Голові спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.03
61166, м. Харків,
пр. Науки, 14

ВІДЗИВ

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Кобзєва Анатолія Васильовича на дисертацію Іваненка С.А. «Визначення незайнятих частотних каналів у когнітивних радіомережах методами виявлення та розпізнавання сигналів в умовах апріорної невизначеності», подану на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи»

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних систем характеризується все зростаючими потребами у використанні нових робочих частот. Оскільки частотний ресурс обмежений, то з'явився ряд технологій, що розширюють можливості щодо максимального використання раніше розподіленого діапазону частот. Перспективним напрямком можливо вважати розробку і вдосконалення технології когнітивного радіо, яка базується на знаходженні незайнятих ліцензійних частотних каналів і подальшого використання їх для передачі інформації. При практичній реалізації принципів когнітивного радіо виникає необхідність сканування частотного діапазону і прийняття рішення про наявність чи відсутність радіовипромінювань на деяких ділянках цього діапазону. При цьому природно доцільним є застосування теорії виявлення для встановлення факту зайнятості ліцензійних каналів. Тут також необхідно визначити належність виявленого сигналу до класу первинних або вторинних користувачів. Вирішення цього завдання базується на застосуванні теорії розпізнавання сигналів. В даний час теорія виявлення і теорія розпізнавання добре розвинені стосовно до випадку, коли відомі статистичні властивості сигналів, які описуються щільностями розподілу ймовірностей. Однак, внаслідок різноманіття видів і параметрів модуляції сигналів в системах когнітивного радіо заздалегідь неможливо передбачити, який з можливих сигналів присутній на

ХНУРЕ
Вхідний № 01/27-650
«21» 05 2012 р.

вході приймального пристрою і яким є його статистичний опис. Така апріорна невизначеність накладає відбиток на спосіб вирішення завдань виявлення і розпізнавання сигналів. Аналогічна ситуація має місце при отриманні інформації в системах радіомоніторингу, радіоелектронної розвідки та пасивної радіолокації. В даний час відомо декілька підходів щодо вирішення задач виявлення сигналів в умовах апріорної невизначеності, багато з яких випливають з евристичних міркувань і відрізняються ефективністю.

Дисертація Іваненка С.А. присвячена вирішенню задач виявлення і розпізнавання сигналів з невідомими видами і параметрами модуляції відповідно до особливостей функціонування систем когнітивного радіо. Зміст завдань, що вирішуються, пов'язано з вдосконаленням технології когнітивного радіо. У цьому полягає актуальність теми дисертації та її практична користь.

Тема дисертації повністю відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи».

Аналіз змісту дисертації.

У **першому розділі** виконано аналіз загальних положень технології когнітивного радіо. Проведений аналіз варіантів отримання відомостей про радіоспектр, основним серед яких є використання радіомоніторингу, для роботи якого використовуються методи виявлення сигналів.

Проведений аналіз методів виявлення сигналів показав, що більшість з них потребують апріорних відомостей щодо сигналів, які необхідно виявити. Враховуючи велику кількість радіоелектронних засобів, які використовують діапазон частот, відведений для роботи стандарту когнітивного радіо, мати всі відомості про ці сигнали неможливо. Це призводить до того, що більшість відомих методів виявлення не може бути використана для вирішення цієї задачі.

Для вирішення задачі визначення незайнятих частотних каналів пропонуються методи, які базуються на виявленні зміни статистичних властивостей сигналів, що дозволить визначати незайняті частотні канали методами виявлення і розпізнавання сигналів в умовах апріорної невизначеності, що відповідає реальним умовам функціонування в сучасному ефірі.

Відповідно до проведеного у розділі аналізу сформульована загальна науково-прикладна задача дисертації та ряд часткових задач, пов'язаних з розробкою ефективних методів виявлення невідомих сигналів та розпізнавання заданих сигналів в умовах апріорної невизначеності.

В якості зауважень слід зазначити наступне:

1. Не проаналізовані інші методи виявлення сигналів невідомого виду. Так, зокрема, не розглянуто метод, викладений у монографії Рєпіна В.Г. і Тартаковського Г.П «Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем» М. - Сов. радио, 1977, що названо ними як адаптивний байесів підхід.

2. При постановці задачі виявлення варто було б чітко вказати апріорні відомості про сигнали, що підлягають виявленню. Такими відомостями можуть бути можливі види модуляції і очікувані межі параметрів сигналів (діапазон частот, ширини спектрів та ін.). Ці дані можуть впливати на характеристики пошуку за частотою і процедуру виявлення сигналів.

Другий розділ присвячений дослідженню статистичних характеристик реальних шумів та сигналів, а також обґрунтуванню вибору спектральних методів виявлення невідомих сигналів. Зокрема, розглянуто особливості вибору порогових значень у запропонованих вирішальних правилах.

Для дослідження статистичних властивостей шуму, який діє в частотних каналах, та отримання реалізацій сигналів була зібрана SDR-установка, яка дозволила отримати оцифровані записи вибірок реальних сигналів і шумів.

Результати дослідження отриманих вибірок показали, що в часовій області шум є некорельованим випадковим процесом і підпорядковується закону гауссівського розподілу. Додатково було проведено тест на однорідність розподілів відліків шуму. Для цих цілей був використаний критерій Колмогорова-Смірнова для перевірки гіпотези про приналежність розподілів вибірок шуму одному і тому ж розподілу.

На основі результатів досліджень обґрунтовано вибір математичної моделі шуму у виді гауссівського некорельованого процесу і відповідна структура вирішального правила.

Також були проведені дослідження статистичних характеристик шуму у спектральній області у вигляді амплітудного спектру. Визначено що, перехід у частотну область приводить до певного відхилення від прийнятої математичної моделі у часовій області.

Зауваження:

Не проаналізовано, як впливає відхилення від прийнятої математичної моделі у спектральній області на якість виявлення невідомих сигналів.

Третій розділ присвячений отриманню робочих характеристик алгоритмів виявлення невідомих сигналів на фоні шуму.

Проведені дослідження робочих характеристик виявлення невідомих сигналів на фоні шуму, заданого навчальною вибіркою. Дослідження проведені шляхом статистичних випробовувань на отриманих вибірках реальних сигналів і шумів. Для отримання робочих характеристик виявлення сигналів були використані вибірки двох сигналів, які розглядалися як невідомі сигнали.

В результаті досліджень отримані залежності імовірності правильного виявлення від відношення сигнал-шум, розмірності спостережень у часовій і спектральній області, кількості реалізацій, що використовуються для прийняття рішень, при різних рівнях хибної тривоги. Порівняння отриманих залежностей для аналогічних умов проводились із класичним енергетичним детектором, що дозволило визначити їх суттєву перевагу. Отримані робочі характеристики підтверджують працездатність запропонованих методів виявлення невідомих сигналів і перевагу порівняно з класичним енергетичним детектором.

Проведені дослідження для різних типів вирішальних правил з урахуванням сукупності показників якості виявлення сигналів та реалізаційних витрат. Також була вирішена задача вибору переважного варіанту алгоритму виявлення за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації.

Як недоліки слід зазначити:

1. Із методики визначення порогових значень вирішальних правил залишається незрозумілим, яким чином враховується закон розподілу вирішальних статистик при обранні значення порогу, виходячи із заданої імовірності хибної три-

воги.

2. Не наведені обґрунтовані пояснення, чому має місце покращення імовірності правильного виявлення невідомих сигналів на фоні шуму при переході в спектральну область, хоча при цьому спостерігаються певні відхилення від математичної моделі, на якій базуються вирішальні правила виявлення сигналів.

3. Запропоновані методи виявлення невідомих сигналів порівнювалися лише з енергетичним детектором, проте немає порівняння з іншими методами виявлення в умовах апріорної невизначеності. Це дозволило би більш обґрунтовано визначити переваги запропонованих методів виявлення невідомих сигналів.

У четвертому розділі розглянуто особливості вирішення задачі селекції і розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів.

Для проведення дослідження з допомогою SDR-установки були отримані реалізації 9 реальних сигналів, що спостерігались в діапазоні частот, регламентованому для роботи стандарту IEEE 802.22. Вирішальне правило селекції та розпізнавання заданих сигналів реалізовано програмно на ЕОМ, а оцінки показників якості розпізнавання знайдені шляхом статистичних випробовувань на вибірках реальних сигналів. Отримані прийнятні для практики результати селекції та розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів, що підтверджують можливість їх використання при проведенні радіомоніторингу в когнітивних радіомережах.

Зауваження:

1. При вирішенні задачі селекції та розпізнавання отримані показники якості розпізнавання сигналів лише при одному значенні відношення сигнал-шум.

2. Не досліджено вплив співвідношення ширини смуги частотного каналу та ширини спектрів сигналів, що розпізнаються.

У п'ятому розділі розглянуто особливості вирішення загальної задачі визначення незайнятих частотних каналів та надання їх вторинним користувачам в КР за результатами виявлення та розпізнавання сигналів у частотних каналах.

Досліджується обмін між основними показниками якості: якістю сканування, яка визначається імовірністю правильного виявлення сигналу, часом сканування та досяжною пропускною здатністю вторинної мережі когнітивного радіо.

Визначено оптимальний час сканування з точки зору пропускної здатності

для алгоритму виявлення невідомих сигналів при різних режимах функціонування: різній розмірності блоку ДПФ, різному відношенні сигнал-шум, різній кількості вибірок, що використовуються для прийняття рішення.

Зауваження:

При визначенні оптимальних значень часу сканування дослідження проведені лише для одного типу алгоритму та одного виду сигналу. Дослідження проведені на інших сигналах дозволили б більш обґрунтовано визначити рамки оптимального часу сканування.

Однак, вказані недоліки та зауваження стосуються часткових питань, розглянутих в роботі, та не впливають на загальний позитивний висновок щодо дисертації в цілому.

Мова та стиль викладення наукових положень

Автор дисертації логічно й обґрунтовано викладає результати досліджень і отримані наукові положення. Текст дисертації та автореферат написані грамотною науково-технічною мовою. Основні положення дисертації достатньо повно відображені в авторефераті.

Достовірність отриманих результатів

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю постановок задач; використанням апробованих математичних методів; їхньою несуперечністю з основними раніш відомими теоретичними положеннями; перевіркою теоретичних результатів шляхом імітаційного моделювання на ПЕОМ.

Новизна отриманих наукових результатів:

1. Запропоновано нові методи визначення незайнятих частотних каналів в когнітивних радіомережах, відмінною особливістю яких є використання нетрадиційних методів виявлення невідомих сигналів на фоні шуму, а також методів селекції і розпізнавання заданих сигналів частотних каналах, що аналізуються.

2. Запропоновані та досліджені спектральні методи виявлення невідомих сигналів на фоні шуму у частотних каналах. Особливістю цих методів є відсутність інформації про сигнали і використання навчальних вибірок реалізацій лише для шуму.

3. Досліджено робочі характеристики запропонованих методів виявлення невідомих сигналів шляхом статистичних випробувань на вибірках реальних сигналів і шумів, характерних для когнітивних радіомереж.

4. Досліджені показники якості нетрадиційних методів розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів, характерною особливістю яких є використання навчальних вибірок тільки для заданих сигналів.

5. Досліджені оптимальні умови визначення незайнятих частотних каналів та їх надання вторинним користувачам у когнітивних радіомережах з використанням некласичних методів виявлення та розпізнавання сигналів в умовах апріорної невизначеності.

Практичне значення результатів досліджень та шляхи їх використання

Використання методів виявлення невідомих та розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів, дозволить визначати незайняті частотні канали в когнітивних радіомережах, що в свою чергу підвищує ефективність їх використання.

Запропоновані методи виявлення та розпізнавання сигналів реалізовані і досліджені із використанням реальних сигналах і шумів, що діють в частотних каналах стандарту когнітивного радіо IEEE 802.22.

Практична значимість результатів роботи підтверджена також відповідними актами впровадження у НДР та у навчальний процес ХНУРЕ.

Отримані результати доцільно використовувати в науково-дослідних та проектно-конструкторських організаціях при удосконаленні систем радіомоніторингу та когнітивних радіомереж.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях

Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, викладені в 7 статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях із переліку, затвердженому ДАК, одна стаття у закордонному виданні, а також у тридцяти матеріалах доповідей на науково-технічних конференціях.

Загальний висновок

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальну науково-прикладну задачу щодо визначення незайнятих частотних каналів у

когнітивних радіомережах з використанням нетрадиційних методів виявлення невідомих сигналів на фоні шумів та методів селекції та розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів.

Дисертація виконана відповідно до вимог ДАК України, що пред'являються до кандидатських дисертацій, і відповідає п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор – Іваненко Станіслав Андрійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи».

Офіційний опонент
провідний науковий співробітник
наукового центру Повітряних Сил Харківського
Національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба
доктор технічних наук, професор
Заслужений діяч науки і техніки України

А.В. Кобзєв

Підпис офіційного опонента Кобзєва А.В. засвідчую.

Начальник штабу ХНУПС
Д. Головко

Міністерство оборони України
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
Код 24980799