

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СТАНДАРТУ 802.11 АС ЗА РАХУНОК ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ AIRTIME FAIRNESS

Вступ

У даний час масово застосовується технологія безпроводних мереж. Одна з головних переваг – це відсутність проводів. Безпроводну мережу можна розгорнути де завгодно, для цього буде потрібно лише точка доступу й абонентський термінал, який обладнано модулем безпроводного зв'язку. За рахунок мобільності й простоти введення в експлуатацію більшість комерційних організацій впроваджують саме безпроводні високошвидкісні мережі.

Використання безпроводних мереж стає все більш поширеним, все більше проводних мереж замінюється безпроводними, що приносить крім очевидних переваг у вигляді мобільності й свободи від проводів, менш очевидні проблеми. Крім проблем з розповсюдженням сигналу, його згасанням, інтерференцією, незчисленими завадами, шумами, нестабільним та нелінійним згасанням, обмеженнями по потужності та ширині полоси сигналу можна виділити проблеми, які пов'язані з недосконалістю самих технологій, великою кількістю різноманітних пристроїв, постійною наявністю у спільному ефірі пристроїв різних поколінь, які сумісні лиш частково, тощо.

Незважаючи на ключові особливості та переваги технологій безпроводного доступу до мережі, сімейство технологій Wi-Fi має декілька суттєвих, та за певних умов критичних для роботи системи, недоліків. Причиною появи недоліків є як фізичні особливості радіоефіру, так і недосконалість самої технології передачі даних за стандартами IEEE 802.11. При одночасній роботі двох або більше безпроводних клієнтів виникають явища монополізації ефіру, які є досить диференційовані за швидкісними показниками роботи та виражаються у недосконалому роботі вбудованих механізмів стандарту IEEE 802.11 й розподіленні ефірного часу у самому стандарті.

Важливим питанням ефективною роботи безпроводної мережі є вирішення однієї з критичних для продуктивності мережі проблеми, яка полягає в монополізації ефірного часу повільними клієнтами, що визначає актуальність даної публікації. У роботі проведено дослідження безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11ac як найбільш сучасного та розповсюдженого серед офісних клієнтських пристроїв. Дослідження базується на розгляді впливу технології Airtime Fairness, механізми роботи алгоритмів якої спрямовані на покращення показників продуктивності мережі.

Основна частина

До переваг безпроводної технології Wi-Fi можна віднести простоту розгортання і згортання мережі. Для розгортання мережі достатньо встановити точки доступу та підвести до них один стандартний кабель. Живлення точок можливо організувати за допомогою технології PoE. Важливим моментом використання безпроводних мереж у бізнесі є те, що абонентський пристрій легко підключити до мережі, ніяк не обмеживши його у пересуванні в зоні дії безпроводної мережі.

Велике різноманіття стандартів Wi-Fi виводить цю безпроводну технологію на новий рівень. Так, версія стандарту Wi-Fi 802.11 ad працює в діапазоні 60 ГГц з максимальною швидкістю 7 Гбіт/с. Незважаючи на те, що технологічно виробництво радіостанцій для

частоти 60 ГГц більш складно, ці продукти невдовзі отримають широке поширення на ринку. Це підтверджує наявність декількох безпроводних рішень, що підтримують цей стандарт [1].

Покращеною версією 802.11ad є наступна версія стандарту 802.11ay, яка не буде новим типом WLAN мереж, але дозволить ще більше оптимізувати використання смуги 60 ГГц та забезпечити швидкість передачі даних до 176 Гбіт/с [2].

Версія стандарту 802.11ax вирішить проблему низької продуктивності великих локальних мереж за рахунок підвищення ефективності роботи Wi-Fi в сегментах з високою щільністю абонентів [3].

Стандарту 802.11ah був виділений додатковий спектр в діапазоні нижче 1 ГГц. Даний стандарт було розроблено для Internet of Things (IoT). Його відмінність від стандартних додатків доступу в Інтернет полягає в більш широкому діапазоні частот й високій енергоефективності, тому він і розробляється в діапазоні 900 МГц [4].

Високошвидкісний стандарт IEEE 802.11ac розроблено для зміни концепції роботи безпроводних мереж завдяки швидкостям, що порівняно з мережами Gigabit Ethernet. Особливості роботи стандарту полягають у наступному: «миттєва передача даних»; достатня ширина й канална швидкість в безпроводному каналі для забезпечення максимально високого й гнучкого QoS; споживчий сектор застосування пристроїв 802.11ac в першу чергу орієнтовано на множинну передачу потокового відео високої чіткості (FullHD, 4K, UltraHD тощо), як самого вимогливого до швидкості та якості виду контенту; можливість спільної роботи в середовищах з високою щільністю AP. Тобто стандарт 802.11ac покликаний вирішити названі проблеми й перейти з розряду "вузького горлечка" навіть в складних умовах при високій завантаженості мережі.

Але стандарт IEEE 802.11ac не було розраховано для роботи за умов сильної диференціації клієнтських пристроїв. Механізм розподілення доступу CSMA/CA, який закладено в технології, базується на принципі розподілу доступу до ефіру за об'ємом переданих даних. За умови, коли абонентські пристрої працюють на близьких один до одного швидкостях, розподіл ефірного часу можна вважати справедливим. Але, при підключенні до мережі пристрою з заниженою, на відміну від інших пристроїв, швидкістю, повільний пристрій монополізує ефірний час, зменшуючи як пропускну здатність окремо взятого пристрою, так і мережі взагалі.

Вибір стандарту IEEE 802.11ac для даного дослідження обґрунтовано тим, що діапазон 5 ГГц максимально сприяє побудові високошвидкісних, стабільних у часі та прогнозованих по параметрах якості безпроводних мереж та по наявності достатньої кількості непересічних каналів (рис. 1) при відносній чистоті ефіру, швидкому згасанню сигналу як у повітрі, так й у твердих перешкодах [5].

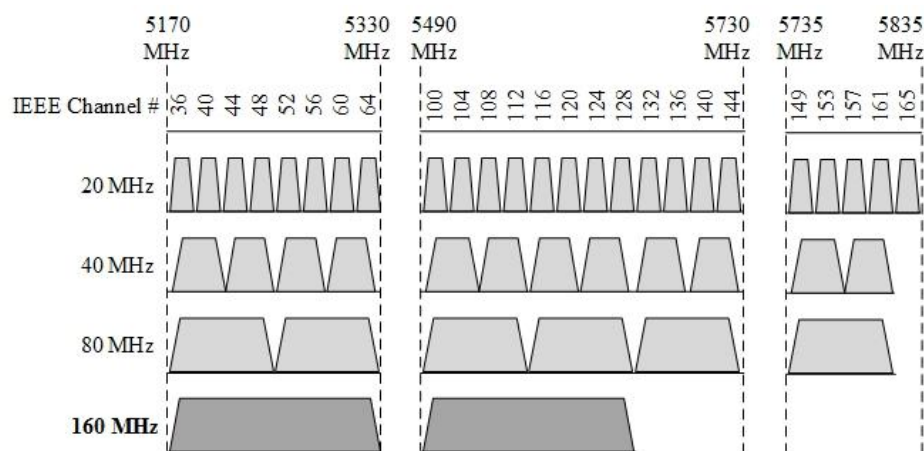


Рис. 1. Розподіл діапазону 5 ГГц на непересічні канали

Вибір саме технології 802.11ac серед усіх тих, що підтримують роботу у діапазоні 5 ГГц, зумовлений водночас великою кількістю сумісних клієнтських пристроїв, доступністю, гнучкістю, підтримкою екстремальних каналних швидкостей, підтримкою додаткових технологій, спрямованих на покращення існуючих показників продуктивності, таких як MU-MIMO, на відміну від стандартів IEEE 802.11n, та більш ранніх технологій.

При роботі безпроводних пристроїв виникає ситуація, коли на ефірний час одночасно претендують пристрої з сильно відмінною каналною швидкістю. Доволі звична ситуація, коли існують два, або більше користувачів, канална швидкість одного із них близька до теоретичного максимуму з причини близького місцезнаходження від точки доступу. В цей же час існує користувач, який знаходиться на великій відстані від точки і працює на мінімальних індексах модуляції, тобто з мінімальними значеннями каналної швидкості. Стандарт IEEE 802.11ac наказує забезпечити рівний доступ кожному із клієнтів мережі, ґрунтуючись на кількості інформації, переданої в ефір.

Однією із технологій, які покликані вирішити проблеми монополізації ефіру повільними клієнтами, і, як наслідок, зменшення пропускної здатності мережі у декілька разів до показників швидкості найбільш повільного клієнта мережі, є технологія Airtime Fairness. Алгоритми технології засновано на принципі TDMA – множинного доступу з поділом за часом [6]. Принцип роботи технології полягає у використанні методу поділу ефірного часу між клієнтами на рівні або задані проміжки часу, циклічно.

Даний метод дозволить вирішити питання надмірного використання ефірного часу для передачі відносно малого об'єму даних клієнтами, які з тих або інших причин, працюють на значно меншій каналній швидкості порівняно з іншими клієнтами мережі. В залежності від виробника обладнання, і, як наслідок, конкретної реалізації технології, алгоритм поділу ефірного часу між клієнтами може відрізнятися. Існує два основних типи поділу ефірного часу – порівну, незалежно від параметрів клієнта, та на довільні відрізки часу, в залежності від адміністративних налаштувань системи.

Спираючись на теоретичні завдання, механізми технології Airtime Fairness повинні зменшити вплив повільного клієнта на загальну продуктивність безпроводної мережі. Загалом, ефективність роботи мережі визначається такими показниками продуктивності, як пакетна продуктивність, затримка та показники QoS.

Технологія Airtime Fairness реалізується цілком й повністю програмно, для виконання дослідження використано обладнання компанії Edimax, а саме: точки доступу бізнес-сегменту CAP1300 з підтримкою стандарту IEEE 802.11ac Wave 2, технології MU-MIMO та Beamforming, при цьому включено сімейство протоколів прискорення роумінгу IEEE 802.11r,k,v, що не тільки не спотворює отримані дані, а навпаки, уточнює їх, зменшуючи відсоток відкинутих або втрачених пакетів у результаті роумінгу клієнтів між точками. Максимальна канална швидкість, яку підтримує безпроводна система у діапазоні 5 ГГц, складає 867 Мбіт/с.

Апаратним забезпеченням дослідження обрано корпоративну розрізнену мережу, у якій одночасно працюють стаціонарні й мобільні безпроводні пристрої. Особливістю роботи є використання переважно статистичних усереднених даних, отриманих за визначений період. Дослідження та збір даних проводилися в умовах повного робочого дня з дев'ятої до вісімнадцятої години протягом двох тижнів. У перші п'ять робочих днів було зібрано контрольну інформацію та деякі дані, на які можна опиратися при аналізі статистичних даних. Протягом наступного тижня було зібрано інформацію, аналіз якої дозволить визначити вплив технології Airtime Fairness на показники продуктивності мережі. У робочий час основний відсоток навантаження мережі генерується трафіком термінальних клієнтів та HTTPS-трафіком, згенерованим браузером, таким як відвідування сайтів, фонові музика, навчальне відео, незначний файлообмін, тощо.

Механізм отримання дозволу на початку передачі у прямому потоці має наступний алгоритм:

- перший етап полягає в отриманні та аналізі поточної каналної швидкості, на якій працює клієнт;
- другий етап – отримання та аналіз інформації щодо розміру пакета даних, який готується до відправки;
- третій етап – обчислення необхідного часу на передачу цього пакета при відомому його розмірі та поточній каналній швидкості до клієнта;
- четвертий етап полягає в порівнянні значення часу, необхідного на передачу кадру, й наявної кількості маркерів часу для поточного сеансу зв'язку. Якщо кількість маркерів часу достатня для передачі кадру, кадр відправляється на радіомодуль для передачі клієнту. Якщо кількості маркерів часу недостатньо для передачі поточного пакету, він затримується в черзі до наступного циклу алгоритму для отримання дозволу на передачу.

Розглянемо порядок збору та представлення результатів контрольних вимірювань.

Статистичні дані зібрані упродовж п'яти робочих днів за однакових умов, за незмінних налаштувань мережі, за незмінним місцезнаходженням обладнання та робочих місць співробітників.

Для покращення точності та достовірності зібраних даних кожен із робочих днів було розбито на часові проміжки у п'ять, десять, п'ятнадцять та тридцять хвилин, годину, дві й три, причому розподіл проміжків день у день був випадковий.

Збір даних здійснено у напівавтоматичному режимі за допомогою програмного забезпечення для моніторингу мережевого обладнання за протоколом SNMP Zabbix зі встановленими шаблонами, відповідними для кожного із типів обладнання.

Дані про розмір пакетів та їх кількість за секунду відповідно до розміру було зібрано з кореневого маршрутизатора, який термінує трафік безпроводної мережі. Для більш якісної оцінки продуктивності відносно типу трафіка, а як наслідок – розміру пакета, запроваджено диференціацію та незалежну оцінку параметрів для трьох розмірів пакета – маленькі (розмір від 64 до 512 байт), середні з розміром пакета від 513 до 1024 байт та великі – розміром від 2015 до 1518 байт на каналному рівні. Дані про утилізацію безпроводного каналу були отримані за допомогою моніторингу внутрішніх статистичних даних кожної з точок доступу. У роботі представлено середнє арифметичне значення утилізації каналу. Достовірність дослідження обумовлена сталою конфігурацією обладнання й типовими видами діяльності співробітників.

Зважаючи на те, що статистичні дані день у день схожі та аномальних даних виявлено не було, у роботі показано статистику одного з випадкових днів.

Для якісного аналізу впливу технології Airtime Fairness на показники продуктивності безпроводної мережі було зібрано контрольні статистичні дані продуктивності мережі з вимкненим Airtime Fairness, що представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Контрольні вимірювання	Кількість пакетів в секунду, залежно від розміру пакета, байт			Сумарна кількість пакетів в секунду, байт	Трафік, кбіт/с	Утилізація каналу, %
	64-512	513-1024	1025-1518			
Часові інтервали						
9:00-10:00	118	319	804	1241	11788,9	18,47
10:00-13:00	120	283	753	1156	11463,2	17,63
13:00-13:05	140	304	665	1099	10208,1	16,03
13:05-13:15	138	314	748	1200	11179,4	17,69
13:15-13:30	151	294	832	1277	12071,4	19,13
13:30-14:00	125	329	712	1166	10784,8	16,74
14:00-16:00	143	311	744	1198	11725,6	18,19

Наступним кроком аналізу є зміни у налаштуваннях системи, тобто активація алгоритмів технології Airtime Fairness. Зібрані дані представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Контрольні вимірювання	Кількість пакетів в секунду, залежно від розміру пакета, байт			Сумарна кількість пакетів в секунду, байт	Трафік, кбіт/с	Утилізація каналу, %
	64-512	513-1024	1025-1518			
Часові інтервали						
9:00-11:00	132	342	878	1352	13376	19,12
11:00-14:00	128	323	817	1268	12548,8	16,88
14:00-14:05	122	289	742	1153	11283,2	16,08
14:05-14:15	144	349	791	1284	11992,9	17,21
14:15-14:30	137	356	853	1346	12766,1	18,29
14:30-15:00	138	320	766	1224	11932,8	16,07
15:00-16:00	128	299	759	1186	11704	15,88

Виходячи з даних табл. 1, можна зробити висновки, що, по-перше, будь-які параметри системи – це випадкові величини, які є слабокорельовані. Це зумовлене одночасно багатьма факторами, в першу чергу – випадковим значенням кількості згенерованого кожним із користувачів трафіка в будь-яку одиницю часу та випадковий тип трафіка у будь-який момент часу. До того ж кількість безпроводних клієнтів системи є змінною та непередбачуваною величиною.

По-друге, залежність показників середньої пакетної продуктивності та середньої пропускної здатності за будь-який період майже відсутні із-за неможливості передбачити тип трафіка і, відповідно, середній розмір пакетів, які будуть згенеровані конкретним користувачем у прямому або у зворотному напрямку передачі.

Однак слід зауважити деяку кореляцію пакетної продуктивності та середньої швидкості за період близько 12:30 – 14:00 годин. Незначне зменшення та коливання показників в цей період зумовлено перервою у робочих процесах, але збільшенням активності користувачів у соціальних мережах, відеохостингах, новинних сайтах, тощо.

Прийнявши до уваги, що ніяких змін у налаштуванні безпроводного обладнання, його конфігурації, місцезнаходження не було, зміни показників, що показано у табл. 2, є виключно наслідком роботи алгоритмів технологій Airtime Fairness.

Детальний аналіз вказаних показників показано на рис. 2.

Зміни у продуктивності мережі і значення середнього трафіка у досліджуваній період є очевидними. Помітно підвищення пакетної продуктивності, середньої швидкості передачі та зменшення відсотка утилізації каналу. Це свідчить про позитивні зміни у роботі безпроводної мережі.

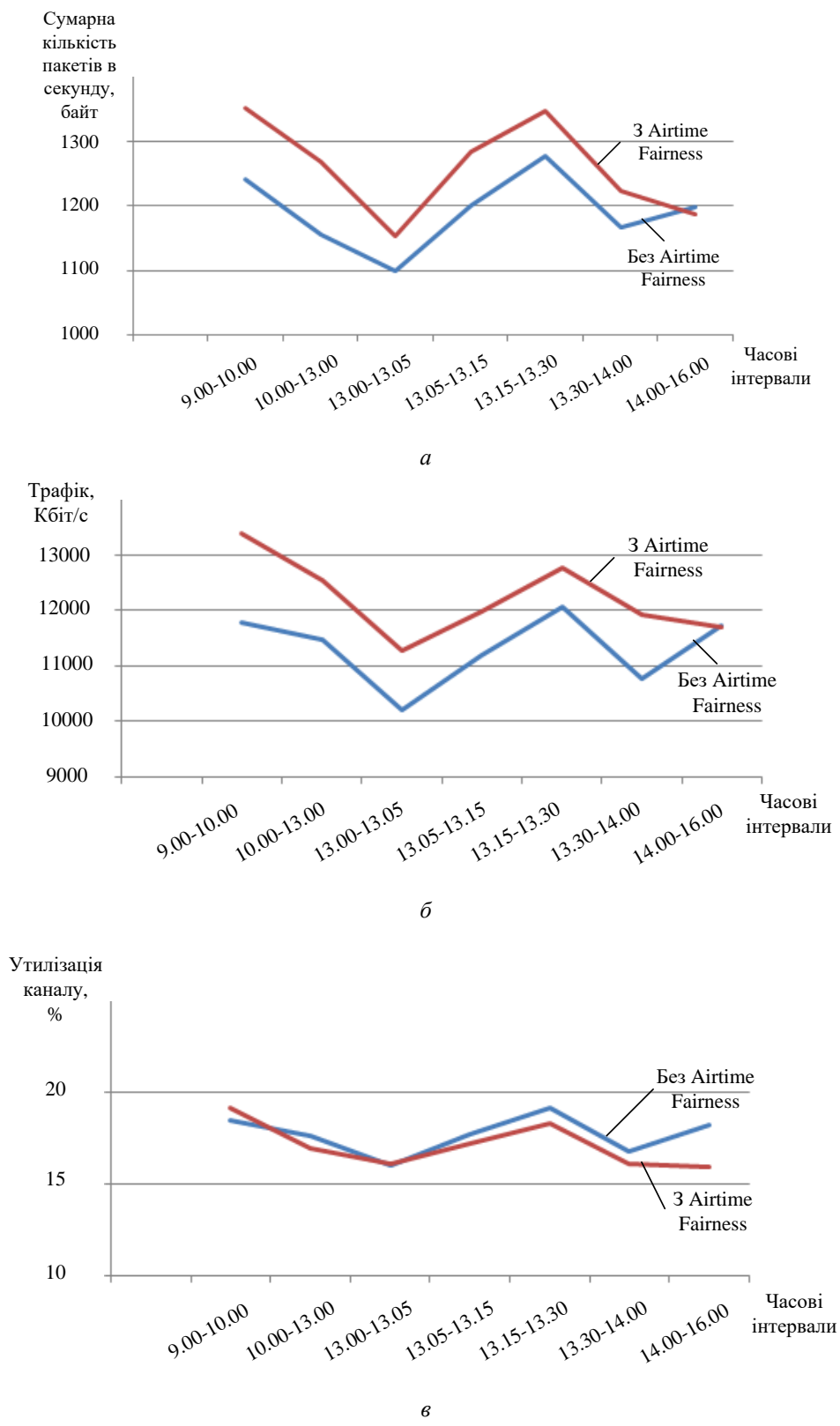


Рис. 2. Графіки зміни показників безпроводної мережі

Для аналізу змін у показниках продуктивності безпроводної мережі доцільно використовувати метод порівняння показників отриманих після активації механізмів Airtime Fairness з показниками, отриманими впродовж контрольного тижня. Формула змін $\Delta_{пер}$ показників

середньодобової та пропускної здатності системи за періоди з активованим Airtime Fairness відносно контрольних вимірювань на першому тижні представлена нижче:

$$\Delta_{пер} = \left(\frac{C_{ATF}}{C_{контр}} \cdot 100\% \right) - 100, \quad (1)$$

де C_{ATF} – продуктивність системи при активованому Airtime Fairness; $C_{контр}$ – продуктивність системи в контрольний період.

Отже, виходячи з отриманих даних досліджу та аналізу, можна зробити висновок, що продуктивність мережі з увімкненими алгоритмами технології Airtime Fairness дійсно зростає. Усереднений загальний показник середньої пропускної здатності за період дослідження, у порівнянні з даними, отриманими в контрольний тиждень, збільшився на 8,78 %. Треба брати до уваги, що мережа під час досліджу не зазнавала перевантажень й працювала в доволі незавантаженому режимі.

Оскільки основним показником завантаження системи передачі є утилізація безпроводного каналу, то для максимально можливої якісної оцінки впливу технології Airtime Fairness на продуктивність системи доцільно було б визначити максимально допустиме теоретичне значення продуктивності системи при поточному значенні утилізації каналу для кожного із параметрів продуктивності. Теоретично максимальні показники продуктивності безпроводної мережі за умови 100 % утилізації каналу оцінюються формулою

$$N_{макс} = \left(\frac{N_{доб} \cdot 100\%}{B_{кан}} \right), \quad (2)$$

де $N_{макс}$ – максимальне теоретичне значення продуктивності при 100 % утилізації ефіру; $N_{доб}$ – показник середньодобової продуктивності; $B_{кан}$ – поточна утилізація каналу.

Таким чином, з покращенням швидкісних та якісних показників безпроводної мережі алгоритми роботи технології Airtime Fairness забезпечили оптимізацію використання ефірного часу, що, в свою чергу, збільшило теоретичний максимум показників продуктивності при 100 % утилізації ефіру на 13,6 % для швидкості передачі трафіка, та на 13,88 % для показника кількості переданих за секунду пакетів.

Висновки

Характерною особливістю безпроводного зв'язку з деякою множиною кінцевих пристроїв є те, що вони спільно використовують одну і ту ж полосу для незалежної передачі інформації. Єдиним методом розділення інформаційних потоків є часове розділення, тобто незалежна передача даних кожного із користувачів, працюючих на спільній частоті, можлива лише при передачі даних по черзі, за умови вільного радіоефіру. Вірогідність того, що претендувати на ефірний час будуть пристрої різних поколінь, які до того ж мають різне співвідношення сигнал/шум, використовують різну модуляцію, кодування і т. і., тобто працюють кожен на своїй канальній швидкості, яку, до того ж, неможливо передбачити або спрогнозувати заздалегідь, прагне до одинці.

Технологія Airtime Fairness базується на засадах забезпечення справедливого за часом механізму доступу до ефіру при спільній роботі двох або більше безпроводних клієнтів в умовах сильної диференціації клієнтів за швидкістю роботи в мережі.

Досліджено вплив технології Airtime Fairness на показники продуктивності та якості роботи безпроводної мережі Wi-Fi стандарту 802.11ac. Представлено теоретичне обґрунтування ефективності роботи технології в умовах диференціації безпроводних клієнтів з використанням мережі стандарту 802.11ac з параметрами ширини полоси сигналу в 40 МГц та використанням схеми 2x2 MIMO.

Представлено аналіз основних показників продуктивності та якості роботи безпроводної мережі, таких, як середня швидкість трафіка, пакетна продуктивність та кількість TCP-пакетів, які зазнали втрати або пошкодження чи передані через мережу повторно.

Розглянуто особливості реалізації алгоритмів роботи Airtime Fairness для обладнання виробництва Edimax. Отримано статистичні дані за умови відключення як безпосередньо самої технології Airtime Fairness, так і інших технологій, спрямованих на оптимізацію процесу передачі даних в ефірі. Проведено збір та аналіз показників продуктивності системи при активованих механізмах Airtime Fairness за умови збереження всіх інших попередніх налаштувань, місць розташування обладнання, місць знаходження безпроводних клієнтів, та їх кількості.

Показано позитивний вплив на продуктивність та окремі показники якості мережі, а саме: збільшення величини трафіка за рахунок зменшення відсотка монополізованого ефіру на 13,6 % відносно показників контрольного тижня; збільшення пакетної продуктивності на 13,88 % та зменшення кількості повторно переданих TCP-пакетів через мережу на 7,7 %, що свідчить про підвищення надійності безпроводної системи.

Доведено, що використання технології Airtime Fairness однозначно доцільне, але тільки при повному розумінні механізмів та особливостей роботи одночасно з чітким розумінням впливу даної технології на мережу та кожного окремого клієнта.

Список літератури:

1. Dmitry Denisov The Future of Wi-Fi Technology // IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. 2017. 08–13 October. Montreal, QC, Canada. P. 211–215.
2. Jianjun Lei, Shengjie Peng and Yu Dai Adaptive Access Mechanism Based on Network State Detection in Multi-rate IEEE 802.11 WLANs // Cybernetics and Algorithms in Intelligent Systems Proceeding of 7th Computer Science On-line Conference. 2018. Vol.3. P. 259–271.
3. Макаренко В.С. 802.11ax – новая версия стандарта высокоскоростной системы связи Wi-Fi // Телекоммуникации и связь. 2017. № 2. С. 42–51.
4. Дмитрий Ганьжа. Wi-Fi всякий-разный // Журнал сетевых решений/LAN. 2017. № 10. С. 42–52.
5. Rick McGeer, Mark Berman, Chip Elliott, Robert Ricci The GENI book. Switzerland: Springer, 2016. 651 с. DOI 10.1007/978-3-319-33769-2/
6. Bhanage G., Daya R., Seskar I. & Raychaudhuri D. VNTS: A Virtual Network Traffic Shaper for Air Time Fairness in 802.16e Systems [Электронный ресурс] // IEEE International Conference in Communications (ICC). Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1109/ICC.2010.5502484>.