УДК 519.872:621.321.1

В. Ш. Фейзієв, к. т. н.; В. Ш. Фейзієв; Г. І. Буніятова

ІМІТАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЗНАХОДЖЕННЯ СУБОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ДОСТУПУ У БАГАТОШВИДКІСНИХ СИСТЕМАХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

У роботі пропонується наближений метод розв'язання задачі знаходження субоптимальної стратегії доступу в багатошвидкісній системі обслуговування. У залежності від поточної ситуації в системі можуть бути включені резервні канали, при цьому їх включення пов'язані з певними економічними витратами. Запропонований метод базується на ідеях імітаційного моделювання. Подані результати чисельних експериментів.

Ключові слова: *багато швидкісна система обслуговування, резервні канали, стратегія доступу, субоптимальна стратегія, імитаційне моделювання.*

Вступ

Багатошвидкісні системи обслуговування (Multi Rate Queue, MRQ) є математичними моделями процесів обробки різнотипної інформації в комунікаційних мережах останнього покоління [1 – 3]. У відомих роботах вивчені моделі таких систем при простих стратегіях доступу, тобто передбачається, що всі канали системи рівноправно використовуються різнотипними викликами. Разом з тим, через обмеженість ресурсів мереж, а також унаслідок того, що різнотипні виклики мають різні ступені важливості, рівноправне використання каналів системи не завжди є ефективним. Тому деякі канали резервуються і використовуються лише при виникненні певних конфліктних ситуацій. Для вирішення цих ситуацій найбільш ефективним засобом є Марківські процеси прийняття рішень (МППР). Такий підхід раніше був використаний в роботі [4] для знаходження оптимальної стратегії доступу. Тут аналогічний підхід використовується для дослідження моделей MRQ з резервними каналами.

Постановка задачі

Розглянемо модель багатошвидкісної системи обслуговування (Multi Rate Queue, MRQ), в якій всі канали розділені на дві групи: активні і резервні. При цьому активні канали використовуються згідно з повнодоступною схемою, а включення резервних каналів піддаються керування. Останнє означає, що використання резервних каналів пов'язане з певними економічними витратами, і тому в моменти надходження різнотипних викликів необхідно приймати рішення про використання таких каналів. При цьому такі рішення приймаються лише тоді, коли кількість вільних каналів виявляється недостатньою для обслуговування надісланих викликів. Мета керування включенням резервних каналів полягає в мінімізації сумарних економічних витрат в одиницю часу стаціонарного режиму, пов'язаних з втратами викликів і використанням резервних каналів.

Усі $N>1$ канали системи розділені на дві групи, тобто $N = A + R$, де $A>1$ вказує кількість активних каналів і $R>1$ означає кількість резервних каналів, при цьому всі канали є ідентичними. Вхідний потік викликів є пуассонівським з параметром Λ, при цьому кожний виклик, який надійшов з ймовірністю α_i, потребує b_i каналів одночасно, де $\alpha_1 +\ldots\alpha_K=1$, тобто вихідний потік представляє собою суперпозицію K незалежних пуассонівських потоків з інтенсивностями $\lambda_i := \Lambda\alpha_i$, $i=1,\ldots,K$, де виклики із i-го потоку потребують одночасно b_i каналів, при цьому всі канали починають і завершують обслуговування одночасно. Час обслуговування викликів i-го типу є показово розподіленою випадковою величиною із середнім $\mu_i^{-1}, i=\overline{1,K}$.

Якщо в момент надходження виклику будь-якого типу кількість вільних активних каналів є достатньою, то необхідна кількість активних каналів призначається для його обслуговування. В іншому випадку вільні резервні канали можуть бути використані для цієї мети. Разом з тим, якщо сумарна кількість вільних каналів (активних і резервних) виявиться недостатньою для обслуговування виклику, що надійшов, то він з імовірністю 1 втрачається (блокується).

Механізм включення і відключення резервних каналів полягає в наступному. Якщо в момент завершення обслуговування виклику будь-якого типу кількість зайнятих каналів виявиться не менше, ніж *A*, то всі звільнені канали перемикаються в резервну групу, в протилежному випадку будь-які *A* канали ставляться в активні групи, а інші залишаються в резервній групі .

Припустимо, що втрата одного виклику і-го типу оцінюється штрафом у *c (i)* умовних одиниць, *i = 1, ..., K*, а включення *j* резервних каналів в одиницю часу призводить до штрафу *d (j)* умовних одиниць, *j = 1, ..., R*.. Тоді задача знаходження оптимальної стратегії включення резервних каналів сформулюється таким чином: потрібно знайти таку стратегію включення резервних каналів, щоб мінімізувати сумарні штрафи в одиницю часу стаціонарного режиму, пов'язані з втратами викликів різних типів і включенням резервних каналів.

Отже, шукана оптимальна стратегія доступу (Call Admission Control, CAC) представляє собою послідовність рішень, що приймаються в моменти надходження викликів. При цьому, в кожен момент надходження викликів з урахуванням їх типу і поточного стану системи необхідно приймати одне з двох рішень: або виклик, що надійшов, втрачається, або певна кількість резервних каналів використовується для його обслуговування.

Розрахунок характеристик моделі

Стан цієї системи в довільний момент часу можна описати *K*-мірним вектором $n=(n_1, ..., n_K)$, де n_i вказує кількість викликів *i*-го типу в системі. Оскільки кожен виклик *i*-го типу одночасно вимагає b_i каналів системи, то максимальна кількість викликів у системі обмежена величиною $[N / b_i]$, де $[x]$ означає цілу частину *x*, $i=\overline{1,K}$. Сумарна кількість зайнятих каналів системи в стані *n*, визначається як скалярний добуток векторів *n* і $b = (b_1, ..., b_K)$. Таким чином, безліч можливих станів системи визначається так:

$$S := \left\{\boldsymbol{n} : n_i = 0,\left[N / b_i\right], i=\overline{1,k}, (\boldsymbol{n},\boldsymbol{b}) \le N\right\}. \quad (1)$$

Для опису класу стратегій, в якому знаходиться шукана оптимальна стратегія включення резервних каналів, розглянемо моменти надходження викликів.

Нехай в момент надходження виклику *i*-го типу система знаходиться в стані $n \in S$. Кількість вільних активних каналів у цьому стані визначається як $f(n) = A-(n, b)$, якщо $f(n) \geq 0$. Тому, якщо $f(n) < 0$, то це означає, що у стані *n* кількість використовуваних резервних каналів дорівнює $-f(n)$. Звідси робимо висновок, що величина $f(n) + R$ вказує сумарну кількість вільних активних і резервних каналів в стані $n \in S$, якщо $f(n) > 0$, а в разі $f(n) \leq 0$ зазначена величина означає кількість вільних резервних каналів в стані $n \in S$.

Оскільки активні канали системи використовуються згідно повнодоступної схеми, то якщо в момент надходження виклику *i*-го типу система знаходиться в стані $n \in S$, в якому $f(n) \geq b_i$, то виклик, що надійшов, приймається з імовірністю 1, і для його обслуговування виділяються будь-які b_i вільні активні канали. Якщо в цей момент компоненти вектора стану *n* задовільняють нерівності $bi>f(n)+R$, то виклик *i*-го типу, що надійшов, втрачається з імовірністю 1, тому що в цей момент кількість вільних каналів (активних і резервних) виявляється недостатньою для обслуговування виклику, що надійшов. Альтернативні рішення можливі в моменти надходження викликів *i-го* типу, якщо в ці моменти система знаходиться в одному із підкласів безлічі можливих станів:

$$S_i^* := \{\boldsymbol{n} \in S : f(\boldsymbol{n}) \le 0, b_i \le f(\boldsymbol{n}) + R\}; \tag{2}$$

$$S_i^{**} := \{\boldsymbol{n} \in S : f(\boldsymbol{n}) > 0, f(\boldsymbol{n}) < b_i \le f(\boldsymbol{n}) + R\}. \tag{3}$$

В обох підкласах станів (2) та (3) можливі наступні рішення: d1 – виклик, що надійшов, втрачається і d2 – резервні канали використовуються для обслуговування виклику *i*-го типу, що надійшов. Відзначимо, що якщо приймається рішення d2, то в підкласі (2) використовуються b_i резервних каналів, а в підкласі (3) кількість резервних каналів, що виділяються для обслуговування виклику *i*-го типу, що надійшов, дорівнює b_i-f (n). Вірогідність прийняття рішень d1 і d2 позначаються $\alpha_i^-(\boldsymbol{n})$ і $\alpha_i^+(\boldsymbol{n})$, відповідно. Оскільки ці ймовірності складають повну групу, то маємо:

$$\alpha_i^-(\boldsymbol{n}) + \alpha_i^+(\boldsymbol{n}) = 1 \text{ для всех } \boldsymbol{n} \in S_i, \tag{4}$$

де $\mathrm{S_i = S_i^* \bigcup S_i^{**}, i = \overline{1,K}}$.

Тепер розглянемо моменти відправлення викликів системою. Нехай безпосередньо перед відправленням виклику *i*-го типу із системи вона була в стані n, де $n_i > 0$. Тоді у момент відправлення виклику наступним станом системи буде n-e_i, де e_i – K-мірний вектор, всі компоненти, крім *i*-го, рівні 0, а *i*-та компонента дорівнює 1. Якщо $(\boldsymbol{n}\text{-}\boldsymbol{e}_i,\boldsymbol{b}) \ge A$, то всі звільнені b_i канали стають резервними; в протилежному випадку будь-які A канали стають активними, а решта перемикаються в резервну групу. Після відправлення із системи виклику *i*-го типу система переходить в стан $\boldsymbol{n}\text{-}\boldsymbol{e}_i$ з інтенсивністю $n_i\mu_I$, $i=1,\dots,K$.

Можна показати, що зазначені штрафи за одиницю часу обчислюються так:

$$\begin{aligned} G\left(p(\boldsymbol{n}),\alpha_i^{\pm}(\boldsymbol{n})\right) := \sum_{\boldsymbol{n}\in S}\sum_{i=I}^{K}\Big(\lambda_i p(\boldsymbol{n})\Big(c(i)\Big(I(b_i > f(\boldsymbol{n}) + R) + I\big(\boldsymbol{n} \in S_i\big)\alpha_i^-(\boldsymbol{n})\Big) + \\ + \Big(d(b_i)I\big(\boldsymbol{n} \in S_i^*\big) + d\big(b_i - f(\boldsymbol{n})\big)I\big(\boldsymbol{n} \in S_i^{**}\big)\Big)\alpha_i^+(\boldsymbol{n})\Big)\Big), \end{aligned} \tag{5}$$

де $p(\boldsymbol{n})$ означає стаціонарну ймовірність стану $\boldsymbol{n}\in S$.

З викладеного робимо висновок, що метою дослідження цієї системи є розв'язання наступного завдання:

$$G\left(p(n),\alpha_i^{\pm}(n)\right) \xrightarrow[\alpha_i^{\pm}(n)]{} \min. \tag{6}$$

Обмеженнями цього завдання є система рівнянь рівноваги. Отже, завдання визначення оптимальної стратегії включення резервних каналів зводиться до певної задачі марківського програмування. Вона має нерандомізоване оптимальне рішення. Для знаходження оптимальної стратегії включення резервних каналів при малих значеннях N і K може бути використаний метод лінійного програмування. При великих значеннях цих параметрів можуть бути використані наближені методи (4).

Разом з тим, на практиці, особливо при дослідженні моделей MRQ з великою кількістю типів викликів, стан системи не спостерігається повністю, тобто є часткова інформація про її стан, а саме, спостерігається лише загальна кількість зайнятих (вільних) каналів. Тому САС, яку шукають, повинна приймати рішення на основі такої неповної інформації. Оптимальну САС, засновану лише на інформації про кількість зайнятих (вільних) каналів, назвемо субоптимальною.

Нехай активні канали, як і раніше, використовуються згідно повнодоступній схемі, а кількість резервних каналів, які можуть бути використані для обслуговування викликів *i*-го типу, обмежені величиною r_i, , при цьому $r_1+\dots+r_K \ge R$. Задача оптимізації системи полягає в знаходженні таких значень r_i, $i = 1, \dots, K$, щоб мінімізувати сумарні штрафи (6).

Відзначимо, що субоптимальна стратегія не буде кращою, ніж оптимальна стратегія. Це пояснюється тим, що оптимальна CAC при прийнятті рішення враховує детальну інформацію про стан системи, в той час як субоптимальна стратегія ґрунтується лише на частковій інформації про стан системи (тобто враховується лише інформація про загальну кількість зайнятих каналів). Іншими словами, два різних стани, в яких кількість зайнятих каналів є однаковою, розглядаються як один стан з точки зору субоптимальної стратегії включення резервних каналів.

Програму імітаційного моделювання розроблено і використано для знаходження субоптимальної стратегії в моделі MRQ з параметрами A = 20, R = 10, K = 2, b1 = 1, b2 = 6, c(1) = c(2) = 1, d (i) = I, i = 1, ..., 6. У кожному прогоні імітаційної програми були використані 100.000 викликів, які повністю завершили обслуговування. Кількість повторень кожного експерименту було 5, і їх середні дані були обрані в якості основних показників QoS системи. У результаті цих експериментів знайдена субоптимальна стратегія включення резервних каналів. Відповідні результати показані в табл. 1. Слід зазначити, що з метою зменшення кількості перемикань різних субоптимальних стратегій позначені зірочкою стратегії можуть бути замінені стратегією (10, 1), так як максимальна різниця між мінімальними значеннями відповідних цільових функцій не перевищує 0.5%. Так, наприклад, з табл. 1 видно, що при (ρ1,ρ2) = (4,4) и (ρ1,ρ2) = (4,6) оптимальна субоптимальна стратегія (r1,r2) = (10,1), відповідна стратегія визначається як (r1,r2) = (9,1). Останнє означає, що якщо і при $(\rho_1,\rho_2) = (4,5)$ в якості субоптимальної стратегії приймати $(r_1,r_2) = (10,1)$, то кількість перемикання різних субоптимальних стратегій істотно зменшується, і при цьому не допускаються великі помилки (так як різниця не перевищує 0,5%).

Таблиця 1

Субоптимальна стратегія включення резервних каналів

○: $(r_1, r_2) = (10,1)$, □ : $(r_1, r_2) = (9,1)$, △ : $(r_1, r_2) = (8,2)$

ρ_2 \ ρ_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	△	○	□	○	□	○	○	○	○	○
9	△	○	□	□*	□	□*	□*	○	○	○
8	△	○	○	○	□	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	□	□*	□*	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	□*	○
5	○	○	○	□*	○	○	□*	□*	□*	○
4	○	□*	○	○	□*	□*	○	□*	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	□*
2	○	○	□*	○	○	○	□*	○	○	○
1	○	○	○	○	○	○	○	□	□	□

Висновки

У роботі пропонується підхід імітаційного моделювання для вирішення задачі знаходження субоптимальної стратегії включення резервних каналів у багатошвидкісних системах, коли точне рішення задачі знаходження оптимальної стратегії не представляється можливим через величезні розмірності вихідної задачі. Досліджена модель має широке застосування в сучасних комунікаційних мережах, у яких обробляється різнотипна інформація.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Меликов А. З. Математические модели многопотоковых систем обслуживания. / А. З. Меликов, Л. А. Пономаренко, Н. А. Рюмшин. – К.: Техника, 1991 – 117 с.

2. Меликов А. З. Приближенный расчет характеристик совместной передачи речи и данных в беспроводных сетях сотовой связи / А. З. Меликов, В. Ш. Фейзиев // Электронное моделирование. – 2007, – Т. 29, № 6, – с. 47 – 59.

3. Kim C. S. Analysis of multirate systems with shared reservation of channels and queues of wideband calls / C. S. Kim, A. Z. Melikov, V. S. Feyziyev // Proc. of Int. conf. "Problems of Cybernetics and Informatics", Baku. – 2008. –Vol. 2. – P. 210 – 213.

4. Melikov A. Z. Markov decision process approach to finding state-dependent CAC algorithm in broadband integrated network node / A. Z. Melikov, V. S. Feyziyev // Proc. of Int. conf. "Mathematical Methods for Increasing Efficiency of Information Telecommunication Networks", Minsk. – 2007. – Vol. 19. – P. 142 – 146.

Фейзієв Васіф Шейдулла огли – к. т. н., старший науковий співробітник.

Фейзієв Вагіф Шейдулла огли – науковий співробітник.

Буніятова Гюлшен Іса кизи – молодший науковий співробітник.
Інститут кібернетики НАН Азербайджана, Баку.