

# Акустичні прилади та системи

УДК 004.932

## Дослідження особливостей розповсюдження інформаційних відеопотоків мережами 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 роботі проаналізовані характеристики відеопотоку для різних режимів надання аудіовізуальних послуг. Для визначення рівня ефективності застосування мереж 802.11 під час передавання аудіовізуальної інформації з'ясували, які характеристики процесу передавання є найбільш критичними для якісного забезпечення відповідних інформаційних послуг. Особливістю досліджень є моделювання мережі, у якій забезпечено з'єднання з кожним з абонентів мережі – транспортне середовище, що показує найбільш точку картину щодо якості обслуговування. У процесі досліджень проаналізовано характеристики відеопотоків, сформованих найбільш популярними кодеками та проведено експериментальні дослідження інтенсивності відеопотоку.

**Ключові слова** — пакетизований відеопотік; пропускна спроможність; кодек; інформаційна мережа; колізія; затримка; джитер.

### І. Вступ

**Окреслення проблеми.** Безпроводові локальні інформаційні мережі стандарту IEEE 802.11 досить затребувані як серед приватних користувачів, так і серед великих корпорацій. Wi-Fi Alliance удосконаливав алгоритми функціонування мереж такого типу, результатом чого стало помітне поліпшення характеристик та параметрів функціонування безпроводових мереж, у порівнянні з першою версією стандарту [1, 2]. У специфікаціях стандарту зазначено, що швидкість обміну даними у таких мережах змінилась з 11Мб/с у специфікації 802.11b до 6 Гб/с у специфікації 802.11ac. Але на практиці значення швидкості передавання значно відрізняється від наведених у специфікаціях. Такі зміни зумовлені тим фактором, що граничні значення пропускної здатності характеризують процес передавання інформації за ідеальних умов, під час передавання інформаційного блоку без урахування непродуктивних витрат часу для передавання службової інформації. Також вагомий вплив на параметри мають шуми та завади, спричинені іншими мережами та технічними пристроями. Також,

необхідно розуміти, що всі користувачі мережі застосовують один радіоканал.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідники зазначають, що реальні значення швидкості обміну даними не перевищують половини від задекларованих у специфікації граничного значення, навіть за сприятливих [3, 4]. Оскільки основною технологією доступу до радіоканалу є технологія конкурентного доступу, це призводить до додаткового зменшення пропускної здатності, через виникнення колізій, повторне передавання окремих кадрів та витрати ресурсу на передавання службової інформації [5, 6]. Теоретичне дослідження особливостей процедур, які впливають на рівень ефективності 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 особливостей передавання відеопотоків мережами стандарту 802.11. Для досягнення поставленої мети в роботі оцінимо на скільки і за яких умов засоби безпроводової



мережі 802.11 можуть забезпечити прийнятну якість надання послуг, пов'язаних з передаванням аудіовізуального контенту. Для отримання зазначених оцінок проаналізовано характеристики аудіовізуальних інформаційних потоків, що передають засобами безпроводових мереж, проаналізовано співвідношення експлуатаційних характеристик безпроводових мереж IEEE 802.11 та параметрів аудіовізуальних потоків.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Відеоконтентом називають цифровий потік даних, до якого належить звукова та відеоінформація. Потоки аудіовізуальної інформації передають телекомунікаційними каналами задля надання інтерактивних послуг [7]: обмін аудіовізуальною інформацією, відеотелефонія, IP-телефонія, телевізійне мовлення, відео за запитом, відеоспостереження, відеозв'язок.

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. Рекомендація ITU Y.1540 [8] описує ті параметри мережі, що найбільше впливають на якість наданих послуг, але в ній не зазначено обмежень щодо пропускної здатності. Однак, параметри, пов'язані зі швидкістю передавання даних визначає рекомендація ITU-T Y.1221 [9].

Міжнародним союзом електров'язку сформовані вимоги до параметрів, які впливають на показники якості обслуговування у процесі розповсюдження мультимедіа інформації (табл. 1).

Найбільшого поширення для передавання відео в IP мережах набула технологія, за якої блоки компресованого відео та звуку передають у форматі транспортного потоку MPEG2 TS [10]. У такому разі кілька пакетів транспортного потоку MPEG2 TS вставляють (інкапсулюють) в IP пакет. На рис.1 наведено структуру такого пакета.

У наведеній на рис. 1 схемі спільний заголовок та контрольна сума додали до корисного навантаження 54 байти: Ethernet/IP/UDP/FCS – 22/20/8/4 (байтів). Сумарне корисне навантаження одного IP пакета для передавання відеоінформації в даному прикладі становить 1316 байтів (сім пакетів MPEG2 TS по 188 байтів). Один IP пакет переносить сім пакетів MPEG-2 TS. Це поширена пропорція. Збільшення числа MPEG пакетів в одному IP пакеті, з одного боку, призводить до більш ефективного використання транспортного ресурсу, але з іншого – збільшує джитер (нерівномірність надходження пакетів в точку призначення). Тому вибирають компромісний варіант [11]. Для послуги IP ТВ або перегляду відео із мережі YouTube зі стандартною роздільною здатністю необхідна швидкість відео потоку становить 4-5 Мб/с, а для перегляду відео у форматі високої роздільної здатності (FullHD) – 15 Мб/с [12].

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

Тип послуги	Параметри, які визначають якість обслуговування				
	час, необхідний для встановлення транспортного з'єднання, с	ймовірність розриву зв'язку	затримка передавання, мс	ймовірність втрати пакетів	джитер, с
IP-телефонія	0,5...1	$10^{-3}$	25...500	$10^{-3}$	100...150
Відео-конференція	0,5...1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Цифрове відео за запитом	05...1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Передавання даних	0,5...1	$10^{-6}$	50...1000	$10^{-6}$	-
Телемовлення	0,5...1	$10^{-6}$	1000	$10^{-6}$	-

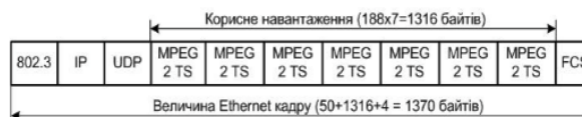


Рисунок 1 – Структура IP пакета відеопотоку в мережі Ethernet

Для оцінювання рівня параметрів відеопотоку розглянемо сценарій, за якого джерело генерує відео потік SPTS (Single Program Transport Stream – один програмний транспортний потік) з інтенсивністю 4 Мбіт/с (інтенсивність надходження корисного навантаження). У разі транспортування такого потоку користувачу мережею Ethernet величина одного пакета і обсяг корисного навантаження будуть такі, як наведено на рис.1. З урахуванням обсягу додаткової інформації в IP пакеті, що надходить користувачу інтенсивність відео- потоку в мережі Ethernet становитиме 4,164 МГб/с. Швидкість передавання кадрів Ethernet має становити 379, 93 кадрів/с, а періодичність надходження за ідеальних умов – 0,00263 с. Тобто нерівномірність затримки часу передавання має не перевищувати зазначеного періоду. На підрунті розглянутого приклада можна оцінити параметри потокового відео сформованого різними відеокодексами найбільш поширеного на тепер стандарту H.264.

Зокрема на сайті компанії Apple рекомендовано використовувати такі швидкості відеопотоків стиснутих без втрат [13]:

- для кадру розміром 1920x1080 (Full High Definition), вибирати швидкість передавання даних 7000-8000 кбіт/с;
- для кадру розміром 1280x720 (широко використовуваний формат високої чіткості), вибирати швидкість передавання даних 5000-6000 кбіт/с;
- для кадру розміром 640x480 (стандартної чіткості), вибирати швидкість передавання даних 1000-2000 кбіт/с;

- для кадру розміром 320x240 (Інтернет-розмір), вибрати швидкість передавання даних 300-500 кбіт/с;
- для кадру розміром 176x144 (3G), вибрати швидкість передавання даних 50-60 кбіт/с 10-15 кадрів за секунду, або до 150-200 кбіт/с для 24-30 кадрів за секунду.

Величина корисного навантаження в кадрі фізичного рівня не перевищує приблизно 1400 байтів, що обумовлено повсюдним використанням технології Ethernet з обмеженням величини кадру 1500 байтів. Оскільки навантаження кадру складається з блоків відеопотоку та відповідного йому аудіо потоку, а кожен блок має свої ідентифікатори та службову інформацію корисне навантаження становить приблизно 1400 байтів. Цю величину корисного навантаження можна використати для оцінювання параметрів аудіовізуального програмного потоку на рівні мережі передавання даних.

З урахуванням зазначеного можна приблизно визначити інтенсивність та періодичність передавання кадрів аудіовізуального потоку на каналному рівні для забезпечення якісного відтворення відповідного контенту в режимі реального часу. Результати оціночного розрахунку для кодеків H.264 наведено в табл.2.

Експериментальні дані щодо дослідження інтенсивності компресованих аудіовізуальних потоків наведено в [14].

ТАБЛИЦЯ 2 – ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАКЕТИЗОВАНОГО АУДІОВІЗУАЛЬНОГО ПОТОКУ

Роздільна здатність	1920x1080		1280x720	640x480	320x24
Інтенсивність аудіовізуального потоку, кбіт/с	8000		6000	2000	500
Інтенсивність передавання кадрів, кадр/с	714		536	179	45
Період надходження кадрів, мс	1,4		1,86	5,59	22,2

ТАБЛИЦЯ 3 – ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ АУДІОВІЗУАЛЬНОГО ПОТОКУ

Тип файлу	DVD VOB, кодек MPEG-2 (640x480, 25 кадр/с)	Файл DivX, кодек DX50 (640x480, 25 кадр/с)	PSP avc1, mp4, кодек H.264(386x208, 30 кадр/с)
Середня інтенсивність потоку, Мбіт/с	5,2 (6,5)	1,5 (1,4)	1,3 (1,2)
Пікова інтенсивність потоку, Мбіт/с	8,7 (10,4)	7,2 (6,0)	2,9 (3,3)

Крім зазначених вище параметрів треба брати до уваги вплив втрачених кадрів на якість відтворюваного аудіовізуального контенту. В найбільш поширених системах стиснення відеоконтенту відеопотік містить кадри трьох типів І (повний кадр), Р (однорізно прогнозований кадр різницевого відліку),

В (двобічно прогнозований). Втрата кадрів різного типу може призводити до різних спотворень відтворюваного зображення. До найбільших негативних наслідків призводить втрата опорного кадру І типу, що містить всю інформацію кадру початкового зображення. У нашому подальшому дослідженні ми вважаємо, що втрата будь-якого кадру призводить до однакових негативних наслідків, наприклад, до короткотермінового спотворення зображення (повне або часткове руйнування відтвореного кадру) або втрати синхронізації процесу декодування.

Характеристики пакетизованого відеопотоку наведено у табл. 2. Додаткова інформація щодо результатів експериментального дослідження характеристик аудіовізуального трафіка наведено в табл. 3 [14]

У таблиці наведено дані, отримані у разі передавання аудіовізуального контенту у режимі реального часу із застосуванням протоколів RTP, UDP (основні дані в табл.3), а також дані у разі передавання і відтворення контенту у файловому форматі із застосуванням протоколів TCP, SMB (дані наведено в дужках).

Відеопотік PSP MP4 (Playstation Portable) призначений для відтворення на портативних пристроях і може бути відтворений більшістю сучасних мультимедійних леєрів. Фільми відрізняються високою якістю відео і аудіо за мінімальної інтенсивності потоку даних. У PSP MP4 H.264 відеопотік кодується кодеком H.264 – якісним, але досить ресурсоемним.

Із наведених в табл. 3 даних випливає, що мультимедійний трафік характеризується значною нерівномірністю. Для оцінювання можливості безпосереднього відтворення аудіовізуального потоку, що надходить мережею, із заданою якістю треба порівнювати експлуатаційні характеристики безпроводової мережі з піковою інтенсивністю аудіовізуального потоку.

Безпроводова мережа за специфікацією IEEE 802.11a у разі функціонування із системною швидкістю 24 Мбіт/с може забезпечити передавання та відтворення в реальному часі без спотворень не більше одного відеопотоку стандартної чіткості, стисненого за стандартом MPEG2, через обмеження реальної пропускної здатності безпроводового каналу. Така мережа може забезпечити передавання та відтворення двох потоків стандартної чіткості, стиснених за стандартом MPEG4 (DivX), або до чотирьох потоків пониженої роздільної здатності (PSP avc1).

У разі застосування в безпроводовій мережі IEEE 802.11a системної швидкості 54 Мбіт/с мережа може забезпечити якісне передавання та відтворення до трьох відеопотоків стандартної чіткості, стисненого за стандартом MPEG 2 або MPEG 4 через обмеження пропускної здатності, що припадає на одну



активну станцію мережі. Мережа може забезпечити передавання до шести відеопотоків пониженої чіткості, кодованих за стандартом H.264.

Мережа IEEE 802.11n в змішаному режимі з використанням одного просторового променя, системної швидкості 72 Мбіт/с і частотної смуги 20 МГц може забезпечити таку ж ефективність відтворення в реальному часі аудіовізуального контенту від віддаленого джерела, що й мережа IEEE 802.11a з системною швидкістю 54 Мбіт/с.

#### ВИСНОВКИ

1. За ідеальних умов, один просторовий канал безпроводової мережі IEEE 802.11n у змішаному режимі може забезпечити одночасне передавання до трьох відеопотоків інтенсивністю 4-5 Мб/с.

2. Найбільш імовірним сценарієм передавання аудіовізуальної інформації в мережі 802.11 є сценарій з використанням одного просторового каналу, що обумовлено наявністю лише однієї антени у абонентських пристроїв.

3. У подальших дослідженнях доцільно оцінити ефективність пріоритетизації трафіка в безпроводових мережах з великою кількістю користувачів.

#### ПОДЯКА

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] “Wi-Fi (Wireless Fidelity) standart besprovodnoy svyazi [Wi-Fi (Wireless Fidelity) wireless standard].” [Online]. Available: <https://www.tadviser.ru>. [Accessed: 10-Sep-2018].
- [2] B. Bing, Ed., *Emerging Technologies in Wireless LANs*. Cambridge University Press, 2009, DOI: [10.1017/cbo9780511611421](https://doi.org/10.1017/cbo9780511611421)
- [3] 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).
- [4] D. Denisov, “Testyrovanye TCP, UDP-trafyka v sety Wi-Fi 802.11n/ac [Testing of TCP, UDP traffic over Wi-Fi 802.11n/ac.]” [Online]. Available: <http://www.wireless.ua/1641-testirovanie-tcp-udp-trafika-v-seti-wi-fi-80211nac.html>. [Accessed: 10-Sep-2018].
- [5] 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)
- [6] 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.
- [7] V. V. Velychko, E. A. Subbotyn, V. P. Shuvalov, and A. F. Yaroslavtsev, *Telekommunikatsionnyye sistemy i seti. Tom 3. Mul'tiservisnyye seti [Telecommunication systems and networks. Volume 3. Multiservice Networks]*. Moscow: Horyachaya lynuyaya-Telecom, 2005.
- [8] *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters Recommend*, MSE-T Y.1540, 2002.
- [9] *Traffic control and congestion control in IP based networks*, ITU-T Y.1221, 2002.
- [10] *Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception by handheld receivers*, ITU-R BT.1833-3, 2014.
- [11] Cisco, “Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption,” 2016. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html>.
- [12] A. I. Barg, S. Y. Kolgatin, and I. A. Kolpakov, “IP-televideniye. Golovnyye stantsii [IP television. Head stations],” *T-Comm*, no. 1–2, pp. 37–43, 2007.
- [13] “Peredacha potokovogo video v setyakh: rukovodstvo THG. Chast' I [Transferring streaming video to networks: THG Guide. Part I],” 2006. [Online]. Available: [http://www.thg.ru/network/video\\_streaming\\_i/index.html](http://www.thg.ru/network/video_streaming_i/index.html).
- [14] 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.



# Исследование особенностей распространения информационных видеопотоков по сетям 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: [volods154@gmail.com](mailto:volods154@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 работе исследованы характеристики для разных режимов предоставления аудиовизуальных. Для анализа уровня эффективности использования сетей 802.11 в процессе передачи аудиовизуальной информации выяснили, какие именно характеристики процесса передачи имеют наибольшее влияние на качество предоставления информационной услуги. Особенностью исследований является сеть, смоделированная таким образом, чтобы обеспечить соединение с каждым из абонентов – такой тип сети показывает наиболее точную картину относительно качества обслуживания. В ходе исследований проанализированы характеристики видеопотоков, сформированных наиболее популярными кодеками.

**Ключевые слова** — пакетизированный видеопоток; пропускная способность; кодек; информационная сеть; задержка; джиттер.





UDC 004.7:654.195.6

# Investigation of the features of the distribution of informational video streams over 802.11 networks

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: [volods154@gmail.com](mailto:volods154@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** — In this paper, for learn the peculiarities of the distribution of information video streams with 802.11 networks, we studied the peculiarities of different methods of audio-visual content presentation. To analyze the efficiency of using 802.11 networks in the process of audio-visual information transmission, we have found out which features of the transfer process have the greatest impact on the quality of the provision of information services. To obtain these ratings, the characteristics of the streams of audiovisual information transmitted using wireless networks were analyzed, the relationship between the performance of wireless networks IEEE 802.11 and the parameters of the audiovisual stream were analyzed. Requirements for the parameters of the transmission of audio-visual information in IP-networks (jitter, delay, probability of packet loss, connection time, probability of communication breakdown, etc.) are considered. Permissible values of the parameters for the quality of the content where transmitted over the network are selected in accordance with international standards and recommendations. A feature of the study is a network modeled in such a way as to connect with each subscriber - this type of network shows the most accurate picture of the quality of service. During the analysis, the wireless channel modeling was implemented through the ADS software system. Thus, a message bound to the cause of such a lack of behavior, the 802.11 standard can be provided through the service provided by audiovisual streams. Flow characteristics are analyzed for differentiation of characteristics, and they are transmitted using wireless measures, and flow parameters are analyzed using IEEE 802.11 parameters of such flows. During the study, the characteristics of video streams generated by the most popular codecs were analyzed. In order to evaluate the level of video stream parameters, a scenario in which the source generates an SPT (traffic flow of one program) with an intensity of 4 Mbps (load intensity) is considered. The article describes in detail the results of the experimental study of the characteristics of audiovisual traffic. Thus, the data received for the transmission of audiovisual content in real time is transmitted using RTP, UDP, as well as data in the case of transmission and playback of content in a file format using TCP, SMB protocols. It has been found that under ideal conditions, one spatial channel of an IEEE 802.11n wireless network in a mixed mode can provide simultaneous transmission to three video streams with the intensity of 4-5 Mb / s. According to the results of the work, it is clear that the most likely scenario of the transmission of audiovisual information over the 802.11 network is a scenario that uses one spatial channel, due to the presence of only one antenna in subscriber devices. Research is the basis for assessing the effectiveness of determining the priorities of traffic in wireless networks with a large number of users.

**Keywords** — packaged video stream; bandwidth; codec; information network; colisee; delay; jitter.

