

2. Соловська І.М., Бірюков С.В., Гонсіоровський Д.М., Гуцова К.С, Золотухін Р.В., Фомичов П.А. Дослідження трафіка мережі LTE/MVNO при сумісній експлуатації декількома операторами мобільного зв'язку. Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова 2012'1 - ОНАЗ ім. О.С.Попова Одеса, 2012 – С. 167-176.

3. STANAG 4677 : 2014 Dismounted soldier systems standards and protocols for command, control, communications and computers(C4) interoperability./ NATO 2014.

4. Стрелковська І.В. Теорія ймовірностей та випадкові процеси: навч. посіб. [для фахівців у ІТ-галузі] / І.В.Стрелковська, В.М. Паскаленко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2018. – 384 с.

УДК 621.391.8

*д. т. н., проф. Стрелковська І. В.,
аспірант Толмак В. Є.,
студ. Клименко К. Г.,
ОНАЗ ім. О.С. Попова
katyaklem@gmail.com*

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У МЕРЕЖІ 5G/NR НА БАЗІ ТЕНЗОРНОГО АНАЛІЗУ

***Анотація.** У роботі розглядається мережа мобільного зв'язку 5G/NR, яка дозволяє розширити спектр високошвидкісних послуг. Рекомендацією 3GPP TR 38.913 визначено групу послуг мережі 5G з відповідними показниками часу затримки пакетів. Запровадження таких послуг вимагає від оператора забезпечення необхідних значень характеристик якості обслуговування QoS. З метою підтримки QoS різних груп послуг в мережі 5G/NR використовують метод декомпозиції, за допомогою якого можливо створювати топологічну конфігурацію мережі для різних умов надання послуг. В роботі досліджується одна з характеристик QoS – середній час затримки пакетів за допомогою тензорного аналізу та декомпозиції.*

Базована на технології New Radio, мережа мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G/NR), дає операторам можливість розширити спектр наданих високошвидкісних послуг. Рекомендацією 3GPP TR 38.913 визначено групи послуг мережі 5G з відповідними значеннями часу затримки пакетів, таких як eMBB, mMTC та URLLC [1-2].

Архітектура мережі 5G/NR (згідно Rel. 15) базується на програмно-конфігурованій мережі радіодоступу SDR та опорній мережі SDN. Також використовуються процедури віртуалізації мережних функцій. У мережі 5G/NR використовується технологія Network Slicing, яка забезпечує підтримку характеристик QoS для різних груп послуг [1-2], а також дозволяє створювати топологічні конфігурації мережі для різних умов надання послуг.

У роботі досліджено середній час затримки пакетів в мережі 5G/NR. Для рішення цієї задачі використовується тензорний контурний метод на основі декомпозиції.

Розглянемо декілька робіт пов'язаних з процедурою реалізації Network Slicing. Для знаходження характеристик QoS в роботі авторів [3] пропонують використовувати апарат теорії телетрафіку, в роботі [4] запропоновано методи теорії гри та нечітких множин, але ці методи не дозволяють одночасно розглянути архітектуру мережі та досліджувати її характеристики. Для того щоб досліджувати структуру та характеристики мережі одночасно, у даній роботі пропонується використати тензорний контурний метод дослідження, запропонований авторами в роботах [5-7]. Як у роботі [7], розглянемо складну архітектуру мережі 5G/NR та використаємо метод декомпозиції.

Розглянемо фрагмент мережі 5G/NR у вигляді графу $G(N, V)$, який складається з $N = \{ N_j, j = \overline{1,16} \}$ базових станцій, та $V = \{ V_i, i = \overline{1,26} \}$ трактів передачі.

Відомо:

– значення середнього часу затримки пакетів T_{vk} в трактах взаємодії між базовими станціями кожної підмережі (мс), $k = \overline{1,4}$:

$$\begin{aligned}
 T_{v1} &\approx \begin{pmatrix} 0,011 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,043 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,015 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,033 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,014 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,025 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 \end{pmatrix}, & T_{v2} &\approx \begin{pmatrix} 0,017 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,042 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,025 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,036 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,017 \end{pmatrix}, \\
 T_{v3} &\approx \begin{pmatrix} 0,013 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,017 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,031 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,004 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,028 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,013 & 0 \end{pmatrix}, & T_{v4} &\approx \begin{pmatrix} 0,011 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,022 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,045 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,013 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,014 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,007 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,015 \end{pmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

– граф мережі (рис. 1).

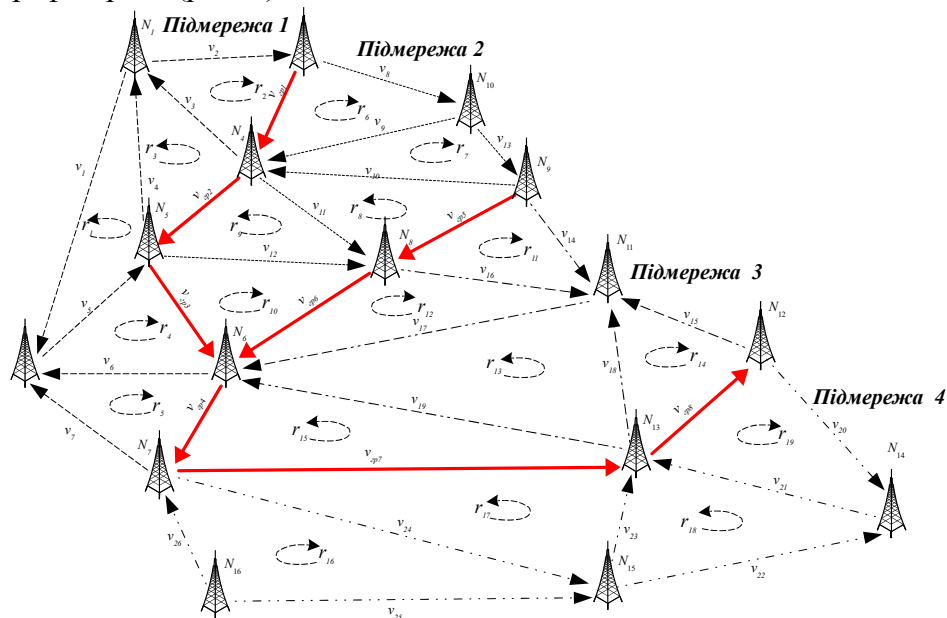


Рисунок 1 – Фрагмент мережі 5G/NR

Необхідно знайти значення середнього часу затримки пакетів:

- в контурах кожної підмережі T_{rk} (мс), де $k = \overline{1,4}$;
- в граничних гілках кожної підмережі T_{rpqk} (мс), да $k = \overline{1,4}$;
- в граничних гілках для мережі в цілому T_{rpvq} (мс), де $q = \overline{1,8}$.

Розділимо фрагмент заданої мережі (рис. 1) на чотири окремих підмережі ($k = 4$). На перетині підмереж утворились граничні об'єкти. Отже, на графі мережі буде вісім граничних гілок v_{rpq} , $q = \overline{1,8}$, 14 граничних контурів r_g . Запишемо граничні контури для кожної підмережі:

- в першу підмережу входять граничні контури r_2, r_3, r_4, r_5 ;
- в другу підмережу входять граничні контури r_6, r_8, r_9, r_{10} ;
- в третю підмережу входять граничні контури $r_{11}, r_{12}, r_{14}, r_{15}$;
- в четверту підмережу входять граничні контури r_{17}, r_{19} .

Запишемо належність граничних гілок до підмереж:

- граничні гілки $v_{ep_1}, v_{ep_2}, v_{ep_3}$ входять в першу та в другу підмережі;
- гранична гілка v_{ep_4} входить в першу та третю підмережу;
- граничні гілки v_{ep_5} та v_{ep_6} входять в другу та третю підмережі;
- граничні гілки v_{ep_7} та v_{ep_8} входять в третю та четверту підмережі.

Запишемо базисні матриці перетворень B_k для наведеної розподіленої мережі, де $k = \overline{1,4}$ для кожної з підмереж, згідно з рис. 1 та заданих напрямків передачі трафіку. Потрібно врахувати, що базисні матриці описують відношення між контурами кожної підмережі та граничними гілками цієї підмережі [8].

$$b_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_i \in r_j, \text{ та напрямок тракту } v_i \text{ співпадає з напрямком контуру } r_j; \\ -1, & \text{якщо } v_i \in r_j, \text{ та напрямок тракту } v_i \text{ не співпадає з напрямком контуру } r_j; \\ 0, & \text{якщо } v_i \notin r_j. \end{cases} \quad (2)$$

де b_{ij}^k – відповідні елементи матриць B_k , де $k = \overline{1,4}$.

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, B_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

У наведених матрицях елементи стовпців – номери контурів підмережі, строки – номери гілок цієї підмережі

Для знаходження середнього часу затримки пакетів T_{rk} кожної підмережі скористаємось формулою [5-6]:

$$T_{rk} = B_k^t T_{vk} B_k, \quad (4)$$

де B_k – базисна матриця перетворень, яка визначає відношення між контурами кожної підмережі та граничними гілками цієї підмережі, T_{vk} – значення середнього часу затримки пакетів в трактах кожної підмережі, t – знак транспонування.

Розрахуємо середній час затримки пакетів T_{rk} кожної підмережі та зведемо отримані значення у таблицю 1.

Таблиця 1 – Значення середнього часу затримки пакетів T_{rk} в контурах кожної підмережі,

мс							
Підмережа 1		Підмережа 2		Підмережа 3		Підмережа 4	
τ_{r_1}	0,058	τ_{r_6}	0,059	$\tau_{r_{11}}$	0,044	$\tau_{r_{16}}$	0,036
τ_{r_2}	0,058	τ_{r_7}	0,084	$\tau_{r_{12}}$	0,035	$\tau_{r_{17}}$	0,027
τ_{r_3}	0,048	τ_{r_8}	0,033	$\tau_{r_{13}}$	0,045	$\tau_{r_{18}}$	0,08
τ_{r_4}	0,039	τ_{r_9}	0,044	$\tau_{r_{14}}$	0,045	$\tau_{r_{19}}$	0,033
τ_{r_5}	0,026	$\tau_{r_{10}}$	0,036	$\tau_{r_{15}}$	0,013	–	–

Розглянемо граф мережі за допомогою базисних матриць $A_k^{(l)}$. У роботі використовуються три типи базисних матриць, що визначають опис кожної підмережі, де $k = \overline{1,4}$, $l = \overline{1,3}$: $A_k^{(1)}$ – матриці елементи яких, визначають відношення між контурами та граничними контурами; $A_k^{(2)}$ – матриці елементи яких, визначають відношення між граничними контурами та граничними гілками; $A_k^{(3)}$ – матриці елементи яких, визначають відношення між граничними гілками підмережі та усіма граничними гілками мережі.

Елементи матриць A_k , де $k = \overline{1,4}$, можна розрахувати за формулами [8].

$$a_{mg}^{(1)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } r_m = r_g; \\ 0, & \text{якщо } r_m \neq r_g, \end{cases} \quad a_{zpk_qg}^{(2)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_{zpk_q} \in r_g; \\ 0, & \text{якщо } v_{zpk_q} \notin r_g, \end{cases} \quad a_{zpk_qzpq}^{(3)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_{zpk_q} \in v_{zpq}; \\ 0, & \text{якщо } v_{zpk_q} \notin v_{zpq}, \end{cases} \quad (5)$$

де $a_{mg}^{(1)}$, $a_{zpk_qg}^{(2)}$, $a_{zpk_qzpq}^{(3)}$ – відповідні елементи матриць, r_m – контури підмережі, r_g – граничні контури підмережі, v_{zpk_q} – граничні гілки, що входять в підмережу, v_{zpq} – усі граничні контури мережі.

$$A_1^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_3^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_4^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

$$A_1^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_2^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_3^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_4^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

$$A_1^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_2^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_3^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$A_4^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для знаходження середнього часу затримки для граничних гілок кожної під мережі T_{zpvk} потрібно знайти матрицю A_k . Матриця A_k описує кожну підмережу у відповідності до граничних контурів та гілок.

$$A_k = A_k^{(1)} \cdot A_k^{(2)} \cdot A_k^{(3)}, \quad (9)$$

де $k = \overline{1,4}$.

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Знайдемо середній час затримки пакетів для граничних гілок T_{zpvk} кожної підмережі та зведемо отримані значення у таблицю 2.

$$T_{zpvk} = A_k^t \cdot T_{rk} \cdot A_k + T_{zpk}, \quad (11)$$

де A_k – матриця, яка описує кожну підмережу у відповідності до граничних контурів та гілок, T_{rk} – середній час затримки пакетів кожної підмережі, T_{zpk} – вихідні значення затримок в граничних гілках, t – знак транспонування.

Будемо вважати, що обслуговування потоку трафіку в граничних гілках відбувається без затримок, тобто значення затримок в граничних гілках $T_{zpk} = 0$.

Таблиця 2 – Значення середнього часу затримок T_{epvqk} пакетів в граничних гілках кожної під мережі 5G/NR, мс

Підмережа 1							
τ_{v1}	τ_{v2}	τ_{v3}	τ_{v4}	τ_{v5}	τ_{v6}	τ_{v7}	τ_{v8}
0,058	0,048	0,039	0,026	—	—	—	—
Підмережа 2							
τ_{v1}	τ_{v2}	τ_{v3}	τ_{v4}	τ_{v5}	τ_{v6}	τ_{v7}	τ_{v8}
0,059	0,044	0,036	—	0,033	0,036	—	—
Підмережа 3							
τ_{v1}	τ_{v2}	τ_{v3}	τ_{v4}	τ_{v5}	τ_{v6}	τ_{v7}	τ_{v8}
—	—	—	0,013	0,044	0,035	0,013	0,045
Підмережа 4							
τ_{v1}	τ_{v2}	τ_{v3}	τ_{v4}	τ_{v5}	τ_{v6}	τ_{v7}	τ_{v8}
—	—	—	—	—	—	0,027	0,033

Для знаходження середнього часу затримки пакетів T_{epmvq} в граничних гілках мережі використовуємо формулу:

$$T_{epmvq} = T_{epvq1} + T_{epvq2} + T_{epvq3} + T_{epvq4} \quad (12)$$

де T_{epvqk} – значення середнього часу затримок пакетів в граничних гілках кожної підмережі, де $k = \overline{1,4}$.

Таблиця 3 – Результати розрахунків часу затримки пакетів T_{epmvq} в граничних гілках мережі, мс

τ_{epmv1}	τ_{epmv2}	τ_{epmv3}	τ_{epmv4}	τ_{epmv5}	τ_{epmv6}	τ_{epmv7}	τ_{epmv8}
0,117	0,092	0,075	0,039	0,077	0,071	0,04	0,078

Висновки. Дослідження характеристик якості обслуговування мережі 5G/NR з використанням тензорного контурного методу на основі декомпозиції дозволяє отримати значення часу затримки пакетів як для вихідної мережі в цілому, так і для окремих її частин, таких як, виділені підмережі та граничні об'єкти мережі. Отримані результати можна використовувати на практиці, а саме для проектування та подальшої експлуатації мережі e-health, яка є дуже чутливою до затримок.

Література

- 3GPP "Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies", ETSI TR 38.913, V14.3.0, 2017. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138913/14.02.0060/tr_138913v140200p.pdf
- METIS-II project ("Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society II"), see <https://5gpp.eu/metis-ii/>
- Han B., Sciancalepore V., Costa-Pérez X., Feng D., Schotten H.D. Multiservice-based Network Slicing Orchestration with Impatient Tenants, arXiv:1909.04585v1 [cs.NI] 6 Sep 2019.
- D'Oro S., Restuccia F., Melodia T., Palazzo S. Low-Complexity Distributed Radio Access Network Slicing: Algorithms and Experimental Results, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2018.
- Стрелковская И.В. Тензорная модель исследования сети массового обслуживания // И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Цифрові технології. Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 7. – С. 81-89.
- Стрелковская И.В. Тензорный анализ качественных характеристик сети массового обслуживания // И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – Вип. 2. – С. 20-25.

7. Стрелковская И.В. Исследование характеристик качества систем сложной структуры с применением тензоров на основе декомпозиции [Электронный ресурс] / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская, Г.Г. Смаглюк // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 3(8). – С. 47-57. http://pt.journal.kh.ua/2012/3/1/123_strelkovska_tensor.pdf.

8. Стрелковська І.В. Дискретна математика // І.В. Стрелковська, А.Г. Буслаєв, О.М. Харсун // Навчальний посібник. – 2010. – С. 70.

УДК 621.391

д.т.н., проф. Стрелковська І.В., Кордон Д.В. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
yuki.akihiro.senpai@gmail.com

ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ QoS В ОБСЛУГОВУВАННІ МЕРЕЖІ LTE

Анотація. Для дослідження характеристик якості обслуговування трафіку в мережі LTE використання вузлового тензорного методу. Отримано значення двох характеристик якості QoS – часу затримки пакетів та довжини пакетної черги в об'єктах мережі LTE. Надано рекомендації щодо використання результатів дослідження деяких характеристик обслуговування трафіку мережі LTE.

Розвиток мереж мобільного зв'язку (ММЗ) в Україні відбувається сьогодні на базі технології LTE (Long Term Evolution), впровадження якої сьогодні дозволяє збільшити швидкості передачі даних та значно розширити номенклатуру послуг, яка надається в мережі. Особливістю побудови мережі радіодоступу E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial radio access network) є можливість взаємодії базових станцій eNodeB (evolved Node B) за допомогою інтерфейсу X₂. Вибір топології з'єднань між базовими станціями eNodeB базується на забезпеченні показників якості обслуговування QoS (Quality of service).

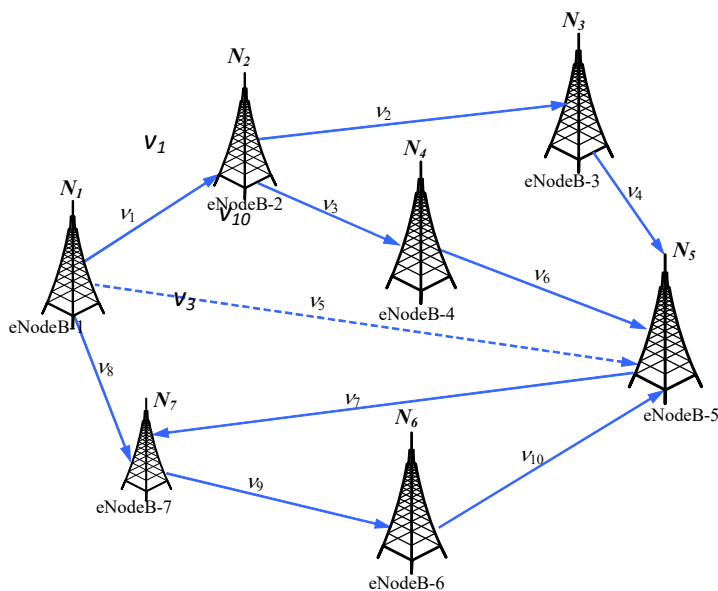


Рисунок 1 – Фрагмент мережі E-UTRAN/LTE

Розглянемо рішення задачі визначення характеристик якості обслуговування трафіку в мережі LTE, обравши для дослідження найбільш важливі для функціонування та надання послуг мережі характеристики, а саме значення часу затримки пакетів та довжини пакетної черги. Для вирішення поставленої задачі будемо використовувати вузловий тензорний метод, який дозволяє одночасно досліджувати як структуру мережі LTE так і функціональні характеристики її об'єктів [2]. В роботі [3] запропоновано використання вузлового тензорного методу для дослідження

характеристик якості QoS мережі LTE/MVNO та доведено, що результати використання цього методу дозволяють отримати результати для мережі в цілому за допомогою єдиного методу, що значно спрощує розрахунки.