УДК 681.5.017

С.Г. Семенов, О.В. Ліпчанська

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ НА БАЗІ 4G З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

У статті розглянуті питання щодо побудови концептуальної моделі системи критичного застосування для оцінювання затримок мультимедійного трафіка, як переважної складової у системах на базі технології 4G. Розроблено математичну модель системи для проведення експериментів та оцінювання їх результатів. При моделюванні застосовано апарат мереж масового обслуговування як найбільш відповідний математичний апарат для аналітичного моделювання затримок у розподілених системах. Показані обчислення основних ймовірнісно-часових характеристик імітаційної моделі та доцільність використання розроблених моделей при моделюванні складних систем на базі технологій 4G.

***Ключові слова:** концептуальна модель, математична модель, технологія 4G, система критичного застосування, мережі масового обслуговування.*

Вступ

Постановка проблеми. З розвитком систем мобільного зв'язку значно розширюються сфери його застосування, особливо в галузі передачі даних у комп’ютерних системах [1, 2]. Це питання є найбільш актуальним у комп’ютерних системах критичного застосування (КСКЗ). В даний час користувачам КСКЗ пропонуються нові послуги, що основані на технології 4G, та забезпечують широкий діапазон додатків, зокрема надання різних мультимедійних сервісів. Всі ці послуги передбачають використання мобільних систем у режимі пакетної передачі даних [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури показав, що проектування КСКЗ, які використовують різні протоколи пакетної передачі даних, придає актуальність розробці й розвитку математичного апарата аналізу затримок передачі даних у цих системах. Ця задача є особливо актуальною, тому що такі системи у зв'язку з підвищенням їхньої продуктивності використовуються для віддаленого надання різноманітних мультимедійних інформаційних сервісів. Трафік цих сервісів за своєю природою має синхронний характер, але він передається по асинхронних мережах, а функціонування відповідних сервісів у значній мірі чутливе до затримок їх трафіка й особливо до його тремтіння – дисперсії його затримки [4].

Виклад основного матеріалу

Реальні КСКЗ є великими й складними системами. Вони мають велику розмірність, їхня топологія нерегулярна й динамічно змінюється, вони надають велике число різноманітних сервісів з різнорідними трафіками. Оцінка затримки передачі трафіків різних сервісів у таких системах є дуже важким завданням. Труднощі оцінок затримок обумовлені тим, що інформаційні елементи трафіків зазнають випадкові затримки в процесі їхньої передачі по КСКЗ. Ці затримки утворюються сумою затримок у відповідних компонентах системи, які становлять маршрут доставки відповідного інформаційного елемента трафіка. Сам маршрут доставки у загальному випадку також є випадковою величиною, що залежить від стану досліджуваної КСКЗ. Таким чином, середня затримка й тремтіння передачі деякого інформаційного елемента переданого трафіка визначаються розподілами ймовірностей затримок цих елементів на всіх можливих маршрутах досліджуваної системи.

Концептуальна модель 4G-системи. Задачі аналізу затримок у таких системах вимагають розробки спеціалізованих програмних засобів і використання спеціальних технологій їх моделювання. Загальна технологія математичного моделювання містить у собі наступні етапи (рис. 1.):

– аналіз досліджуваної системи й формулювання цілей її моделювання;

– побудова концептуальної моделі, що описує необхідний набір параметрів досліджуваної системи;

– побудова математичної моделі досліджуваної системи, що полягає у математичному описі параметрів, характеристик та поведінки об'єктів концептуальної моделі;

– побудова імітаційної моделі досліджуваної системи;

– проведення експерименту на імітаційній моделі;

– аналіз і інтерпретація результатів експериментів з моделями;

– прийняття проектних рішень та рішень керування [5, 6].

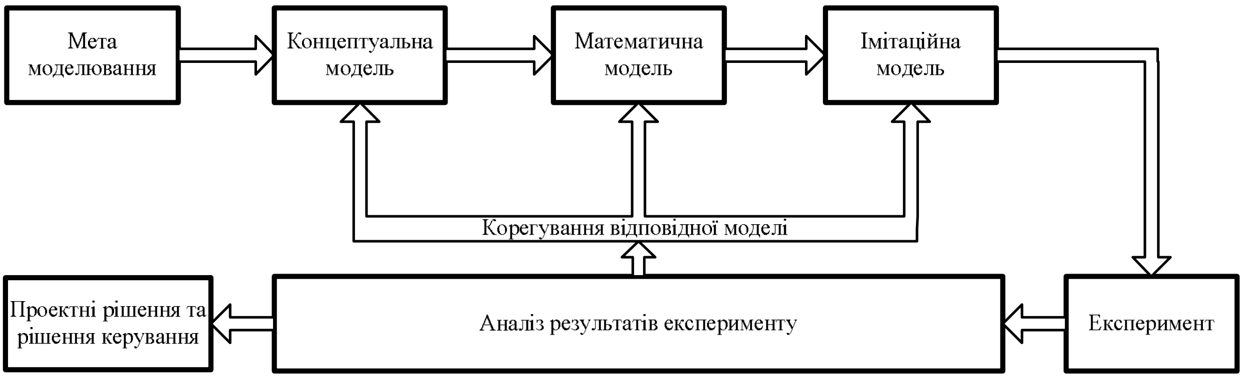

Рис. 1. Загальний вигляд процесу моделювання досліджуваної системи

Побудова концептуальної, математичної й імітаційної моделей досліджуваної системи полягає у виборі відповідної множини об'єктів і встановленні між ними структури зв'язків, що відповідає структурі зв'язків елементів досліджуваної системи.

При математичному моделюванні різних КСКЗ їхня модель описується в рамках деякої обраної концептуальної моделі. Концептуальна модель – математичний об'єкт, що описує множину вхідних параметрів системи, яка моделюється, її алгоритми функціонування, а також мету моделювання – множина досліджуваних параметрів цієї системи. Концептуальній моделі ставиться у відповідність імітаційна модель. Моделювання на комп'ютері імітаційної моделі визначається як експеримент із моделлю. Він забезпечує обчислення оцінок досліджуваних параметрів із заданою точністю системи, що моделюється.

Складність завдань аналізу КСКЗ, рівень розвитку методів математичного моделювання складних систем, рівень продуктивності обчислювальної техніки й рівень розвитку програмних засобів моделювання викликають потребу у використанні методів гібридного моделювання. Суть цих методів полягає в застосуванні для рішення таких завдань аналізу різнорідних математичних моделей [7]. Актуальність використання гібридних моделей підтверджується ще тим, що вся множина досліджуваних параметрів КСКЗ в одному класі математичних моделей описати адекватно практично неможливо, тим більше одержати чисельні адекватні оцінки.

Під гібридною моделлю, на відміну від аналітичних моделей, розуміється не одна модель досліджуваного об'єкта, а деяка структура її окремих моделей. Кожна часна модель описує відповідні сторони функціонування моделюючої системи. Результати окремих моделей інтегруються в гібридній моделі з метою одержання оцінок необхідних характеристик досліджуваної системи. Принцип гібридного моделювання полягає в декомпозиції моделюючої системи. Розрізняється структурна, функціональна декомпозиція, а також декомпозиція за її агрегованими станами. При структурній декомпозиції окрема модель досліджує деякий фрагмент КСКЗ, вхідним навантаженням якого є інформаційний трафік, що надходить від інших виділених фрагментів. При функціональній декомпозиції окрема модель описує функціонування КСКЗ при виконанні деякого набору її функцій (наприклад, передача мови й передача даних). При декомпозиції за агрегованими станами окрема модель описує функціонування системи в деякому її агрегованому стані (наприклад, стану високого, середнього й низького рівня перешкод у середовищі передачі даних КСКЗ, що моделюється).

Необхідність використання гібридних моделей визначається розширенням класу завдань моделювання інформаційних систем, а також збільшенням їхньої розмірності. Кожна з підмоделей гібридної моделі також може належати до класу гібридних моделей або ж може належати деякому іншому класу математичних моделей, наприклад, мережі масового обслуговування, дискретні або безперервні динамічні системи (імітаційні моделі), графи, гіперграфи, марківські процеси, гіпермережі, різні статистичні моделі тощо (аналітичні моделі). Кожний з перелічених вище класів моделей має свою область застосування, що визначається, як правило, розмірністю системи, її топологією, а також поставленими завданнями її моделювання. При цьому необхідно відзначити, що мережі масового обслуговування представляються найбільш відповідним математичним апаратом для аналітичного моделювання затримок у розподілених системах.

Застосування апарата мереж масового обслуговування для моделювання 4G-систем. Залежно від наявності неоднорідних потоків вимог розрізняють однорідні й неоднорідні мережі обслуговування. У неоднорідних мережах, на відміну від однорідних, вимоги, що циркулюють по мережі, відрізняються за їх маршрутами на мережі, а також за часом їхнього обслуговування у вузлах їхніх маршрутів. Множина вимог, які мають однакові маршрути, і часи їх обслуговування у вузлах маршрутів утворюють клас. Залежно від наявності зовнішнього джерела вимог у складі мережі розрізняються відкриті, замкнуті, і змішані мережі обслуговування. У замкнутій мережі обслуговування, на відміну від відкритої, завжди циркулює постійне число вимог. У змішаній мережі число вимог одних класів постійно, а інших – ні. Останнім часом широке поширення одержали замкнуті неоднорідні мережі. Це обумовлено тим, що стаціонарний розподіл їхніх станів інваріантний щодо виду функції розподілу з точністю до перших двох моментів розподілу. Крім того, завжди є можливість апроксимувати відкриту мережу замкнутій, за допомогою заміни джерела вимог додатковим вузлом і збільшенням числа вимог, що циркулюють по мережі [6, 8].

Замкнута неоднорідна мережа масового обслуговування в загальному випадку визначається таким набором параметрів:

$$B = \left\langle L, K, \vec{N}, \vec{r}, \vec{W}, \vec{D}, \mu, \Theta, \vec{\pi} \right\rangle,$$

де L – кількість систем масового обслуговування (вузлів) у складі мережі; K – кількість класів вимог, що циркулюють мережею; $\vec{N} = \left(N_k\right),\ k = \overline{1, K},$ – початковий розподіл $N = \sum_{k=1}^{K} N_k$ вимог по K класах мережі; $\vec{r} = \left(r_i\right),\ r_i > 0, i = \overline{1, L}$ – вектор кількостей обслуговуючих приладів у складі вузлів мережі; вектор $\vec{W} = \left(W_i\right),\ W_i \in \{M, GI\}, i = \overline{1, L}$ – типи функцій розподілів випадкових величин, що визначають тривалості часів обслуговування вимог у вузлах мережі обслуговування ($W_i = M$ – функція розподілу часу обслуговування вимог є експонентною, $W_i = GI$ – функція розподілу часу обслуговування вимог є довільною і визначається математичним сподіванням і дисперсією); $\vec{D} = \{D_i\},\ \ i = \overline{1, L}$ $D_i \in \{FIFO, LIFOPR, PS, IS, FS\}$ – вектор дисциплін обслуговування вимог у вузлах мережі; $\mu = \{\mu_{i,k}(\vec{n})\}$, $i = \overline{1, L}$, $k = \overline{1, K}$ – матриця функцій інтенсивностей обслуговування вимог у вузлах мережі, де $\mu_{i,k}(\vec{n})X0$ – інтенсивність обслуговування вимоги k-го класу в i-му вузлі мережі обслуговування за умови, що мережа перебуває в деякому стані $\vec{n}$ її простору станів Ω, при цьому стан $\vec{n} \in \Omega$ визначає деякий припустимий розподіл N вимог по L вузлах і K класах мережі обслуговування; $\vec{\Theta} = \{\theta_{i,k;j,l}\}$, $i, j = \overline{1, L}$, $k = \overline{1, K}$ – маршрутна матриця мережі, де її елемент $0 < \theta_{i,k;j,l} < 1$ визначає ймовірність переходу деякої вимоги k-го класу, обслуговування якого завершене у i-му вузлі, у вузол з номером j і в клас із номером l; $\vec{\pi} = \{\pi_k\}$, $k = \overline{1, K}$ – вектор рівнів пріоритетів вимог класів, де $\pi_k > 0$ – рівень абсолютного пріоритету обслуговування вимог класу з номером k.

Імовірнісна поведінка замкнутої неоднорідної мережі обслуговування описується марківським однорідним процесом, що визначається на кінцевому просторі $\Omega = \{\vec{n}_p\}, \vec{n}_p = (n_{i,k})$ її станів. $\widehat{N}_{i,k}$, $k \in R_{\hat{k}}$ – максимально можлива кількість вимог класу k, які можуть перебувати в i-вузлі:

$$\widehat{N}_{i,k} = \begin{cases} 0, \text{ вимоги класу k не обслуговуються в вузлі i,} \\ \widehat{N}_{\hat{k}}, \text{ вимоги класу k обслуговуються в вузлі i,} \end{cases}$$

при цьому елемент $\widehat{N}_{\hat{k}} = \sum_{k \in R_{\hat{k}}} N_k$ вектора $\widehat{\widehat{N}} = \{\widehat{N}_{\hat{k}}\}$ є сумарною кількістю вимог у макрокласі $R_{\hat{k}}$ із номером $\hat{k}$, $\hat{k} = \overline{1, K}$, до складу якого входить клас k, а макроклас $R_{\hat{k}}$ утворюється множиною інцидентних класів, що утворюють даний макроклас (вимога будь-якого класу в складі макрокласу може перейти в будь-який інший клас цього ж макрокласу). Для кожного стану мережі $\vec{n} \in \Omega$ має місце:

$$\sum_{i=1}^{L} \sum_{k \in R_{\hat{k}}} n_{i,k} = \widehat{N}_{\hat{k}}.$$

Вектор $\vec{n}^{(i)} = (n_{i,k}), k = \overline{1, K},$ складений із відповідних елементів деякого стану $\vec{n} \in \Omega$ буде розглядатися як стан вузла i, а величина $n_i = \sum_{k=1}^{K} n_{i,k}$ визначає загальну кількість вимог, котрі перебувають у вузлі i, що відповідає станам $\vec{n}$ та $\vec{n}^{\langle i \rangle}$. Множина $\Omega^{\langle i \rangle} = \{\vec{n}_p^{\langle i \rangle}\}$ – простір всіх можливих станів $\vec{n}_p^{\langle i \rangle}$ вузла з номером i. Величина $\widetilde{N}_i$ визначає максимальну кількість вимог, що перебувають в вузлі i:

$$\widetilde{N}_i = \sum_{\hat{k}=1}^{\widehat{K}} \max_{k \in R_{\hat{k}}} \widehat{N}_{i,k}.$$

Розподіл $P^{\Omega} = \left\{ P(\vec{n}) \middle| \vec{n} \in \Omega \right\}$ станів процесу є стаціонарним розподілом ймовірностей перебування мережі B у станах її простору станів Ω, де $P(\vec{n})$ – ймовірність перебування мережі B у стані $\vec{n}$. Для мереж обслуговування, які задовольняють умові локального балансу, розподіл P^{Ω} ймовірностей її станів має мультиплікативну форму:

$$P(\vec{n}) = G\left(\widehat{N}, L\right)^{-1} \cdot \prod_{i=1}^{L} f_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right),\ \ \vec{n}^{\langle i \rangle} \in \vec{n}, \forall \vec{n} \in \Omega,$$

$$\text{де } f_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right) = \begin{cases} 0, \quad D_i = FS; \\ \dfrac{n_i\,!}{\prod_{S=1}^{n_i} \alpha_i(S)} \cdot \prod_{k=1}^{K} \dfrac{x_{i,k}^{n_{i,k}}}{n_{i,k}\,!}, \quad D_i \in \{FIFO, IS, LIFOPR, PS,\}, \end{cases}$$

у якому елементи матриці $X = \left(x_{i,k}\right)$ визначаються рішенням однорідної системи лінійних рівнянь

$$\tilde{\mu}_{i,k} \cdot x_{i,k} = \sum_{j=1}^{L} \sum_{/ \in R_k} \tilde{\mu}_{j,l} \cdot x_{j,l} \cdot \theta_{j,l;i,k},$$

$$i = \overline{1,\ L},\ \ k \in R_{\hat{k}},\ \ \hat{k} = 1, ..., \widehat{K},$$

а $\widetilde{\mu}_{i,k}$ є питомою інтенсивністю обслуговування вимог k-класу в i-вузлі (інтенсивністю обслуговування за умови, що в даному вузлі перебуває тільки одна вимога, $n_i = 1$, і вона перебуває в класі k, $\widetilde{\mu}_{i,k} = x_{i,k} = 0$, якщо вимоги k-класу не надходять в i-вузол і не обслуговуються в ньому), $\alpha_i(n_i)$ $(\alpha_i(n_i) > 0,\ \alpha_i(0) = \alpha_i(1) = 1)$ є коефіцієнтом інтенсивності, за допомогою якого задається залежність інтенсивності $\mu_{i,k}(n_i) = \widetilde{\mu}_{i,k} \cdot \alpha_i(n_i)$ обслуговування вимог в вузлі i від сумарної кількості n_i вимог, що перебувають у ньому: $G\left(\widetilde{\widetilde{N}}, L\right)$ є константою, що нормалізує розподіл станів P^{Ω} мережі B:

$$G\left(\widetilde{\widetilde{N}}, L\right) = \sum_{\vec{n} \in \Omega} \prod_{i=1}^{L} f_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right), \quad \vec{n}^{\langle i \rangle} \in \vec{n}.$$

Залежно від співвідношення значення параметрів набору B застосовуються різні методи аналізу мереж обслуговування, серед яких виділяються точні й наближені. При цьому розподіл P^{Ω} є базовою характеристикою, що забезпечує обчислення всіх нижчеперелічених характеристик. У виразах для цих характеристик використовуються такі позначення:

$$z_i\left(\vec{\hat{h}}\right) = \left\{\vec{h} = (h_k), \quad \vec{h} \in \Omega^{\langle i \rangle}, \sum_{k \in R_{\hat{k}}} h_k = \hat{h}_{\hat{k}}\right\} \quad -$$

множина станів вузла i, які відповідають припустимому розподілу вимог $\hat{h} = \left(\hat{h}_{\hat{k}}\right)$ по $\hat{K}$ макрокласах;

$$\hat{z}(H) = \left\{\vec{\hat{h}} = \left(\hat{h}_{\hat{k}}\right), \quad \sum_{\hat{k}=1}^{\hat{K}} \hat{h}_{\hat{k}} = H, \quad \exists\, \vec{h} \in z_i\left(\vec{\hat{h}}\right)\right\} \quad -$$

множина всіх розподілів по $\widehat{K}$ макрокласах H вимог, що перебувають в вузлі i, $\vec{\Delta}_g = \left(\delta_{g\hat{k}}\right)$, $\delta_{g\hat{k}}$ – символ Кронекеля; $\sum_{\vec{h}=\vec{\Delta}}^{\vec{y}} f\left(\vec{h}\right) = \sum_{h_1=\Delta_1}^{y_1} \sum_{h_2=\Delta_2}^{y_2} \ldots \sum_{h_k=\Delta_k}^{y_k} f\left(\vec{h}\right)$,

де $\vec{y} = \left(y_{\hat{k}}\right), \vec{h} = \left(h_{\hat{k}}\right), \Delta = \left(\Delta_{\hat{k}}\right),$; $\vec{h} > 0$, $\sum_{\hat{k}=1}^{\hat{K}} h_{\hat{k}} > 0.$

Основними ймовірнісно-часовими характеристиками мереж обслуговування, обчислення яких забезпечують існуючі методи аналізу, є такі:

$$P^{\Omega^{\langle i \rangle}} = \left\{ P_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right) \middle| \vec{n}^{\langle i \rangle} \in \Omega^{\langle i \rangle} \right\}, \quad i = \overline{1,\ L} \ -$$

розподіл ймовірностей перебування вузлів мережі B у їх станах. Величина $P_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right)$ є ймовірністю перебування i-вузла в деякому його стані $\vec{n}^{\langle i \rangle}$:

$$P_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right) = \sum_{\vec{n} \in \Omega,\ n^{\langle i \rangle} \in \vec{n}} P(\vec{n}), \quad \vec{n}^{\langle i \rangle} \in \Omega^{\langle i \rangle};$$

$P_i^u = P\left\{P\left(n_i^u = s\right) \middle| s = 0, ..., \widetilde{N}_i\right\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^u вимог, що перебувають в i-вузлі мережі B, i = 1, ..., L. Величина $P\left(n_i^u = s\right)$ є ймовірністю перебування в i-вузлі s вимог різних класів. Ця ймовірність визначається таким виразом:

$$P\left(n_i^u = s\right) = \sum_{\vec{n}^{\langle i \rangle} \in A^{\langle i \rangle},\ n_i = s} P_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right), \quad s = 0, ..., \widetilde{N}_i.$$

$P_i^v = \left\{P\left(n_i^v = s\right) \middle| s = 0, ..., \widetilde{N}_i\right\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^v вимог, які перебувають на обслуговуванні приладами i-вузла мережі B. Величина $P\left(n_i^v = s\right)$ є ймовірністю того, що в i-вузлі s вимог різних класів обслуговуються його приладами; $P_i^w = \left\{P\left(n_i^w = s\right) \middle| s = 0, ..., \widetilde{N}_i - r\right\}$ – розподіл ймовірностей числа n_i^w вимог, які перебувають у черзі i-вузла мережі B, i = 1, ..., L. Величина $P\left(n_i^w = s\right)$ визначає ймовірність того, що в черзі вузла i s вимог різних класів очікують початку свого обслуговування; $n^{\langle u \rangle} = \left\{ \overline{n}_{i,k}^{\langle u \rangle} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог у вузлах мережі B, $\overline{n}_{i,k}^{\langle u \rangle}$ – середня кількість вимог класу k, які перебувають в вузлі i:

$$\overline{n}_{i,k}^{\langle u \rangle} = \sum_{\vec{n}^{\langle i \rangle} \in A^{\langle i \rangle}} n_{i,k} \cdot P_i\left(\vec{n}^{\langle i \rangle}\right), \quad n_{i,k} \in \vec{n}^{\langle i \rangle},$$

$n^{\langle v \rangle} = \left\{ \overline{n}_{i,k}^{\langle v \rangle} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог різних класів в обслуговуючих приладах вузлів мережі B, де $\overline{n}_{i,k}^{\langle v \rangle}$ – середня кількість вимог класу k, які обслуговуються в вузлі i:

$$\overline{n}_{i,k}^{\langle v \rangle} = \sum_{\vec{\hat{h}}=\vec{\Delta}_{\hat{k}}}^{\vec{\hat{N}}} \sum_{\vec{h} \in z_i\left(\vec{\hat{h}}\right)} P_i\left(\vec{h}\right) \cdot h_k \Big/ \sum_{j=1}^{K} h_j, \quad k \in R_{\hat{k}},$$

$n^{\langle w \rangle} = \left\{ \overline{n}_{i,k}^{\langle w \rangle} \right\}$ – математичне сподівання кількості вимог різних класів у чергах вузлів мережі B, $\lambda = \left\{ \lambda_{i,k} \right\}$ – інтенсивності потоків вимог різних класів, що надходять у вузли мережі B, де $\lambda_{i,k}$ – інтенсивність потоку вимог класу k, які надходять для обслуговування в вузол i:

$$\lambda_{i,k} = \sum_{\vec{\hat{h}}=\vec{\Delta}_{\hat{k}}}^{\vec{\hat{N}}} \sum_{\vec{h} \in z_i\left(\vec{\hat{h}}\right)} \alpha_i\left(\sum_{j=1}^{K} h_j\right) P_i\left(\vec{h}\right) \cdot h_k / r_i,$$

$V = \left\{\overline{v}_{i,k}\right\}$ – математичне сподівання часів обслуговування вимог різних класів у вузлах мережі B; $u = \left\{\overline{u}_{i,k}\right\}$ – математичні сподівання часів перебування вимог різних класів у вузлах мережі B; $w = \left\{\overline{w}_{i,k}\right\}$ – математичне сподівання часів очікування вимогами обслуговування у вузлах мережі B, $t = \left\{\overline{t}_{i,k}\right\}$ – математичне сподівання часів циклу вимог різних класів, обслужених у вузлах мережі B, де $\overline{t}_{i,k}$ – середня тривалість інтервалу часу між моментом надходження вимоги класу k в вузол i та моментом першого повернення цієї ж вимоги до цього ж класу та вузла:

$$\bar{t}_{i,k} = \hat{N}_{\hat{k}} / \lambda_{i,k} - \bar{u}_{i,k}, \quad k \in R_{\hat{k}};,$$

$\tau = \{\bar{\tau}_{i,k;j,l}\}$ – математичне сподівання часів переходу вимог різних класів, обслужених у вузлах, до класів та вузлів мережі B, де $\bar{\tau}_{i,k;j,l}$ – середня тривалість інтервалу часу між моментом надходження вимоги класу k в вузол i та моментом першого надходження цієї ж вимоги в l-клас і j-вузол: $\bar{\tau}_{i,k;i,k} = \bar{t}_{i,k} + \bar{u}_{i,k}$, $i = 1,...,L$, $k = 1,...,K$ і рішенням системи з $L \cdot K \cdot (L \cdot K - 1)$ лінійних рівнянь:

$$\bar{\tau}_{i,k;j,l} = \bar{u}_{i,k} + \sum_{m=1}^{L} \sum_{q=1,\,(m,q)\neq(j,l)}^{K} \theta_{i,k;m,q} \cdot \bar{\tau}_{m,q;j,l}.$$

Висновки

Розглянуті принципи побудови концептуальної моделі системи на базі технології 4G, описані етапи створення математичної моделі та труднощі, які виникають при моделюванні складних систем. Запропоновано для аналізу процесів, які відбуваються у комп'ютерній системі, застосувати гібридні моделі, що дозволяє моделювати частини складної системи окремо. Для аналітичного моделювання затримок у розподілених системах, якою є система, що аналізується, вирішено застосувати мережі масового обслуговування, як найбільш відповідний математичний апарат. Наведені обчислення основних ймовірнісно-часових характеристик імітаційної моделі, які забезпечують існуючі методи аналізу. Показано доцільність використання розроблених моделей для моделювання КСКЗ на базі технологій 4G.

Список літератури

1. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.

2. Кучук Г.А. Метод управления реконфигурацией информационной структуры компьютерной системы объекта критического применения при включении оперативных задач в систему управления / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 1 (41). – С. 107-110.

3. Miki T., Ohya T., Enhanced-reality multimedia communications for 4G mobile networks / Miki T., Ohya T. // 1st International Conference on Multimedia Service Access Networks (MSAN '05), (pages. 69-72), Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 2005.

4. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), pp. 384–389.

5. Semenov S., The Concept Definition of Mathematical Modelling of the Secured Information-Telecommunication System with Regard to Conditions of the Posterior Uncertainty / Semenov S., Dorokhov O., Grynov D.// Transport and Telecommunication. Volume 14, Issue 2, Pages 167–174, ISSN (Online) 1407-6179, ISSN (Print) 1407-6160, DOI: 10.2478/ttj-2013-0014, April 2013.

6. Бєляков В.Г. Методи і програмні засоби аналітичного моделювання мережевих систем: Преприн / Митрофанов Ю.І., Бєляков В.Г., Курбангули В.Х.// М .: Наук. рада з комплексної проблеми Кібернетика АН СССЗ, 1982. - С. 155-159.

7. Ярославцев А.Ф., Гібридний моделювання в Монада / Ярославцев А.Ф.// Праці ІВМіМГ СО РАН, Сер. Системне моделювання. Новосибірськ: ІВМіМГ СО РАН,. - Вип.4 (22). - С.12-28, 1997.

8. Семенов С.Г., Методика математического моделирования защищенной ИТС на основе многослойной GERT-сети / Семенов С.Г.// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тем. вип. Інформатика і моделювання. – Х.:НТУ «ХПІ», 2012. – Вип. 62 (968). – С 173-181.

Надійшла до редколегії 21.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ 4G С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

С. Г. Семенов, О.В. Липчанская

В статье рассмотрены вопросы построения концептуальной модели системы критического применения для оценивания задержек мультимедийного трафика, как преимущественной составляющей в системах на базе технологии 4G. Разработано математическую модель системы для проведения экспериментов и оценки их результатов. При моделировании применен аппарат сетей массового обслуживания, как наиболее соответствующий математический аппарат для аналитического моделирования задержек в распределенных системах. Показаны вычисления основных вероятностно-временных характеристик имитационной модели и целесообразность использования разработанных моделей при моделировании сложных систем на базе технологии 4G.

Ключевые слова: *концептуальная модель, математическая модель, технология 4G, система критического применения, сети массового обслуживания.*

A CONCEPTUAL MODEL OF THE SYSTEM BASED ON A 4G USING A QUEUING NETWORK MECHANISM

S.G. Semenov, O.V. Lipchanska

The article deals with the construction of a critical application system conceptual model for estimating the delays of multimedia traffic as an advantageous component in systems based on 4G technology. A mathematical model of the system for conducting experiments and evaluating their results has been developed system. In the simulation, the queuing networks mechanism is used, as the most appropriate mathematical apparatus for analytical modeling of delays in distributed systems. The computations of the simulation model main probability-time characteristics and the expediency of developed models using for modeling complex systems based on 4G technology are showed.

Keywords*: conceptual model, mathematical model, 4G technology, critical application system, queuing networks.*