УДК 519.872:621.394.74

А.З. МЕЛІКОВ[a], А.М. ВЕЛІБЕКОВ[b]

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ВИКЛИКІВ У БЕЗДРОТОВІЙ МЕРЕЖІ ІЗ ЧЕРГАМИ

[a]Інститут Кібернетики НАН Азербайджану,
[b]Інститут Інформаційних Технологій
НАН Азербайджану

Анотація. Вивчається двовимірна модель стільникових мереж зв'язку з необмеженою чергою хендовер викликів. Нові виклики обслуговуються у відповідності до схеми з явними втратами. Пропонуються прості обчислювальні процедури наближеного розрахунку їх показників якості обслуговування.

Аннотация. Изучается двумерная модель сотовых сетей связи с неограниченной очередью хэндовер вызовов. Новые вызовы обслуживаются в соответствии схемы с явными потерями. Предлагаются простые вычислительные процедуры приближенного расчета их показателей качества обслуживания.

Ключові слова: двовимірна модель, стільникові мережі зв'язку.

ВСТУП

Подальший розвиток сучасних стільникових мереж зв'язку вимагає більш ефективного використання скупих радіо ресурсів мережі з метою задоволення різних вимог до якості обслуговування (Quality of Service, QoS), що пред'являються різнотипними запитами. Оскільки в них хендовер-виклики (*h-виклики*) є більше чутливими до можливих втрат і затримок, ніж нові виклики (*o-виклики*), то в літературі запропоновані різні схеми пріоритету *h-викликів*. Ці схеми пропонують використання резервних або індивідуальних каналів для *h-викликів* і/або організацію їхньої черги в базовій станції.

Проблеми розрахунку показників QoS розглянутих мереж були досліджені в численних роботах. Так, у роботах [1, 2] досліджуються аналітичні моделі стільника з нескінченною чергою *h-викликів*, при цьому передбачається, що тривалість інтервалу їхньої деградації є обмеженою величиною. Аналогічна модель із обмеженою довжиною черги *h-викликів* і необмеженим інтервалом деградації досліджена в [3]. У роботах [4, 5] запропоновані чисельні алгоритми дослідження моделей з обмеженою чергою *h-викликів*, при цьому розглядаються моделі з терплячими [4] і нетерплячими викликами [5]. У всіх зазначених роботах передбачається, що нові й хендовер виклики є ідентичними за часом зайнятості каналів.

Однак як відзначається в роботі [6] (глава 11, с.267-268) останнє припущення є нереалістичним у традиційних стільникових мережах зв'язку. У доступній літературі дуже мало робіт, у яких вивчаються моделі розглянутих мереж з неідентичними (за часом зайнятості каналів) новими й хендовер викликами. Виходячи із цих міркувань тут пропонуються прості наближені обчислювальні процедури розрахунку показників QoS моделей стільникових мереж зв'язку з необмеженою чергою *h-викликів*, в яких різнотипні виклики мають різний час зайнятості каналів. Запропонований тут підхід до розробки відповідних алгоритмів заснований на результатах роботи [7].

ОПИС МОДЕЛІ Й ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо модель стільника, що містить $N>1$ радіо каналів і нескінченний буфер лише для очікування в черзі *h-викликів*. Передбачається, що *о-виклики* (*h-виклики*) надходять в даний стільник відповідно до закону Пуассона з інтенсивністю $\lambda_o(\lambda_h)$. Час зайнятості каналу *о-викликами* (*h-викликами*) є експоненціально розподіленою випадковою величиною із середнім $\mu_o^{-1}\left(\mu_h^{-1}\right)$. Якщо в період обслуговування виклику будь-якого типу відбувається процедура хендовер, то час обслуговування даного виклику, що залишився в новому стільнику (уже в якості h-виклику) також має експонентний розподіл з тим же середнім, внаслідок відсутності пам'яті експонентного розподілу.

Обслуговування викликів здійснюється за схемою резервування каналів, тобто надійшовший *о-виклик* приймається лише тоді, коли число вільних каналів не менше, ніж $g+1$; у іншому випадку *о-виклик* губиться (блокується). Хендовер-виклик приймається при наявності хоча б одного вільного каналу; якщо всі N канали є зайнятими, то *h-виклик* приєднується до черги. У момент звільнення каналу черга *h-викликів* (якщо вона є) обслуговується відповідно до дисципліни FIFO; якщо черга відсутня, то звільнений канал простоює. Передбачається, що *h-виклики* є терплячими, тобто не відбувається втрати *h-викликів* із черги.

Основними показниками QoS даної моделі є ймовірність блокування *о-викликів* (P_o), середнє число зайнятих каналів системи (N_{av}) і середня довжина черги *h-викликів* (L_h). Завдання полягає в знаходженні зручних обчислювальних процедур для розрахунку зазначених показників.

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ МОДЕЛІ

Для більш детального опису роботи стільника, необхідно використовувати двомірний ланцюг Маркова, тобто стан стільника в довільний момент часу задається вектором $\boldsymbol{k}=(k_1, k_2)$, де k_i означає число *о-викликів* (*h-викликів*) у системі, $i=1,2$. Тоді множина всіх можливих станів системи визначається в такий спосіб:

$$S=\{\boldsymbol{k}: k_1=\overline{0,N-g}, k_2=0,1,2,...\}. \quad (1)$$

Оскільки *о-виклики* обслуговуються в режимі блокування й система є консервативною (тобто при наявності черги простої каналів не допускається), то в стані $\boldsymbol{k}\in S$ число *h-викликів* у каналах (k_2^s) і в черзі (k_2^q) визначаються так:

$$k_2^s=\min\{N-k_1,k_2\},\ k_2^q=(k_1+k_2-N)^+,$$

де $x^+=\max(0,x)$.

Елементи вихідної матриці відповідного ланцюга Маркова, $q(\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}')$, $\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}'\in S$, визначаються так:

$$q(\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}')=\begin{cases}\lambda_o, \text{если } k_1+k_2\le N-g-1,\ \boldsymbol{k}'=\boldsymbol{k}+\boldsymbol{e}_1,\\ \lambda_h, \text{если } \boldsymbol{k}'=\boldsymbol{k}+\boldsymbol{e}_2,\\ k_1\mu_o, \text{если } \boldsymbol{k}'=\boldsymbol{k}-\boldsymbol{e}_1,\\ k_2^s\mu_h, \text{если } \boldsymbol{k}'=\boldsymbol{k}-\boldsymbol{e}_2,\\ 0 \text{ в інших випадках,}\end{cases} \quad (2)$$

де $\mathbf{e}_1=(1,0)$, $\mathbf{e}_2=(0,1)$.

Стаціонарна ймовірність стану $\boldsymbol{k}\in S$ позначається $p(\boldsymbol{k})$. Оскільки модель є Марковською - визначаємо, що ймовірність блокування *о-викликів* визначається в такий спосіб:

$$P_o:=\sum_{\boldsymbol{k}\in S}p(\boldsymbol{k})I(k_1+k_2^s\ge N-g). \quad (3)$$

де $I(A)$ означає індикаторну функцію події A.

Середнє число зайнятих каналів системи й середня довжина черги *h-викликів* також визначаються через стаціонарний розподіл моделі:

$$N_{av}:=\sum_{j=1}^{N}j\varsigma(j) \quad (4)$$

$$L_h:=\sum_{l=1}^{\infty}l\tau(l), \quad (5)$$

де $\varsigma(j):=\sum_{\boldsymbol{k}\in S}p(\boldsymbol{k})I(k_1+k_2^s=j), \tau(l):=\sum_{\boldsymbol{k}\in S}p(\boldsymbol{k})I(k_2^q=l)$ є маргінальними розподілами моделі. Оскільки *о-виклики* обслуговуються за схемою з явними втратами, тому після визначення середньої довжини черги *h-викликів* з формули Літтла легко знайти середній час їхньої затримки (W_h).

Отже, для знаходження характеристик (3)-(5) необхідно визначити стаціонарний розподіл моделі $p(\boldsymbol{k})$, $\boldsymbol{k}\in S$ з відповідної системи рівнянь рівноваги (СРР), що складається на основі співвідношень (2). Однак рішення зазначеної СРР вимагає використання складного апарата багатомірних виробляючих функцій, і при цьому не вдається отримати формули, придатні для практичного додатку. У зв'язку із цим тут пропонується використовувати наближений метод розрахунку стаціонарного розподілу даної моделі.

Розглядається наступне розщеплення простору станів (1):

$$S = \bigcup_{j=0}^{N-g} S_j, \quad S_j \bigcap S_{j'} = \varnothing, \quad j \neq j', \tag{6}$$

де $S_j := \{\boldsymbol{k} \in S : k_1 = j\}$, $j = \overline{0, N-g}$.

Множини S_j об'єднуються в окремі укрупнені стани *<j>*, і вводиться функція укрупнення з областю визначення (1):

$$U(\boldsymbol{k}) = < j >, \text{якщо } \boldsymbol{k} \in S_j,\ j = \overline{0, N-g}, \tag{7}$$

Функція укрупнення (7) визначає укрупнену модель, що є одномірним ланцюгом Маркова з фазовим простором станів $\tilde{S} := \{< j >: \ j = \overline{0, N-g}\}$. Для знаходження стаціонарного розподілу вихідної моделі буде потрібно попереднє визначення стаціонарних розподілів розщепленої й укрупненої моделі.

Стаціонарний розподіл j-*ой* розщепленої моделі із простором станів S_j позначається $\rho^j(i), i = 0,1,2,...$, $j = 0,1,...,N-g$. Він визначається як стаціонарний розподіл класичної системи масового обслуговування (СМО) *M/M/N-j/∞* з навантаженням $\nu_h := \lambda_h / \mu_h$ ерл.:

$$\rho^j(i) = \begin{cases} \dfrac{{\nu_h}^i}{i!} \rho^j(0), & i = \overline{1, N-j}, \\ \dfrac{{\nu_h}^i (N-j)^{N-j-i}}{(N-j)!} \rho^j(0), & i \geq N-j+1, \end{cases} \tag{8}$$

де

$$\rho^j(0) = \left(\sum_{i=0}^{N-j-1} \frac{{\nu_h}^i}{i!} + \frac{{\nu_h}^{N-j}}{(N-j)!} \cdot \frac{N-j}{N-j-\nu_h} \right)^{-1}. \tag{9}$$

Умовою ергодичності j-*ої* розщепленої моделі є $\nu_h < N-j$. Отже, для існування стаціонарного режиму в кожній розщепленій моделі необхідне виконання умови: $\nu_h < g$. Примітно, що умова ергодичності моделі не залежить від навантаження *о-викликів*. Цього слід було очікувати, тому що *о-виклики* обслуговуються згідно схеми з явними втратами. В окремому випадку *g=1* виходить відома умова $\nu_h < 1$.

Для знаходження стаціонарного розподілу $\pi(<j>), <j> \in \tilde{S}$ укрупненої моделі необхідно визначити елементи похідної матриці відповідного укрупненого ланцюга. Позначимо їх $q(<j'>, <j''>), <j'>, <j''> \in \tilde{S}$. Використовуючи техніку, запропоновану в роботі [7] знаходимо, що вони визначаються з наступних співвідношень:

$$q(<j'>, <j''>) = \begin{cases} \lambda_o \cdot \Lambda(j'+1), \text{ якщо } j'' = j'+1, \\ j'\mu_o, \text{ якщо } j'' = j'-1, \\ 0 \text{ в інших випадках}, \end{cases} \tag{10}$$

де $\Lambda(j+1) = \rho^j(0) \sum_{i=0}^{N-g-j-1} \frac{\nu_h^i}{i!}, \ j = \overline{0, N-g-1}$.

Зі співвідношень (10) стаціонарний розподіл укрупненої моделі $\pi(<j>), <j> \in \tilde{S}$ визначається як відповідний розподіл класичного процесу розмноження й загибелі. Іншими словами

$$\pi(<j>) = \frac{\nu_o^j}{j!} \prod_{i=1}^{j} \Lambda(i) \pi(<0>), \ j = \overline{1, N-g}, \tag{11}$$

де

$$\nu_o := \lambda_o / \mu_o, \quad \pi(<0>) = \left(1 + \sum_{i=1}^{N-g} \frac{\nu_o^i}{i!} \prod_{j=1}^{i} \Lambda(j)\right)^{-1}. \tag{12}$$

Таким чином, з обліком (8)-(9) і (11)-(12) стаціонарний розподіл вихідної моделі приблизно визначається так:

$$p(k_1, k_2) \approx \rho^{k_1}(k_2) \pi(<k_1>), (k_1, k_2) \in S. \tag{13}$$

Після виконання необхідних математичних перетворень знаходяться наступні наближені формули для обчислення характеристик (3)-(5) моделі з нескінченною чергою терплячих *h-викликів* при наявності резервних каналів:

$$P_o \approx 1 - \sum_{j=0}^{N-g-1} \sum_{i=0}^{N-g-1-j} \rho^j(i) \pi(<j>), \tag{14}$$

$$N_{av} \approx \sum_{j=1}^{N-g} j \sum_{i=0}^{j} \rho^i (j-i)\pi(<i>) + \\ + \sum_{j=N-g+1}^{N-1} j \sum_{i=0}^{N-g} \rho^i (k-i)\pi(<i>) + N \sum_{j=0}^{N-g} \pi(<j>)\left(1 - \sum_{i=0}^{N-j-1} \rho^j(i)\right), \tag{15}$$

$$L_h \approx \sum_{i=0}^{N-g} \pi(<i>)\rho^i(0) \frac{\nu_h^{N+1-i}}{(N-i)!} \cdot \frac{N-i}{(N-i-\nu_h)^2} \,. \tag{16}$$

Відзначимо, що розроблені формули (14)-(16) є дуже зручними з погляду їхньої простоти. Вони дозволяють вивчити поведінку показників QoS досліджуваних систем практично у всіх припустимих діапазонах зміни їх структурних і навантажувальних параметрів. Через обмеженість обсягу роботи тут не приводяться результати чисельних експериментів. Ці результати показали, що запропоновані формули мають високу точність.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід може бути використаний і для дослідження моделей бездротових мереж зв'язку, у яких *h-виклики* є нетерплячими, тобто можливі втрати *h-викликів* із черги внаслідок завершення інтервалу їхньої деградації. Він також може бути використаний з метою поліпшення знайдених показників якості обслуговування. Ці проблеми є предметом подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hong D. Traffic model and performance analysis of cellular mobile radio telephones systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures / D.Hong, S.S.Rapoport // IEEE Transactions on Vehicular Technology: IEEE Vehicular Technology Society, 1986. – Vol.35, no.3. – PP.77-92. – ISSN 0018-9545.
2. Lin Y.B. Queuing priority channel assignment strategies for PCS handoff and initial access/ Y.B.Lin, S.Mohan, A.Noerpel // IEEE Transactions on Vehicular Technology: IEEE Vehicular Technology Society, 1994. – Vol.43, no.3. – PP.704-712. – ISSN 0018-9545.
3. Yoon C.H. Performance of personal portable radio telephone systems with and without guard channels / C.H.Yoon, C.K.Un //IEEE Journal Selected Areas in Communication: IEEE Communication Society, 1993. – Vol.11, no.6. – PP.911-917. – ISSN 0733-8716.
4. Ponomarenko L.A. Numerical methods for investigation of cellular communication networks with finite queues of handover-calls / L.A.Ponomarenko, A.Z.Melikov, A.T.Babayev // Journal of Automation and Information Sciences: Begell House, 2005. – Vol.37, no.6. – PP.1-11. – ISSN 1064-2315.
5. Ponomarenko L.A. Investigation of cellular network characteristics with limited queue of impatient h-calls / L.A.Ponomarenko, A.Z.Melikov, A.T.Babayev.// Journal of Automation and Information Sciences: Begell House, 2006. – Vol. 38, no.8. – PP.17-28. - ISSN 1064-2315.
6. Yue W. Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks / W.Yue, Y.Matsumoto. – Boston : Kluwer Academic publishers, 2002. - 324 p. – ISBN 0-7923-7677-3.
7. Melikov A.Z. Refined approximations for performance analysis and optimization of queuing model with guard channels for handovers in cellular networks / A.Z.Melikov, A.T.Babayev // Computer Communications: Elsevier, 2006. – Vol. 29, no.9. – PP.1386 -1392. – ISSN 0140-3664

Надійшла до редакції 14.01.2009р.

МЕЛІКОВ АГАСІ ЗАРБАЛИ – д.т.н., проф., член-кор. НАН Азербайджану, інститут кібернетики НАН Азербайджану, тел.: (+99470 733 0088), E-mail: agassi.melikov@rambler.ru.

ВЕЛІБЕКОВ АМІР МАХМУД – аспірант, інститут інформаційних технологій НАН Азербайджану, тел.: (+99450 221 0012), E-mail: velibekov@gmail.com.