

УДК 621.391

*Соловська І.М., Бірюков С.В., Гонсіоровський Д.М., Гуцова К.С., Золотухін Р.В., Фомичов П.А.
Соловская И.Н., Бирюков С.В., Гонсиоровский Д.М., Гуцова Е.С., Золотухин Р.В., Фомичев П.А.
Solovskaya I.N., Biriukov S.V., Honsiorovskyi D.M., Gutsova K.S., Zolotukhin R.V., Fomichov P.A.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАФІКА МЕРЕЖІ LTE/MVNO ПРИ СУМІСНІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕКІЛЬКОМА ОПЕРАТОРАМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАФИКА СЕТИ LTE/MVNO ПРИ СОВМЕСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕСКОЛЬКИМИ ОПЕРАТОРАМИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

TRAFFIC RESEARCH FOR SHARED BY MULTIPLE MOBILE OPERATORS LTE/MVNO NETWORK

Анотація. Запропоновано використання імітаційного моделювання для дослідження параметрів трафіка сумісно експлуатованих базових станцій eNodeB E-UTRAN та розподілених пакетних ядер EPC опорних мереж операторів LTE/MVNO. Розроблена програмна реалізація імітаційної моделі мережі LTE/MVNO за допомогою фреймворка Qt з використанням мови програмування C++. Отримані результати оцінки функціональних характеристик обладнання LTE/MVNO.

Аннотация. Предложено использование имитационного моделирования для исследования параметров трафика совместно эксплуатируемых базовых станций eNodeB E-UTRAN и распределенных пакетных ядер EPC опорных сетей операторов LTE/MVNO. Разработана программная реализация имитационной модели сети LTE/MVNO с помощью фреймворка Qt с использованием языка программирования C++. Получены результаты оценок функциональных характеристик оборудования LTE/MVNO.

Summary. A simulation model was suggested for the traffic characteristics research of the eNodeBs of the shared E-UTRAN and separate operators' EPCs. The LTE/MVNO's software simulation network model was developed in C++ programming language using the Qt framework. The functional capabilities of LTE/MVNO's equipment were obtained.

Розвиток сучасних мереж мобільного зв'язку (ММЗ) супроводжується безперервною зміною технологій, що дозволяє операторам постійно удосконалювати мережі та значно підвищувати показники дохідності. Технологічний розвиток ММЗ сьогодні, згідно з 3GPP, має відбуватися на базі технології LTE (Long Term Evolution) (Rel. 8,9,10), впровадження якої для мережі радіодоступу ММЗ дозволить значно збільшити пропускну здатність радіоінтерфейсу й суттєво спростити архітектуру мережі. Значні переваги технології LTE зумовлені використанням сучасних методів мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), багатоантенних MIMO (Multiple Input Multiple Output) та пакетної архітектури all-IP мережі SAE (System Architecture Evolution) [1,2]. Впровадження нової технології потребує від оператора значних матеріальних витрат та передбачає урахування різних ризиків щодо подальшої популярності технології та її дохідності. Тому сьогодні оператори все частіше вважають доцільним використання принципів сумісної діяльності для побудови та експлуатації мереж нового покоління шляхом створення віртуальної мобільної мережі MVNO (Mobile Virtual Network Operator) [3,4].

Підсумовуючи вищезазначене можна зробити висновки, що найбільш доцільним для подальшого розвитку ММЗ на базі технології LTE є реалізація принципів сумісного використання існуючих інфраструктур PLMN (Public Land Mobile Network) різних операторів мобільного зв'язку шляхом створення загальної для декількох операторів віртуальної мережі MVNO, яка згідно з технічними специфікаціями 3GPP базується на існуючих мережах операторів CN (Core Network)-host-operator та використовує існуючу інфраструктуру і частотний діапазон операторів.

При проектуванні мережі LTE/MVNO досить важливою проблемою є прогнозування параметрів трафіка згідно з якими можливо виконати обґрунтований вибір обладнання мережі з потрібними функціональними характеристиками. Особливістю реалізації мережі LTE/MVNO є спільне використання E-UTRAN (evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) декількома операторами, базові станції eNodeB (evolved NodeB) будуть обслуговувати абонентів PLMN різних операторів згідно з PLMN-id кожного оператора, а трафік, який буде генеруватися у спільній E-UTRAN, потім буде обслуговуватися у відокремлених опорних мережах EPC (Evolved Packet Core)

кожного із операторів. Існуючі методики прогнозування параметрів трафіка дозволяють виконувати оцінки для умов традиційного обслуговування, однак не враховують ситуації, коли в мережі можливе використання спільних базових станцій eNodeB абонентами декількох операторів. Тому в статті запропоновано альтернативний підхід до вирішення проблеми, який реалізується за допомогою програмної реалізації.

Метою цієї статті є дослідження якісних характеристик обслуговування трафіка при сумісній експлуатації мережі E-UTRAN LTE/MVNO, а саме: пропускної здатності, об'єму буфера, середнього часу очікування вимоги в черзі та ймовірності відмов в обслуговуванні для отримання функціональних вимог до обладнання мережі.

Відомо, що дослідження параметрів трафіка можливе за допомогою аналітичних та числових методів та методів статистичного моделювання [5]. Зважаючи на те, що поставлена задача має досить складний алгоритм обслуговування користувачів, аналітичні та числові методи не вважаються доцільними. Тому запропоновано використання методів статистичного моделювання за допомогою яких можливо побудувати математичну модель та реалізувати її у вигляді програмної реалізації. За допомогою програмної реалізації планується отримати необхідні результати розв'язання поставленої задачі.

Розглянемо функціональну модель проєктованої мережі LTE/MVNO, яка базується на спільній мережі радіодоступу E-UTRAN, яка побудована на базових станціях eNodeB, до яких мають доступ абоненти двох операторів LTE/MVNO, опорні мережі відокремлені, тобто кожен оператор має свою опорну мережу CN-host-operator на базі пакетного ядра EPC. Функціональна архітектура мережі LTE/MVNO показана на рис. 1.

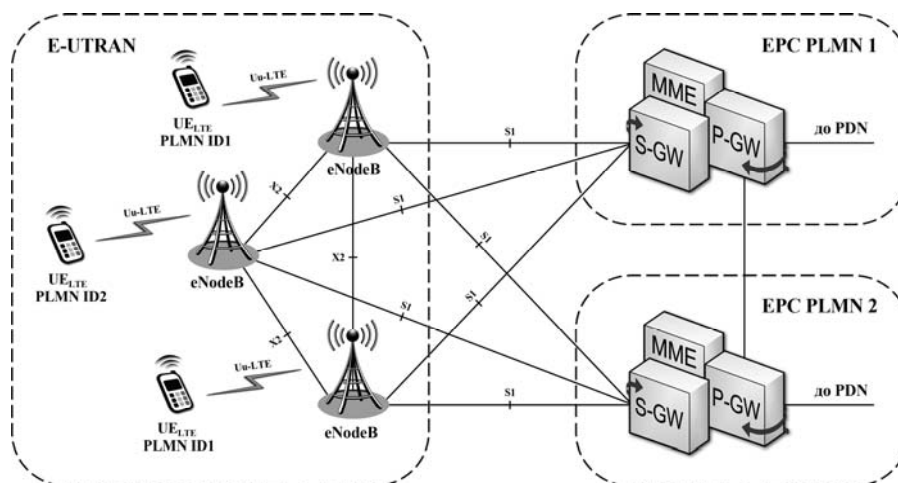


Рисунок 1 – Функціональна архітектура мережі LTE/MVNO

Об'єктами моделювання є абонентські пристрої UE (User Equipment), базові станції eNodeB, модулі управління мобільністю MME (Mobility Management Entity), шлюзове обладнання S-GW (Serving Gateway) та P-GW (Packet Data Network Gateway).

При моделюванні трафіка мережі LTE/MVNO планується отримати прогнозовані значення інтенсивностей трафіка мережевих об'єктів eNodeB та S-GW/P-GW в реальному часі, в залежності від кількості користувачів різних категорій та характеристик якості обслуговування. Отримані результати моделювання дозволять сформулювати функціональні вимоги до обладнання мережі LTE/MVNO.

Для моделювання трафіка в мережі MVNO/LTE розроблена програмна реалізація імітаційної моделі. Програмний продукт моделювання написаний за допомогою фреймворка Qt з використанням мови програмування C++. Його задача полягає в моделюванні пакетної передачі даних, яка не враховує особливості фізичного середовища, але описує принципи логічного установа з'єднань та обслуговування трафіка на мережевих об'єктах, що дозволяє відтворити процеси функціонування мережі MVNO/LTE. Розроблена програма базується на алгоритмі обслуговування трафіка, який враховує процедури підключення абонента до мережі E-UTRAN (Attach procedure) та відключення абонента від мережі E-UTRAN (Detach procedure).

Запропонована методика оцінки трафіка представлена алгоритмом, який дозволяє враховувати параметри трафіка на оцінках логічних з'єднань між об'єктами мережі (UE, eNodeB, S-GW). Для кожного абонента з абонентським пристроєм UE при підключенні до базової станції eNodeB мережі

E-UTRAN виконується процедура Attach, яка забезпечує аутентифікацію та реєстрацію абонента згідно з PLMN ID у мережі CN PLMN-1 або CN PLMN-2. В результаті цієї процедури для супроводження з'єднання виділяються логічні канали PDSCH/PDCCH. Відповідно, після закінчення з'єднання відбувається процедура Detach, під час якої руйнується логічний канал. Кількість абонентів, які мають доступ до спільної мережі E-UTRAN задається проектувальником, а генерація випадкових занять логічних каналів задається за допомогою генератора випадкових чисел за заданим законом розподілу.

Параметризація інформаційного трафіка виконується з урахуванням класів обслуговування QoS (Quality of Service) (згідно з ITU-R.1768) [6]: розмовного, інтерактивного, потокового та фонового. Кожний клас послуг характеризується наступними параметрами: необхідною швидкістю передавання, тривалістю обслуговування та нормативними значеннями затримок, втрат пакетів та інші. Наприклад, до розмовного класу послуг віднесені послуги VoIP зі швидкістю 64 кбіт/с і тривалістю обслуговування 90 - 450 с та послуга відеоконференції зі швидкістю 64 – 384 кбіт/с і тривалістю 120 с. Відповідно, до фонового класу обслуговування віднесені послуги завантаження фільмів зі швидкістю 1...5 Мбіт/с і тривалістю обслуговування 60 с, послуга FTP 0,5 – 5 Мбіт/с і тривалістю обслуговування 300 с.

При пакетному трафіку потоки пакетів формуються значною кількістю джерел вимог на обслуговування різноманітних послуг. Інтенсивність трафіка результуючого потоку в кожний момент часу залежить від того, якими класами обслуговується джерела вимог і яке співвідношення чисельності для різних класів послуг. Частка абонентів кожного класу обслуговування задається при моделюванні, а тривалість обслуговування та значення швидкості передавання знаходяться у заданих межах, згідно з рекомендацією ITU-R M.1768 та звіту ITU-R M.2072. Для кожної категорії послуг діє свій генератор вимог на обслуговування, що підключається до UE, який має фіксований клас обслуговування. Вибір конкретної послуги у межах одного класу виконується за допомогою генератора випадкових чисел за рівномірним законом розподілу. Кожний тип послуги має свій закон розподілу інтервалів між вимогами, наприклад, для розмовного трафіка – це експоненціальний, для відеоконференцій – розподіл Парето, а для високошвидкісної передачі даних – логонормальний закон. Вибір значення тривалості обслуговування та необхідної швидкості передавання відбувається випадково із діапазону заданих значень швидкості для обраної послуги за рівномірним законом [6]. Моделювання трафіка виконується динамічно в режимі реального часу для кожної eNodeB і S-GW/P-GW на заданому проміжку часу. Моделювання різних логічних з'єднань в тунелях між eNodeB та об'єктами відокремлених мереж CN-host-operator дозволяє визначити необхідні параметри сигнального та інформаційного трафіка.

Результатами імітаційного моделювання є отримання результатів обслуговування трафіка на мережевих об'єктах eNodeB і S-GW/P-GW та отримання значень інтенсивностей трафіка створюваних на цих об'єктах в залежності від кількості абонентів та заданих класів обслуговування, отримання залежностей ймовірностей відмови в обслуговуванні та тривалості очікування вимоги в черзі від ємності буфера на eNodeB.

Для дослідження в програмній реалізації реалізовано три режими моделювання. Перший режим виконує моделювання трафіка мережевих об'єктів MVNO/LTE (eNodeB та S-GW/P-GW) в реальному часі. В другому режимі виконується аналіз трафіка, який створюється користувачами різних категорій на мережевих об'єктах MVNO/LTE (eNodeB та S-GW/P-GW) при заданій кількості абонентів різних категорій. Третій режим моделювання необхідний для аналізу характеристик якості обслуговування QoS трафіка в мережі, а саме об'єму буфера, середнього часу очікування вимоги в черзі та ймовірнісних характеристик відмов в обслуговуванні й очікування.

Для моделювання трафіка в першому режимі, виконується імітування реальної роботи мережевих об'єктів eNodeB, вихідні дані моделювання задаються у вікні програми, яке показано на рис 2.

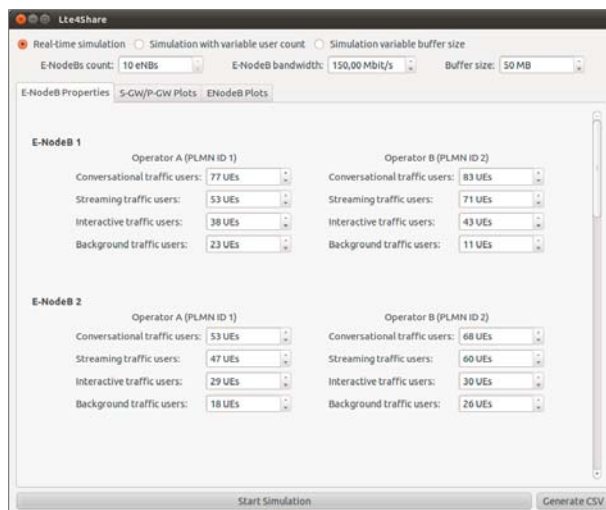


Рисунок 2 – Вікно програми для введення даних в першому режимі

Для першого режиму задається необхідна кількість мережних об'єктів eNodeB (в полі "eNodeB count"), які забезпечують підключення абонентів різних мереж CN PLMN, ідентифікація абонентів виконується згідно з PLMN ID. Для кожної із заданих eNodeB задається прогнозована кількість абонентів чотирьох категорій згідно з класом обслуговування Conversational traffic (розмовного), Streaming traffic (потоківого), Interactive traffic (інтерактивного) та Background traffic (фонового) для CN PLMN-1 та CN PLMN-2. Для всіх eNodeB задається гранична пропускна здатність, яка становить 150 Мбіт/с (в полі "eNodeB bandwidth"). В полі "Buffer size" задається ємність буфера базової станції eNodeB, якщо задати розміру буфера значення 0, то всім вимогам, які прийшли після заповнення пропускної здатності eNodeB, буде відмовлено в обслуговуванні, якщо задати розмір буфера значенням - 1, то вважається, що розмір буфера необмежений.

Відповідно до заданих вхідних даних шляхом моделювання отримуються результати генерованого сумарного трафіка від абонентів операторів CN PLMN-1 та CN PLMN-2, який створюється заданою кількістю абонентів, які підключилися до eNodeB та відповідно заданими категоріями, що потребують різних гарантованих швидкостей передавання даних. Отримані результати завантаженості кожної eNodeB, S-GW/P-GW, які показують залежності пропускної здатності (Мбіт/с) від часу (с), які показані на рис. 3 та 4.

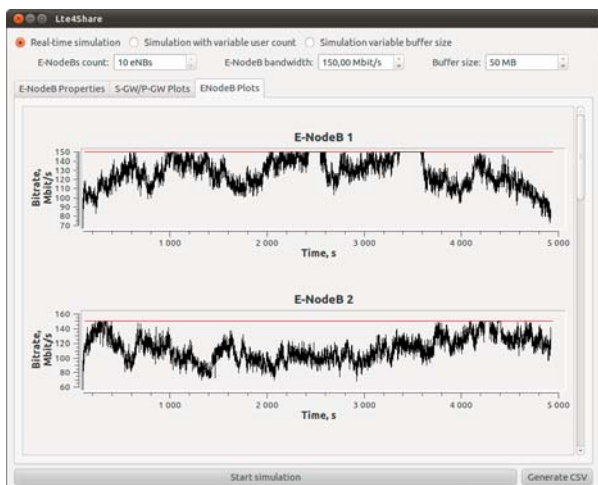


Рисунок 3 – Графік інтенсивності трафіка кожної eNodeB в першому режимі

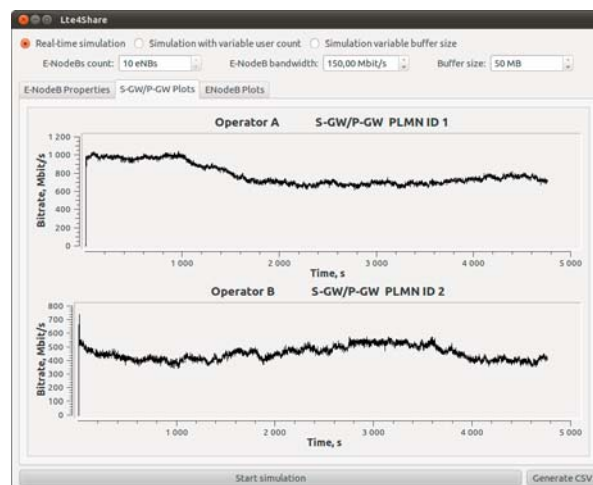


Рисунок 4 – Графік інтенсивності трафіка S-GW/P-GW в першому режимі

Результатами роботи першого режиму програми є результати оцінки інтенсивностей трафіка об'єктів мережі e-NodeB та S-GW/P-GW при моделюванні різної кількості користувачів кожної eNodeB та їх структурного складу за умов сумісного обслуговування eNodeB користувачів обох мереж CN PLMN-1 та CN PLMN-2.

Із результатів моделювання видно, що при заданій кількості абонентів, яким доступна визначена бітова швидкість, можливе перевищення пропускної здатності eNodeB, що потребує передбачення додаткових ресурсів або зниження доступної користувачам швидкості, або зменшення кількості користувачів шляхом відмов в обслуговуванні. Аналогічно, графіки залежності для S-GW/P-GW показують, яку необхідну пропускну здатність потрібно забезпечити для обслуговування заданої кількості підключених до них базових станцій eNodeB. Звісно, якщо з'єднання потребують більшість низькошвидкісних користувачів, наприклад, як показано для eNodeB-2, то ресурсу eNodeB буде значною мірою достатньо. А в разі більшої кількості категорій високошвидкісних користувачів, як показано для eNodeB-1, потрібно передбачити певні заходи, щодо її забезпечення. Це можуть бути процедури зменшення швидкості передавання для користувачів з нижчими пріоритетами, або відмови в обслуговуванні. Також, слід зазначити, що на початковому етапі експлуатації досить складно передбачити кількість абонентів кожного оператора, які будуть мати доступ до сумісної мережі та структурний склад абонентів, однак саме моделювання дозволить прогнозувати параметри трафіка, оцінити необхідні функціональні можливості eNodeB і передбачити механізм обслуговування трафіка.

Моделювання в другому режимі роботи імітаційної програми передбачає можливість аналізу трафіка, який створюється користувачами різних категорій на мережевих об'єктах eNodeB та S-GW/P-GW при заданій кількості абонентів різних категорій. Для цього у вікні для введення вхідних даних (рис.2) додано елемент "Simulation with variable user count", який додає додаткові поля для введення даних, як показано на рис. 5.

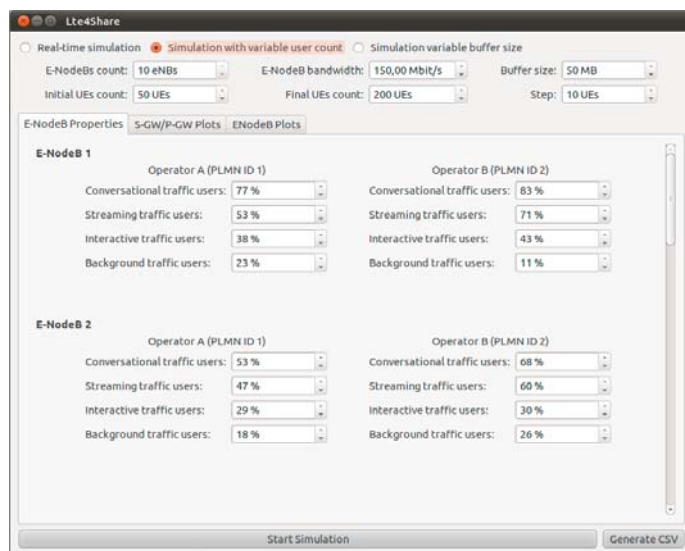


Рисунок 5 – Вікно програми для введення даних у другому режимі

В другому режимі "Simulation with variable user count" програма переходить в стан, в якому задаються параметри "Initial count", "Final count" і "Step". Це початкові та кінцеві значення кількості абонентів кожної PLMN на кожній eNodeB та крок ітерації кількості абонентів за яким будуть моделюватися залежності необхідної пропускної здатності. Потрібно зазначити, що в даному режимі, не потрібно задавати кількість абонентів кожного класу, а тільки задавати їхню часткову кількість від загальної кількості абонентів, тобто одному абоненту можуть бути надані декілька типів послуг. Результати моделювання в другому режимі виводяться у вигляді статистичних таблиць трафіка в заданому часовому проміжку для усіх мережевих об'єктів eNodeB і S-GW/P-GW, яка показана на рис. 6. Статистичні дані зберігаються у імпортованих файлах, які можливо використовувати для виконання дій з експлуатації та адміністрування мережі.

В результаті моделювання отримуємо графіки залежності інтенсивності трафіка кожної eNodeB від кількості користувачів і доступних їм послуг та пропускної здатності об'єктів опорної мережі кожного оператора S-GW/P-GW, які показані на рис. 7 і 8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Time, s	ENodeB1	ENodeB2	ENodeB3	ENodeB4	ENodeB5	ENodeB6	ENodeB7	ENodeB8	ENodeB9	ENodeB1C	S-GW/P-GW - 1	S-GW/P-GW - 2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	29071	49017	35158	7281	4987	6684	6287	7470	47489	59480	103480	149444
11	9	27419	51335	37106	6036	5249	4791	5725	7457	46461	63454	105985	149048
12	10	34265	51776	38972	6934	4843	6166	7045	8607	44420	59554	105082	157500
13	11	32525	50273	40556	7292	5343	5780	6708	7490	45581	62001	110073	153476
14	12	26423	48212	37101	6742	4073	5817	6471	8109	46492	57145	106354	140231
15	13	27062	53126	40125	7100	4847	6114	6734	7450	45356	62281	106167	154028
16	14	28126	44791	43613	6489	5257	5860	7579	7130	40334	63968	105510	147637
17	15	31914	47739	37589	6021	4431	5193	6085	7123	49072	58712	102877	151002
18	16	31699	46453	43622	6103	5091	5855	6357	7650	48914	61682	109939	153487
19	17	29730	49932	38540	7112	5167	5878	6540	7358	39624	59501	101289	148093
20	18	34599	47173	41770	6213	5729	4656	7070	7177	42012	59749	108726	147422
21	19	28353	45510	41418	6529	5578	5901	6462	7517	46431	60307	110107	143899
22	20	30413	43945	36536	7051	5358	5460	6910	6695	45255	59159	100475	146307
23	21	31291	44561	41337	7159	5603	5568	6870	6277	47126	59074	110083	144783
24	22	30408	37915	36880	6729	5687	5806	6579	7435	45943	60666	98016	146032
25	23	27390	40957	31150	6148	5151	5073	7179	7860	46392	57891	99020	136171

Рисунок 6 – Статистична таблиця даних трафіка, яка отримана в другому режимі

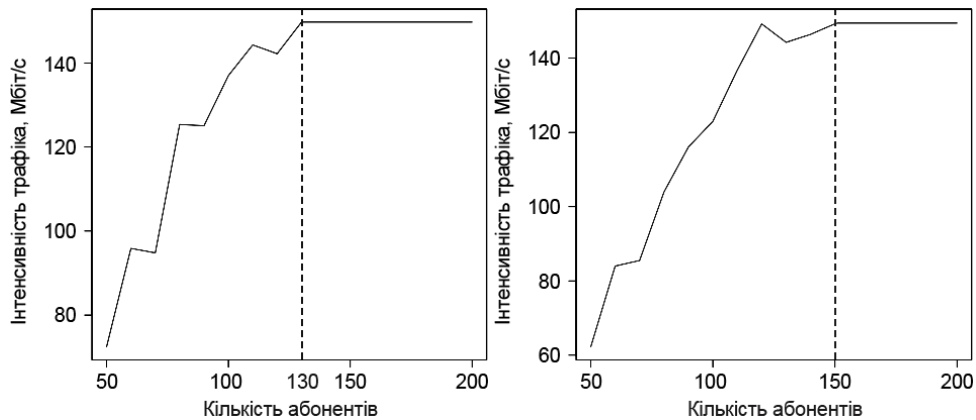


Рисунок 7 – Залежності інтенсивностей трафіка від кількості абонентів eNodeB

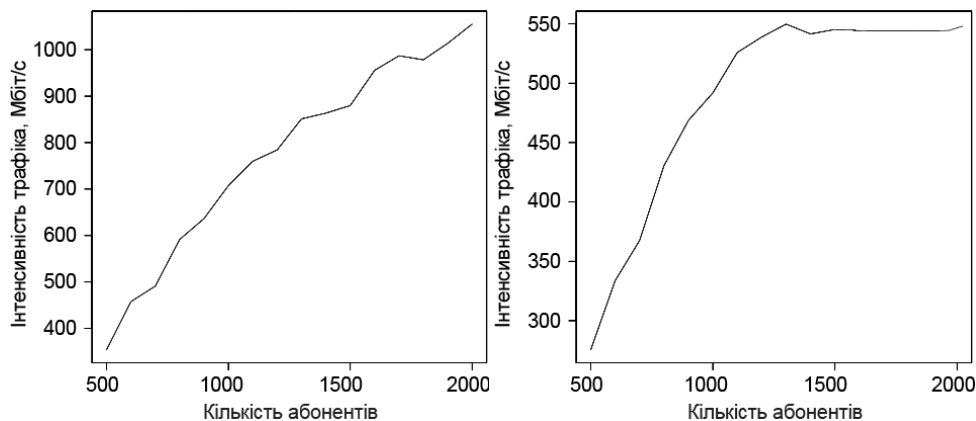


Рисунок 8 – Залежності інтенсивностей трафіка від кількості абонентів S-GW/P-GW

Отримані графіки залежності інтенсивності трафіка eNodeB в залежності від кількості користувачів показують, що при збільшенні кількості абонентів при різних співвідношеннях структурного складу абонентів ця залежність також буде значно змінюватись.

Проаналізувавши результати моделювання, які показані на рис. 7, можна зробити наступні висновки: при заданому співвідношенні категорій абонентів, які мають доступ до eNodeB-1, оптимальна кількість абонентів, які будуть обслуговуватися eNodeB-1 при забезпеченні нормативних

значень пропускної здатності в 150 Мбіт/с становить 130, відповідно для eNodeB-2 – 150. Якщо кількість абонентів буде більшою, то можливі відмови в обслуговуванні, або зменшення швидкості передавання, що може привести до неможливості користування послугами.

Результати оцінки сумарного значення інтенсивності трафіка на S-GW/P-GW показані на графіках (рис. 8), вони відображають сумарну інтенсивність трафіка від усіх eNodeB, які підключені до S-GW/P-GW кожної PLMN.

Отримані значення для шлюзів S-GW/P-GW дозволяють визначити необхідну пропускну здатність S-GW/P-GW за умов заданої пропорції категорій абонентів кожного класу. Якщо визначити відповідність між результатами, то при отриманих результатах оптимальної кількості абонентів NodeB-1 і eNodeB-2, яка становить 130 та 150 абонентів відповідно, пропускна здатність шлюзів S-GW/P-GW-1 повинна забезпечувати 850 Мбіт/с і відповідно S-GW/P-GW-2 близько 550 Мбіт/с.

Результати другого режиму роботи програми моделювання трафіка дозволяють проводити дослідження пропускної здатності мережевих об'єктів LTE/MVNO. Отримані таблиці статистичних даних зберігають статистичні результати моделювання у файлової системі користувача. Ці дані можна використовувати для розв'язання задач експлуатації мережі, прогнозування параметрів трафіка, розв'язання задач маршрутизації трафіка та подальших досліджень, пов'язаних з різними варіантами обслуговування.

Третій режим програми призначений для розв'язання задач аналізу характеристик якості обслуговування трафіка в мережі, а саме отримання значень об'єму буфера, довжини пакетної черги, середнього часу очікування вимоги в черзі та ймовірнісних характеристик відмов в обслуговуванні. На етапі проектування при виборі обладнання проектованої мережі eNodeB та S-GW/P-GW необхідним є не тільки визначення параметрів пропускної здатності, а й визначення оптимального розміру буфера. Ця задача є досить складною та ускладнюється тим, що мережа MVNO/LTE є пакетною, яка обслуговує згідно з умовами моделювання різні потоки інформації, які мають свої вимоги до якості обслуговування і потребують різної швидкості передавання. Тому в третьому режимі роботи досліджуються дві залежності на eNodeB: ймовірність відмови в обслуговуванні від об'єму буфера та середній час очікування вимог на обслуговування в буфері від об'єму буфера. Крім цього, програма дозволяє отримати графіки залежності ймовірності очікування від заданого об'єму буфера. В третьому режимі роботи програми "Simulation variable buffer size" додатково задаються поля введення даних (рис. 9). В полі "Initial buffer size", "Final buffer size", "Size" задаються початковий і кінцевий розміри об'єму буфера, а також крок з яким буде змінюватися об'єм буфера.

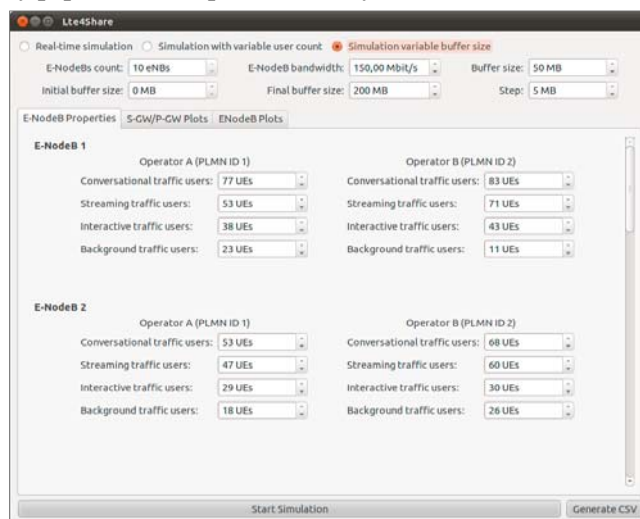


Рисунок 9 – Вікно програми для введення даних в третьому режимі

Кількість абонентів задається відповідно до попередніх режимів, як і в режимі реального часу, коли модулюється трафік від заданої кількості абонентів на кожному об'єкті мережі LTE/MVNO eNodeB і S-GW/P-GW. Принцип обслуговування черги обрано згідно з рекомендацією ІТУ М.1768, як відносний з пріоритетами. Такий принцип не витісняючих пріоритетів оснований на тому, що вимоги, які мають більш високий пріоритет порівняно з теперішньою вимогою, не передбачають відмову, а обслуговування теперішньої вимоги не переривається, а закінчується до початку обслуговування нової вимоги. При чому пріоритети розподілені таким чином: найвищий пріоритет має розмовний

трафік, інтерактивний має менший пріоритет, а фоновий і потоковий мають найнижчий пріоритет. Таким чином, з буфера в першу чергу виймаються вимоги на обслуговування розмовного трафіка, наступними виймаються вимоги інтерактивного трафіка, а вже в останню чергу вимоги фонового і потокового трафіка.

Моделювання виконується для інтервалу часу 5000 с для заданої ємності буфера 50-200 Мбайт з кроком в 5 Мбайт, вимогам, які надходять після заповнення буфера буде відмовлено в обслуговуванні. Таким чином, ймовірність відмови в обслуговуванні розраховується як відношення вимог, яким було відновлено в обслуговуванні, до загальної кількості вимог, які прийшли за час моделювання. Ймовірність очікування на з'єднання розраховується як відношення числа вимог, які знаходилися в черзі на обслуговування, до загальної кількості вимог, які прийшли на eNodeB. Результати моделювання для заданої кількості користувачів показані на рис. 10.

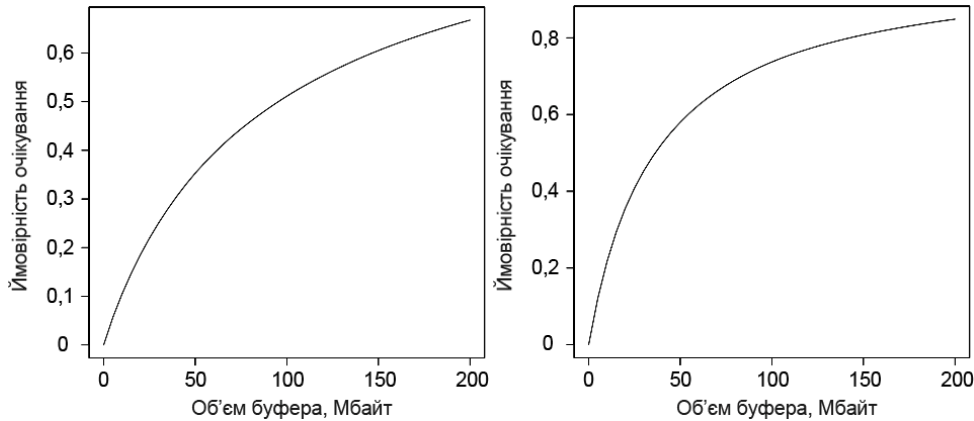


Рисунок 10 – Залежності ймовірностей очікування від об'єму буфера на eNodeB

За результатами моделювання визначено, що ймовірність очікування вимоги на обслуговування на eNodeB-1 буде найбільшою при розмірі буфера 200 Мбайт і складає 0,68; при розмірі буфера 50 Мбайт – 0,35; при розмірі буфера 100 Мбайт – 0,5; при розмірі буфера 150 Мбайт – 0,6. Найбільш доцільним звісно є розмір буфера 150-200 Мбайт, проте така реалізація eNodeB значно збільшує її вартість. Вважаємо нормованим значенням відмови (згідно з ITU-R M.1768) показник 0,5 [6]. Проте, для eNodeB-2 ймовірність очікування при розмірі буфера 50 Мбайт становить 0,5, а при розмірі буфера 100 Мбайт – вже майже 0,75.

Отримані результати моделювання залежності середнього часу очікування вимоги від об'єму буфера показані на рис. 11.

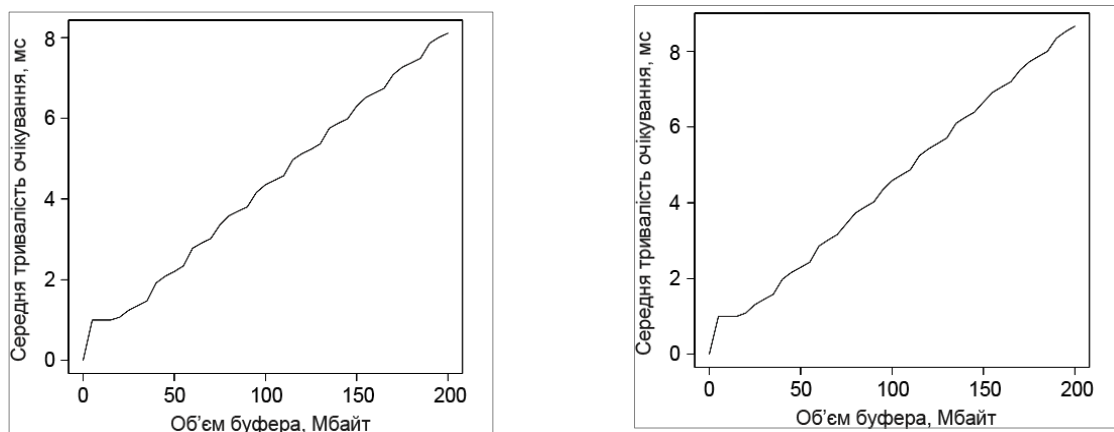


Рисунок 11 – Залежності середньої тривалості очікування від об'єму буфера на eNodeB

Отримані залежності середнього часу очікування від об'єму буфера 0, 50, 100, 150 та 200 Мбайт показують, що середній час очікування на кожній eNodeB зростає в залежності від об'єму буфера і приймає наступні значення для eNodeB-1: при розмірі буфера 0 Мбайт – 0 мс; при 50 Мбайт

– 2 мс; при 100 Мбайт – 4,2 мс; при 150 Мбайт – 6 мс; при 200 Мбайт – 8,1мс. Для базової станції eNodeB-2: при розмірі буфера 0 Мбайт – 0 мс; при 50 Мбайт – 2,3 мс; при 100 Мбайт – 4,5 мс; при 150 Мбайт – 6,5 мс; при 200 Мбайт – 8,6 мс. Нормоване значенням тривалості очікування (згідно ITU-R M.1768) становить 5 мс, тому доцільно для eNodeB передбачити розмір буфера 50-100 Мбайт [6].

Залежність значення ймовірності відмов в обслуговуванні від об'єма буфера показана на рис. 12.

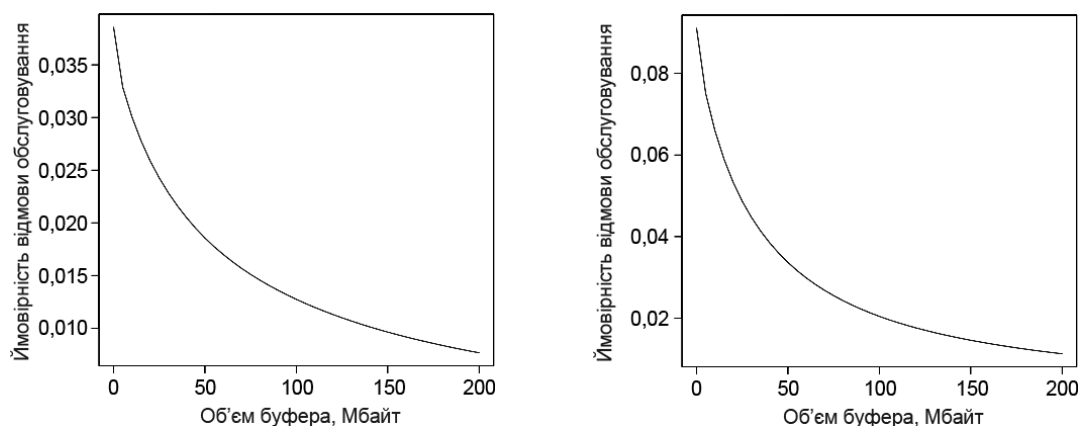


Рисунок 12 – Ймовірності відмови в обслуговуванні eNodeB

За результатами моделювання визначено, що ймовірність відмови в обслуговуванні на eNodeB-1 буде найбільшою при розмірі буфера 0 Мбайт і складає 0,038; при розмірі буфера 50 Мбайт – 0,018; при розмірі буфера 100 Мбайт – 0,013; при розмірі буфера 150 Мбайт – 0,009; при розмірі буфера 200 Мбайт – 0,004. Найбільш доцільним звісно є розмір буфера 150-200 Мбайт, проте така реалізація eNodeB значно збільшує її вартість. Вважаємо нормованим значенням відмови (згідно з ITU-R M.1768) показник 0,02 [6]. Тому для проектованої мережі доцільно передбачити розмір буфера базової станції eNodeB об'ємом 50-100 Мбайт.

Відповідно до проведеного аналізу результатів моделювання в третьому режимі для eNodeB-1 при рекомендованому об'ємі буфера 50 – 100 Мбайт, ймовірність відмов в обслуговуванні буде становити 0,015, а для eNodeB-2 – 0,025, що відповідає нормованим значенням згідно з рекомендацією ITU-R M.1768. Також при рекомендованому об'ємі буфера 50 – 100 Мбайт середній час очікування для eNodeB-1 при розмірі буфера 50 – 100 Мбайт становить 2 – 4,2 мс, а для базової станції eNodeB-2 становить 2,3 – 4,5мс, що відповідає нормованому значенню тривалості очікування 5 мс.

Таким чином, результати моделювання за допомогою програмної реалізації дозволяють обґрунтовано вибрати мережеве обладнання eNodeB і S-GW/P-GW з потрібними функціональними характеристиками, яке найбільш доцільно буде виконувати вимоги якості обслуговування. Розв'язання задач прогнозування та оцінки параметрів трафіка на базі запропонованої програмної реалізації дозволяє виконати оптимальний вибір ємності буфера і необхідної пропускної здатності в залежності від кількості і типу абонентів, дозволяє оператору вирішити низку питань на етапі пробного запуску мережі та її подальшої експлуатації.

На закінчення можна зробити наступні висновки:

1. Відсутність чітких методів оцінки параметрів трафіка при сумісному використанні мережних об'єктів декількома операторами потребує створення нових рішень для розв'язання задач прогнозування й аналізу трафіка.

2. Розроблена програмна реалізація процесів обслуговування трафіка в мережі LTE/MVNO, дозволяє проектувальнику оцінити характеристики якості функціонування мережних об'єктів, що сумісно використовуються у спільній мережі EUTRAN та мережних об'єктах відокремлених PLMN, таких як пропускна здатність, довжина пакетної черги, час затримки, ймовірність відмови та очікування тощо.

3. Запропонований в роботі підхід дозволяє використовувати отримані результати моделювання для формування вимог до необхідного обладнання проектованої мережі з потрібними показниками.

Література

1. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б.: – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
2. Вишневецкий В.М. Технология сотовой связи LTE – почти 4G / Вишневецкий В.М., Красилов А.С., Шахнович И.В. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес.– 2009. – Вып. 1. – С. 10-16.
3. Технічний звіт 3GPP. TS 23.002 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network architecture (Release 8), 2010.
4. Технічний звіт 3GPP. 3GPP TS 23.251 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Network Sharing; Architecture and functional description.
5. Корнышев Ю.Н. Теория телетрафика: [учебник для вузов] / Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. – М.: Радио и связь, 1996. – 272 с.
6. Рекомендація ITU-R MCE-R M.1768. Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000, 2003.