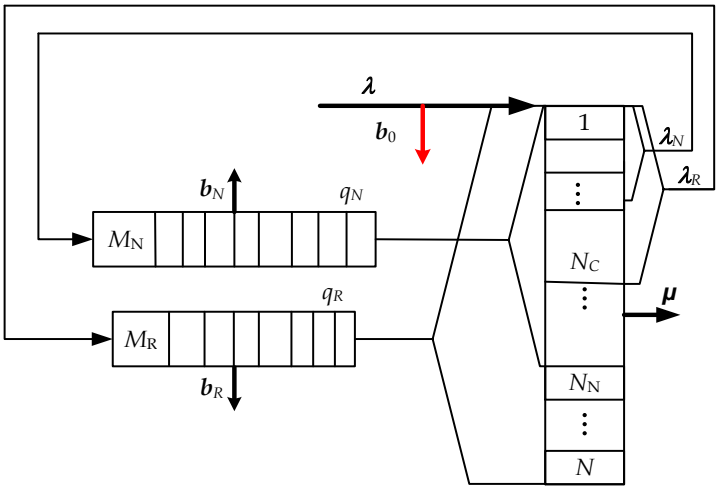
Това предполага наличието на две опашки в хендовъра за трафик в реално време с дължина M_R и за трафик със закъснение с дължина M_N (фиг. 5.6). В предлагания модел каналите в базовата станция, които са N на брой се заемат три нива на приоритет. Праговете на тези нива се дефинират чрез променливите:

- N_C е максималният брой на каналите, които могат да бъдат използвани от новите гласови повиквания;
- N_N е максималният брой на каналите, които могат да бъдат използвани от заявките за обслужване с данни.

Обслужването на новите повиквания става с интензитет - μ. Потоците от нови повиквания в базовата станция се задават с интензитет λ, като интензитета е с марковски характер. С най-малък приоритет са новите повиквания, които заемат каналите на базовата станция от 1 до N_C. Когато всички канали на базовата станция от 1 до N_C са заети, повикванията се пренасочват към опашките на хендовъра в зависимост от техния тип.

С по-висок приоритет са повикванията, които очакват обслужване в опашката на хендовъра q_N за трафик на пакети от данни, която има дължина M_N. В нея заявките от данни пристигат със скорост на заемане λ_N и се обслужват всички заявки от най-високия приоритет на каналите от 1 до N_N. С най-висок приоритет са повикванията, които очакват обслужване в опашката на хендовъра за гласови повиквания. Когато всички канали на базовата станция са заети, новопристигналите гласови повиквания заемат опашката на хендовъра q_R с интензивност на заемане λ_R. Тъй като тези заявки са с най-висок приоритет те се обслужват във всички свободни канали на базовата станция от 1 до N.

В този модел се отчита броя на блокираните повиквания b_N в опашката на хендовъра q_N за трафик на пакети от данни, броят на блокираните повиквания b_R в опашката за хендовъра q_R за гласови повиквания и броя на блокираните повиквания в каналите на базовата станция b_0. Разработен е алгоритъм за симулация на броя на блокираните повиквания с метода за разклоняване на траекторията на образците RESTART и алгоритъма за ограничена относителна грешка LRE.



Фиг. 5.6. Телетрафичен модел на хендовър с приоритетно разпределение на каналите и два типа входящи потоци

Симулацията включва 1 000 000 опита, като варират параметрите на системата в следните граници: N= *30, 40* и *50* канала, N_C и N_N също варират в

зависимост от големината на N, като отношенията N_N/N и N_c/N са със стойност, която е по-малка от 1. Входящият поток е зададен с разпределение от марковски характер и със степенен параметър за статичен интензитет $\lambda=0.7$, обслужванията в N, N_C и N_N се реализрат с динамичен генератор по експоненциален закон на разпределение с параметри $\mu_1=4$. Броят на повикванията очакващи обслужване в опашките за реалния трафик q_R и с данни q_N, зависи от динамичния генератор определящ потока за двете опашки.

От корелационната матрица се вижда, че най-високата корелационна стойност е -0.38. Въз основа на липсата на линейни зависимости между параметрите на алгоритъма и хендовъра, и вероятността за блокировка, може да се пристъпи към уточняване на зависимистите в многофакторния регресионен анализ. Най-високата зависимост, която увеличава скоростта за достигане на редки събития е броя нива L, с коефициент с приблизителна стойност -0.55. Параметърът, оказващ влияние на крайните резултати, на симулирания хендовър, е броя канали N_N с влияние на крайния резултат с коефициент -0,24.

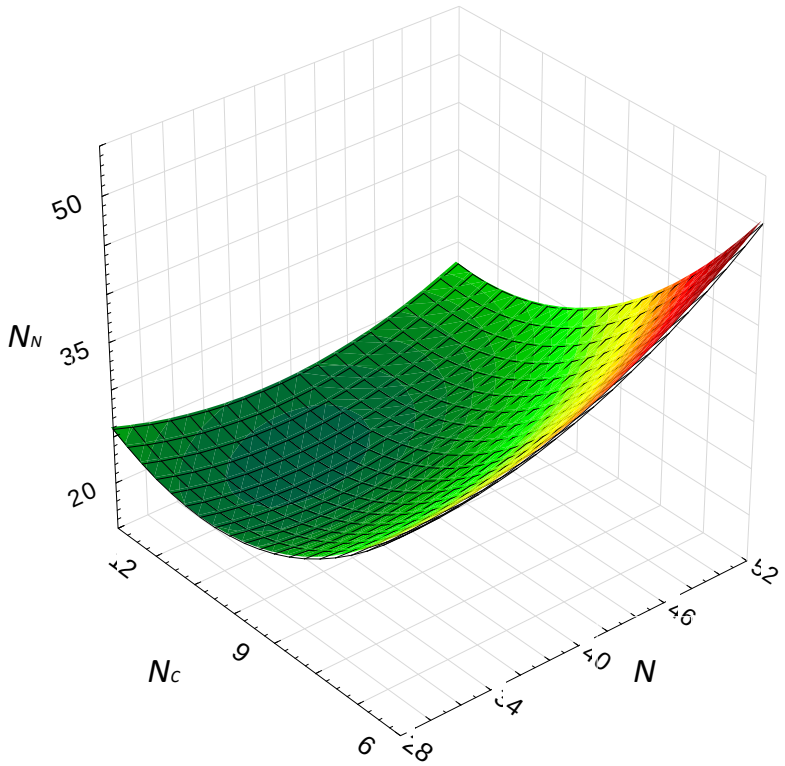
Броят на заеманите канали при двата приоритета Nc и N_N в системата към общата дължина на каналите N вариарат съответно от: за Nc от 15% до 33%, и за N_N от 50 % до 87%.

Графичните зависимости за необходимото съотношение на приоритетите Nc и N_N, в каналите N, големините на опашката M_R и за получаване на вероятността за блокировка P_{B0} от порядък 10^{-11}, са представени на фиг 5.7. (б) и фиг. 5.7. (г).

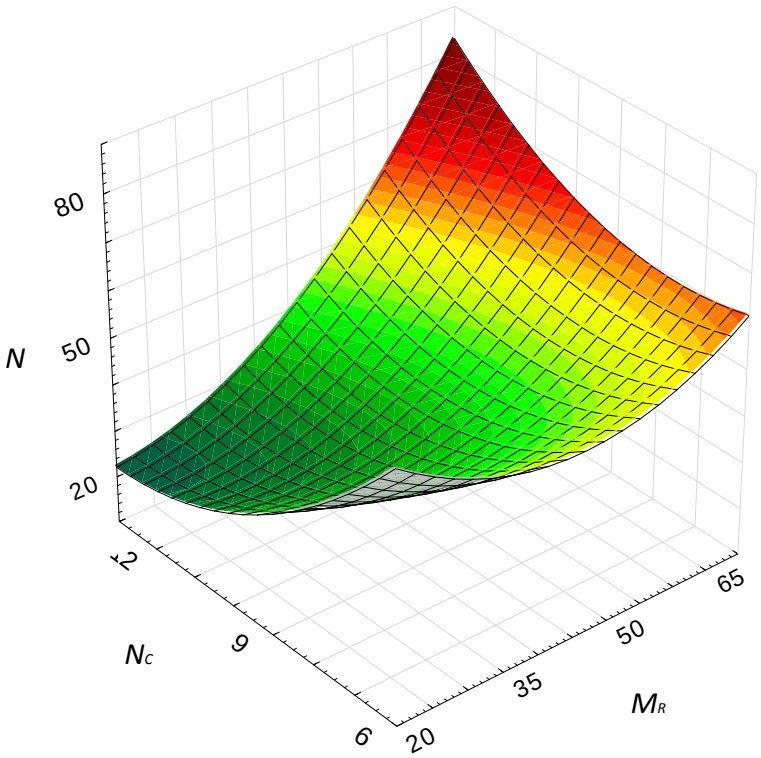
Симулационните изследвания са извършени със статистистическа извадка от 10 000 до 100 000 образеца. Основният параметър оказващ влияние е разклоняването на траекторията на образците L, със стойност 2 или 3.

Проведени са изследвания с брой канали N=30, N_C=10, N_N=20. Размерите на опашките на хендовъра q_R и q_N, са с еднаква големина M_R=M_N=20. Получените стойности на вероятностите за блокиране на базовата станция са от порядъка на $1*10^{-12}$ (таблица 5.7).

Изследванията в таблица 5.8. са извършени с брой канали N=30, приоритети N_C и N_N имат вариация в стойностите си, като варират и размерите на опашките за реален трафик и данни. Стойностите на търсените отношения варират в границите 0.3 до 1.7, като стойностите на статистическата извадка е намалена значителнос цел да се ускори симулацията. В симулационните изследванията L=3, а в другите изследвания L=2, като в резултат е достигната симулационна вероятност от P_{B0} в диапазона от 1.10^{-9} до 1.10^{-15}.



б)



г)

Фиг. 5.7. Графични завивисимости за необходимо съотношение на параметрите на системата, за възникване на симулационни вероятности за блокировки от порядък 10^{-11} (б), между N, N_C и N_N за поява на редки събития b_0 и (г) между N_C и M_R

Таблица 5.7. Хендовър с брой канали N=30, вариация на λ и μ

λ	μ	n E+05	L	N	M_R/N	M_N/N	Nc/N	P_{B0}E-11
0.7	2	100	2	30	0.67	0.67	0.33	0.4
0.7	3		2	30				0.1
0.8	3		2	30				0.5
0.9	3		2	30				0.5
0.9	3		2	30				12
0.9	3		2	30				120
1	3	10	2	30				40
1	2		2	30				40

Таблица 5.8. Хендовър с брой канали N=30, λ=0.9 и μ=2

n	L	N	M_R/N	M_N/N	Nc/N	P_{B0}E-11
100000	3	30	1.17	1.17	0.33	0.0007
	2		1.00	1.00	0.33	50
	2		0.67	0.67	0.33	30
	2		0.67	0.67	0.33	30
	3		0.67	0.67	0.27	0.0036
	2		0.67	0.67	0.30	120
	2		0.67	0.67	0.30	30
	2		0.50	0.50	0.33	30
	2		0.50	0.50	0.33	30
	2		0.50	0.50	0.30	120
	2		0.33	0.33	0.33	10

Таблица 5.9. Хендовър с брой канали N=40, λ=0.9 и μ=1 и 2

μ	n	N	N_c	N_N	M_R	M_N	M_R/N	M_N/N	Nc/N	P_{B0}E-12
1	10000	40	10	19	20	20	0.5	0.5	0.25	10
	20000		10	25	20	20	0.5	0.5	0.25	2
	20000		11	35	40	40	1	1	0.275	2.62
	20000		9	35	20	20	0.5	0.5	0.225	5
	20000		10	35	40	40	1	1	0.25	5.12
μ	n	N	N_c	N_N	M_R	M_N	M_R/N	M_N/N	Nc/N	P_{B0}E-13
2	30000	40	9	25	20	20	0.5	0.5	0.225	0.37
			15	30	30	30	0.75	0.75	0.375	0.37
			15	25	30	30	0.75	0.75	0.375	0.37
			14	25	40	40	1	1	0.35	0.37
			15	25	40	40	1	1	0.375	0.37
			8	25	20	20	0.5	0.5	0.2	0.37
			9	30	30	30	0.75	0.75	0.225	1.11
			8	30	20	20	0.5	0.5	0.2	1.48
			13	25	40	40	1	1	0.325	2.22
			12	25	40	40	1	1	0.3	3.33
			11	25	40	40	1	1	0.275	4.07
			11	25	30	30	0.75	0.75	0.275	6.29
			7	30	20	20	0.5	0.5	0.175	7.03
			7	30	40	40	1	1	0.175	8.88
			10	30	30	30	0.75	0.75	0.25	12
			6	30	20	20	0.5	0.5	0.15	18

В таблица 5.9, броят на каналите е N=40, при което се запазват съотношенията между приоритетите и големините на опашките и да се изследва появата на редките събитие и P_{B0}, големината на L=3. Последователно са използвани n=10 000, n=20 000 и n=30 000, като в резултат областта за поява на редки събития много намалява и достигането им става доста трудно. Поради тази причина

симулационната вероятност за блокировка е в допустими диапазони и отговаря на качеството на обслужване за този тип телекомуникационна система.

5.3. Изводи

Разработена е методика за ускорена симулация на вероятността за препълване за телетрафичнен модел на широколентов мултиплексор с приоритетно разпределение на интегрираните трафични източници. Първоначално се провежда стандартна стохастична симулация и симулация за установяване на работните параметри, водещи до появата на редки събития в предложения телетрафичен модел (фиг. 5.1). Определена е корелационна матрица за системата, като е доказана липсата на линейни зависимости между работните параметри. Въз основа на корелационната матрица е приложен многофакторния регресионен анализ за оценяване на параметрите, водещи до ефективност на предложения алгоритъм, при различен брой разклонения на траекторията L и дължината на опашката N (фиг. 5.3, фиг. 5.4).

Изследвани са работните параметри на телетрафичната система и параметрите за ефективна симулация. С многофакторен регресионен анализ е оценено влиянието на изследваните параметри за симулация по метода RESTART. Проведени са симулационни изследвания, с различни параметри на телетрафичната система като са предложени 2 до 4 нива на разклоняване, за система с капацитет от 90 канала за обслужване се достига до 4 нива на разклоняване. Резултатите са изведени в таблица 5.4.

Изведена е методика за симулационно моделиране на широколентов хендовър за мобилни клетъчни радио мрежи с приоритетно разделяне на каналите. Предложен е трафичен модел (фиг. 5.6.) и са проведени симулационни опити с големина на статистическата извадка от над 1 000 000 опита. Целта е да се установи областта на редките събития, да се намерят необходимите съотношения между големините на приоритетите на каналите и големините на опашките при постоянни стойности на разпределенията на входящия и обслужващия поток. Изведена е корелационна матрица за хендовъра, като е доказана липсата на линейни зависимости между работните параметри. Въз основа на многофакторния регресионен анализ са изведени параметрите влияещи на ефективното ускорение на симулацията: L и N_N, представени на фигури 5.7. (б) и (г). Симулационните резултати са показани в таблици 5.7, 5.8 и 5.9.

ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Предложени са усъвършенствани модели на телетрафичните системи с единични опашки от тип: M/M/1/N, [X]/M/1/N, M/[X]/1/N, [X]/[X]/1/N, както и модели на телетрафични системи с последователни, паралелни и смесени опашки, които се използват при аналитични изчисления на вероятностното разпределение на телетрафичните потоци при проектирането на възли в широколентови конвергентни мрежи (2.5), (2.21), (2.22), (2.34), (2.35), (2.36), (2.39).
2. Създадени са усъвършенствани алгоритми за симулационно моделиране на телетрафични системи с:
   - единична опашка,
   - последователни опашки,
   - паралелни опашки,
   - опашки от смесен тип,

   които се основават на разклонението на траекторията на образците на статистическата извадка и ограничената относителна грешка при симулация на редки събития по метода RESTART.
3. Доказана е ефективността на ускорената симулация за оценка на вероятността за препълване и блокировка в телетрафични системи с единични опашки M/M/1/N, Geo/M/1/N, M/Geo/1/N, Pareto/M/1/N, Pareto/Geo/1/N.
4. Установени са основните параметри, влиящи на симулацията при различни марковски и полумарковски входящи и изходящи потоци, в зависимост от типа на системата, като например размера на извадката n, броя на блокираните повиквания B, получени като редки събития, броя на нивата на разклоняване на траекторията на образците L, дължината на опашката N, интензитета на заемане и обслужване λ и μ, дисциплината на обслужване FIFO или LIFO.
5. Доказано е влиянието на параметрите n, L, N_1, N_2 върху вероятността за препълване и блокировка в телетрафичните системи с последователни и паралелни опашки. С многофакторен регресионен анализ са оценени параметрите за ускорена симулация при метода на разклонението на траекторията на образците на статистическата извадка и ограничената относителна грешка.
6. Създаден е модел и е разработена методика за ускорена симулация на широколентов мултиплексор с приоритетно разпределение на

интегрираните трафични източници. Методиката е верифицирана чрез изследване на немарковски входящи и изходящи потоци и е доказано влиянието на броя на нивата на разклоняване на траекторията на образците L и дължината на опашката N върху получените резултати.

7. Разработена е методика за симулационно моделиране на създадения модел за широколентов хендовър за мобилни клетъчни радио мрежи с приоритетно разделяне на каналите. С многофакторен регресионен анализ са оценени параметрите за ускорена симулация по метода за разклоняване на траекторията на образците RESTART и ограничената относителна грешка.

<u>Публикации по темата на дисертацията</u>

[A1] Ivanova, E., Radeva, S., Radev, D. Rare Events and Quality of Services for IPv6 networks, Journal of Electrotechnics and Electronics E+E, 2011,Vol. 46, No 7/8, pp.12-17.

[A2] Ivanova, E., Raev, R., Radev, D. Simulation of Rare Events in Teletraffic Systems with Single Queue. Proceedings of ICEST, Veliko Tarnovo, 2012 (on CD)

[A3] Иванова, Е., Сярова, С., Радев, Д. Моделиране на вероятностни параметри във вертикален хендовър в мрежите от NGWN. Научни трудове на Русенски университет том 49, серия 3.2. Електротехника, електроника, автоматика, Русе, 2010, с. 34-39

[A4] Radev, D., Rashkova, E., Hristov, G. Computer Modelling of Rare Event. Proc. Of the Fourth European Conference of Circuits and Systems for Communications (ECCSC'08), Bucharest, 2008, pp. 316-319.

[A5] Radev, D., Ivanova, E. Simulation of Rare Event in Queueing Systems. Proceedongs of the International Scientific Conference Computer Science, Cavala, Greece, 2008, pp. 308-314

[A6] Радев, Д., Иванова. Е. Симулация на редки събития в широколентови конвергентни мрежи. Научни трудове на Русенски университет, том 47, серия 3.2. Електротехника, електроника, автоматика, Русе, 2008, с. 62-68

[A7] Радев, Д., Иванова, Е. Параметри на качеството на обслужване и редки събития в IP базирани мрежи. ТЕЛЕКОМ, Варна, 2008 (CD)