

Хлапонін Ю.І., Власенко М.М., Касім Н. Х.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ТРАФІКОМ ВІД ПРИСТРОЇВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ 5G

Анотація: Сучасні мережі зв'язку, що поєднують в собі засоби прийому доставки і обробки інформації, стали невід'ємною частиною сучасного життя інформаційного суспільства. Одним з основних напрямків їх розвитку в даний час є реалізація концепції побудови Інтернету речей (IoT). Розвиток IoT включає в себе розробку як технологій отримання інформації і технологій, так і методів організації каналів зв'язку і мереж для передачі даних між елементами цих мереж. Особливості мереж IoT багато в чому визначаються особливостями прикладних завдань і сферою їх застосування. Ці особливості полягають як в способах отримання інформації та формування переданих повідомлень для їх передачі, так і в способі побудови самих мереж IoT. Однією з характерних особливостей мереж IoT є висока щільність пристроїв (мережесевих вузлів). Слід зазначити, що розподіл щільності абонентів по планеті, континентах і навіть країнах вкрай нерівномірно. Практично в будь-якій країні світу є регіони з високою і низькою щільністю передплатників. Розумно припустити, що щільність мережі IoT може мати різну щільність в різних регіонах і територіях, а також в різних умовах експлуатації. Перераховані вище особливості трафіку, а також структурні характеристики мережі IoT вимагають розробки моделей і методів, що дозволяють реалізувати функціонал IoT в різних умовах, а також забезпечити його співіснування з існуючими і майбутніми гетерогенними мережами зв'язку. Одним із найбільш популярних в зовнішніх IP-орієнтованих мережах є використання на практиці механізмів диференційованого обслуговування Diffserv. Метою роботи є забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту LTE/5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей управління трафіком, які забезпечують максимально ефективно надання їм сервісів. Головна архітектурна особливість, запропонованої моделі, що відрізняє інтелектуальну систему управління від побудованої по «традиційній» схемі, пов'язана з підключенням механізмів зберігання й обробки знань для реалізації здатностей по виконанню необхідних функцій у неповно заданих (або невизначених) умовах при випадковому характері зовнішніх впливів.

Ключові слова: Diffserv, QoS, LTE, 4G/5G.

Khlaponin Yu. I., Vlasenko M. M., Qasim N. H.

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

METHODS FOR MANAGING TRAFFIC FROM INTERNET OF THINGS DEVICES ON A 5G NETWORK

Abstract: Modern communication networks, combining methods of receiving, delivering and processing information, have become an integral part of the modern life of the information society. One of the main directions of their development at present is the implementation of the concept of building the Internet of Things (IoT). The development of IoT includes the development of both technologies for obtaining information and technologies, as well as methods for organizing communication channels and networks for transmitting data between elements of these networks. Features of IoT networks are largely determined by the features of applied tasks and their scope.

These features consist both in the ways of obtaining information and the formation of transmitted messages for their transmission, and in the way of building the IoT networks themselves. One of the characteristic features of IoT networks is the high density of devices (network nodes). It should be noted that the distribution of subscriber density across the planet, continents and countries is extremely uneven. Almost every country in the world has regions with high and low subscriber densities. It is reasonable to assume that the density of the IoT network can have different density in different regions and territories, as well as in different operating conditions. The above traffic features, as well as the structural characteristics of the IoT network, require the development of models and methods to implement the IoT functionality in various conditions, as well as ensure its coexistence with existing and future heterogeneous communication networks. One of the most popular in external IP-oriented networks is the practical use of mechanisms of differentiated service DiffServ. The purpose of the work is to ensure the quality of Internet of Things service in the LTE/5G standard network by developing and improving traffic management methods and models that ensure the most efficient provision of services to them. The main architectural feature of the proposed model, which distinguishes the intelligent control system from the one built according to the "traditional" scheme, is connected with the connection of knowledge storage and processing mechanisms to realize the ability to perform the necessary functions in incompletely specified (or uncertain) conditions with the random nature of external influences .

Keywords: DiffServ, QoS, LTE, 4G/5G.

1. Вступ

Особливості мереж IoT багато в чому визначаються особливостями прикладних завдань і сферою їх застосування. Ці особливості полягають як в способах отримання інформації та формування переданих повідомлень для їх передачі, так і в способі побудови самих мереж IoT. Останні можуть бути побудовані як мережі збору інформації (моніторингу) і як мережі розподілу інформації. Ці особливості відображаються у властивостях трафіку IoT, які необхідно враховувати при організації його обслуговування. Однією з характерних особливостей мереж IoT є висока щільність пристроїв (мережових вузлів), яка може бути у багато разів вище щільності абонентів в сучасних мобільних мережах.

Одним із найбільш популярних в зовнішніх IP-орієнтованих мережах є використання на практиці механізмів диференційованого обслуговування DiffServ. DiffServ архітектура передбачає наявність класифікаторів і формувачів трафіку на кордоні мережі, а також підтримує функцію виділення ресурсів в ядрі мережі для забезпечення необхідної покрової політики обслуговування (Per-Hop Behavior - PHB). DiffServ розділяє трафік на класи шляхом введення декількох рівнів QoS. Масштабованість архітектури DiffServ реалізується шляхом об'єднання класифікаційних ознак трафіку, при цьому інформація про тип трафіку передається в заголовку пакета IP. При цьому складні операції класифікації, маркування, визначення правил обслуговування та формування трафіку виконуються тільки на кордонах мережі або на хостах. Як ознаки приналежності IP-пакета до певного класу DiffServ використовує мітку, яка передається в поле пріоритету IP-пакета (ToS-байт), яке з появою стандартів DiffServ було перевизначено і названо DS-байт (DSCP).

Дуже часто в сучасних мережах мобільного зв'язку, зокрема у радіо сегменті виникає ситуація при якій виникають короткочасні відмови каналу за рахунок тимчасового погіршення відношення сигнал/шум різними зовнішніми факторами, інтерференція, багатопроменеве відбиття сигналів, затухання сигналу та інші, що значно впливає на якість обслуговування, оскільки забезпечити необхідну пропускну здатність на каналному рівні шляхом виділення необхідної кількості частотно-часових ресурсів в межах кадру LTE є або фізично неможливим або ресурси використовуються іншими важливими потоками в умовах низького рівня сигнал/шум та відповідно виділення низького індекса показника якості каналу CQI (Channel Quality Indicator).

2. Аналіз

Характеристики трафіку, протоколи його обслуговування в мережах зв'язку, методи вибору структури завжди були найважливішими об'єктами дослідження для будь-яких, мереж зв'язку. В останні роки досягнуто значного прогресу в області досліджень мереж Інтернету речей, опубліковано відносно велику кількість робіт на цю тему. Серед робіт вітчизняних і зарубіжних авторів відзначимо праці К. Я. Бортника, О. А. Баранова, С. М. Брайчевського, А. П. Гненного, Ю. Є. Грудзинського, А. М. Давидюк, Н. О. Іванченка, Е. О. Ким, О. В. Мнушка, Р. Д. Сердюкова, О. С. Єременко, Р. С. Одарченка, І. М. Срібна, М. І. Бешлей, І. М. Журавська, О. О. Манько, К. Ванга, Т. Чжана, Г. Мессьє, І. Г. Фінверса і багатьох інших. Їх робота дозволила оцінити можливості мереж зв'язку для передачі трафіку, знайти нові підходи до побудови архітектури бездротових мереж Інтернету речей, до вирішення завдань забезпечення якості обслуговування. Однак слід зазначити, що спектр завдань при побудові мереж IoT надзвичайно широкий. Це визначається широким спектром застосування таких мереж, а також існує велика необхідність в розробці відповідних моделей і методів вирішення цих завдань або виступати в якості альтернативних рішень. Незважаючи на результати, досягнуті в напрямку розробки моделей і методів побудови мереж IoT, наукова робота ведеться безперервно, про що свідчить велика кількість публікацій. У дисертації розробляються моделі трафіку IoT, аналізується його вплив на якість функціонування мереж зв'язку, а також розробляються методи обслуговування трафіку і вибору структури мереж IoT.

3. Мета дослідження

Метою є забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту LTE/5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей маршрутизації та управління організацією доставки повідомлень в мережах Інтернету речей. Для досягнення поставленої мети послідовно вирішуються наступні завдання:

- аналіз тенденцій розвитку Інтернету речей;
- аналіз технологій побудови мереж Інтернету речей;
- розробка моделі трафіку Інтернету речей;
- аналіз впливу трафіку Інтернету речей на якість обслуговування та властивості трафіку в мережах зв'язку;
- розробка методу маршрутизації трафіку в мережі Інтернет речей;
- розробка методу вибору місць розташування шлюзів в мережі Інтернет речей;
- розробка методу організації мережі Інтернету речей як мережі, толерантної до затримок.

4. Результати

Короткочасні відмови особливо негативно впливають на потоковий трафік реального часу, який чутливий до часових параметрів якості обслуговування (затримки та джитеру), оскільки у такому випадку виникає ситуація коли за рахунок нестабільного радіоканалу появляються на мережевому рівні ефекти джитеру та затримки в процесі переходу та формуванні IP пакетів із нижнього рівня на верхній мережевий окремій частині пакетів.

Для вирішення вище згаданого недоліку у роботі пропонується проводити узгоджене управління ресурсами та трафіком на рівні базової станції, ядра мережі та зовнішніх IP-орієнтованих мереж. Відповідно нова концептуальна модель програмно-конфігурованої мережі мобільного зв'язку з наскрізним адаптивним управлінням ресурсами та інформаційними потоками показана на рис. 1.

Мається на увазі у випадку коли через нестабільності радіоканалу, на мережевому рівні виникають тимчасові затримки та джитер для певної кількості пакетів потокового трафіку реального часу. У роботі пропонується для пакетів, що зазнали негативного впливу, на мережевому рівні проводити свого роду швидше обслуговування у вузлах мережі. За рахунок надання вищого пріоритету обслуговування пакетам, що "спізнюються" шляхом динамічної

модифікації поля DSCP в заголовках пакету, шляхом P-GW. Модель вузла IP мережі з удосконаленим алгоритмом пріоритетного обслуговування пакетів показано на рис. 2.

Проблему виникнення високого ризику подавлення менш пріоритетних потоків потоками з найвищим пріоритетом, що також є актуальним для пакетів, що спізнюються пропонується вирішити шляхом встановлення для кожної зони пріоритетності буферного ресурсу свій допустимий лічильник часу затримки пакетів, який на основі аналізу чотирьох рівнів затримок t_1, t_2, t_3, t_4 маркуватиме пакети, шляхом встановлення двох зарезервованих (не використаних) останніх бітів у полі DSCP та обслуговуватиме їх в залежності від встановленої кодової комбінації. $t_1 = T_{доп} * 70\% - \text{xxxxxxx}00$, $t_2 = T_{доп} * 80\% - \text{xxxxxxx}01$, $t_3 = T_{доп} * 90\% - \text{xxxxxxx}10$, $t_4 = T_{доп} * 100\% - \text{xxxxxxx}11$. Таким чином, для пакетів час затримки буферизації, яких досягнув критичного рівня $t_4 = T_{доп} * 100\%$ отримує найвищий пріоритет обслуговування на всьому шляху передавання до пункту призначення (адресата) і не піддається буферизації у вузлах. З метою покращення якості пропонується в коді DSCP динамічно встановлювати різні комбінації шляхом заміни 4-го, 5-го, 6-го бітів з різними ймовірностями відкидання пакетів.

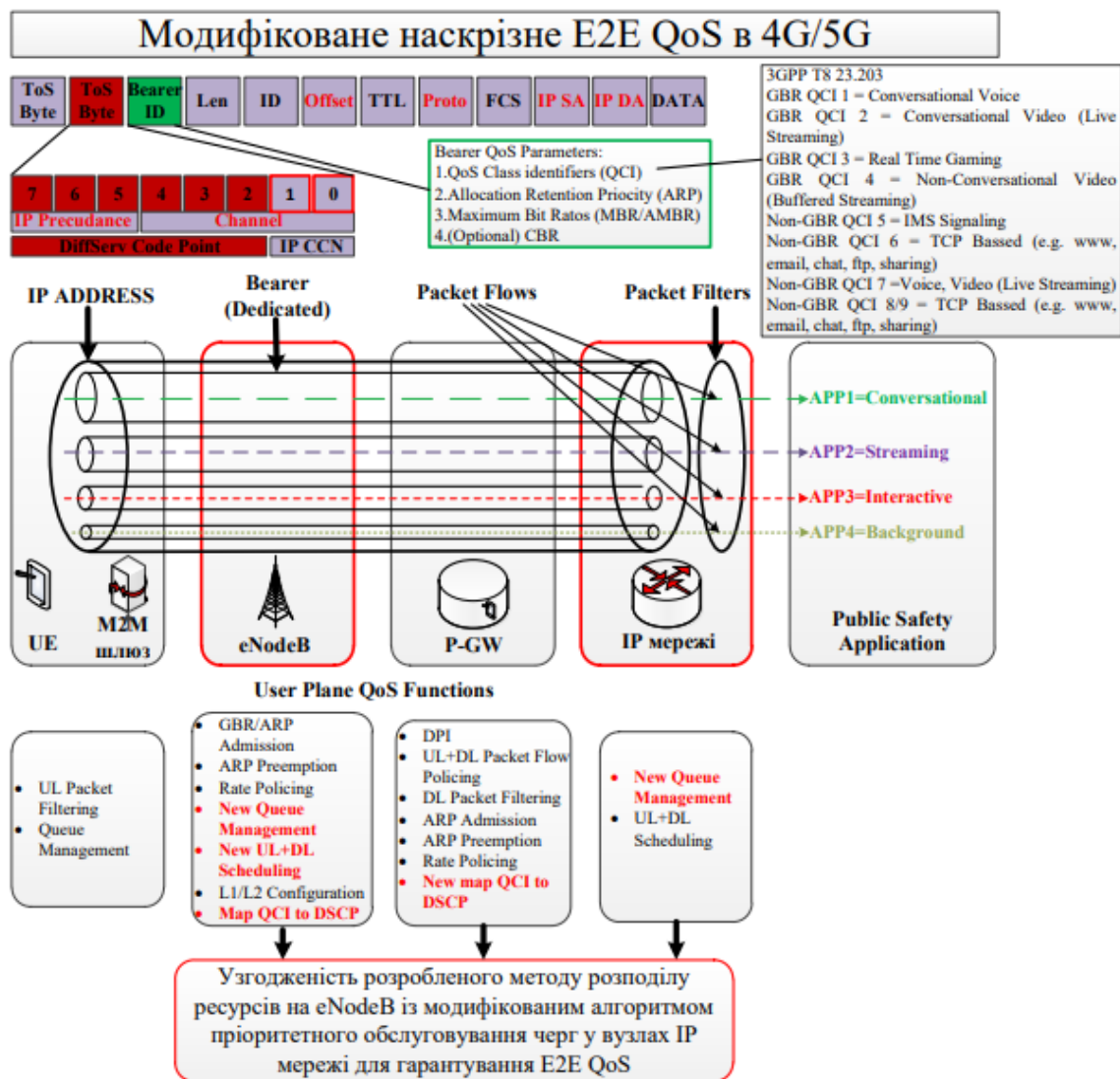


Рис. 1. Нова концептуальна модель програмно-конфігурованої мережі мобільного зв'язку

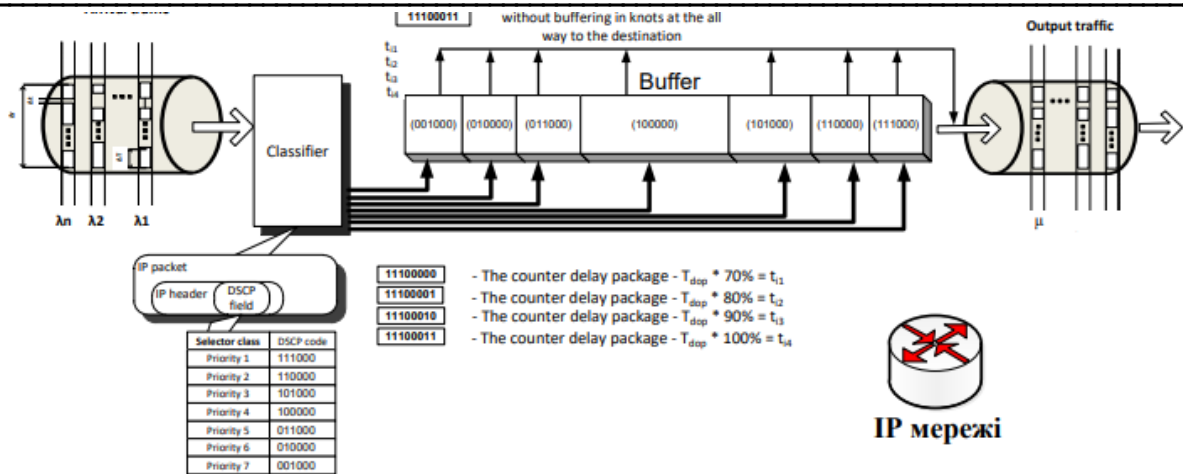


Рис. 2. Модель вузла IP мережі з удосконаленим алгоритмом пріоритетного обслуговування пакетів

За допомогою розробленої методології операторам стільникового зв'язку вдається підвищити ефективність функціонування своїх мереж за рахунок збільшення радіусу зон обслуговування абонентів стільникових мереж до 80%, мінімізації необхідної кількості базових станцій для побудови мережі, збільшення вдвічі кількості активних абонентів, які обслуговуються в стільнику та забезпечення балансування навантаження в радіопідмережі, підвищення економічної ефективності транспортної мережі, підвищення рівня надійності та захищеності мережі, оптимізацію утилізації транспортних каналів до 70-80%, проведення більш гнучкого та оперативного розширення мережі, запровадження нових сервісів, підвищення оперативності доставки даних до 2,1 разів для ієрархічної структури рівня управління.

Одне з найважливіших питань, які вирішуються у роботі, є забезпечення якості та гнучкості надання сервісів користувачам в гетерогенній мобільній мережі LTE. Проте в умовах збільшення різновиду M2M трафіку і мобільних пристроїв, зростають вимоги до QoS. При забезпеченні необхідної кількості частотно-часових ресурсів для UE та M2M актуальним постає завдання оптимального розподілу в умовах їх обмеженості. Для цього в першу чергу потрібно формалізувати модель процесу розподілу ресурсів радіомережі.

Важливою відмінною рисою безпроводних каналів зв'язку є нестабільність його характеристик як і в часовій, так і в частотній області. Дана нестабільність викликана наявністю перешкод від роботи інших систем зв'язку, мобільністю користувача, і його оточення та ін. Даний факт призводить до того, що для одного абонента в різних ресурсних блоках може бути переданий різний обсяг даних. Для кожного ресурсного блоку на базовій станції обчислюється загасання поширення сигналу на основі інформації від службових каналів зв'язку. Для опису якості каналу на верхніх рівнях базової станції, отримане значення загасання сигналу для конкретного ресурсного блоку та абонента перетвориться в кодо-модуляційну схему. Кодо-модуляційна схема (Modulation Code Scheme або MCS) - комбінація модуляції (QPSK, QAM-16, QAM-64) і налаштувань завадостійкого кодування.

модель передбачає, що користувачі та M2M шлюзи можуть знаходити в різних умовах безпроводного каналу, викликані віддаленістю від базової станції, рухом абонента і забудовою місцевості. Послідовно розглянемо висхідні і низхідні безпроводні канали. В сучасних мобільних системах зв'язку завантаженість висхідного каналу є меншою в порівнянні з низхідною лінією зв'язку. Як наслідок, висхідний канал зв'язку вважається надійним і затримкою передавання запитів на сегменти потокового відео можна знехтувати. Проте дані послуг M2M в більшості передаватимуться по висхідному каналі, що в умовах високої популярності та інтенсивності таких сервісів вимагатиме нових підходів щодо оброблення сигналізаційних даних базовою станцією LTE та розподілу ресурсів. Аналітична модель приділяє велику увагу низхідному та висхідному каналу зв'язку, так як від його продуктивності

залежить задоволеність користувачів в мережі. У даній роботі формалізовано модель радіоканалу, що володіє наступною властивістю.

Припущення 1: загасання при поширенні сигналу відбувається однаково по всій ширині смуги передавання даних для конкретного користувача UE та M2M шлюза в одному моменті часу. У реальній системі дане припущення призводить до рівності значень обраних кодо-модуляційних схем для всіх ресурсних блоків в рамках одного субкадра конкретного користувача. Наслідком рівності кодо-модуляційних схем є можливість передавання однакового обсягу даних для всіх ресурсних блоків в субкадрі. Таким чином, стан безпроводного каналу користувача та M2M шлюза і можна охарактеризувати максимально можливою швидкістю каналу.

Твердження 1. Максимально досяжна швидкість каналу користувача та M2M шлюза (і) це швидкість передавання даних по безпроводному каналу, якщо всі доступні ресурси були виділені i -му користувачу та M2M пристроям. Дана величина є аналогічною швидкості передавання даних, за умови, що i -й користувач UE/M2M шлюз знаходиться один на обслуговування в комірці LTE мережі. В подальшому максимально можливу швидкість каналу користувача UE чи M2M шлюза позначатимемо, як C_i . Для кожного користувача та M2M шлюза і існує випадковий процес зміни загасання при поширенні сигналу і завмирань від часу $L_i(t)$. На основі значення $L_i(t)$ в момент часу t на базовій станції підбирається кодо-модуляційна схема, таким чином, що ймовірність помилки при передаванні даних є знехтуваною малою величиною. Обрана кодо-модуляційна схема визначає максимальну пропускну здатність каналу $C_i(t)$ в момент часу t . Передбачається, що стан безпроводного каналу змінюється таким чином, що в перебігу завантаження чи вивантаження із шлюза пакета k з сегмента j максимально досяжна швидкість каналу користувача та M2M шлюза і постійна:

$$C_i(t) = C_{i,j,k}, t_{i,j,k} \leq t \leq t_{i,j,k} + \Delta t_{i,j,k} \quad (1)$$

де $t_{i,j,k}$ - момент часу початку завантаження користувачем та M2M шлюзом і пакета k з сегмента j ,

$\Delta t_{i,j,k}$ - тривалість завантаження користувачем та M2M шлюзом і пакета k з сегмента j ,

$C_{i,j,k}$ - максимально можлива швидкість каналу користувача та M2M шлюза i протягом завантаження пакету k з сегмента j .

Після визначення структури безпроводного каналу необхідно привести опис того як, використовуючи дану структуру, відбувається обмін даними між базовою станцією і призначеним для користувача пристроєм чи M2M шлюзом. Для цього розглянемо функціональну структуру базової станції. Основним завданням базової станції, є організація надійного передавання даних по ненадійному радіоканалу. Для вирішення даного завдання використовується структура, що складається з чотирьох рівнів (рис.3):

- Рівень обробки пакетів.
- Рівень черг для передачі даних по безпроводному каналу зв'язку.
- Рівень доступу до середовища передавання даних.
- Рівень фізичного середовища.

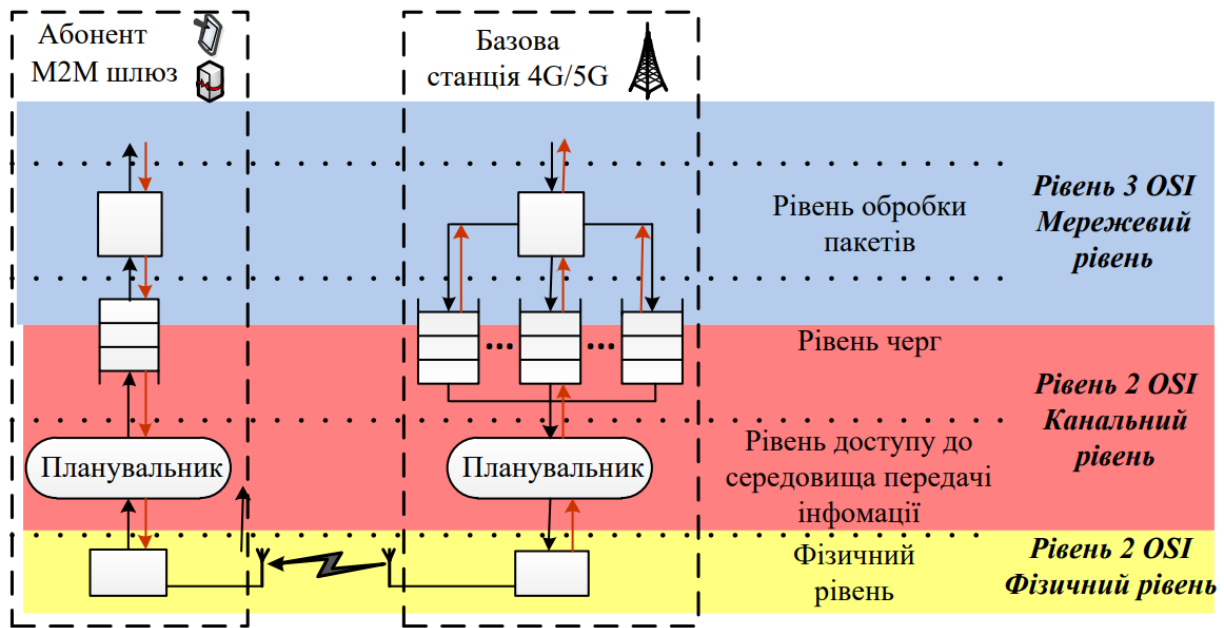


Рис. 3. Функціональна структура базової станції і абонента

Твердження 2. Алгоритм планування - це правило, відповідно до якого базова станція в момент часу t розподіляє частки ресурсів безпроводного каналу $a_i(t) \geq 0$ для користувача/M2M шлюза i . Таким чином, роботу алгоритму планування в момент часу t можливо описати вектором значень функцій:

$$A(t) = \{a_i(t), i = \overline{1, N}\} \quad (2)$$

Очевидним обмеженням на можливі значення функцій $i, a, t \in$ наступна нерівність

$$\forall t : \sum_{i=1}^N a_i(t) \leq 1 \quad (3)$$

Нерівність може бути інтерпретовано наступним чином: в будь-який момент часу роботи алгоритму планування загальний обсяг виділених ресурсів не перевищує доступного обсягу ресурсів для каналу передачі даних. Отже, для будь-якого користувача/M2M шлюза i , миттєва швидкість передачі даних в низхідному/висхідному каналі зв'язку $S_i(t)$ може бути обчислена в такий спосіб:

$$S_i(t) = (a_i(t), C_i(t)) \quad (4)$$

Алгоритм планування в кожен момент часу вирішує завдання розподілу ресурсів безпроводного каналу. Для розв'язання даного завдання йому доступна інформація про передісторію, а саме частки виділених ресурсів каналу, значення максимально можливих швидкостей каналу і обсяг переданих даних для кожного користувача:

$$A(t) = A(S_i(\tau), C_i(\tau); \tau < t, i = \overline{1, N}) \quad (5)$$

де $A(t)$ є алгоритмом планування. У формулі (5) інформація про передісторію виділених часток безпроводного каналу і обсягах переданих даних для користувача і агреговані в значенні $S_i(\tau)$, так як дані параметри задаються співвідношенням (3). Важливо відзначити факт, що для планувальника базової станції користувач в кожен момент часу може знаходитися в одному з двох станів: активному і неактивному. Користувач вважається активним, якщо у даного користувача є дані для передачі в низхідному/висхідному каналі на базовій станції, інакше користувач вважається неактивним. У реальній системі, активність абонента так само визначається на основі наповненості черг. Важливо відзначити, що завантаження даних

складається з послідовної передачі пакетів з відеоданими, і користувач вважається неактивним під час пауз між їх завантаженнями.

5. Обговорення результатів

Вихідними даними для методології є кількість вже існуючих абонентів, які потенційно будуть абонентами мереж нових поколінь; вже існуючі апробовані технологічні рішення в світі, які потенційно можуть бути використані в Україні; вимоги від користувачів до мережі; грошові обмеження для операторів стільникового зв'язку.

Методологія передбачає розробку альтернативних стратегій розвитку для операторів стільникового зв'язку. На базі однієї із стратегій необхідно проводити радіочастотний рефармінг, а потім первинне планування радіо- та опорної мережі. Після цього на основі обраних показників KPI/KQI буде проводитись моніторинг стану мережі та її безперервна оптимізація. В результаті буде підвищено енергоефективність, продуктивність мережі та максимізований економічний ефект від впровадження нових технологічних рішень. Методологія підвищення ефективності та захищеності стільникових мереж зв'язку з наступної послідовності взаємопов'язаних між собою етапів.

У даній роботі розглядається новий алгоритми планування ресурсів, який задовольняє представлений нижче набір властивостей:

– У кожен момент часу активному користувачеві гарантовано забезпечується виділення мінімальної частки ресурсів каналу a_i^{min} :

$$\begin{cases} a_i(t) = 0, \text{ користувач і неактивний момент часу } t \\ a_i(t) \geq a_i^{min}, \text{ користувач і активний в момент часу } t \end{cases} \quad (6)$$

Мінімальна частка ресурсів каналу є величиною, відмінною від нуля: $a_i^{min} > 0$, і сума мінімальних часток ресурсів каналу для всіх користувачів не перевищує загального обсягу ресурсів, доступних для планування:

$$\sum_{i=1}^N a_i^{min} \leq 1 \quad (7)$$

- Ресурси безпроводного каналу не можуть бути виділені неактивному абоненту.
- У кожен момент часу планувальник розподіляє всі доступні ресурси між активними абонентами:

$$\sum_{i=1}^N a_i(t) = \begin{cases} 0, \text{ в момент часу } t \text{ всі користувачі неактивні} \\ 1, \text{ інакше} \end{cases} \quad (8)$$

При розробці нових алгоритмів функціонування планувальника безпроводної мережі 4G/5G необхідно враховувати ряд особливостей M2M трафіку. У специфікаціях консорціуму 3GPP сформульовані основні властивості M2M-трафіку.

Виділимо наступні характеристики, важливі з точки зору вирішуваних в роботі завдань:

- для M2M-пристроїв характерна низька мобільність;
- в більшості блоки даних M2M-трафіку мають невеликий розмір;
- для великого класу M2M-послуг характерна передача або одержання даних в певний проміжок часу;
- трафік ділиться на реальний та нереальний час;
- обмежений час життя пристрою.

Необхідно зауважити, що рішення планувальника про виділення мережевих ресурсів передусім ґрунтується на вимогах до QoS. Тому задача розподілу частотно-часових ресурсів у технології LTE повинна бути сформульована як задача розподілу RB мережі між UE та M2M пристроями залежно від заявлених вимог до пропускнув здатності та параметрів QoS.

Визначення класу, до якого належить той чи інший трафік UE пропонуємо проводити на основі параметру QCI (QoS Class Identifier).

У відповідності з цим, запропоновано алгоритм оптимального використання ресурсів базової станції в умовах збільшення трафіку, що генерується мобільними та M2M пристроями. Під час його використання користувачі пристрої гарантовано отримають мінімальну пропускну здатність, для передавання даних. У разі наявності на базовій станції вільних ресурсів, користувачам надається можливість збільшення швидкості. Більший об'єм частотно-часових ресурсів отримають ті пристрої, які по-перше передають трафік реального часу, для цього алгоритму такі користувачі розглядаються як пріоритетні, по-друге потребують широкої смуги пропускання і по-третє мають вищий індикатор якості каналу (CQI). Запропонований алгоритм (рис.4) доцільно застосовувати при нечіткому поділі трафіку, що виділяється мобільними та M2M пристроями, тобто за умов змішаного обслуговування, без строгого виділення окремих частотних ресурсів під користувачів мобільними пристроями та для M2M взаємодії.

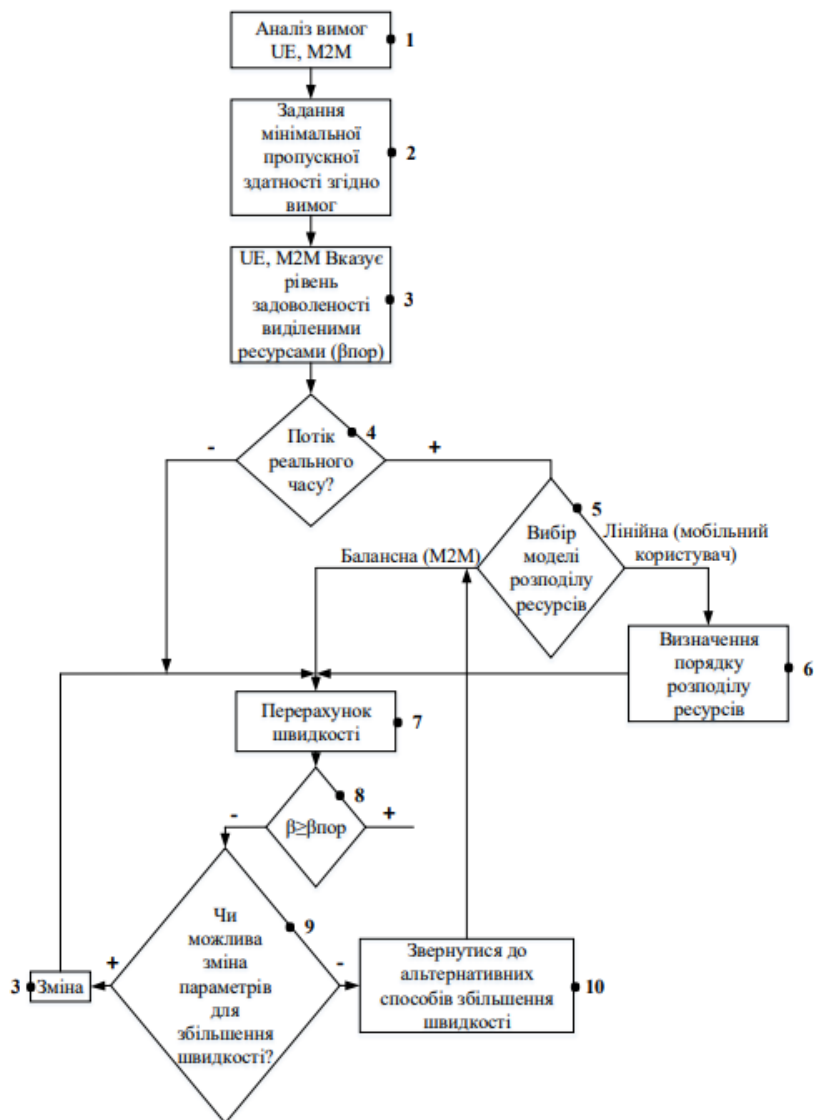


Рис. 4. Алгоритм оптимального використання ресурсів гетерогенної мобільної мережі

Опис послідовності роботи алгоритму:

1) Проводиться збір і аналіз на eNodeB інформації (блок 1), що стосується вимог надання ресурсів необхідних для передавання даних. Фіксується мінімальна затребувана кількість

частотно-часових блоків, а також значення індикатора якості каналу, що в подальшому використовується для вибору адаптивної модуляції та швидкості коду.

2) Проаналізувавши вимоги базова станція призначає мінімальну пропускну здатність для UE та M2M пристроїв (блок 2).

3) eNodeB збирає інформацію від пристроїв про рівень задоволеності (блок 3) та приймає його в якості порогового значення ($\beta_{пор}$).

4) Базова станція аналізує трафік користувачів на приналежність до потоку реального часу (блок 4). Якщо це трафік нереального часу, то він поступає на перерахунок швидкості, оскільки виділені йому ресурси можуть бути використані в умовах перевантаженості мережі на користь трафіку реального часу. В такий спосіб відбувається відтермінування передавання інформації. В протилежному випадку потік даних поступає на подальшу класифікацію.

5) На цьому етапі відбувається (блок 5) сортування пристроїв на мобільні та M2M. Останні обслуговуються на основі балансної схеми, що полягає у балансованому наданні ресурсів.

6) Мобільні користувачі поступають на етап визначення порядку розподілу ресурсів (блок 6). На цьому етапі створюється черга, що звільняється відповідно до вагових коефіцієнтів, на основі яких і відбувається обслуговування. Ваговим коефіцієнтом в даному алгоритмі може виступати SLA договір, відповідно до якого і призначають пріоритети.

7) M2M та мобільні пристрої поступають на етап перерахунку швидкості (блок 7). У зв'язку з можливістю збільшення пропускну здатності за рахунок потоку даних нереального часу.

8) Після цього визначається значення задоволеності виділеними ресурсами та його порівняння із пороговим рівнем (блок 8). У випадку виконання умови $\beta \geq \beta_{пор}$ користувач обслуговується.

9) У протилежному випадку перевіряється можливість збільшення пропускну здатності за рахунок зміни параметрів передавання (блок 9) (адаптивної модуляції, швидкості коду). Якщо це можливо здійснити, то відбувається зміна параметрів (блок 3) і перераховується швидкість. Після чого знову відбувається перевірка виконання умови $\beta \geq \beta_{пор}$.

10) У випадку неможливості зміни параметрів пропонується альтернативний варіант збільшення швидкості (блок 10), що полягає у застосуванні принципів M2M взаємодії шлюзів, агрегації спектру чи переходу на обслуговування до менш завантаженої станції (балансування навантаження). За останнього варіанту, керуюча станція повідомляє керовану по інтерфейсу X2 про необхідність прийому на обслуговування користувача. Для передавання даних від пристроїв IoT пропонується використовувати окремо виділену в межах 200 кГц вузькосмугову NB-IoT технологію, що розгортається поверх стандарту LTE з модифікованим процесом планування частотно-часових ресурсів, що базується на пріоритетах IoT класу.

6. Висновки

1. При вирішенні задач аналізу та моніторингу мереж в першу чергу розглядається первинна потокова інформація та вирішуються такі завдання, як апроксимації функцій, прогнозування, оптимізація та ін. Для вирішення таких завдань можна та необхідно використовувати нейронні мережі.

Після аналізу інформації про роботу телекомунікаційної мережі, що використовує технології передачі даних ATM 1/0, Fast Ethernet 1/0, Fast Ethernet 4/0 встановлено, що ефективність роботи мережі залежить від наступних характеристик: завантаження каналу на вході і виході (байт); число пакетів на вході і виході; число помилок в їх реєстрації; завантаження процесора (%); обсяг вільної пам'яті процесора і системи введення-виведення для маршрутизатора (байт). Найбільш інформативним параметром є завантаження каналу.

2. Розроблено процедуру перетворення первинної інформації телекомунікаційної мережі, сутність якої полягає в перетворенні вихідної інформації з кількості байтів (пакетів) в частоти скидання або «обнулення» за певний період.

3. Визначено особливості статистичного моніторингу телекомунікаційних мереж, а саме: нестационарність, періодичність (нерівномірність завантаження каналів), складна форма періодичного сигналу, форми сигналів ближче до трапецієподібних з явно вираженим «плато» в області максимальних завантажень, кількість шумів більше при максимальних завантаженнях.

Список літератури

1. Abduramanov R., Kudryavtsev A. The method of quantile regression, a new approach to actuarial mathematics // 11th International Congress “Insurance: Mathematics and Economics” July 10 – 12, 2007, Piraeus, Greece. Book of Abstracts. P. 56–57.
2. Бешлей Г. В. Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку: дис. доктора філософії: спец. 172. Львів: НУ «Львівська політехніка». - 2021. - 240 с.
3. Yun, D.-W.; Lee, W.-C. Intelligent Dynamic Spectrum Resource Management Based on Sensing Data in Space-Time and Frequency Domain. *Sensors* 2021, 21, 5261. <https://doi.org/10.3390/s21165261>
4. Anderson D. et al. A Practitioner’s Guide to Generalized Linear Models // CAS Discussion Paper Program. 2004. P. 1 –115.
5. Andrews D.F. A Robust Method for Multiple Linear Regression // *Technometrics*. 1974. Vol. 16. P. 523–531.
6. Karst O.J. Linear Curve Fitting Using Least Deviations // *Journal of the American Statistical Association*. 1958. Vol. 53. No. 281. P. 118–132.
7. Nameer Hashim Qasim, Yurii Khlaponin, Aqeel Mahmood Jawad, Haidar Mahmood Jawad, Oleksandr Nikitchyn / Devising a traffic control method for unmanned aerial vehicles with the use of gNB-IoT in 5G– Східно-Європейський Журнал передових технологій – 2022. – № 3/9 (117). – С.53–59.

References:

1. Abduramanov, R., & Kudryavtsev, A. (2007). The method of quantile regression, a new approach to actuarial mathematics. In 11th International Congress “Insurance: Mathematics and Economics” July 10 – 12 (pp. 56–57).
2. Beshley G.V. (2021) Models and method of optimal distribution of network resources in software-configured heterogeneous mobile networks: dis. Doctor of Philosophy: special. 172. Lviv: Lviv Polytechnic National University. - 240 p..
3. Yun, D.-W., Lee, W.-C. (2021). Intelligent Dynamic Spectrum Resource Management Based on Sensing Data in Space-Time and Frequency Domain. *Sensors*, 21 (16), 5261. doi: <https://doi.org/10.3390/s21165261>
4. Anderson, D., Feldblum, S., Schirmacher, D. Y., Schirmacher, E., Thandi, N., & Modlin, C. H. (2004). *Casualty Actuarial Society Discussion Paper Program*.
5. Andrews, D. (1974). A Robust Method for Multiple Linear Regression. *Technometrics*, 16, 523–531.
6. Karst, O. (1958). Linear Curve Fitting Using Least Deviations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(281), 118–132.
7. Qasim, N. H., Jawad Abu-Alshaeer, A. M., Jawad, H. M., Khlaponin, Y., Nikitchyn, O. (2022). Devising a traffic control method for unmanned aerial vehicles with the use of gNB-IOT in 5G. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (117)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.260084>