

СЕМЕНОВ С. Г., с.н.с., доктор технічних наук,
ЛІПЧАНСЬКА О. В., аспірант (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут")

Метод управління доступом у комп'ютерній системі критичного застосування на базі мережі 4G

У статті запропоновано метод управління доступом у комп'ютерній системі критичного застосування на базі мережі 4G для забезпечення якості послуг передавання даних. Запропоновано виконувати адаптацію ресурсів радіоканалу до заданих вимог за якістю послуги передавання даних за допомогою алгоритмів управління доступом до мережі, управління завантаженням мережі й перерозподілу завантаження в мережі. Наведено необхідні математичні обґрунтування.

Ключові слова: *якість послуг передавання даних, управління доступом до мережі, завантаження мережі, мережа 4G.*

Вступ

На сьогодні системи мобільного зв'язку широко застосовуються у транспортній галузі, зокрема на залізничному транспорті. Сфери його застосування поширюються від надання нових інформаційних послуг до використання в комп'ютерних системах критичного застосування (КСКЗ), якими є системи залізничного транспорту. Із розвитком мережі 4G постають питання забезпечення необхідного рівня якості інформаційних послуг, які надаються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що зараз проблемам забезпечення необхідного рівня якості послуг у мережі 4G присвячено багато наукових праць [1 - 8]. У ряді джерел розглядаються технічні аспекти організації мережі 4G, які враховуються при розгортанні мережі, і переважно забезпечуються технологічними рішеннями стандарту LTE [5, 9]. Однак поширення комунікаційних послуг створює додаткові питання та завдання. Тому забезпечення якості послуг передавання мультимедійних даних є актуальним.

Визначення мети та задачі дослідження

Основною особливістю мережі 4G з управління якістю послуг є адаптація ресурсів радіоканалу до заданих вимог за якістю послуги, що надається. Тому завдання забезпечення якості послуг передавання даних у комп'ютерній системі критичного застосування можна вирішувати розглянувши головні функції адаптації, такі як управління доступом до мережі, управління завантаженням мережі й перерозподіл завантаження в мережі.

Основна частина дослідження

Впровадження різних видів послуг у мережах 4G вимагає застосування гнучкого підходу до визначення вимог до якості надання інформаційних послуг, зокрема при передаванні мультимедійних даних. Системний підхід до управління різними ресурсами в мережі 4G дозволив реалізувати в мережі ефективну систему контролю й підтримки заданої якості надання послуг на основі програмно-апаратних засобів системи.

КСКЗ на базі мережі 4G, які застосовуються на залізничному транспорті, є великими й складними системами. Вони мають велику розмірність, їхня топологія нерегулярна й динамічно змінюється, тому має місце регулярне підключення або відключення абонентів, що призводить до змін абонентського навантаження в мережі. Ці зміни впливають на якість послуг вже підключених абонентів, тому одне з завдань забезпечення якості послуг передавання даних є управління доступом нових абонентів до мережі.

Аналіз управління доступом до мережі показав, що при надмірному збільшенні абонентського навантаження в мережі радіодоступу зона обслуговування стільників може зменшитися до розмірів, нижче допустимих, що не може гарантувати необхідну якість обслуговування. У зв'язку з цим перед допуском нового абонента до мережі необхідно оцінити, чи не спричинить це зменшення запланованої зони обслуговування або якості вже існуючих з'єднань у стільнику. Управління доступом дозволяє в цьому випадку виконувати або не виконувати запит на встановлення каналу радіодоступу.

Функціональні можливості управління доступом реалізуються базовими станціями. При цьому алгоритм управління доступом оцінює можливе збільшення навантаження, до якого призведе встановлення додаткового радіоканалу. Така оцінка виконується

окремо для висхідних і спадних каналів. Запитуваний доступ може бути реалізований, якщо є така можливість у висхідних і спадних каналах.

Алгоритми управління доступом будуються на ймовірнісних моделях оцінки стану радіомережі при прибутті та вибутті абонента [10, 11]. Розглянемо загальний підхід до опису процесів доступу абонентів до мережі. Розподіл кількості абонентів у системі характеризується деякою залежністю від прибуття нових абонентів і визначається розподілом середнього часу зайнятості системи

$$\pi_k = \frac{\rho^k / k!}{\sum_{l=0}^{K_{\max}} \rho^l / l!}, \quad 0 \leq k \leq K_{\max},$$

де k – кількість зв'язків у системі ($0 \leq k \leq K_{\max} - 1$), K_{\max} визначається пропускнуою спроможністю системи при заданій якості обслуговування; $\rho = \lambda/\mu$ – час зайнятості системи; λ – інтенсивність надходження запитів на доступ до мережі [12].

Доступ абонентів до мережі описують пуасонівським розподілом, а час зайнятості каналу вважають у більшості випадків розподіленним за показовим законом.

Розподіл кількості зв'язків у системі q_k може бути представлено в такий спосіб:

$$q_k = \frac{\pi_k}{\sum_{l=0}^{K_{\max}-1} \pi_l} = \frac{\rho^k / k!}{\sum_{l=0}^{K_{\max}-1} \rho^l / l!}, \quad 0 \leq k \leq K_{\max} - 1.$$

При цьому ймовірності прибуття p_a й вибуття p_d абонентів з мережі визначаються виразами

$$p_a = \frac{\lambda}{\lambda + k\mu}, \quad p_d = \frac{k\mu}{\lambda + k\mu}.$$

при $k = 0$

$$\bar{I}_k(h, x_k) = \begin{cases} b_{k+1}h, & \text{при } x_k \geq h, \\ b_{k+1}x_k + \bar{I}_{k+1}(h - x_k), & \text{при надходженні запиту, } x_k < h. \end{cases}$$

при $k = K_{\max} - 1$

$$\bar{I}_k(h, x_k) = \begin{cases} b_{k+1}h, & \text{при } x_k \geq h, \\ b_{k+1}x_k + \bar{I}_{k+1}(h - x_k), & \text{при надходженні запиту, } x_k < h, \\ b_{k+1}x_k + \bar{I}_{k-1}(h - x_k), & \text{при вибутті абонента, } x_k < h. \end{cases}$$

Для управління доступом характерні кілька випадків, для опису яких введемо такі нові позначення:

X_k ($X_k > 0$) – час, протягом якого прибуває або вибуває абонент;

H – час зайнятості системи;

$$I_K(H) = \int_0^H B_K(t) dt - \text{обсяг даних, переданих за час}$$

H по K з'єднаннях при загальній швидкості їхнього передавання B_K .

Якщо $X_k \geq H$, то $I_K(H) = b_{K+1}H$, і в період зайнятості системи адаптація швидкості передавання даних не потрібна, тому що в цей період зміна кількості зв'язків не відбувається.

У випадку $X_k < H$ прибуття або вибуття абонентів у системі відбувається в момент її зайнятості. При цьому до настання часу X_k загальна швидкість передавання даних дорівнює b_{K+1} , а $I_K(H) = b_{K+1}X_k + G_K(H)$, де

$$G_K(H) = \int_{X_k}^H B_K(t) dt \text{ залежить від того, прибувають}$$

або вибувають абоненти при настанні часу X_k . Якщо відбувається вибуття абонента з системи в момент X_k при $K \geq 1$, то кількість зв'язків стає рівною $K - 1$, і $G_K(H)$ має розподіл $I_{K+1}(H - X_k)$. При надходженні запиту в момент X_k при $K = K_{\max} - 1$ даний запит приймається, і $G_K(H)$ має розподіл $I_{K+1}(H - X_k)$. При надходженні запиту в момент X_k при $K = K_{\max} - 1$ даний запит відхиляється, і $G_K(H)$ має розподіл $I_K(H - X_k)$. У загальному випадку описані ситуації можна представити в такий спосіб:

У першому випадку вибуття абонента з мережі неможливе, у другому випадку запит відхиляється.

При $1 \leq k \leq K_{\max} - 2$

$$\bar{I}_k(h, x_k) = \begin{cases} b_{k+1}h, & \text{при } x_k \geq h, \\ b_{k+1}x_k + \bar{I}_{k+1}(h - x_k), & \text{при надходженні запиту, } x_k < h, \\ b_{k+1}x_k + \bar{I}_{k-1}(h - x_k), & \text{при вибутті абонента, } x_k < h. \end{cases}$$

Управління доступом абонентів до мережі можна здійснити за допомогою алгоритмів, які засновані на оцінці повної потужності [13, 14]. В основу даних алгоритмів покладена умова, при якій новий користувач не одержує доступу до радіомережі у висхідному напрямку, якщо очікуваний рівень сумарних перешкод перевищить деяке граничне значення $I_{\text{поточне}} + \Delta I > I_{\text{порог}}$.

Порогове значення $I_{\text{порог}}$ визначає максимально допустимий рівень перешкод у радіомережі й може бути визначений при її плануванні. Збільшення перешкод ΔI повинне включатися в бюджет радіоресурсу як запас перешкодозахищеності. Принцип оцінки повної потужності перешкод лежить в основі розглянутих алгоритмів. Алгоритм управління доступом у висхідному каналі оцінює збільшення потужності перешкод ΔI при зростанні навантаження ΔL відповідно до кривої навантаження. При цьому використовуються два різних способи оцінки, основне завдання яких – оцінити приріст ΔI потужності сумарних перешкод у висхідному каналі I_{total} через появу нового користувача.

Обидва способи враховують криву навантаження й ґрунтуються на обчисленні похідної перешкод відносно коефіцієнта навантаження у висхідному каналі $\eta - dI_{\text{total}}/d\eta$, яку можна визначити в такий спосіб:

$$\frac{dI_{\text{total}}}{d\eta} = \frac{P_N}{(1-\eta)^2}.$$

Дані обчислення ґрунтуються на тому факті, що перевищення рівня сумарних перешкод над рівнем шуму P_N дорівнює

$$\frac{I_{\text{total}}}{P_N} = \frac{1}{1-\eta} \quad \text{і, отже,}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{P_N}{1-\eta}.$$

Перший спосіб ґрунтується на методі диференціювання. Припускаючи, що $\frac{\Delta I}{\Delta L} = \frac{dI_{\text{total}}}{d\eta}$,

можна представити рівняння, що описує розглянутий

алгоритм: $\Delta I = \frac{dI_{\text{total}}}{d\eta} \Delta L$. Цей вираз може бути

доведений до вигляду $\Delta I = \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \Delta L$, тобто

$$\Delta I = \frac{I_{\text{total}}}{1-\eta} \Delta L.$$

Другий спосіб ґрунтується на методі інтегрування, при якому похідна перешкод відносно коефіцієнта навантаження інтегрується так [14]:

$$\Delta I = \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} dI_{\text{total}} = \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} \frac{P_N}{(1-\eta)^2} d\eta. \quad \text{З урахуванням}$$

зроблених раніше зауважень цей вираз приводиться до вигляду

$$\Delta I = \frac{P_N}{1-\eta-\Delta L} - \frac{P_N}{1-\eta} = \frac{\Delta L}{1-\eta-\Delta L} \cdot \frac{P_N}{1-\eta} = \frac{I_{\text{total}}}{1-\eta-\Delta L} \Delta L.$$

У наведених виразах вважається, що $\eta = \eta_{\text{поточне}}$ та $\eta_{\text{нове}} = \eta + \Delta L$. Зміна коефіцієнта навантаження у спадному каналі за рахунок додаткового абонента обчислюється відповідно до виразу $\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{v \cdot E_b / N_0 \cdot R}}$, де W – швидкість

маніпуляції (передавання чипів); R – швидкість передавання даних нового користувача; E_b / N_0 – необхідне відношення E_b / N_0 нового з'єднання з заданою якістю послуг; v – передбачувана активність нового з'єднання.

Алгоритми управління доступом у спадному напрямку аналогічні розглянутим вище, тобто абонент одержує доступ до мережі, якщо передбачувана повна потужність передавання в спадному каналі не перевищує заздалегідь певну задану величину $P_{\text{поточне}} + \Delta P > P_{\text{порог}}$. Порогове значення $P_{\text{порог}}$ встановлюється при плануванні радіомережі.

При реалізації алгоритмів, які засновані на оцінці пропускної спроможності, новий абонент не допускається до радіомережі, якщо

$\eta_{UL} + \Delta L > \eta_{UL_порог}$, у спадному каналі
 $\eta_{DL} + \Delta L > \eta_{DL_порог}$, де η_{UL} і η_{DL} – відповідно
 коефіцієнти навантаження у висхідних і спадних
 каналах перед допуском до мережі нового абонента;
 ΔL – коефіцієнт навантаження нового абонента.

У висхідних і спадних напрямках, що, можуть бути
 використані різні алгоритми управління доступом до
 мережі.

Управління навантаженням мережі. Однією з
 важливих функцій управління радіоресурсами 4G є
 забезпечення гарантії того, що система не буде мати
 перевантажень і буде стабільною в цьому відношенні.
 При цьому перевантаження радіомережі виключаються
 в більшості випадків, якщо мережа спланована
 правильно й алгоритми управління доступом і
 пакетами даних функціонують нормально. Разом з тим
 у випадку появи перевантаження радіомережі функції
 управління навантаженням швидко повертають її до
 стану заданого завантаження.

Можливі дії з управління навантаженням
 радіомережі з метою недопущення її перевантажень
 [15]:

- швидке регулювання навантаження в спадному
 каналі за рахунок відміни команд зі збільшення
 потужності в спадному каналі, прийняті від
 абонентського терміналу;

- швидке регулювання навантаження у висхідному
 каналі за рахунок зменшення заданого (необхідного)
 значення E_b/N_0 для швидкого управління
 потужністю випромінювання у спадному каналі;

- зменшення пропускної спроможності для
 трафіка;

- естафетна передача управління на іншу несучу у
 виділеній смузі частот для мережі 4G;

- зменшення швидкостей передавання даних у
 реальному масштабі часу;

- контрольована втрата викликів.

Перші дві дії виконуються в базовій станції і є
 порівняно швидкими. Вони можуть здійснюватися в
 межах одного часового слоту і забезпечувати швидке
 встановлення пріоритетів для різних послуг.
 Збільшення миттєвої ймовірності появи помилок у
 тимчасових кадрах, не чутливих до затримки, може
 бути допущене для підтримки якості тих послуг, які не
 можуть допустити повторне передавання.

Інші дії з управління навантаженням у мережі, як
 правило, є більш повільними. Передавання управління
 між частотами й між системами може також
 використовуватися для балансування навантаження і
 його управління. Критичною дією з управління
 навантаженням у мережі є відключення користувачів
 послуг, що надаються в реальному часі, з метою
 зниження навантаження в радіомережі, що може
 відбуватися у винятково рідких випадках.

Висновки

З метою забезпечення якості послуг передавання
 даних у комп'ютерній системі критичного
 застосування на базі мережі 4G у статті запропоновано
 алгоритми управління доступом до мережі, які
 засновані на оцінці повної потужності та пропускної
 спроможності. Розглянуто функції управління
 радіоресурсами мережі 4G та сформульовано можливі
 дії з управління навантаженням радіомережі з метою
 недопущення її перевантажень при підключенні нових
 абонентів до мережі.

Список використаних джерел

1. Horvath G. End-to-end QoS signaling for LTE / Geza Horvath, Peter Fazekas // Telecommunications Forum (TELFOR), 2013. – 21 st.
2. Sajid Mushtaq M. QoS-Aware LTE Downlink Scheduler for VoIP with Power Saving. /M. Sajid Mushtaq, Abdussalam Shahid, Scott Fowler // Computational Science and Engineering (CSE), 2012 IEEE 15th International Conference on.
3. Matthew K. Luka. Call admission control techniques for 3GPP LTE: A survey. /Matthew K. Luka ; Aderemi A. Atayero ; Oluwadamilola I. Oshin// SAI Computing Conference (SAI), 2016.
4. Mehmet Koseoglu. Pricing-Based Load Control of M2M Traffic for the LTE-A Random Access Channel. IEEE Transactions on Communications, Vol. 65, Issue: 3, 2017.
5. Mehdi Alasti. Quality of Service in WiMAX and LTE Networks / Mehdi Alasti, Behnam Neekzad, Jie Hui, Rath Vannithamby // IEEE Communications Magazine, 2010.
6. Ekstrom H. QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System. IEEE Commun. Mag., Feb. 2009. – P. 76-83.
7. Баяр, В. Б. Анализ требований к качеству обслуживания при доставке мультимедийного контента сетями LTE. Тенденции развития конвергентных сетей: решения пост-NGN, 4G и 5G // Международный Союз Электросвязи Государственный Университет Телекоммуникаций, 2016. – С. 8.
8. Кононенко, Л. А. Розподіл радіоресурсу прямого каналу системи з OFDMA для двох стільників при забезпеченні необхідного QoS [Текст] / Л. А. Кононенко, С. О. Кравчук // Матеріали наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій". – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – С. 72.
9. Общая структура сети LTE. Сотовая связь – взгляд профессионалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sotsprof.net>.
10. Khdhir R. Allocation algorithm based on CAC Scheme for LTE Network / Radhia Khdhir, Kais Mnif, Khitem Ben Ali, Lotfi Kammoun // International Journal of Computer Science and Network Security, 2016. – Vol.16. – No.6.

11. Chowdhury, M.Z., Yeong, M.J., Haas, Z.J.: Call Admission Control based on Adaptive Bandwidth Allocation for Multi-Class Services in Wireless Networks. In: Proc. of the 1st International Conference on Information and Communication Technology Convergence, Jeju Island, Korea, P. 358–361 (2010);
12. Argiriou N. Channel sharing by rate-adaptive streaming applications / N. Argiriou, L. Georgiadis // Electrical and computer engineering dept., 2003.
13. Stasiak, M., Glabowski, M., Wisniewski, A., Zwierzykowski, P.: Modelling and Dimensioning of Mobile Wireless Networks: from GSM to LTE. Johns Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2010.
14. 3GPP 36.300: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). Overall Description; Stage 2 (Release 11), 2012.
15. Pratas N. K. Random access procedures and radio access network (RAN) overload control in standard and advanced long-term evolution (LTE and LTE-A) networks/ Nuno K. Pratas, Henning Thomsen and Petar Popovski // RAN World. Режим доступа: <http://www.ranworldvent.com/resources/white-papers/random-access-procedures-and-ran>.

Семенов С.Г., Липчанская О.В. Метод управления доступом в компьютерной системе критического применения на базе сети 4G. В статье предложен метод управления доступом в компьютерной системе критического применения на базе сети 4G для обеспечения качества услуг передачи данных. Предложено выполнять адаптацию ресурсов радиоканала к задаваемым требованиям по качеству услуги передачи данных с помощью алгоритмов управления доступом к сети, управления загрузкой сети и перераспределения загрузки в сети. Приведены необходимые математические обоснования.

Ключевые слова: качество услуг передачи данных, управление доступом к сети, загрузка сети, сеть 4G.

Semenov S.G., Lipchanska O.V. The method of access control in the mission-critical computer system on the basis of 4G network. The main feature of the 4G network for quality of services management is the adaptation of the radio channel resources to the specified requirements for the quality of the service provided. The article proposes a method of the access control in a mission-critical computer system on the basis of 4G network to ensure the quality of data transmission services in a mission-critical computer system based on the 4G network. It is proposed to perform the adaptation of the radio channel resources to the specified requirements for the quality of the data transmission service using network access control

algorithms, network load control algorithms and load network redistribution algorithms. We propose network access control algorithms based on the estimation of full power and bandwidth. The control functions of 4G radio resources are considered and the possible actions on controlling the load of the radio network are formulated in order to prevent its overloads when new subscribers connect to the network. The necessary mathematical basing is given.

Keywords: quality of data transmission services, network access control, network loading, 4G network.

Надійшла 26.09.2017 р.

*Семенов Сергій Геннадійович, с.н.с., доктор технічних наук, завідувач кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, E-mail: s_semenov@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0003-4472-9234>*

*Ліпчанська Оксана Валентинівна, аспірант кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна. E-mail: lipchoks@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-4173-699X>*

*Semenov Sergiy Gennadiyovich, senior researcher, Doctor of technical sciences, head of the department "Computer Engineering and Programming", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine. E-mail: s_semenov@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0003-4472-9234>*

*Lipchanska Oksana Valentinivna, postgraduate, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Computer Engineering and Programming, Kharkiv, Ukraine. E-mail: lipchoks@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-4173-699X>*