

## Акустичні прилади та системи

УДК 004.7:654.195.6

# Аналіз показників успішності передавання звукових потоків засобами безпроводової мережі стандарту 802.11

Інь Ченлян<sup>f</sup>,e-mail: [254771778@qq.com](mailto:254771778@qq.com)Омельянець О.О.<sup>f</sup>,e-mail: [omelyanets2011@gmail.com](mailto:omelyanets2011@gmail.com)Лазебний В.С.<sup>s</sup>, доцент, к.т.н., ORCID [0000-0002-5702-2775](https://orcid.org/0000-0002-5702-2775)e-mail: [volodsl54@gmail.com](mailto:volodsl54@gmail.com)Факультет електроніки [fel.kpi.ua](http://fel.kpi.ua)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [www.kpi.ua](http://www.kpi.ua)

Київ, Україна

**Реферат** - У статті проаналізовано ефективність застосування безпроводової мережі IEEE 802.11 для передавання аудіо контенту. Показник успішності розглянуто як ефективність функціонування системи для досягнення установлених цілей. Тобто, дослідження присвячені умовам, за яких засоби безпроводової мережі стандарту 802.11 можуть забезпечити прийнятну якість надання послуг, пов'язаних з передаванням звукових потоків. Для отримання зазначених оцінок проаналізовано характеристики потоків аудіо, що передають засобами безпроводових мереж та проаналізовано співвідношення експлуатаційних характеристик мереж IEEE 802.11 та параметрів таких потоків. Особливу увагу зосереджено на особливостях формування аудіопотоків за допомогою кодеків для найбільш популярних форматів звукових даних.

**Ключові слова** - звуковий потік; безпроводова мережа; затримка; пропускна спроможність; стиснення звукового потоку; інформаційна послуга; IP-мережа.

### I. ВСТУП

**Окреслення проблеми.** Безпроводові локальні мережі набувають дедалі більшого поширення серед організацій різних масштабів. Абонентськими станціями, прислужуваними до мереж, є смартфони, планшети, портативні комп'ютери, які обладнані однією антеною Wi-Fi.

Значну частину інформації, яку прагнуть отримати користувачі, складає аудіовізуальна інформація. Wi-Fi мережі є найбільш зручним (мобільним) і доступним (дешевим) засобом для отримання і передавання звукової (IP-телефонія, доступ до пісенних та концертних фонограм тощо) інформації, яка є потоковою інформацією. Інформаційні медіапотоки створюють велике навантаження на канали передавання мережі, що призводить до погіршення якісних показників мережі, та знижує якість надання інформаційних послуг.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням прогнозування експлуатаційних характеристик мереж присвячено багато наукових досліджень [1-3],

проте, через складність завдання, врешті-решт спираються на попередній досвід розгортання та експлуатації безпроводових мереж стандарту 802.11. Теоретичні розрахунки пропускної здатності безпроводової мережі ґрунтуються на аналізі мережі з насиченим навантаженням, запропонованому Джузеппе Б'янкі [4]. Зазначений підхід поширили для аналізу мереж 802.11 всіх специфікацій, однак, отримані результати мають суттєві відмінності від вимірюваних на практиці параметрів. Тобто, теоретичне дослідження особливостей процедур, які впливають на рівень успішності функціонування безпроводових мереж стандарту 802.11, і розроблення розрахункових співвідношень, що дозволяють оцінити можливості безпроводової мережі щодо передавання аудіовізуальних інформаційних потоків, є актуальним завданням.

**Метою дослідження** є оцінювання успішності передавання звукових потоків засобами безпроводової мережі стандарту 802.11. Для досягнення поставленої мети в роботі проаналізовано вимоги до характеристик безпроводової мережі для забезпечення гарантованої якості обслуговування, досліджено



характеристики мережі, з урахуванням алгоритму її функціонування. За результатами порівняння необхідних показників якості та прогнозованих параметрів проведено оцінювання успішності функціонування мережі.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

У звукових сигналах дані подано дискретними значеннями величин, таким чином у результаті процесів оброблення сигналу на етапах його формування та розповсюдження відбуваються втрати частини такої інформації, що призводить до пониження якісних показників відтворюваного матеріалу [5].

Щоб оцінити ефективність застосування мережі 802.11 для передавання аудіовізуальної інформації треба з'ясувати, які характеристики процесу передавання є найбільш критичними для якісного забезпечення відповідних інформаційних послуг.

Потоки аудіоінформації передають телекомунікаційними каналами за для надання інтерактивних послуг [5]: обмін аудіо інформацією, IP-телефонія, радіомовлення, аудіо за запитом, прослуховування, мобільний зв'язок (відеозв'язок).

Алгоритми передавання трафіку у процесі надання тих чи інших послуг прийнято поділяти на 2 основні категорії:

- передавання контенту у режимі RealTime (реального часу). Такий режим використовують у випадках, коли необхідною умовою є передавання інформації у реальному часовому масштабі (допустима затримка не більше 10 секунди). Прикладами послуг, що генерують трафік реального часу, можуть бути IP-телефонія, високоякісний звук, конференцзв'язок, розповсюдження радіограм.
- передавання контенту у звичайному режимі. Такий вид трафіку призначений для таких сервісів як: електронна пошта, віртуальні термінали, обмін даними у вигляді сформованих файлів тощо.

Під час передавання мультимедійної інформації необхідно забезпечити з'єднання з кожним з абонентів мережі. Таке транспортне середовище має забезпечити належну якість обслуговування. Допустимі значення параметрів, за допомогою яких оцінюють якість передавання контенту у мережі обмежені міжнародними стандартами та рекомендаціями та наведені у табл. 1.

Розглянемо такі специфікації стандарту 802.11, як n та a. Згідно з рекомендацією ITU-TY1541 найбільш впливовими характеристиками є середня затримка, нерівномірність (джертер) часу передавання та ймовірність втрати пакету.

Проаналізуємо, які розміри мають пакети даних, що передають звукову інформацію.

ТАБЛИЦЯ 1 – ПРИПУСТИМИ ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕДАВАННЯ ЗВУКОВОГО ТРАФІКУ

Тип послуги	Параметри, які визначають якість обслуговування			
	IP-телефонія	Конференція	Передавання даних	Радіомовлення
$f^{(cn)}$ , с (час, необхідний для встановлення транспортного з'єднання)	0.5...1	0.5...1	0.5...1	0.5...1
$p^{(rj)}$ (ймовірність розриву зв'язку)	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
$\tau$ , мс (затримка)	25...500	30	50...1000	1000
$p^{(rs)}$ (ймовірність втрати пакетів)	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
$\sigma^{(d)}$ , с (джертер)	100...150	30...100	-	-

ТАБЛИЦЯ 2 – ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКІВ ДАНИХ, СФОРМОВАНИХ ЗВУКОВИМИ КОДЕКАМИ

Характеристики звукових кодеків	Кодек та бітова швидкість (кбіт/с)	G 711 (64 кб/с)	G 729 (8 кб/с)
		Розмір вибірки кодека (байтів)	80
	Інтервал вибірки кодека (мс)	10	10
	Усереднена суб'єктивна оцінка (MOS*)	4,1	3,92
Розрахунок Інтенсивності Інформаційного потоку	Розмір голосових даних (байтів)	160	20
	Тривалість голосових даних (мс)	20	20
	Кількість пакетів за секунду (PPS)	50	50
	Пропускна здатність (кбіт/с)	87,2	31,2

\*Примітка: Mean Opinion Score (MOS) – усереднена суб'єктивна оцінка

Характеристики потоків даних сформованих найбільш поширеними звуковими кодексами наведено в табл.2 [6].

Будемо досліджувати функціонування мережі у насиченому режимі. Для того, щоб визначити основні закономірності зміни якісних показників мережі, залежно від кількості активних станцій, розглянемо спочатку зміну пропускну здатності мережі стандарту IEEE 802.11a із застосуванням алгоритму RTS/CTS [4,7].

Якщо в мережі використано механізм RTS/CTS, тоді, перед тим як передати кадр даних, станція надсилає короткий кадр RTS, у відповідь на який надходить кадр CTS, переданий приймальною станцією. RTS та CTS кадри містять інформацію про те, скільки часу знадобиться для передавання наступного кадру даних і отримання відповідного кадру підтвердження ACK або іншими словами – тривалість прогнозного інтервалу передавання кадру і супутньої службової інформації. Цей інтервал називають вектором розподілу мережі (Network Allocation Vector – NAV). Таким чином, інші станції, що сприймають сигнал передавальної станції, та приховані станції, що знаходяться близько від приймальної станції, не почнуть своє передавання через те, що у них буде встановлено



таймер вектора розподілу мережі, і вони не будуть здійснювати зворотний відлік, доки інтервал NAV не буде вичерпано. Тільки після цього станції знову можуть брати участь у конкуренції за доступ до каналу.

Слід зауважити, що використання послідовності кадрів RTS/CTS може бути дуже корисним, навіть за умови відсутності прихованих станцій. Наприклад, коли багато станцій мережі конкурують за доступ до каналу, втрата пропускної спроможності через колізії, що виникають під час передавання кадрів, RTS може бути набагато меншою порівняно з втратами через колізії під час передавання значно більших кадрів даних [8].

Будемо користуватись співвідношеннями з роботи [9] отриманими для режиму конкурентного доступу з розподіленою функцією координації (DCF). Технологія конкурентного доступу до каналу є базовою технологією стандарту IEEE 802.11. Зокрема, її застосовують на етапі прослуховування каналу і визначення параметрів каналу для організації передавання сигнальних потоків різним абонентам як в режимі з одним просторовим потоком, так і в режимі з кількома просторовими потоками [10, 11].

Для визначення умов, за яких безпроводова мережа у разі насиченого навантаження станцій може забезпечити прийнятну якість відтворення звукової інформації, проаналізуємо співвідношення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж

IEEE 802.11a/n та параметрів аудіовізуальних потоків.

У табл. 2 наведено параметри потоків даних, сформованих звуковими кодеками. Розглянемо параметри потоку, сформованого кодеком G 711: кількість пакетів за секунду (періодичність генерування пакетів PPS) дорівнює 50, пропускна здатність мережі Ethernet необхідна для передавання компресованого аудіопотоку (за умови рівномірного надходження пакетів) 87,2 кбіт/с, розмір корисного навантаження пакета 160 байтів, загальна величина одного пакета з урахуванням заголовків протоколів різних рівнів IP мережі становить 218 байтів. Періодичність надходження пакетів звукового потоку має складати 20 мс.

Проаналізуємо випадок, коли кожна станція безпроводової мережі здійснює формування конкурентного вікна за стандартним сценарієм з використанням двійкового показникового механізму. Тобто, після виникнення колізії під час передавання кадру певною станцією множина чисел конкурентного вікна збільшується вдвічі. Загалом процес функціонування безпроводового каналу за таких умов можна розглядати, як квазістаціонарний випадковий процес.

Проаналізуємо можливості безпроводових мереж, що функціонують за специфікацією IEEE 802.11a або IEEE 802.11n, щодо передавання тільки голосового трафіка абонентів мережі. У табл. 3 наведено пропускну здатність мережі IEEE 802.11a в режимі конкурентного доступу до каналу з урахуванням колізій за відсутності радіозавад у разі застосування системної швидкості  $S_0 = 24$  Мбіт/с.

Таблиця 3 – Пропускна здатність мережі IEEE 802.11a для  $S_0=24$  Мбіт/с

Кількість станцій, $N$	2	4	6	8	10	12	14
<b>PL=128 байтів</b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	2,78	2,9	2,89	2,87	2,83	2,78	2,8
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	1,39	0,725	0,482	0,359	0,283	0,232	0,2
Середня затримка, мс	0,6416	1,2445	1,8754	2,5371	3,2304	3,9537	4,7014
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,1651	3,3851	6,5922	10,8613	15,708	20,422	24,9822
<b>PL=256 байтів</b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	4,97	5,15	5,15	5,1	5,04	4,97	4,99
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	2,485	1,29	0,858	0,638	0,504	0,414	0,356
Середня затримка, мс	0,7296	1,4205	2,1394	2,8889	3,6697	4,4795	5,3120
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,3459	3,979	8,0031	13,3642	19,347	25,048	30,455
<b>PL=1500 байтів</b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	14,57	14,82	14,82	14,75	14,67	14,56	14,6
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	7,285	3,705	2,47	1,844	1,467	1,213	1,043
Середня затримка, мс	1,5536	3,0685	4,6112	6,1834	7,7831	9,4033	11,0297
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	3,341	10,049	21,7927	37,2794	53,790	68,654	81,9563



ТАБЛИЦЯ 4 – ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ МЕРЕЖІ IEEE 802.11А У РАЗІ  $S_0=54$  МБІТ/С

Кількість станцій, $N$	2	4	6	8	10	12	14
<b><i>PL=128 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	3,5	3,73	3,72	3,68	3,61	3,54	3,47
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	1,75	0,933	0,62	0,46	0,361	0,295	0,248
Середня затримка, мс	0,498	0,957	1,443	1,961	2,512	3,094	3,707
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,278	3,543	7,227	11,57	15,7	19,23	22,15
<b><i>PL=256 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	6,72	6,95	6,94	6,86	6,75	6,63	6,5
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	3,36	1,738	1,157	0,858	0,675	0,563	0,464
Середня затримка, мс	0,5376	1,037	1,563	2,121	2,711	3,334	3,984
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,382	3,841	7,828	12,51	16,95	20,72	23,84
<b><i>PL=1500 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	24,55	25,08	25,05	24,87	24,62	24,34	24,04
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	12,275	6,27	4,125	3,109	2,462	2,028	1,717
Середня затримка, мс	0,906	1,773	2,667	3,592	4,549	5,534	6,544
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	2,339	6,789	15,08	26,24	38,09	49,17	59,0

Під час роботи реального каналу пропускна здатність зменшується за рахунок наявності інтервалів очікування, коли жодна станція мережі не передає інформацію, повторних циклів передавання кадрів даних через виникнення колізій або через пошкодження кадрів внаслідок зменшення відношення сигнал/шум в каналі за наявності зовнішніх шумів та завад.

У табл. 4 наведено пропускну здатність мережі IEEE 802.11a в режимі конкурентного доступу до каналу з попереднім опитуванням (RTS/CTS) з урахуванням колізій за відсутності радіозавад у разі застосування системної швидкості  $S_0=54$  Мбіт/с.

Порівняймо параметри звукового трафіка згенерованого кодеками G 711 та G 729 з експлуатаційними характеристиками безпроводової мережі IEEE 802.11a, що функціонує із системною швидкістю 24 Мбіт/с або 54 Мбіт/с. Для нормального передавання і відтворення звуку згенерованого кодеком G 711 треба забезпечити пропускну здатність 75,2 кбіт/с (з урахуванням заголовків IP/UDP), та періодичність надходження пакетів 20 мс. А в разі застосування кодека G 729 – 19,2 кбіт/с та 20 мс відповідно.

Зробимо оцінювання за умови, що мережу навантажено тільки голосовим трафіком. Як впливає із аналізу даних, наведених в табл. 3 та 4 необхідну пропускну здатність безпроводова мережа 802.11a може забезпечити для великої кількості користувачів (не менше 14 активних абонентів на одну точку доступу) як у разі застосування системної швидкості 24 Мбіт/с, так і у разі застосування системної швидкості 54 Мбіт/с. Те саме стосується мережі 802.11n, що

функціонує в традиційному або змішаному режимі з одним просторовим каналом в частотній смузі 20 МГц в режимі із системною швидкістю 72 Мбіт/с.

Для забезпечення якісного надання послуг, пов'язаних з передаванням аудіо контенту обов'язковим є виконання умови про те, що нерівномірність затримки часу передавання пакету не має бути більшою за періодичність надходження.

Для компенсації нерівномірності затримки, що виникає під час передавання пакетів у розглянутих вище безпроводових мережах IEEE 802.11, можна використовувати невеликі за обсягом буфери пам'яті оскільки навіть за наявності чотирнадцяти активних абонентів у мережі нерівномірність лише трохи перевищує період надходження пакетів. Проте у разі великої кількості абонентів і невеликого буфера в приймачі можливе незначне погіршення якості голосового зв'язку через накопичення затримки або значну затримку окремих пакетів.

У безпроводовій мережі IEEE 802.11n, що функціонує у змішаному режимі нерівномірність передавання пакетів має значно більшу величину порівняно з мережами IEEE 802.11a, табл. 5. Так, у разі системної швидкості 72 Мбіт/с за наявності десяти активних абонентів нерівномірність затримки перевищує період надходження голосових пакетів. Незначне погіршення якості голосового зв'язку через накопичення затримки або значну затримку окремих пакетів можна очікувати в такій мережі уже за наявності десяти активних абонентів.



ТАБЛИЦЯ 5 – ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ МЕРЕЖІ IEEE 802.11n У РАЗІ  $S_0 = 72$  МБІТ/С

Кількість станцій, $N$	2	4	6	8	10	12	14
<b><i>PL=128 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	3,5	3,73	3,72	3,68	3,61	3,54	3,47
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	1,75	0,933	0,62	0,46	0,361	0,295	0,248
Середня затримка, мс	0,62	1,201	1,806	2,436	3,091	3,771	4,473
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,482	4,474	10,15	17,872	26,2	34,17	41,471
<b><i>PL=256 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	6,72	6,95	6,94	6,86	6,75	6,63	6,5
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	3,36	1,738	1,157	0,858	0,675	0,563	0,464
Середня затримка, мс	0,65	1,259	1,892	2,551	3,235	3,944	4,674
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	1,551	4,688	10,63	18,709	27,402	35,701	43,285
<b><i>PL=1500 байтів</i></b>							
Пропускна здатність каналу, Мбіт/с	24,55	25,08	25,05	24,87	24,62	24,34	24,04
Пропускна здатність однієї станції, Мбіт/с	12,275	6,27	4,125	3,109	2,462	2,028	1,717
Середня затримка, мс	0,923	1,806	2,713	3,644	4,601	5,579	6,576
Нерівно-мірність затримки ( $\sigma$ ), мс	2,203	6,716	15,5	26,626	38,759	50,158	60,391

#### ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу даних, отриманих у процесі дослідження необхідну пропускну здатність безпроводова мережа 802.11a може забезпечити для великої кількості користувачів (не менше 14 активних абонентів на одну точку доступу) як у випадку застосування системної швидкості 24 Мбіт/с, так і для режиму з системною швидкістю 54 Мбіт/с. Аналогічна ситуація і для мережі 802.11n з одним просторовим каналом частотою ві 20 МГц у разі системної швидкості 72 Мбіт/с.

2. Пропускна здатність одного просторового каналу безпроводової мережі за специфікацією IEEE 802.11n набагато менше швидкості передавання даних в межах кадру фізичного рівня, що обумовлено колізіями, інтервалами очікування та непродуктивними витратами часу, пов'язаними з передаванням заголовків мережних протоколів різних рівнів та службовою інформацією безпроводової мережі.

3. Використання одного просторового каналу безпроводової мережі IEEE 802.11n у змішаному режимі може забезпечити одночасно до 14 голосових з'єднань з високою якістю надання послуги, оскільки значення якісних показників мережі задовольняють вимоги щодо передавання звукового трафіка (частка пропускну здатності, що припадає на одну станцію, середня затримка та нерівномірність передавання).

4. Для компенсації нерівномірності затримки, що виникає під час передавання пакетів у розглянутих під час аналізу мережах IEEE 802.11, рекомендовано застосовувати невеликі за обсягом буфери пам'яті оскільки навіть за наявності чотирнадцяти активних

абонентів у мережі нерівномірність лише трохи перевищує період надходження пакетів.

5. Для випадків, коли у мережі налічується чотири і більше станцій, що функціонують в насиченому режимі, мережа IEEE 802.11n переходить на режим з пониженою швидкістю завадостійкого кодування. Таким чином унеможливується реалізація найбільш швидкісних режимів передавання звукових потоків.

6. Реальна пропускна здатність безпроводових каналів мереж IEEE 802.11 значно відрізняється від максимальних розрахункових значень наведених у специфікаціях стандарту. Для оцінювання можливостей безпроводових мереж IEEE 802.11 щодо передавання аудіовізуальної інформації за умов одночасного користування мережею кількома абонентами доцільно зробити аналіз результатів, отриманих різними дослідниками.

#### ВНЕСОК АВТОРІВ

Науковим керівником проведених досліджень є Лазебний Володимир Семенович – к.т.н., доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, факультету електроніки, Національно-технічного університету України «Київський політехнічний університет ім. Ігоря Сікорського». Авторами роботи є аспіранти 3го курсу (Омельянець Олександра Олександрівна) та 4го курсу (Інь Ченлян) тієї ж кафедри.

Науковий та організаційний внесок усіх авторів-учасників досліджень вважати рівноцінним та однаково корисним.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Airmagnet. (2008, march). Impact of Legacy Devices on 802.11n Networks. Airmagnet Inc. Sunnyvale. [Online]. Available: [http://www.nle.com/literature/Airmagnet\\_impact\\_of\\_legacy\\_devices\\_on\\_80211n.pdf](http://www.nle.com/literature/Airmagnet_impact_of_legacy_devices_on_80211n.pdf).
- [2] Vanhatupa T. (2015). Wi-Fi Capacity Analysis for 802.11ac and 802.11n: Theory and practice. Ekahau Inc. Helsinki.
- [3] R. Karmakar, S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, "Impact of IEEE 802.11n/ac PHY/MAC High Throughput Enhancements on Transport and Application Protocols-A Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 4, pp. 2050–2091, 2017, DOI: [10.1109/COMST.2017.2745052](https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2745052)
- [4] B. Bing, Ed., *Emerging Technologies in Wireless LANs*. Cambridge University Press, 2009, DOI: [10.1017/cbo9780511611421](https://doi.org/10.1017/cbo9780511611421)
- [5] V. V. Velychko, E. A. Subbotyn, V. P. Shuvalov, and A. F. Yaroslavtsev, *Telekommunikatsionnyye sistemy i seti. Tom 3. Multiservisnyye seti [Telecommunication systems and networks. Volume 3. Multiservice Networks]*. Moscow: Horyachaya lynyya-Telecom, 2005.
- [6] Cisco, "Traffic Analysis for Voice over IP," 2001. [Online]. Available: [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions\\_docs/voip\\_solutions/TA\\_ISD.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html).
- [7] Yin Chenlyan and V. C. Lazebnyy, "Application of the concept of a virtual competitive window for predicting the bandwidth of the Wi-Fi wireless segment," *Probl. Informatiz. Manag.*, vol. 4, no. 60, pp. 30–38, 2018, DOI: [10.18372/2073-4751.4.12817](https://doi.org/10.18372/2073-4751.4.12817)
- [8] V. S. Lazebnyy, Yin Chenlyan, and O. O. Omel'yanets', "Doslidzhennya real'noyi propusknoyi spromozhnosti bezprovodovoyi informatsiyanoi merezhi spetsyifikatsiyi 802.11n [Research of real bandwidth of the wireless information network of the 802.11n specification]," *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu Im. V.I.Vernads'koho Seriya «Tekhnichni Nauk.»*, vol. 29 (68), no. 5, pp. 155–160, 2018.
- [9] Yin Chenlyan and V. C. Lazebnyy, "Otsinyuvannya efektyvnosti peredavannya audio-vizual'noyi informatsiyi zasobamy bezprovodovoyi merezhi 802.11n [Estimation of efficiency of transmission of audio-visual information by means of wireless network 802.11n]," *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu Im. V.I.Vernads'koho Seriya «Tekhnichni Nauk.»*, vol. 30 (68), no. 5, pp. 73–82, 2018.
- [10] R. Liao, B. Bellalta, J. Barcelo, V. Valls, and M. Oliver, "Performance analysis of IEEE 802.11ac wireless backhaul networks in saturated conditions," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2013, no. 1, 2013, DOI: [10.1186/1687-1499-2013-226](https://doi.org/10.1186/1687-1499-2013-226)
- [11] E. Charfi, L. Chaari, and L. Kamoun, "PHY/MAC enhancements and qos mechanisms for very high throughput WLANs: A survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 4, pp. 1714–1735, 2013, DOI: [10.1109/SURV.2013.013013.00084](https://doi.org/10.1109/SURV.2013.013013.00084)

УДК 004.7:654.195.6

## Анализ показателей успешности передачи звуковых потоков средствами беспроводной сети стандарта 802.11

Инь Ченлян<sup>f</sup>,e-mail: [254771778@qq.com](mailto:254771778@qq.com)Омельянец А. А.<sup>f</sup>,e-mail: [omelyanets2011@gmail.com](mailto:omelyanets2011@gmail.com)Лазебный В.С.<sup>s</sup>, доцент, к.т.н., ORCID [0000-0002-5702-2775](https://orcid.org/0000-0002-5702-2775)e-mail: [volodsl54@gmail.com](mailto:volodsl54@gmail.com)Факультет электроники [fel.kpi.ua](http://fel.kpi.ua)

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» [www.kpi.ua](http://www.kpi.ua)

Киев, Украина

**Реферат**—В статье проведен анализ эффективности применения беспроводной сети IEEE 802.11 для передачи звукового контента. Показателем успешности принято считать эффективность работы системы в процессе достижения поставленной цели. То есть, исследования посвящены условиям, при которых беспроводная сеть стандарта 802.11 может обеспечить приемлемое качество предоставления услуг, связанных с передаванием звуковых потоков. Для получения таких оценок проанализированы характеристики потоков аудио, которые передают с помощью беспроводных каналов, параметры таких потоков и соотношение эксплуатационных характеристик сетей стандарта IEEE 802.11. Отдельное внимание сосредоточено на особенностях формирования аудиопотоков с помощью кодеков наиболее популярных форматов звуковых данных.

**Ключевые слова** – аудиопоток; беспроводная сеть; задержка; пропускная способность; сжатие звукового потока; информационная услуга; IP-сеть.



UDC 004.7:654.195.6

# Analysis of the success rates of transmitting audio streams using a 802.11 wireless network

Chenlyan Yin<sup>f</sup>,e-mail: [254771778@qq.com](mailto:254771778@qq.com)O. A. Omelyanets<sup>f</sup>,e-mail: [omelyanets2011@gmail.com](mailto:omelyanets2011@gmail.com)V. S. Lazebnyy<sup>s</sup>, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-5702-2775](https://orcid.org/0000-0002-5702-2775)e-mail: [volodsl54@gmail.com](mailto:volodsl54@gmail.com)Faculty of electronics [fel.kpi.ua](http://fel.kpi.ua)

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» [www.kpi.ua](http://www.kpi.ua)

Kyiv, Ukraine

**Abstract**—The article analyzes the evaluation of the success of the transmission of audio streams by means of the IEEE 802.11 wireless network. Considered the specifications IEEE 802.11a and IEEE 802.11n. The degree of success is considered to be the efficiency of the system in the process of achieving the goal. The 802.11 standard can provide acceptable quality services for streaming audio. In order to achieve this goal, the characteristics of audio streams transmitted using wireless channels, such parameters of flows and efficiency of the IEEE 802.11 network are analyzed, the characteristics of the network are investigated taking into account the algorithm of its operation. In order to assess the effectiveness of the 802.11 network for the transmission of audiovisual information, it is necessary to determine which transmission characteristics are critical for the provision of relevant information services. The following features of the 802.11 standard, such as n and a, are considered in this article. The research was conducted to work the network in saturated mode.

The study analyzed the case when each wireless station generates a competitive window in the standard scenario using a binary indicator mechanism. That is, after the collision with the transmission of a frame by a certain station, the number of windows of the competition doubles. In general, the wireless channel was seen as a quasi-stationary random process.

In the course of work analyzed the capabilities of wireless networks that operate in accordance with the specification IEEE 802.11a or IEEE 802.11n for voice traffic only for network subscribers. Experiments were performed for various network load values, namely 128 bytes, 256 bytes, and 1500 bytes. The bandwidth of IEEE 802.11a network in the mode of competitive access to the channel, taking into account collisions with the previous survey (RTS / CTS) in the absence of interruptions in the case of application of system speed 24 Mbps, and 54 Mbps and IEEE 802.11n network at system speed 72 Mbps. The paper presents the results of experimental studies.

Evaluating network performance by comparing the audio-transformation parameters generated by G711 and G 729 codecs with IEEE 802.11 wireless network performance at 24 Mbps and 54 Mbps and for IEEE 802.11 wireless network running at system speed 72 Mbps At each stage of the study, an analysis of the success of the transmission of sound streams by means of the network IEEE 802.11 provided different number of active stations, namely: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14. In the article we used the relationships we received in previous works, for Distributed Coordination Function (DCF) mode.

The performance of the network was estimated by comparing the required quality indicators and predicted parameters. The results obtained during the research are presented in the tables and described in detail in the article. Particular attention is paid to the peculiarities of the formation of audio streams using codecs of the most popular formats of audio data.

**Keywords** - audio stream; wireless network; delay; bandwidth; audio stream compression; information service; IP network.

