

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ**

Коваленко Олександр Олександрович



УДК 621.396

**МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
З АДАПТИВНИМ ПЕРЕЛАШТУВАННЯМ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ**

Спеціальність: 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків-2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: Чорний Сергій В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент, керівник Харківського центру Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ.

Офіційні опоненти: Бараннік Володимир Вікторович, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Лисечко Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Транспортний зв'язок» Української державної академії залізничного транспорту.

Захист відбудеться « 16 » лютого 2011 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий « 12 » січня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Дуревкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку телекомунікаційних систем характеризується інтенсивним розвитком безпроводових технологій. Основним напрямком розвитку ТКС є забезпечення заданої якості обслуговування під час передавання інформації.

Ефективність роботи безпроводових мереж багато в чому залежить від розподілу частотних ресурсів між абонентами. Ці завдання вирішуються на каналному рівні семирівневої моделі ISO / OSI при отриманні доступу до середовища. Для цієї мети використовуються різні методи, серед яких системні, пов'язані з виділенням того чи іншого мережного ресурсу і з встановленням різних пріоритетів, методи фізичного та каналного рівня, що включають у себе частотні, часові, просторові, енергетичні, поляризаційні і кодові, що забезпечують доступ до середовища. Системні методи, як правило, апіорі закладені в існуючі технічні рішення і не завжди піддаються коригуванню під час їхнього використання. Разом з тим, значний резерв щодо забезпечення необхідної якості обслуговування закладено в методах доступу фізичного і каналного рівнів.

Однією з найбільш складних ситуацій, що зустрічаються при забезпеченні необхідної якості обслуговування є та, яка пов'язана з наявністю різного роду зосереджених за спектром завад у каналах зв'язку.

Для досягнення необхідної заводо захищеності застосовуються адаптивні методи, коли в системі зв'язку забезпечується те чи інше керування параметрами сигналів у каналі зв'язку, залежне від параметрів діючої завади. Іншим напрямком забезпечення високої заводо захищеності є застосування різних інваріантних методів, які зводяться до того, що в системі зв'язку заздалегідь закладається надлишковий ресурс, здатний за різних дій завад забезпечити необхідну якість. До таких методів відносяться методи заводостійкого кодування, методи псевдовипадкового перелаштування робочої частоти (ППРЧ) і ряд інших.

Особливий інтерес становлять комбіновані методи, коли в системі зв'язку використовуються інваріантні методи, здатні адаптивно нарощувати потенціал заводостійкості по мірі ускладнення сигнально-заводового становища. Саме такі методи є найбільш перспективними, оскільки вони не вимагають значних витрат сигнального та мережного ресурсу і разом з тим, мають адаптивні властивості, спрямовані на подолання дії завад у реальному масштабі часу.

Сьогодні існують достатньо ефективні сучасні безпроводові системи зв'язку, в яких вже використовуються інваріантні методи забезпечення заводо захищеності. До таких відносяться системи з технологіями Bluetooth, описані в стандарті IEEE 802.15.1. За даними дослідницького центру ABI Research за 2008-й рік щорічні темпи зростання популярності даної технології складуть 167% на найближчі 5 років. Дана технологія реалізує метод ППРЧ незалежно від наявності завад. Поряд з втратою пропускнуої спроможності, ефективність програмного перелаштування частоти невисока, оскільки сигнал попадає як на ділянки виділеного частотного діапазону, які вільні від завад, так і на ті, в яких завада присутня. Відомі методи адаптивної ППРЧ, коли на кожній частотній позиції апіорі здійснюється контроль

кувані частоти не беруть участь в подальшій програмі ППРЧ. Така система досить ефективна, проте потребує значних додаткових витрат апаратно-програмних ресурсів, заціяних у апіорному моніторингу частот, що для мікрогабаритних абонентських пристроїв виконати не реально.

Можливий інший підхід, коли такий моніторинг здійснюється непрямыми методами без значних апаратних витрат, що також вирішує завдання підвищення заводо захищеності. Саме останній вказаний метод обраний як предмет дослідження в даній роботі. На додаток до даного запропонованого методу адаптивної ППРЧ розглядається також адаптивний метод подальшого нарощування заводо захищеності шляхом кодування інформаційних потоків ортогональними кодами довжиною 2, 4, 8, 16 і більше біт. Отже, адаптивна до існуючого сигнально-заводового становища телекомунікаційна система з ППРЧ та адаптивним кодуванням виявляється прозорою для використання прийнятих протоколів інформаційного обміну для її реалізації. Потрібно внести зміни тільки на фізичному рівні. Все це дає підставу вважати, що розробка адаптивної до сигнально-заводового становища телекомунікаційної системи з псевдовипадковим перелаштуванням робочої частоти є актуальною і є новим рішенням наукової задачі, що має важливе практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дослідження у дисертаційній роботі проводились відповідно до таких нормативних актів: Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про концепцію розвитку зв'язку України» від 9 грудня 1999 року №2238; Концепції Національної програми інформатизації, схваленої Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р. №75/98-ВР; державної науково-технічної програми «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій»; та у рамках науково-дослідних робіт, виконаних Харківським національним університетом радіоелектроніки:

1. НДР №06-04 «Експериментальні дослідження систем абонентського радіодоступу», в якій були впроваджені результати експериментального дослідження сигнально-заводового становища в групі пікомерж Bluetooth, а також дані про параметри випромінювання точок доступу стандарту 802.11.

2. НДР №183 «Дослідження методів забезпечення електромагнітної сумісності систем абонентського радіодоступу в ліцензованих і неліцензованих ділянках радіоспектра», в якій були впроваджені результати дослідження існуючих методів забезпечення електромагнітної сумісності систем стандарту 802.15.1.

3. Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри Телекомунікаційних систем ХНУРЕ, зокрема в дисциплінах «Системи абонентського радіодоступу», а також у підручнику «Багатоканальний електро зв'язок та телекомунікаційні технології».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення заводо захищеності систем зв'язку з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти.

Розв'язання задачі потребує розробки адаптивних методів підвищення заводо-захищеності та полягає у вирішенні окремих задач, а саме:

1. Проведення аналізу умов функціонування телекомунікаційних мереж стандарту IEEE 802.15.1 Bluetooth у типовій і екстремальній обстановці.

2. Аналіз методів забезпечення заводозахищеності телекомунікаційних мереж з адаптивними та інваріантними методами захисту.

3. Розробка методів непрямого моніторингу якості каналу на частотних позиціях системи ППРЧ за рахунок аналізу поточної інформації, що приймається.

4. Проведення експериментальних досліджень з визначення ефективності запропонованих адаптивних методів ППРЧ.

5. Розробка методів адаптивного ортогонального заводостійкого кодування для передачі двох і більше інформаційних потоків.

6. Проведення імітаційного моделювання щодо визначення ефективності пропонуваніх адаптивних кодових і частотних методів.

7. Практичні пропозиції щодо впровадження та використання адаптивних методів ППРЧ і ортогонального кодування.

Об'єкт дослідження: процеси інформаційного обміну в безпроводових телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження: адаптивні методи забезпечення високої заводостійкості телекомунікаційних систем з ППРЧ.

Методи досліджень. Методи досліджень базуються на основних положеннях системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії зв'язку, теорії і методів оптимізації, математичного моделювання, натурального експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод адаптації телекомунікаційних систем з ППРЧ на базі непрямого аналізу поточного сигнально-заводового становища. Як алгоритм адаптації використовується алгоритм спрямованого пошуку каналів, вільних від завод з використанням групової багатоточкової оптимізації.

2. Набув подальшого розвитку метод інформаційного обміну в телекомунікаційних системах з ППРЧ на основі ортогонального кодування в частині адаптації параметрів кодування до кількості працюючих пікомереж, який дозволяє зменшити втрати пропускної спроможності при погіршенні сигнально-заводового становища.

Практичне значення отриманих результатів досліджень:

1. Отримано експериментальні дані щодо параметрів випромінювання обладнання стандарту 802.11, а також магнетрона мікрохвильової пічки, які можуть бути використані при моделюванні сигнально-заводового становища, а також при проектуванні безпроводових мереж.

2. Розроблено практичні рекомендації щодо реалізації запропонованих алгоритмів оптимізації послідовності ППРЧ, використання яких дозволяє зменшити втрати пропускної спроможності в типових умовах офісного приміщення з 60 до 2 відсотків.

3. Розроблено практичні рекомендації щодо реалізації запропонованих алгоритмів ортогонального кодування повідомлень, що дозволяє зберегти пропускну спроможність індивідуальної пікомережі при значному зростанні їх кількості. Цей алгоритм дозволяє підвищити якість функціонування пристроїв Bluetooth в умовах їх спільної несинхронізованої роботи з великою кількістю інших пристроїв, що є актуальним в місцях великого скупчення людей, наприклад, в аеропортах, великих крамницях, виставкових центрах тощо.

Отримані результати використано під час проведення науково-дослідницьких робіт, виконаних за участю здобувача в ХНУРЕ. Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, зокрема в дисципліні «Системи абонентського радіо доступу», а також у підручнику «Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології».

Апробація результатів дисертації: основні результати дослідження доповідалися та були схвалені на чотирьох науково-технічних конференціях і форумах: 10-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.» (Харків, 2006) [5]; Першій міжнародній конференції «Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку» (Харків-Туапсе, 2006)[6]; науково-практичній конференції «Перспективні технологічні та ринкові напрями розвитку телекомунікаційних послуг у новітніх безпроводових системах зв'язку» (Одеса, 2007)[7]; 11-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.» (Харків, 2007)[8].

Публікації: за темою дисертації подано 9 наукових праць, опублікованих у наукових журналах, з них: 5 – у спеціалізованих виданнях, включених до переліку ВАК України. Результати доповідалися на наукових семінарах кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, на 3-х Міжнародних форумах [6-8], а також на загальноукраїнській конференції [9]. Всі виступи за темою дисертації.

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку з роботи, переліку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 122 сторінки, із них: 61 рис, 14 табл. Перелік використаних джерел містить 44 найменування на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність наукової задачі і досліджень, які були проведені у дисертаційній роботі, сформульовано мету і задачу роботи, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію на конференціях і публікацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі розглянуто основні технології безпроводових мереж передачі даних, проведено аналіз методів доступу, що використовуються в цих мережах. Окремо розглянуто технології й системи, в яких застосовується псевдовипадкова перебудова робочої частоти. Показано, що найбільш поширеною з них є технологія Bluetooth, що відповідає стандарту 802.15.1.

У розділі також проаналізовано джерела завад, що виникають у мережах з ППРЧ, наведено їх класифікацію та визначено основні напрямки з дослідження

впливу цих завад на мережу з ППРЧ. Встановлено, що для мереж, побудованих на базі обладнання стандарту 802.15.1 найбільш ймовірними є неавтономні зосереджені за спектром міжсистемні та індустріальні завади, джерелами яких можуть бути інші пікомережі Bluetooth, мережі стандарту 802.11, побутові пристрої.

На прикладі пікомережі Bluetooth створено мережу передачі даних і проведено вимірювання пропускної спроможності мережі як в умовах завад, так і без їх впливу. На рис. 1 і 2 наведено результати вимірювання пропускної спроможності пікомережі без впливу мережі стандарту 802.11, а також з роботою такої мережі на відстані 1,5 метра від передавача. Схему експерименту наведено на рис.3.

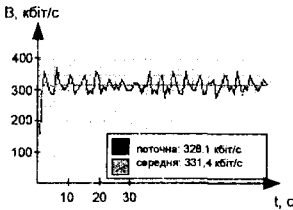


Рис. 1. Пропускна спроможність мережі без впливу завад

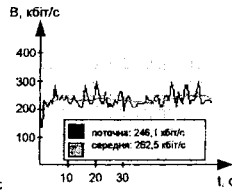


Рис.2. Пропускна спроможність при дії завади від мережі 802.11

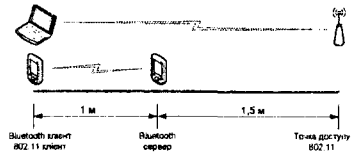


Рис.3. Схема проведення вимірювань

Встановлено, що існуючі в технології стандарту 802.15.1 Bluetooth методи доступу до середовища не забезпечують належної завадозахищеності, а наявність завад в радіусі дії пікомережі призводить до суттєвого зменшення пропускної спроможності цієї мережі. Тому актуальною є розробка інваріантних методів підвищення завадостійкості, які здатні нарощувати потенціал завадостійкості в міру ускладнення сигнально-завадового станoviща.

У другому розділі проведені експериментальні дослідження сигнально-завадової обстановки сучасних офісних мереж показують, що мережі з псевдо-випадковою перебудовою робочої частоти, прикладом яких є технологія Bluetooth, працюють в умовах, коли у більш ніж 50% доступних для роботи системи частотних каналах може бути присутня неавтономна завада від систем стандарту 802.11 та інших НВЧ-пристроїв. Така ситуація призводить до істотного зниження пропускної спроможності пікомережі Bluetooth. В якості джерела завади розглядалися три точки доступу стандартів 802.11b/g від різних виробників. У результаті експериментальних досліджень отримано дані про ширину смуги випромінювання та позасмугових випромінювань пристроїв. Для проведення вимірювань спектра сигналів і завад від точок доступу був використаний цифровий приймач AR-5000, що дозволяє зберегти й обробити результати вимірювань на комп'ютері. Виміри проводилися згідно з рекомендацією ITU-R SM.328, результати наведено на рис. 4.

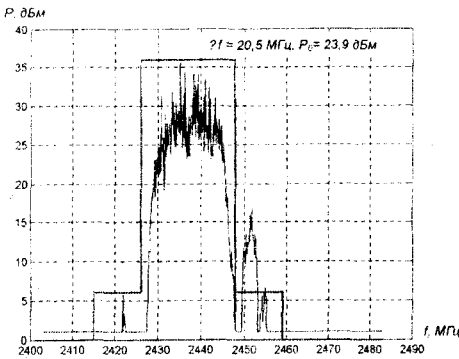


Рис.4. Спектр сигналу точки доступу стандарту 802.11b (D-Link AP900+)

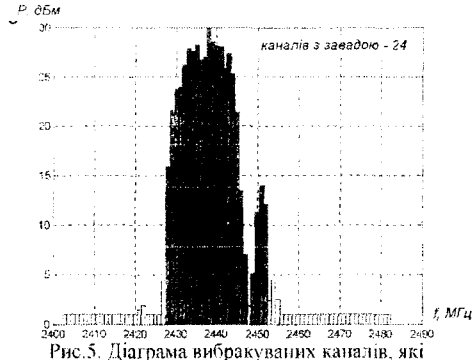


Рис.5. Діаграма вибраних каналів, які не придатні для використання пристроями Bluetooth

Ширина робочої смуги частот точки доступу складає 20,5 МГц, потужність сигналу в смузі частот - 23,9 дБм. За результатами вимірювань з рівняння 1 проводиться оцінка коефіцієнта передавання каналу для системи з ППРЧ

$$k(f) = 0, \begin{cases} S_{BT} - I(f) > 11 \\ S_{BT} - I(f+1) > 0 \\ S_{BT} - I(f-1) > 0 \\ S_{BT} - I(f+2) > -30 \\ S_{BT} - I(f-2) > -30 \end{cases} \quad (1)$$

де S_{BT} – рівень сигналу на вході приймача, I – рівень завади на вході приймача, f – частотний канал.

Рівні сигналу S_{BT} та завади I на вході приймача описується рівняннями 2,3

$$I(f) = \begin{cases} EIRP - (40,2 + 20 \lg(d_1)), & d_1 < 8 \\ EIRP - (58,5 + 33 \lg(\frac{d_1}{8})), & d_1 > 8 \end{cases} \quad (2),$$

$$S_{BT} = \begin{cases} P_{BT}(c) - (40,2 + 20 \lg(d_2)), & d_2 < 8 \\ P_{BT}(c) - (58,5 + 33 \lg(\frac{d_2}{8})), & d_2 > 8 \end{cases} \quad (3)$$

де $EIRP$ – рівень сигналу від точки доступу, виміряний приймачем; d_1 – відстань від точки доступу до приймача Bluetooth; d_2 – відстань від передавача до приймача Bluetooth.

В умовах проведеного експерименту при одній працюючій точці доступу стандарту 802.11g завада була присутня в 24 частотних каналах, що призвело до зменшення пропускної спроможності пікомережі Bluetooth на 30,3 % (рис.5).

Показано, що в сучасних умовах можлива ситуація, за якої в обмеженому просторі може працювати значна кількість пікомереж Bluetooth. Оскільки ці

мережі не є синхронізованими між собою, вони також є одна до одної взаємними завадами. Під час використання пристроїв другого і третього класу потужності, до яких належать більше 90% всіх пристроїв, вихідна потужність сигналу не перевищує 4 дБм, тому завадами можуть бути всі передавачі всередині сфери діаметром 20 метрів, у центрі якої розташований приймач досліджуваної пікомережі. За межами цієї сфери завада від пристроїв Bluetooth не буде істотною. Якщо розглядати приміщення, в якому може бути зосереджена велика кількість пристроїв з Bluetooth (це може бути зал аеропорту, торговий або бізнес-центр), кількість несинхронізованих пікомереж може бути більше ста.

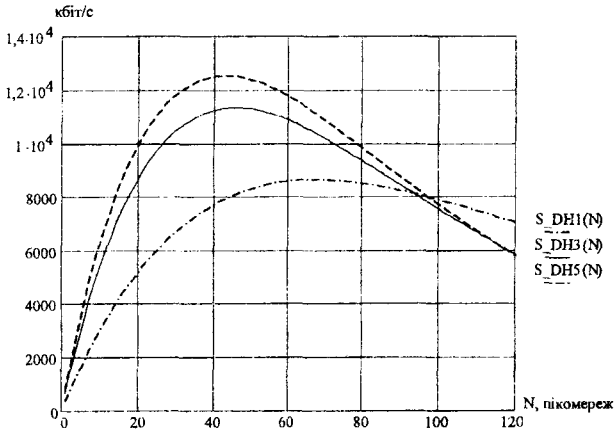


Рис.6. Сумарна пропускну спроможність пікомереж в залежності від їх кількості при використанні кадрів різних типів

Критерієм ефективності роботи несинхронізованих пікомереж вибрана їх сумарна пропускну спроможність. На рис. 6 наведено результати моделювання взаємодії 120 несинхронізованих пікомереж

При одночасній несинхронізованій роботі 30 пікомереж пропускну спроможність кожної з них зменшується з 740 до 380 кбіт/с.

Дослідження відомих методів підвищення стійкості інформаційного обміну показало, що всі вони, зокрема, метод альтернативного безпроводового доступу до середовища (AWMA - Alternating wireless medium access), метод адаптивного вибору частот (AFH - Adaptive Frequency Hopping) мають суттєві обмеження у використанні або виявляються неефективними у разі сигнально-завадового становища, що постійно змінюється.

У третьому розділі розроблено метод адаптації послідовності ППРЧ до сигнально-завадового становища з використанням алгоритму багатоточкової групової оптимізації. Метод базується на PSO-алгоритмі (Particle Swarm Optimization, оптимізація з використанням групи часток). Завданням процедури оптимізації є пошук вільних каналів та зосередження елементів послідовності ППРЧ (рішень алгоритму оптимізації) саме в них. Результатом роботи алгоритму оптимізації є нова, адаптована до існуючого сигнально-завадового станови-

ща, послідовність ППРЧ з меншою кількістю частотних каналів, що використовуються, і малою імовірністю втрати кадрів (не більше 2%). Особливістю запропонованого методу є непряма оцінка показників якості певного каналу на основі отримання або неотримання кадру підтвердження, що дозволяє відмовитися від використання додаткових ресурсів, таких, як канали зворотного зв'язку, для роботи процедури оптимізації. Оцінка показників якості каналів зв'язку проводиться для кожної послідовності ППРЧ, час дії якої складає 0,32 с, що дозволяє пристрою швидко адаптуватися до мінливого сигнально-завадового становища.

Цільова функція оптимізації – максимальна кількість успішно переданих кадрів, що визначається за кадрами підтвердження провідному пристрою (рівняння 4)

$$\begin{cases} f_{gbest_i} = \max(a(m_{i,k})), \\ a(m_{i,k}) = \frac{((CRC_{np} \vee CRC_{nep}) + (CRC_{npACK} \vee CRC_{nepACK}))}{i \in 1 \dots len} \end{cases} \quad (4)$$

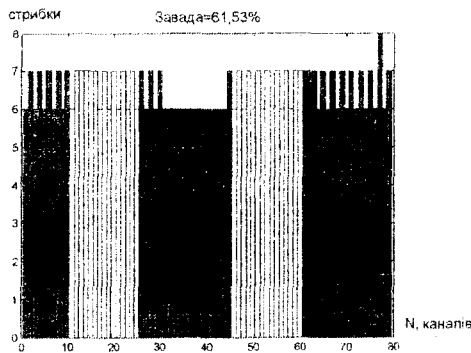


Рис. 7. Сигнально-завадове становище в діапазоні частот, що використовується Bluetooth

Для заданого сигнально-завадового становища вважатимемо, що з 79 каналів, доступних для використання технологією Bluetooth, в каналах 1...10, 25...45, 60...79 присутня завада (рис. 7). Канали 10 ... 25 та 45 ... 60 вільні від впливу перешкод, і в них можлива успішна передача кадрів Bluetooth. При такому становищі більш, ніж 60 відсотків кадрів буде втрачено. Для алгоритму оптимізації кожна точка групи являє собою елемент послідовності ППРЧ, x -координата якої дорівнює індексу елемента у послідовності, а y -координата дорівнює номеру частотного каналу для цього елемента. На кожному кроці обчислюється зсув координати для кожної точки, що оновлює її положення в просторі пошуку. Величина зсуву визначається за формулою 5:

$$v_{i,k+1} = r_{0,k} \omega v_{i,k} + c_1 r_{1,k} (y_k^* - m_{i,k}) + c_2 r_{2,k} (y_k^* - m_{i,k}) \quad (5)$$

де $v_{i,k}$ – зсув координати точки на k -му кроці; $r_{0,k}, r_{1,k}, r_{2,k} \in 0 \dots 1$ – випадкові значення; ω – коефіцієнт інерції; c_1, c_2 – коефіцієнти прискорення точок; y_k – значення локального оптимуму на k -му кроці; y_k^* – значення глобального оптимуму на k -му кроці. Нова координата точки визначається сумою попередньої координати із значенням зсуву $m_{i,k+1} = m_{i,k} + v_{i,k+1}$. На відміну від класичного генетичного алгоритму, в якому деякі точки можуть залишати область допустимих значень, у запропонованій реалізації така ситуація неприпустима, тому що кожна точка є елементом послідовності ППРЧ, тому значення номерів каналів всіх елементів послідовності мають знаходитися в області допустимих значень. Для запобігання ситуації, коли точки можуть залишати область пошуку, у запропоновану реалізацію алгоритму оптимізації були внесені такі обмеження (6):

$$\begin{aligned} m_{i,k} &= 1, \text{ якщо } m_{i,k} < 1 \\ m_{i,k} &= C_{\max}, \text{ якщо } m_{i,k} > C_{\max} \end{aligned} \quad (6)$$

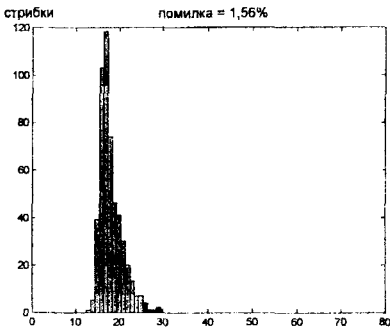


Рис. 8. Розподіл елементів адаптованої послідовності

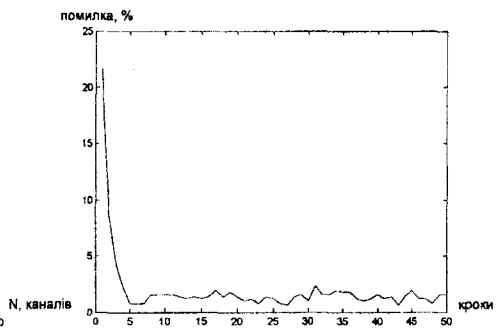


Рис. 9. Кількість помилок на кожному кроці оптимізації

За допомогою імітаційного моделювання встановлено та запропоновано такі значення коефіцієнтів c_1, c_2 алгоритму адаптації: $c_1 = 0,1, c_2 = 1$. (рис. 8,9)

Коефіцієнти вибиралися за критерієм збіжності алгоритму, відсотка помилково вибраних каналів та розподілу елементів послідовності по вільному від помилок діапазону. При запропонованих значеннях коефіцієнтів досягається прийнятний розподіл елементів послідовності по каналах, ймовірність помилкового вибору каналу не перевищує 2%, пошук рішення здійснюється за 5–10 ітерацій і система залишається стійкою.

У четвертому розділі запропоновано метод псевдовипадкового перелаштування робочої частоти з адаптацією до кількості пікомереж на основі ортогонального кодування, який дозволяє підвищити пропускну спроможність окремо взятої пікомережі в умовах спільної роботи з великою кількістю несинхронізованих пікомереж.

Розроблена математична модель взаємодії n несинхронізованих пікомереж дозволяє оцінити ймовірність колізії між елементами послідовностей ППРЧ різних пікомереж. Також запропоновано критерій оцінки ефективності використання частотного ресурсу, що виділений для роботи пікомереж. Таким критерієм виступає сумарна пропускна спроможність усіх пікомереж B_{sum} , що працюють в спільному середовищі та можуть створювати заваду одна іншій. Аналітично кількість успішно переданих всіма пікомережами кадрів N за час використання послідовності ППРЧ, кількість елементів в якій дорівнює кількості каналів, визначається виразом(6):

$$N(n, C_{max}) = C_{max} \cdot n \cdot e^{-\left(\frac{n}{C_{max}}\right)}, \quad (6)$$

де n – кількість одночасно працюючих пікомереж, C_{max} – кількість каналів, які можуть бути використані в послідовності ППРЧ. Сумарна пропускна спроможність B_{sum} залежить від кількості кадрів, що передаються за секунду, а також розміру кожного кадру та визначається виразом (7)

$$B_{sum}(n, C_{max}, P, T) = P \cdot T \cdot C_{max} \cdot n \cdot e^{-\left(\frac{n}{C_{max}}\right)}, \quad (7)$$

де P – розмір кадру в бітах, для технології Bluetooth $P=216$ біт; T – кількість кадрів за секунду, $T=1600$.

Показано, що сумарна пропускна спроможність пікомереж буде найбільшою за умови, що кількість пікомереж n дорівнює кількості каналів C_{max} , які можуть бути використані в послідовності ППРЧ.

Результати імітаційного та математичного моделювання взаємодії пікомереж та залежність їх сумарної пропускної спроможності від їх кількості наведені на рис.10

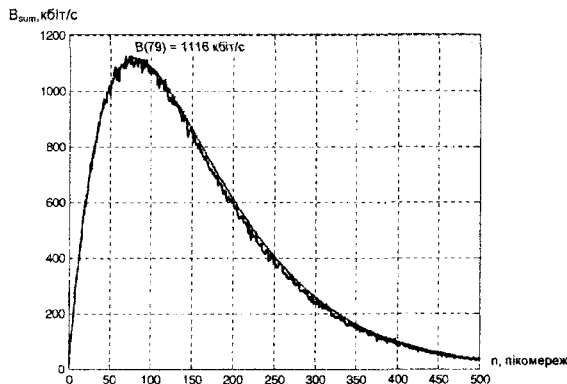


Рис.10. Сумарна пропускна спроможність n пікомереж

З рис.10 видно, що сумарна пропускна спроможність пікомереж зменшується, коли кількість працюючих пікомереж перевищує кількість частотних ка-

налів C_{\max} , що використовуються для формування ППРЧ. Показано, що сумарна пропускна спроможність пікомереж залежить також від кореляційної функції усіх послідовностей ППРЧ, які використовуються пікомережами. Зменшення кореляції між послідовностями призводить до зменшення колізій та підвищення пропускної спроможності пікомереж по відношенню до існуючого способу формування послідовностей ППРЧ.

За допомогою імітаційного моделювання досліджено декілька способів формування послідовностей з кращими кореляційними властивостями. Одним із таких способів є спосіб циклічного зсуву однієї еталонної послідовності, що сформована існуючим способом, на випадкове число елементів. Цей метод дає збільшення сумарної пропускної спроможності при кількості пікомереж $n=2,5 \dots 4 C_{\max}$, але не є ефективним при $n < C_{\max}$.

Другий досліджений спосіб базується на детермінованому циклічному зсуві еталонної послідовності для кожної з пікомереж. Результати моделювання наведені на рис. 11, з якого видно, що під час застосування такого методу забезпечує збільшення сумарної пропускної спроможності пікомереж за умови, що $n < C_{\max}$ і є абсолютно неефективним при $n > 2C_{\max}$.

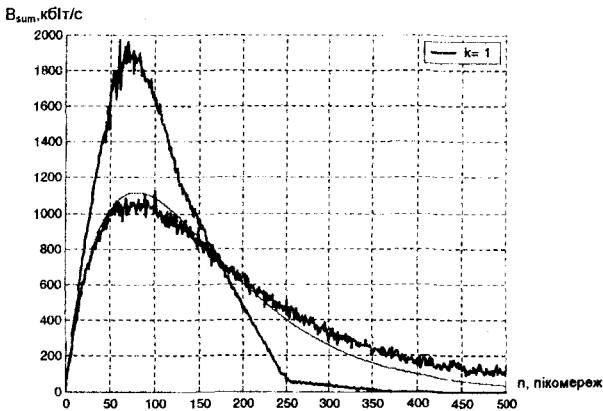


Рис.11. Результати моделювання способу генерації послідовностей детермінованим зсувом

Для підвищення ефективності роботи пікомереж та збільшення їх пропускних спроможностей пропонується адаптивний метод ППРЧ, суть якого полягає у використанні ортогональних послідовностей для кодування інформації, що передається. Кількість повідомлень, що кодуються в кожному каналі, залежить від кількості одночасно працюючих пікомереж. На рис.12 наведено сімейство графіків залежностей сумарної пропускної спроможності пікомереж від їх кількості під час використання ортогональних послідовностей різної довжини k , яка відповідає кількості повідомлень пікомереж, що кодуються в кожному каналі і не становлять колізії одне до одного. З графіків видно, що використання ортогональних послідовностей певної довжини є ефективним лише при пев-

ній кількості одночасно працюючих пікомереж, тому для оптимального вибору довжини послідовності ортогонального коду необхідно встановити кількість пікомереж.

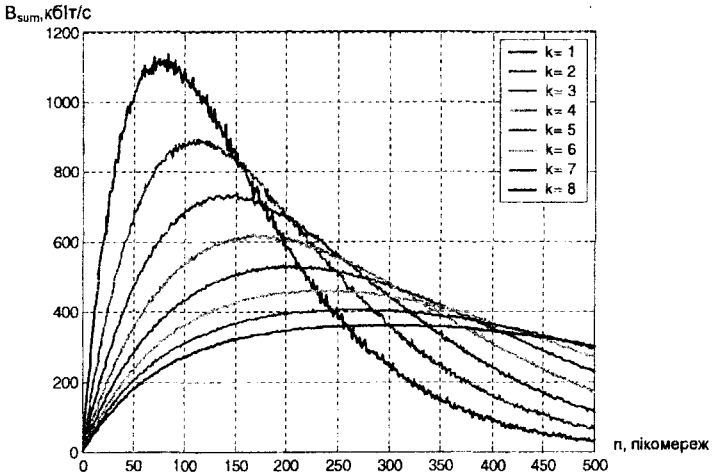


Рис.12. Пропускні спроможності пікомереж при різній довжині ортогональних кодів k

Аналітично оптимальна довжина ортогональних послідовностей становить:

$$k(n, C_{\max}) = \frac{3n}{2C_{\max}} - 1 \quad (8)$$

Отже запропонований метод ортогонального кодування повідомлень пікомереж, що працюють в одному частотному діапазоні та створюють одна для одної завади, є ефективним методом подальшого підвищення пропускної спроможності пікомереж. Його ефективність залежить від кількості одночасно працюючих пікомереж, а також від довжини ортогональних послідовностей, що використовуються.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу, яка полягає у підвищенні завадозахищеності телекомунікаційної мережі з адаптивним псевдовипадковим перелаштуванням робочої частоти в умовах завод. Під час розв'язання задачі отримано такі результати:

1. Проведено дослідження впливу найбільш ймовірних джерел завод на формування сигнально-завадового становища під час роботи пікомереж Bluetooth, де використовується режим ППРЧ. Такими джерелами виступають пристрої абонентського доступу стандарту 802.11, мікрохвильові печі, інші пікомережі стандарту Bluetooth.

2. Проведено експериментальні дослідження сигнально-завадового становища в діапазоні частот 2,4 ГГц дозволили класифікувати джерела завад та оцінити ступінь їх впливу на пікомережу Bluetooth. Також отримано спектри сигналів від декількох точок доступу стандарту 802.11 та мікрохвильової печі, які можуть бути використані при моделюванні сигнально-завадового становища, а також при проектуванні безпроводових мереж.

3. Досліджено існуючі методи підвищення заводозахисності пікомереж Bluetooth та обґрунтовано їх недостатню ефективність, особливо при одночасній роботі декількох пікомереж в обмеженій зоні. Експериментально підтверджено, що пропускна спроможність пікомережі падає пропорційно кількості частотних каналів, в яких присутня завада від інших джерел випромінювання.

4. Запропонований метод адаптації послідовності ППРЧ до сигнально-завадового становища з використанням алгоритму багатоточкової групової оптимізації. Метод базується на PSO-алгоритмі (Particle Swarm Optimization, оптимізація з використанням рою часток). Особливістю запропонованого методу є непряма оцінка показників якості певного каналу на основі отримання або неотримання кадру підтвердження, що дозволяє відмовитися від використання додаткових ресурсів для роботи процедури оптимізації. Результатом роботи алгоритму оптимізації є нова, адаптована до існуючого сигнально-завадового становища, послідовність ППРЧ з меншою кількістю частотних каналів, що використовуються, і малою імовірністю втрати кадрів (не більше 2%). За допомогою запропонованого алгоритму вдається знаходити рішення за 3–5 ітерацій, що дозволяє використовувати його в реальному масштабі часу. Адаптована послідовність використовується пікомережею протягом 0,32 секунди, тому запропонований алгоритм досить швидко реагує на зміну сигнально-завадового становища. Впровадження запропонованого алгоритму не потребує змін в апаратній частині обладнання, такі зміни потрібні лише в програмному забезпеченні, яке на рівні драйверів пристроїв реалізовуватиме запропонований алгоритм.

5. За результатами імітаційного моделювання показано, що виключення частотних каналів, в яких присутня завада, з послідовності ППРЧ є ефективним методом лише для детермінованих завад, але не є ефективним методом підвищення заводостійкості пікомережі під час її роботи з іншими несинхронізованими мережами. Показано, що зменшення кількості частотних каналів для роботи пікомереж Bluetooth навпаки призводить до збільшення колізій і, як наслідок, зменшення пропускної спроможності пікомереж.

6. Запропоновано новий, більш повний та об'єктивний критерій оцінки ефективності використання частотного ресурсу технологією Bluetooth. Таким критерієм є сумарна пропускна спроможність пікомереж, що працюють в спільному середовищі та становлять одна до одної джерело завад.

7. Встановлено, що заводозахисність в групі пікомереж залежить від взаємнокореляційних властивостей послідовностей ППРЧ, що використовуються цими пікомережами. Запропоновано декілька раціональних методів формування послідовностей ППРЧ з меншим ступенем взаємної кореляції, проаналізовано та визначено межі використання таких методів.

8. Показано, що для подальшого нарощування пропускної спроможності окремо взятої пікомережі в умовах спільної роботи в групі несинхронізованих пікомереж з ППРЧ слід використовувати ортогональне кодування. Кількість повідомлень, що кодуються в кожному каналі, залежить від кількості одночасно працюючих пікомереж. Ефективність запропонованого методу також залежить від кількості одночасно працюючих пікомереж, наприклад, при 20-ти частотних каналах, доступних для використання і 20 одночасно працюючих пікомережах, ефекту від запропонованого методу не буде, але, якщо кількість пікомереж збільшиться до 60, пропускна спроможність пікомереж при використанні запропонованого методу буде більше на 240% у порівнянні з існуючим методом.

9. Використання запропонованих методів дозволяє підвищити пропускну спроможність пікомережі Bluetooth як при впливі завад від сторонніх джерел випромінювання, так і при впливі завад від інших несинхронізованих пікомереж.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваленко А.А. Анализ пропускной способности Bluetooth-пикосети в условиях совместной работы с точкой доступа стандарта 802.11g / А.А. Коваленко // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2006. – Вып.144. С.198–203.
2. Коваленко О.О. Обґрунтування безпілотної аеромобільної мережі оперативного зв'язку та передачі даних у рамках державної інтегрованої інформаційної системи / О.О.Коваленко, С.В. Чорний // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2007. – Вып.148. С.106–112.
3. Коваленко А.А. Методика исследования процедур доступа CSMA/CA с использованием аппарата сетей Петри /А.А. Коваленко, Т.Н. Коваленко // Прикладная радиоэлектроника. Научн.-техн. журнал – 2007. – №4, том 6, С.532–537.
4. Коваленко А.А. Оптимизация использования частотного ресурса в телекоммуникационных технологиях с псевдослучайной перестройкой частоты / А.А. Коваленко, С.В. Черный // Вісник ДУІКТ, №2 2007. С. 216–222.
5. Коваленко А.А. Метод адаптации программы перестройки частоты ППРЧ-устройств к сигнально-помеховой обстановке на основе групповой многоточечной оптимизации с ограничениями / А.А. Коваленко // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2008. – Вып.155. С.250–256.
6. Коваленко А.А. Тестирование пропускной способности bluetooth-пикосети в условиях совместной работы с точкой доступа стандарта 802.11g: зб. матеріалів 10-го Міжнародного молодіжного форуму [«Радиоэлектроника і молодь у XXI ст.»] / Х.:ХНУРЕ, 2006. С. 133.
7. Коваленко А.А. Влияние помех на качество передачи речи с использованием технологии Bluetooth: зб. матеріалів 1-ї міжнародної конференції [«Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку»] / Х. : ХНУРЕ, 2006. С.311–312.

8. Коваленко А.А. Анализ источников помех в системах абонентского радиодоступа: зб. матеріалів 11-го Міжнародного молодіжного форуму [«Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.»] / Х.:ХНУРЕ, 2007. С. 72.
9. Коваленко А.А. Применение технологии Bluetooth для организации целевой рекламы: зб. праць науково-практичної конф. [«Перспективні технологічні та ринкові напрями розвитку телекомунікаційних послуг у новітніх безпроводових системах зв'язку»], (Одеса, 22–24 березня 2007 р.) / Одеса: УНДПРТ, 2007. С.31

АНОТАЦІЯ

Коваленко О.О. Методи оптимізації телекомунікаційних систем з адаптивним перелаштуванням робочої частоти. -- Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків 2010.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню нової науково-практичної задачі підвищення заводозахищеності телекомунікаційної системи з псевдовипадковим перелаштуванням робочої частоти в умовах завод.

Запропоновано два методи підвищення заводозахищеності мереж з ППРЧ. Перший полягає у адаптації послідовності ППРЧ до існуючої сигнально-заводового становища шляхом непрямого апріорного моніторингу частотних каналів та виключення з послідовності ППРЧ каналів, в яких присутня завада. Другий метод полягає у використанні адаптивного ортогонального кодування повідомлень від декількох мереж, довжина кодової послідовності залежить від кількості мереж, що становлять заваду одна для одної.

Ключові слова: підвищення заводозахищеності, адаптивне перелаштування частоти, ортогональне кодування.

АННОТАЦИЯ

Коваленко А.А. Методы оптимизации телекоммуникационных систем с адаптивной перестройкой рабочей частоты. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.05 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков 2010.

Диссертационная работа посвящена решению новой научно-практической задачи повышения помехозащищенности телекоммуникационной системы с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты.

Проведены детальные экспериментальные исследования спектра и параметров излучения оборудования стандарта 802.11b/g от нескольких производителей как источника помех для ТКС с ППРЧ. Получены статистические характеристики, позволяющие производить отбраковку тех или иных разработок по параметрам электромагнитной совместимости.

Проведен анализ сигнально-помеховой обстановки в персональных и офисных системах связи с радиодоступом. Определены основные характери-

стики внутрисистемных электромагнитных помех применительно к количеству и концентрации работающих пикосетей.

Впервые разработан метод адаптации телекоммуникационных систем с ППРЧ на базе косвенных методов анализа текущей сигнально-помеховой обстановки. В качестве алгоритма адаптации используется алгоритм направленного поиска каналов, свободных от помех с использованием групповой многоточечной оптимизации.

Получил дальнейшее развитие метод информационного обмена с ППРЧ на основе ортогонального кодирования в части адаптации параметров кодирования к количеству работающих пикосетей.

В соответствии с разработанными методами проведен анализ качества предложенных адаптивных методов, в частности определена суммарная пропускная способность группы пикосетей и определена рациональная длина кодовой последовательности ортогонального кода для заданного количества пикосетей и доступного частотного ресурса.

Проведены исследования, подтверждающие высокую эффективность предложенных методов ППРЧ с использованием стандартного оборудования стандарта IEEE 802.15.1 при воздействии помех со стороны СВЧ-печей, точек доступа стандарта IEEE 802.11 и иных внутрисистемных помех.

Предложены конкретные методы и меры по реализации перехода на адаптивный режим работы технологии стандарта IEEE 802.15.1. В частности, выбраны рациональные параметры алгоритмов адаптации, позволяющие получить максимальный выигрыш по пропускной способности в группировке пикосетей при соблюдении требований к качеству обслуживания.

Ключевые слова: повышение помехоустойчивости, адаптивная перестройка частоты, ортогональное кодирование.

ABSTRACT

O.O. Kovalenko. Adaptive frequency hopping spread spectrum telecommunication networks optimization methods. – Manuscript.

Dissertation for the candidate's degree of technical science in a specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio and Electronics, Kharkiv. 2010.

Dissertation is devoted to resolve new scientific and practical task for increase noise immunity of frequency hopping spread spectrum (FHSS) networks in environment with high interference.

Proposed two methods to improve noise immunity of FHSS networks. First is the adaptation of frequency hopping sequence to current signal/interference situation by indirect monitoring frequency channels and exclusion from frequency hopping sequence channels with interference. The second method is to use adaptive orthogonal coding of messages from multiple networks, the length of code sequence based on the number of networks that constitute interference with each other.

Key words: increase noise immunity, adaptive frequency hopping, orthogonal coding.

Бібліотека ХНУРЕ
Читальний зал №

Підп. до друку 10.01.11.
Умов. друк. арк. 0,9.
Зам. № 2-18.

Формат 60x84 ¹/₁₆
Тираж 100 прим.
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Харків, просп. Леніна, 14