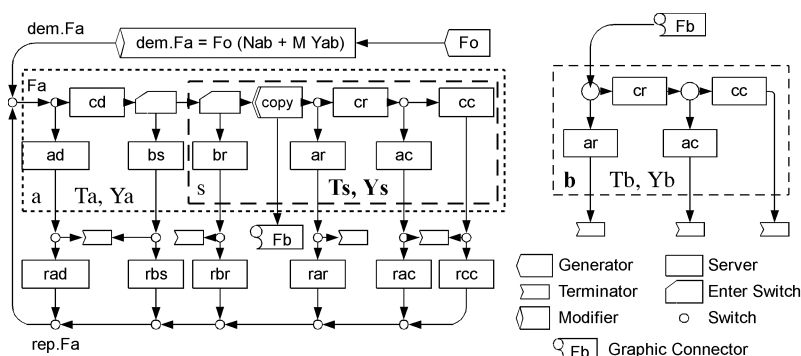


ИЗЧИСЛИТЕЛЕН МОДЕЛ НА СИСТЕМА ЗА ИНТЕРАКТИВНА РАБОТА В ИНТЕРНЕТ С МОДЕЛИ НА ТЕРМИНАЛНИЯ ТЕЛЕТРАФИК*

Стоян А. Порязов, Виктор Вл. Атанасов

Разгледана е система за интерактивна работа в Интернет с модели на терминалния телетрафик¹, на телекомуникационна система с комутация на (виртуални) канали и с хомогенни терминали, на примера на телефонна система. Разглеждат се концептуалния телетрафичен модел, формулировката на правата телетрафична задача, аналитичния и изчислителния модели. Обсъжда се определението на “изчислителен модел” и конкретното му използване.

1. Обект на изследване е терминалният трафик в телекомуникационна система с комутация на (виртуални) канали, на примера на телефонна система, с хомогенни терминали. Терминалният телетрафик се разглежда като функция както на поведението на потребителите, така и на техническите характеристики на съобщителната система.



Фиг. 1. Възможните пътища на заявките, създаващи трафика на А – терминалите (в ляво) и на В – терминалите (нормализиран модел)

*Работата е реализирана с помощта на проектите: SCOPES 7 IP 69642 “Establishing CSE in Bulgaria and Macedonia” и ИО-03/2003 на НФНИ.

2000 Mathematics Subject Classification: 68N01, 65H10, 94C99, 60K30.

Ключови думи: терминален телетрафик, интерактивно моделиране, изчислителен модел, нелинейни системи уравнения.

¹Системата е достъпна на уеб-адрес: <http://cose.math.bas.bg/Teletraffic>

2. Концептуални модели и означения. На Фиг. 1 са показани нормализираните модели на възможните пътища на заявките, създаващи трафика на А и В терминалите. Използват се концепциите и означенията описани в [1]. Имената на параметрите се получават като се напише главна буква, означаваща името на параметъра, пред името на разглежданото виртуално устройство, което се означава с малки букви.

Означенията на параметрите са следните: P (probability) – вероятност за насочване на потока от заявки към разглежданото устройство; F (flow) – интензивност на постъпващия в устройството поток от заявки (пред буквата F поставяме “dem” (demand) за да означим интензивността на потока от първични заявки и “rep” (repeated) – за потока от повторни заявки) [2, 3]. C Fo е означена интензивността на потока от един свободен терминал; T (time) – средно време на престой на заявката в устройството; Y (intensity) – интензитет на трафика в устройството; N (number) – брой на обслужващите линии (сървъри) в устройството (капацитет). Ако не е посочено друго, считаме че разглежданото устройство има неограничен капацитет. “M” е константа, модификатор на постъпващия поток. Ако $M = -1$, то потока е Енгсетов, ако $M = 0$ – Поасонов, а ако $M = +1$ – с отрицателно биномиално разпределение [4].

Означенията на имената на разглежданите виртуални устройства, по азбучен ред, са следните:

a – устройството обхващащо всички А-терминали (заети викащи). На Фиг. 1 то е представено със ситно пунктирана линия; **ab** – устройството обхващащо едновременно всички А и В терминали (всички заети). Съгласно възприетата система от означения, Nab означава максималният брой на всички активни терминали (които участват в А и В заеманията, в интервала на наблюдение). **ac** – (abandoned conversation) – изоставен (непълнен) разговор; **ad** – (abandon dialling) – изоставено (непълно) избиране; **ar** – (abandoned ringing) – отказ от звънене, например при отсъствие на В-потребителя; **b** – устройството обхващащо всички В-терминали (заети викани). То е представено в дясната част на Фиг. 1, заградено със средно пунктирана линия; **br** – (blocked ringing) – блокировка на звъненето (слушане на сигнал “заето”, при попадане на зает В-терминал); **bs** – (blocked switching) – слушане на сигнал “заето” след блокировка на комутацията; **cc** – (carried conversation) – успешен разговор; **cd** – (carried dialling) – пренесено (успешно) избиране; **copy** – създаване (за нулево време) на копие на А-повикването, което заема В-терминала. Това се налага поради различния път на А и В-заявките, след напускане на съобщителната система. Например, В-потребителят не прави повторни повиквания (сравнете лявата и дясната част на Фиг. 1); **cr** – (carried ringing) – успешно звънене, след което започва разговор; **rac** – (repeated abandoned conversation) – чакане, извън съобщителната система, преди повторение на опитите след изоставен разговор; **rad** – (repeated abandon dialling) – чакане след изоставено набиране; **rar** – (repeated abandoned ringing) – чакане след изоставено звънене; **rbr** – (repeated blocked ringing) – чакане след блокировка на звъненето; **rbs** – (repeated blocked switching) – чакане след блокировка на комутацията; **rcc** – (repeated carried conversation) – чакане след успешен разговор; **s** – (switch) – комутационно устройство (на Фиг. 1 виртуалните устройства, влияещи на комутацията са заградени с едро пунктирана линия). В разглеждания модел, допускаме че комутацията се извършва за нулево време;

3. Обща формулировка на задачата. Параметрите в моделите на терминалния телетрафик, показани на Фиг. 1 могат да се класифицират в четири групи, в зависимост от това кои фактори имат преобладаващо значение при определяне на техните стойности. Ще разгледаме по-подробно тези групи от основни параметри:

1. поведението на потребителите се характеризира от $F_0, M, N_{ab}, P_{rad}, T_{rad}, T_{bs}, P_{rbs}, T_{rbs}, T_{br}, P_{rbr}, T_{rbr}, P_{ar}, T_{ar}, P_{rar}, T_{rar}, T_{cr}, P_{rac}, T_{rac}, T_{cc}, P_{rcc}$ и T_{rcc} ;

2. трафичните технически характеристики на съобщителната система се определят от T_{cd} (зависи предимно от дължината на номера и техническия начин на избиране) и N_s ;

3. смесени фактори: $P_{ad}, T_{ad}, P_{ac}, T_{ac}$ (изоставените избиране и разговор може да са причинени както от лошо качество на обслужването, така и от поведението на потребителите – забравен номер, отговаря друг потребител, а не търсения и др.);

4. функции на параметрите от изброените три вида са например: макро-състоянието на системата (интензивността на трафика във всички виртуални устройства), включително ефективността (Y_{cc}) и трафика на всички терминали в системата (Y_{ab}). От макро-състоянието на системата зависят P_{br}, P_{bs}, F_a и различни оценки за ефикасността и трафичното качество на обслужване и др.

Тъй като параметрите зависещи от смесените фактори могат да се причислят, в зависимост от целите на конкретното разглеждане, както към техническите, така и към човешките фактори, можем да приемем, че за всяка конкретна задача имаме три групи от параметри, които описват съответно: 1. поведението на потребителите; 2. техническите характеристики на съобщителната система; 3. състоянието на съобщителната система. Това разглеждане ни позволява да уточним дефиницията на общата права задача на теорията на терминалния телетрафик, която се решава в разглежданата система:

Права задача за състоянието на системата: По дадени стойности на параметрите, описващи поведението на потребителите и техническите характеристики на съобщителната система, да се определят стойностите на параметрите на макросъстоянието на системата и трафичното качество на обслужване;

4. Основни допускания (означени са с буквата “Д”, последвана от номер): Д1. Разглеждаме затворена съобщителна система с $N_{ab} \geq 2$ терминала; Д2. Всеки свободен терминал създава поасонов поток от желани (intend) повиквания със средна интензивност $\text{int}.F_0(i)=F_0(i)$. Този поток се модифицира в зависимост от макросъстоянието на системата Y_{ab} (средната интензивност на трафика на всички терминали). Като резултат се получава интензивността $\text{dem}.F_a(i)$ на поискания (demand) поток от заявки: $\text{dem}.F_a = F_0[N_{ab} + M \cdot Y_{ab}]$; Д4. След заемане на викания (А) терминал той започва набирането на номера на желанния В-терминал. За всяко повикване всички терминали, с изключение на генериралият повикването, имат еднаква вероятност да бъдат търсени (считаме че никой не се обажда на себе си); Д5. Възможните пътища на заявките в модела съвпадат с показаните на Фиг. 1; Д6. Всички времена на забавяне на заявките в модела са случайни величини с фиксирани разпределения. В уравненията участват техните средни стойности; Д7. Разглеждаме системата в стационарно състояние на всички процеси в нея.

5. Аналитичен модел. Състоянието на разглежданата телекомуникационна система, при направените допускания, се определя от система имаща седем уравне-

454

ния със седем неизвестни, която се извежда по методите описани в [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} Fa = \text{dem.Fa} + \text{rep.Fa} \\ \text{dem.Fa} = Fo(\text{Nab} + M\text{Yab}) \\ \text{rep.Fa} = Fa(R_1 + R_2\text{Pbr}) \\ \text{Pbr} = \frac{\text{Yab} - 1}{\text{Nab} - 1} \\ \text{Yab} = Fa(S_1 - S_2\text{Pbr}) \\ \text{ofd.Ys} = Fa(1 - \text{Pad})[\text{Pbr Tbr} + (1 - \text{Pbr}) \text{Tb}] \\ \text{Pbs} = E(\text{Ns}, \text{ofd.Ys}) \end{array} \right.$$

където

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \text{PadPrad} + (1 - \text{Pad})\text{PbsPrbs} + (1 - \text{Pad})(1 - \text{Pbs})Q \\ R_2 = (1 - \text{Pad})(1 - \text{Pbs})(Q - \text{Prbr}) \\ Q = \text{ParPrar} + (1 - \text{Par})[\text{PacPrac} + (1 - \text{Pac})\text{Prcc}] \\ S_1 = \text{Pad Tad} + (1 - \text{Pad})[\text{Tcd} + \text{Pbs Tbs} + (1 - \text{Pbs}) 2 \text{Tb}] \\ S_2 = (1 - \text{Pad})(1 - \text{Pbs})(2\text{Tb} - \text{Tbr}) \end{array} \right.$$

а с $E(\text{Ns}, \text{ofd.Ys})$ е означена формулата на Ерланг [4].

Величините, използвани в системата са както следва: Fo – входен параметър; Nab , Ns , M , Pad , Tad , Prad , Tcd , Tbs , Prbs , Tbr , Prbr , Par , Tar , Prar , Tcr , Pac , Tac , Prac , Tcc , Prcc – 20 величини, характеризиращи комуникационната система и поведението на потребителите; Yab , Yofd.s , Pbr , Pbs , Fa , rep.Fa и dem.Fa – седем изходни параметри.

6. Изчислителен модел. Един “изчислителен модел” (“computation model”) съдържа: множеството от типове данни, операциите над тях и използвания език за програмиране, който използва тези операции. Всеки изчислителен модел съдържа свои собствени техники за програмиране и разсъждаване върху програмите [6]. Изчислителният модел предоставя основа за разработване и анализиране на подходящи алгоритми за решаване на задачата [7]. Грубо казано, изчислителният модел включва всичко за изчисленията, но не и алгоритмите. В класификацията на Американското математическо общество като пример за добре разработен и познат изчислителен модел е посочена машината на Тюринг (68Q05 Models of computation (Turing machines, etc.) [<http://www.ams.org/msc/>]. Ще добавим, че в нашия случай, задачата включва не само решаване на системата уравнения, а и определяне на подходящите множества от входни и съответно изходни стойности на параметрите, които да са най-подходящи за представяне на резултатите, с цел по-пълно и лесно разбиране на функционирането на изследваната телекомуникационна система.

Ще разгледаме някои от възникналите проблеми на ниво изчислителен модел, в конкретния случай, и използваното тяхно решение:

1. Единственост на решението – Доказва се, че ако системата има решение, то е единствено за допустимите стойности на параметрите [8];

2. Съществуване на решение – Получаването на чисто аналитично решение на системата е практически невъзможно, поради използване на формулата на Ерланг. Разработен е итерационен числен метод с помощта на който е показано, че системата има решение, в допустимите интервали на стойностите на параметрите;

3. Един от проблемите, предизвикан от броя на изходните параметри, бе изборът на метод за определяне на края на итерационния процес. Тъй като макросъстоя-

нието на системата (Y_{ab}) е параметър, който зависи от всички останали, а P_{br} зависи пряко от него, бе решено итерациите да продължат до съвпадение на две от получаваните стойности на P_{br} . Съвпадащите стойности на P_{br} при итерациите, след достигане стойностите на решението, може да не са последователни, поради възникване на малки (с максимална наблюдавана стойност $1.145e-13$) циклични изменения (използваме експоненциален компютърен десетичен запис на числата). При числените експерименти бе установено, че най-големият цикъл на повторение на стойностите е с дължина 9 итерации. Затова след всяка итерация се прави проверка за съвпадение на стойността от последната с някоя от последните 16 стойности на P_{br} ;

4. Проверка за съгласуваност на стойностите на изходните променливи се извършва като се заместят получените стойности в уравнения на системата и се определя разликата между лявата и дясната част. Максималните разлики са за Tab : $4.201e-14$; за Fa $1.207e-12$; за Fo : $1.039e-08$, което се обяснява с голямата чувствителност на модела към стойностите на Fo , особено при поток на Енгсет. Известно е, че тези разлики не определят точността на численото решение на системата уравнения [8];

5. Проверка за точност на резултатите бе извършена посредством сравнение на стойностите изчислени от програмната система и тези от теоретичните пресмятания, каквито могат да се извършат за няколко специфични точки. Получените разлики са от порядъка на $1.3e-13$;

6. Скоростта на сходимост измерваме в брой извършени итерации до момента на автоматичното им прекратяване, според описания критерий. При проведените експерименти в 2884 случая, в целия диапазон на стойностите на основните входни параметри, резултатите са: минимален брой на итерациите – 2, максимален – 75, среден – 29.4.

7. Равномерност на изходните стойности. Поради значителната нелинейност на зависимостта между Fo и Y_{ab} , при разпределяне на стойностите на Fo на еднакви интервали, изходните стойности на Y_{ab} се разпределят неравномерно, което затруднява проследяването на хода на измененията на зависимостите. Това важи и за останалите изходни величини. Особено нетърпимо е положението при входящ поток на Енгсет, когато втората стойност на Y_{ab} , от 200 зададени, се получава около средата на интервала на допустимите стойности на Y_{ab} . Бяха анализирани различни методи за решаване на този проблем, но повечето бяха отхвърлени, защото довеждаха до неприемливо увеличаване на обема на изчисленията. Приетото решение бе да се пресмята стъпката на увеличаване на Fo , въз основа на желаното нарастване на Y_{ab} . Това води до решаване на трудната обратна задача, което, за да не се затрудняват излишно пресмятанията, се извършва приближено. Резултатът е, че действителното нарастване на Y_{ab} се различава от желаното с не-повече от 40%, което е напълно приемливо за визуален анализ на графиките. Получава се обаче страничен ефект, поради това, че не може точно да се предвиди колко стойности трябва да се изчисляват. Това налага изменение на алгоритъма за управление на циклите. Например в споменатите експерименти бяха зададени 2500 точки за изчисляване, но поради динамично и приближено определяната стъпка, желаният интервал от стойности беше покрит от 2884 точки;

8. Език за програмиране и бързодействие. Първоначалният вариант на чисто изчислителна програмна система беше реализиран на Fortran 77. Интерактивната

система, позволяваща използване чрез Интернет е проектирана и частично реализирана, уеб-базирана програмна система. Функционално тя се разделя на: подсистема за дистанционно въвеждане на входните данни, подсистема за изчисления и подсистема за визуализация на крайните резултати. Първата и последната подсистеми се състоят от уеб-страници, реализирани с помощта на езиците HTML и Java Script. Подсистемата за изчисление е програма написана на програмния език на Mathematica 4.2. Интерфейсът между уеб-страниците и изчислителната програма е реализиран на базата на продукта webMathematica 1.1. Прави впечатление, че изпълнението на изчисленията в Mathematica 4.2. е поне 40 пъти по-бавно, отколкото при реализацията на Fortran 77, при същите алгоритми и данни. Това може да се обясни с интерпретиращия характер на предназначенията за диалогова работа Mathematica 4.2.

7. Заключение.

1. Разгледан е концептуален модел на терминалния телетрафик в комуникационна система с комутация на канали, обобщен входящ поток, пет вида загуби и повторни повиквания;

2. Обосновано е разделянето на телетрафичните параметри на три групи, които описват съответно: 1) поведението на потребителите; 2) техническите характеристики на съобщителната система и 3) параметри, чиито стойности са функции на параметрите от първите два вида. Уточнена е правата телетрафична задача за разглежданата система;

3. Описан е аналитичен модел на правата задача, съдържащ седем уравнения със седем неизвестни;

4. Обсъжда се определението на "изчислителен модел" и конкретното му използване при числено решаване на аналитичния модел, при което се разглеждат осем въпроса и техните конкретни решения в общодостъпна Интернет базирана интерактивна програмна система.

5. Получените резултати могат да се използват в две посоки: при проектиране и реализиране на други подобни програмни системи и при изследвания и обучение (включително дистанционно) по теория на терминалния телетрафик в системи с комутация на канали.

8. Благодарности. Авторите благодарят на ст.н.с. д-р Евгения Попова за оказаната им помощ и ценни обсъждания. Моделите са предложени от Ст. Порязов, диалоговата Интернет базирана система е проектирана от двамата автори, а програмната и реализация е извършена изцяло от В. Атанасов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ст. Порязов. Върху основните структури на телетрафичните модели. „ТЕЛЕКОМ'2001“ – Варна, 10-12 октомври 2001, 443–450.
- [2] ITU-T Recommendation E.600: Terms and Engineering. (Melbourne, 1988; revised at Helsinki, 1993).
- [3] ITU-T Recommendation E.711. Telephone network and ISDN quality of service, network management and traffic engineering. User demand modelling. (Approved 30th October 1992).
- [4] А. Эллдин, Г. Линд. Основы теории телетрафика. „Связь“, Москва, 1972. 199 с.

- [5] S. PORYAZOV, M. BARAROVA. A Model of Users' Traffic in a Telecommunication System with Blocking. International Conference "TELECOM'99" - Varna, October 26-28, 1999, Vol. 2, 47-53.
- [6] PETER VAN ROY, SEIF HARIDI. Concepts, Techniques, and Models of Computer Programming. July 3, 2002, 892 pp. Available from: <http://www.sics.se/~seif/DataLogiII/Book/> [18.02.2004].
- [7] YOUNG-KOO LEE, KYU-YOUNG WHANG, YANG-SAE MOON, IL-YEOL SONG. A One-Pass Aggregation Algorithm with the Optimal Buffer Size in Multidimensional OLAP. 12 pp. Available from: www.vldb.org/conf/2002/S22P03.pdf [18.02.2004]
- [8] С. А. ПОРЯЗОВ. Разработка и исследование моделей и методов анализа терминального трафика в современных сетях связи. ИППИ-РАН, Москва, Россия, 2003, 170 с.
- [9] Н. ВЪЛЧАНОВ, М. КОНСТАНТИНОВ. Съвременни математически методи за компютърни пресмятания. Част 1. Основи на компютърните пресмятания. Числено диференциране и интегриране. Студии на БИАП, София, 1996, 231 с.

Stoyan A. Poryazov
 Institute of Mathematics and Informatics
 Bulgarian Academy of Sciences
 Acad. G. Bonchev Str., block 8
 1113 Sofia, Bulgaria
 e-mail: stoyan@cc.bas.bg

Victor V. Atanasov
 Technical University, Sofia
 e-mail: vic@all.bg

COMPUTATION MODEL OF A SYSTEM FOR INTERACTIVE WORK IN INTERNET WITH TERMINAL TELETRAFFIC MODELS

Stoyan A. Poryazov, Victor V. Atanasov

A system for interactive work in Internet with terminal teletraffic models of telecommunication system with (virtual) channel switching system (on an example of Public Switching Telephone System with homogeneous terminals) is considered.

The conceptual teletraffic model, right teletraffic task formulation, the analytical and computation models are described. The definition of "computation model" and its concrete usage are discussed.

2000 Mathematics Subject Classification: 68N01, 65H10, 94C99, 60K30.

Key words: terminal teletraffic, interactive modelling, computation model, nonlinear system of equations.