

УДК 621.396

Шевцов П.В., Щербина В.О., Гайдамака В.О., Куринський В.В.

ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕРЕЖ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**Shevtsov P.V., Shcherbyna V.O., Haydamaka V.O., Kuryns'kyu V.V. Information networks wireless perspective for the near future.**

When designing and deploying telecommunications systems raises the question of the feasibility of using a wired connection type, especially in the area of large cities, where the needs are an important component of mobility, or, in sparsely populated areas where laying cable connection type is uneconomical. Today, wireless data transmission network are unmatched by the number of applications, deployment flexibility and cost effectiveness.

The article describes the various wireless technologies in historical perspective; considered used in the past and present wireless technology on which you can build a network of radio access information; described promising technology that will be relevant in the near future.

Keywords: wireless communications, information network, radio access, EDGE, HSPA, EV-DO, LTE, Wi-Fi, WiMAX, White Space.

Шевцов П.В., Щербина В.О., Гайдамака В.О., Куринський В.В. Використання та перспективи мереж безпроводового зв'язку.

В статті наведено опис різноманітних технологій безпроводового зв'язку в історичному аспекті; розглянуті використовувані у минулому та сьогоденні безпроводові технології на базі яких можна побудувати інформаційну мережу з радіодоступом; описані перспективні технології, що будуть актуальними у найближчому майбутньому.

Ключові слова: безпроводовий зв'язок, інформаційні мережі, радіодоступ, EDGE, HSPA, EV-DO, LTE, Wi-Fi, WiMAX, White Space.

Шевцов П.В., Щербина В.О., Гайдамака В.О., Куринский В.В. Использование и перспективы сетей беспроводного связи.

В статье приведено описание различных технологий беспроводной связи в историческом аспекте; рассмотрены используемые в прошлом и настоящем беспроводные технологии на базе которых можно построить информационную сеть с радиодоступом; описаны перспективные технологии, которые будут актуальны в ближайшем будущем.

Ключевые слова: беспроводная связь, информационные сети, радиодоступ, EDGE, HSPA, EV-DO, LTE, Wi-Fi, WiMAX, White Space.

Вступ

Постановка задачі. При проектуванні та розгортанні телекомунікаційних систем постає питання доцільності використання проводового типу зв'язку, особливо в умовах забудови великих міст, де важливою складовою потреб є мобільність, або, навпаки, на малозаселених територіях, де прокладання кабельного типу зв'язку є економічно недоцільним. Сьогодні безпроводові мережі передачі інформації не мають собі рівних за кількістю додатків, гнучкістю розгортання та економічній ефективності.

Огляд відомих на сьогоднішній день технологій. Зараз безпроводові точки доступу можна знайти практично в будь-якому куточку світу, а поетапне зниження цін на обладнання, а отже і на послуги, дозволило отримати широке розповсюдження серед населення.

Безпроводові мережі привабливі тим, що окрім тих функцій, що виконують кабельні лінії зв'язку, вони ще можуть:

- організувати резервне копіювання в кабельну мережу;
- гарантують певний рівень мобільності;
- дозволяють зняти обмеження на максимальну протяжність мережі, що накладаються мідними або навіть оптоволоконними кабелями.

Ці системи можуть забезпечити ділове планування, розрахунок часу, зберігання документів та підтримку зв'язку з віддаленими станціями.

© Шевцов П.В., Щербина В.О., Гайдамака В.О., Куринський В.В., 2018

Для можливості передбачення розвитку безпроводових технологій зв'язку необхідно отримати уявлення про ті технології та стандарти, що використовуються в даний час.

Мета даної статті полягає в огляді нині існуючих методів безпроводового зв'язку, їх класифікації, ознайомленні з різними стандартами, та аналіз перспектив щодо подальшого розвитку безпроводових систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

Безпроводова інформаційна мережа – вид мережі, яка використовує для зв'язку і передачі даних між вузлами і компонентами радіохвилі, а не кабельні з'єднання.

У теперішній час використовується велика кількість широкосмугових технологій радіодоступу, що забезпечують передачу інформації як у режимі точка-точка, так і у режимі точка-багатоточка з різними швидкостями передачі у каналі як від абонента до точки доступу, так і у зворотньому напрямку. Серед таких технологій можна виділити наступні: EDGE (EGPRS), HSPA, EV-DO, LTE, Wi-Fi, WiMAX. Кожна з цих технологій має свої характеристики, тому пропонуємо розглянути їх окремо одна від одної.

Технологія EDGE (EGPRS). *Enhanced Data rates for GSM Evolution* – технологія бездротової передачі даних для мобільного зв'язку, що функціонує як надбудова над 2G та 2.5G GPRS-мережами. Ця технологія працює в TDMA та GSM мережах.

У порівнянні з GPRS технологія EDGE має ряд вдосконалень, а саме:

- замість модуляції GMSK може бути використана 8-PSK-модуляція, що дає можливість більш ефективно використовувати виділену смугу частот;
- використання технології Incremental Redundancy (наростаючої збитковості) дозволяє при виникненні помилки при передачі пакету інформації не пересилати цей пакет повністю, а надати приймачу лише додаткову збиткову інформацію про нього, що дозволяє відновити пошкоджену інформацію;
- новий алгоритм кодування, що використовується в даній технології, дозволяє працювати при співвідношенні потужностей сигнал / завада у 15 дБ.

Ці нововведення суттєво (приблизно у 3 рази) підвищують ефективність EDGE, порівняно з GPRS.

Технологія забезпечує радіус покриття базової станції до 5 км та наступні швидкості передавання (3GPP R7, режим комутації пакетів, 8-PSK-модуляція): до 1.6 Мбіт/с у низхідному каналі (напрямок «базова станція → абонент»), та до 500 кбіт/с у висхідному каналі (напрямок «абонент → базова станція»).

Технологія HSPA. *High Speed Packet Access* – технологія безпроводового широкосмугового радіозв'язку, що використовує пакетну передачу даних і є надбудовою над мобільними мережами стандартів WCDMA / UMTS.

HSPA базується на двох стандартах: HSDPA, що забезпечує низхідний канал, та HSUPA – висхідний канал.

Радіус покриття одного стільника для цієї технології також складає до 5 км, а використання таких видів модуляції, як QPSK, 16-QAM та 64-QAM та MIMO-антен на сторонах приймача та передавача, дозволяє отримати швидкість до 672 Мбіт/с у низхідному, та до 168 Мбіт/с у висхідному каналах (стандарт HSPA+, 3GPP 11R, при використанні 8 несучих та системи антен MIMO 4×4).

Технологія EV-DO. *Evolution-Data Only* – технологія передачі даних, що використовується в мережах стільникового зв'язку стандарту CDMA.

EV-DO був створений з метою удосконалення передачі даних з використанням адаптивної модуляції, що дозволила збільшити пропускну здатність каналу. Технологія може використовувати також 8-PSK, QPSK та 16-QAM-модуляції, підтримує технологію MIMO та використання до 15 несучих. Радіус покриття однієї базової станції сягає 15 км.

Швидкість передавання даних в EV-DO, залежить від редакції стандартів, та може досягати (нисхідний / висхідний канал):

- Rev.0 – до 2.4 / 0.15 Мбіт/с;

- Rev.A – до 3.1 / 1.8 Мбіт/с;
- Rev.B – до 73.5 / 27 Мбіт/с (15 каналів несучої);
- Rev.C – 280 / 75 Мбіт/с;
- Rev.D – 500 / 120 Мбіт/с.

Технологія LTE. *Long Term Evolution* – стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів та терміналів, що заснований на GSM / EDGE і UMTS / HSPA мережних технологіях. Збільшення пропускної здатності і швидкості досягається за рахунок використання іншого радіоінтерфейсу з повною підтримкою технології MIMO, підтримки QPSK, 16-QAM, 64-QAM, OFDMA та SCFDMA-модуляцій, а також додаткових поліпшень мережі.

Ця технологія може працювати у різних діапазонах частот, використовуючи як частотний (FDMA), так і часовий (TDMA) метод доступу до каналів. Також передбачена можливість роботи, використовуючи різне значення ширини смуги пропускання (від 1.4 МГц до 20 МГц). При цьому, радіус дії стільника складає близько 30 км.

Швидкості, що може забезпечити дана технологія, складають: до 300 Мбіт/с у низхідному каналі та до 75 Мбіт/с у висхідному.

Технологія Wi-Fi. *Wireless Fidelity* – технологія безпроводових локальних обчислювальних мереж (стандарт 802.11), що використовує частину частотного спектру, яка не підлягає обов'язковому ліцензуванню.

Технологія використовує BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM та OFDMA-модуляцію, підтримує до 64 несучих та може використовувати SISO, MISO та MIMO-антени.

Існує багато редакцій цього стандарту, що мають своє літерне позначення після його номеру, але широко розповсюдженими на сьогоднішній момент є a, b, g та n, що використовують різні діапазони та забезпечують різні швидкості передачі (необхідно відмітити, що висхідний та нисхідний канали в даній технології є симетричними, тому отримана на практиці швидкість передачі залежить від завантаженості напрямку передачі, реалізації алгоритму керування та кількості під'єднаних до точки доступу клієнтів).

- 802.11a – до 54 Мбіт/с, 5 ГГц, до 100 м;
- 802.11b – до 11 Мбіт/с, 2.4 ГГц, до 100 м;
- 802.11g – до 54 Мбіт/с, 2.4 ГГц, до 100 м;
- 802.11n – до 600 Мбіт/с, 5 ГГц, до 300 м.

Швидкість у 600 Мбіт/с у стандарті 802.11n є досяжною за умови використання каналу шириною 40 МГц з модуляцією 64-QAM та технологією MIMO.

Технологія WiMAX. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* – телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (робочі станції, портативні комп'ютери, а також мобільні телефони). Вона заснована на стандарті 802.16 (літери d – для фіксованих абонентів; e – для мобільних), що носить альтернативну назву *Wireless MAN*. Ця технологія розроблялась, як така, що може забезпечити користувача високошвидкісним бездротовим доступом до мережі Інтернет, та мала стати альтернативою виділеним лініям та DSL. Необхідно відмітити, що в теперішній час існує 2 напрямки її розвитку: перший – забезпечення бездротовим високошвидкісним зв'язком фіксованих (стаціонарних) абонентів, та другий, що розрахований на мобільних абонентів, що можуть пересуватись зі швидкістю до 150 км/год.

У якості модуляції технологія використовує SOFDMA-модуляцію, та підтримує до 256 несучих, а також технологію MIMO, що дає змогу підтримувати швидкість близько 75 Мбіт/с з радіусом покриття базової станції до 50 км.

Узагальнення технічних характеристик технологій наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Узагальнені характеристики сьогоденних технологій

Технологія	Модуляція	К-ть несучих	Тип антен	Радіус покриття, км	Низхідна швидкість, до	Висхідна швидкість, до
EDGE	GMSK, 8-PSK	1 – 8	SISO	5	1.6 Мбіт/с	500 кбіт/с
HSPA	QPSK, 16/64-QAM	1 – 8	SISO, MIMO	5	672 Мбіт/с	168 Мбіт/с
EV-DO	8-PSK, QPSK, 16-QAM	1 – 15	SISO, MIMO	15	500 Мбіт/с	120 Мбіт/с
LTE	QPSK, 16/64-QAM, OFDMA, SCFDMA	1 – 20	SISO, MIMO	30	300 Мбіт/с	75 Мбіт/с
Wi-Fi	BPSK, QPSK, 16/64-QAM, OFDMA	1 – 64	SISO, MISO, MIMO	0.3	600 Мбіт/с	600 Мбіт/с
WiMAX	SOFDMA	1 – 256	SISO, MIMO	50	75 Мбіт/с	75 Мбіт/с

Перспективні технології.

До перспективних технологій, що будуть актуальні у найближчі 3-5 років можна віднести розроблювані у теперішній час технології, що створюються на базі нині актуальних.

До таких можна віднести LTE Advanced, Wi-Fi (стандарти з літерними позначеннями ас, ad та as), WiMAX Advanced (або WiMAX 2), WiMAX 3, та White Space. Розглянемо кожен з них в деталях.

Узагальнені характеристики наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Узагальнені характеристики перспективних технологій

Технологія	Модуляція	К-ть несучих	Тип антен	Радіус покриття, км	Низхідна швидкість, до	Висхідна швидкість, до
LTE Advanced	OFDMA, SCFDMA	1 – 20	SISO, MIMO	30	1 Гбіт/с	500 Мбіт/с
Wi-Fi (802.11ac)	BPSK, QPSK, 16/64/256-QAM, OFDMA	1 – 512	MIMO	0.5	1.7 Гбіт/с	1.7 Гбіт/с
WiMAX 2	SOFDMA	?	MIMO	?	1 Гбіт/с	1 Гбіт/с
WiMAX 3	?	?	MIMO	?	100 Гбіт/с	100 Гбіт/с
White Space	QPSK, 16/64-QAM, OFDMA	?	MISO, MIMO	100	23 Мбіт/с	23 Мбіт/с

Технологія LTE Advanced. Стандарт мобільного зв'язку, що позиціонується 3GPP як головне поліпшення стандарту LTE. Офіційно був представлений в кінці 2009 року сектору стандартизації електрозв'язку MCE в якості кандидата на систему 4G. LTE Advanced був затверджений MCE і його стандартизація 3GPP була завершена в березні 2011 року. Технологія LTE Advanced разом з WiMAX 2 (WiMAX Advanced) була офіційно визнана бездротовим стандартом зв'язку четвертого покоління 4G MCE на конференції в Женеві у 2012 році. LTE Advanced – це назва специфікації 3GPP 10-ї версії, якій MCE присвоїв

сертифікат «IMT Advanced» – офіційний статус мереж четвертого покоління. Попередні версії LTE (до 9-ї включно) не є технологією 4G.

Нова технологія передбачає розширення смуги частот (з максимально можливих 20 МГц у LTE 3GPP R9, до 100 МГц) та можливість агрегації радіочастотного спектру (має можливість працювати в декількох, виділених їй частотних діапазонах, або в декількох різних його частинах, одночасно, як з одною цільною ділянкою спектру), має розширені можливості багатоантенної передачі даних, підтримує функції ретрансляції, а також розгортання гетерогенних мереж (HetNet).

LTE Advanced забезпечує таку ж зону покриття однієї базової станції, як і звичайна LTE (до 30 км). У якості основних типів модуляції використовуються OFDMA та SCFDMA-модуляція. Антенний тракт представлений багатоантенною системою (MIMO), що, в сукупності з оптимізацією можливостей багатоантенної передачі, дає відчутний приріст у швидкості передачі та надійності.

Швидкості у низхідному та висхідному каналі, відповідно, складають до 1 Гбіт/с та до 500 Мбіт/с, що дозволяє використовувати більш ресурсоємні (з точки зору пропускної спроможності) мультимедійні додатки на стороні абонента такої мережі.

Технологія Wi-Fi (802.11ac та 802.11ad). Технологія за стандартом IEEE 802.11ac була розроблена в процесі асоціації стандартів IEEE, та може забезпечувати високу пропускну здатність безпроводових локальних мереж (WLAN), що працюють на частоті в 5 ГГц.

За даною специфікацією швидкість даної технології доступу складатиме близько 1.7 Гбіт/с. Це стає можливим завдяки використанню таких видів модуляції, як BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, OFDMA (з метою забезпечення зворотної сумісності стандартів 802.11n та 802.11ac) та 256-QAM. Саме останній тип модуляції дозволяє суттєво підвищити швидкість передавання. До того ж стандарт підтримує більш широку смугу частот (160 МГц, у порівнянні з 40 МГц смугою в 802.11n) та більшу кількість потоків при використанні технології MIMO.

Радіус дії точки доступу в новому стандарті також дещо розширився і складає близько 500 м.

Що ж до специфікації 802.11ad, то вона у даний момент знаходиться у розробці. Приблизна дата виходу цього стандарту – лютий 2014 року. Пристрої, що будуть підтримувати дану технологію, зможуть забезпечувати пропускну здатність каналу близько 6.75 Гбіт/с, при цьому буде доданий третій діапазон у 60 ГГц, що також не підлягає обов'язковому ліцензуванню.

Технологія WiMAX (WiMAX 2 та WiMAX 3). У 2010 році інститутом інженерів електроніки та електротехніки (IEEE) було затверджено стандарт 802.16m, відомий як WMAN Advanced (або WiMAX 2). Він дозволяє підвищити пропускну здатність безпроводових мереж в кілька разів. Так, стаціонарне обладнання зможе приймати та передавати дані на швидкостях до 1 Гбіт/с, а мобільні телефони та портативні комп'ютери – до 100 Мбіт/с. При цьому зберігається зворотна сумісність з існуючим устаткуванням WiMAX стандарту 802.16d/e.

Перша публічна демонстрація можливостей WiMAX 2 була здійснена на виставці CEATEC JAPAN 2010 в Токіо.

Стандарт WiMAX 2 повинен прийти на зміну нинішньому WiMAX (802.16d/e) і стати гідним конкурентом для мереж LTE та LTE Advanced.

Оскільки стандарт у даний час знаходиться у розробці, більшість його характеристик невідома, але існують припущення, що WiMAX 2 буд використовувати SOFDMA-модуляцію та розширену підтримку технології MIMO.

Щодо стандарту WiMAX 3 (802.16n), то робота над його розробкою була розпочата одразу після прийняття стандарту 802.16m. Ініціативна група під назвою PAR (Project Authorization) почала роботу над новою версією, яка повинна забезпечити користувачам абсолютно неймовірні швидкості доступу до мереж – до 10 Гбіт для каналів фіксованого зв'язку і до 1 Гбіт для мобільного зв'язку. Технологія буде використовувати багатоканальні

черги 4×8 MIMO та «зчеплення каналів (можливість організації зчеплення до 10 каналів одночасно, кожен з яких шириною по 6 МГц). Планується, що стандарт WiMAX 3 буде прийнятий протягом найближчих 3-5 років.

Технологія White Space (802.22, WRAN). White Space – стандарт безпроводових регіональних мереж, що описує дворівневу архітектуру (рівень РНУ і рівень MAC) зі з'єднанням точка-багаточточка. Мережа призначена як для роботи з професійними фіксованими базовими станціями, так і з портативними (або фіксованими) користувацькими терміналами (модемами). Обмін даними по стандарту проводиться на «вільних» частотах VHF / UHF телевізійного мовлення, що складає смугу від 54 до 862 МГц. За твердженням розробників, мережа в основному призначена для використання в малонаселених пунктах, а також сільській місцевості, де найімовірніше буде достатня кількість вільних каналів в робочій смузі частот стандарту.

Технологія «розумне радіо», що присутня в 802.22, представляє собою технологію когнітивної радіопередачі, яка забезпечує підстроювання параметрів приймально-передавальних пристроїв мережі так, щоб передача даних не вилазила на «ліцензійні» частоти. Система постійно аналізує спектр радіосигналу, а також поведінку користувачів мережі. Базова станція, зібравши всю інформацію про частотні діапазони і використовуючи інформацію про своє місце розташування (по даним GPS), визначає, які частоти можуть бути використані для встановлення зв'язку з користувачами мережі. При вже встановленому зв'язку, система періодично сканує частотний діапазон на випадок появи нових сигналів, і при виявленні таких, відразу ж перебудовується на інші частоти. Слід зазначити, що сканування частотного діапазону відбувається на стороні абонента, що дозволяє мати актуальну інформацію про обстановку в зоні покриття. Розробники даної технології відзначають, що 802.22 є однією з перших специфікацій, що використовують в повній мірі когнітивні технології в радіозв'язку. Таким чином, стандарт дозволяє ефективно використовувати наявний спектр частот, без необхідності отримання ліцензій.

У якості антен на базовій станції використовується секторна приймально-передавальна антена, а на стороні абонента спрямована антена з придушенням заднього пелюстка; крім цього, в склад антенного обладнання входить направлена антена для сканування частотного діапазону (когнітивний радіозв'язок).

Технологія використовує QPSK, 16-QAM, 64-QAM та OFDMA-модуляцію, при чому необхідно відмітити, що тип модуляції вибирається автоматично і індивідуально для кожного користувача мережі (так звана адаптивна динамічна конфігурація модуляції), в залежності від його віддаленості від базової станції та параметрів радіосигналу.

Пікова швидкість за цією технологією складає 23 Мбіт/с, при цьому радіус зони покриття стільника може варіюватись від 10 км до 100 км.

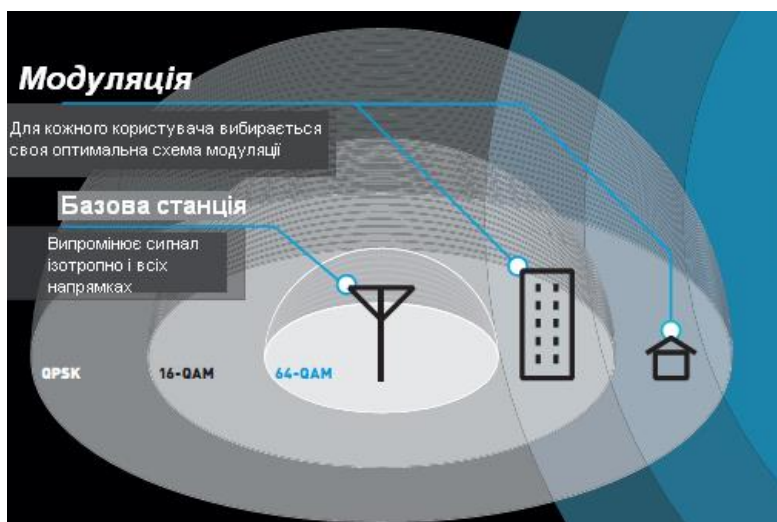


Рис. 1. Схема модуляції в стандарті 802.22

Висновки

Дивлячись на довгий шлях, який пройшли інформаційні мережі безпроводового зв'язку, можна сміло сказати, що перед нами доволі зрілий напрямок зв'язку.

Кожен рік виходять нові редакції стандартів новостворених і вже існуючих технологій від різних ініціативних груп та крупних телекомунікаційних компаній, що постійно підвищують надійність, якість та швидкість радіозв'язку.

Технології, що існують і втілені на вже існуючих мережах безпроводового зв'язку постійно отримують певні покращення: додаються нові способи розподілу сигналу у просторі, ускладнюються схеми приймання, удосконалюються схеми модуляції. Все це дозволяє сьогоденним технологіям мати середню швидкість в районі 300 Мбіт/с та тримати верхню планку в районі 600 Мбіт/с, при чому на цих скоростях передачі зберігається задана якість, яка необхідна для користувача.

Перспективні ж технології, що народжуються сьогодні зі старих, або тільки розробляються, покликані задовольнити постійно зростаючі потреби у пропускну спроможності та забезпечити кінцевого користувача біль швидким каналом, завдяки якому він зможе віддалено виконувати доволі тяжкі мультимедійні додатки.

Швидкість каналу між кінцевим користувачем та точкою доступу або базовою станцією, що працюють за технологією «завтрашнього дня», буде складати порядку 1.7 Гбіт/с та буде рости, оскільки вже зараз розробляється нові стандарти, що можуть забезпечувати швидкість передавання до 100 Гбіт/с.

Список використаної літератури

1. Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.;
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.;
3. Адреса релізів різноманітних технологій 3GPP [Електронний ресурс] <http://www.3gpp.org/releases>;
4. Official HSPA website [Електронний ресурс] <http://www.gsmworld.com/hspa>;
5. Nomor 3GPP Newsletter 2009-03: Standardisation updates on HSPA Evolution [Електронний ресурс] <http://www.nomer.de>;
6. Ресурси та аналіз для інженерів електроніки [Електронний ресурс] [http:// radio-electronics.com](http://radio-electronics.com);
7. IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee [Електронний ресурс] <http://grouper.ieee.org/groups/802/>;
8. Стаття «802.22 White Space: новый стандарт беспроводной связи» журналу «Хакер» [Електронний ресурс] <https://haker.ru/2011/11/17/57821/>

Автори статті

Шевцов Павло Володимирович - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Щербина Вадим Олегович - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Гайдамака Віктор Олександрович - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Куринський Володимир Володимирович - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Shevtsov Pavlo Volodymyrovych - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.,

Shcherbina Vadym Olehovych - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.,

Haydamaka Viktor Oleksandrovych - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kuryns'kyu Volodymyr Volodymyrovych - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 08.08.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.П. Тарасенко