

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
Національного технічного університету України
„Київський політехнічний інститут”



IV-а НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**„ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ”**
22-23 жовтня 2008 року

(Доповіді та тези доповідей)

Київ – 2008

ББК
Ц4 (4Укр)39
П-768

У збірнику матеріалів четвертої науково-технічної конференції опубліковано доповіді та тези доповідей вчених, науково-педагогічних працівників, ад'юнктів, здобувачів, курсантів і студентів Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” та інших вищих навчальних закладів, в яких розглядаються пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення.

	каналного розподілу в системі синхронно цифрової ієрархії.....	232
97.	Радзівілов Г.Д., Цатурян О.Г. Підвищення завадостійкості в волоконно-оптичних каналах зі спектральним розділенням.....	233
98.	Раєвський В.М. Удосконалення забезпечення декаметрового радіозв'язку в територіально обмеженій зоні.....	235
99.	Розум І.Ю. Оцінка стійкості функціональних елементів системи зв'язку окремої механізованої бригади армійського корпусу об'єднаних сил швидкого реагування.....	236
100.	Романюк В.А., Бунін С.Г., Войтер А.П. Інтелектуалізація управління мобільними радіовузлами в мережах MANET.....	240
101.	Ромашко І.В. Моніторинг мереж спільноканальної сигналізації СКС №7.....	242
102.	Рябенко О.В., Помін А.Г. Перспективи розвитку транкінгових систем зв'язку.....	244
103.	Самойлов І.В. Метод розв'язання задач діагностики на базі нечітких відношень з використанням компонент штучного інтелекту.....	245
104.	Санніков С.Г., Микусь С.А. Загальні положення методики оцінки процесу планування бойового застосування частин зв'язку.....	247
105.	Сидорчук О.Л., Борисов П.С. Підвищення точності оцінки ефективності радіоподавлення при застосуванні удосконаленої методики побудови зони подавлення систем радіозв'язку з урахуванням впливу явищ розповсюдження радіохвиль.....	249
106.	Сілко О.В. Визначення раціональної кількості інформаційних модулів для системи обробки радіолокаційної інформації.....	250
107.	Сілко О.В., Царенко В.М. Методика ідентифікації користувачів в модульному об'єктно-орієнтованому середовищі для навчання.....	251
108.	Слотвінська Л. І. Оцінка сучасного стану фотополімерних формних матеріалів.....	252
109.	Слюсар В.І., Масесов М.О. Методи просторово-часового кодування сигналів на основі удосконаленої технології мульти-МІМО для станцій тропосферного зв'язку ЗСУ.....	253
110.	Слюсар В.І., Волошко С.В. Оцінка граничних можливостей методу демодуляції N-OFDM сигналів з ортогональною поляризацією.....	254
111.	Слюсар В.І., Троцько О.О. Компенсація доплерівського ЗСУВУ частоти на основі використання N-OFDM сигналів.....	255
112.	Слюсар В.І., Федін О.В. Математична модель функціонування радіозасобів командно-штабної машини в умовах впливу радіоперешкод.....	256
113.	Сокол Г.В. Дослідження процедури оцінювання стану мережних елементів за допомогою фільтра Калмана-Б'юсі.....	258
114.	Соловей О.Г. Оцінка завадозахищеності цифрових радіоліній з широкосмуговими сигналами з малими значеннями бази.....	260
115.	Солоний В.А., Любарський С.В. Методика тестування знань в	

МЕТОДИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО КОДУВАННЯ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МУЛЬТИ-МІМО ДЛЯ СТАНЦІЙ ТРОПОСФЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗСУ

В умовах високої динамічності і автономності підрозділів, згідно сучасних концепцій ведення бойових дій, в мобільній компоненті системи зв'язку ЗСУ, значно зростає роль тропосферних засобів. Однак збільшення обсягів інформації для прийняття рішення командирами неминуче призводить до необхідності підвищення швидкості передачі даних у тропосферних мережах зв'язку. Модернізація існуючих тропосферних станцій (ТРС) в Україні проводиться лише в рамках продовження ресурсу роботи аналогових пристроїв, заміни застарілого каналоутворюючого обладнання та низькошвидкісних модемів, а нові станції для реалізації перспективних потреб ЗСУ не розроблюються. Авторами пропонується новий підхід до побудови та обробки сигналів у тропосферних станціях, що дасть змогу збільшити швидкість передачі даних в тропосферній системі зв'язку, забезпечить можливість одночасної роботи з кількома абонентами в умовах дії активних завад противника. Сутність ідеї полягає в інтеграції удосконаленої технології мульти-МІМО (множинний вхід – множинний вихід) на основі цифрових антенних решіток (ЦАР) з методами просторово-часової обробки сигналів N-OFDM (неортогональна частотна дискретна модуляція) та додатковим стробуванням відліків АЦП каналів приймальної ЦАР. Застосування технології МІМО для систем тропосферного зв'язку дає змогу використовувати як корисний ефект багатопроменевого поширення радіосигналів у тропосфері для збільшення швидкості передачі даних. Поєднання технології ЦАР з зазначеними методами обробки сигналів дозволить точно визначати напрямки приходу сигналів та боротися з активними завадами противника, що особливо актуально для систем військового зв'язку. Проведені дослідження підтверджують ефективність такого підходу. Швидкість передачі даних в умовах некорельованості каналів МІМО збільшується пропорційно кількості пар антенних елементів передаючих і приймальних ЦАР. Граничні можливості просторового рознесення точок перевідбиття сигналів в тропосфері, а також обґрунтування вибору алгоритму квадратурно-амплітудної модуляції були оцінені шляхом імітаційного моделювання в пакеті MathCAD. Запропоновані принципи і методи обробки сигналів технічно реалізуються на сучасній елементній базі: обчислювальні модулі, модулі АЦП (ЦАП), об'єднуючі модулі та допоміжне обладнання, що поставляється як закордонними, так і вітчизняними виробниками. На цій основі можливі роботи щодо модернізації існуючих ТРС без заміни антенно-щоголових пристроїв, а також розробку нових станцій із застосуванням багатосекційних ЦАР, працюючих одночасно в широкому азимутальному секторі. В обох варіантах досягається економічність рішень, а в останньому – додаткова економія в кількості апаратних машин при побудові мережі тропосферного зв'язку для ЗСУ.

ОЦІНКА ГРАНИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МЕТОДУ ДЕМОДУЛЯЦІЇ N-OFDM СИГНАЛІВ З ОРТОГОНАЛЬНОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ

Адаптивне цифрове діаграмоутворення є ключовою технологією сучасних телекомунікаційних систем, яка дозволяє здійснювати поляризаційно-просторове розділення сигналів. Ключову роль у вирішенні завдання синтезу відповідних методів розділення грає аналітичний опис моделі відгуку приймальної цифрової антенної решітки (ЦАР). У багатокординатних системах цифрового діаграмоутворення з подвійною поляризацією каналів антенної решітки для аналітичного опису моделі відгуку приймальної ЦАР використовується матричний добуток Кхатрі-Рао:

$$U = \begin{bmatrix} U_H \\ U_V \end{bmatrix} = P \cdot A = \begin{bmatrix} (Q_H^n V_H) h_{FH} & (q_{HV} Q_V^n d_{HV} V_V) h_{FV} \\ (q_{VH} Q_H^n d_{VH} V_H) h_{FH} & (Q_V^n V_V) h_{FV} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_H \\ A_V \end{bmatrix},$$

де U – блок-матриця вихідних напруг каналів горизонтальної і вертикальної поляризації,

$A = \begin{bmatrix} A_H \\ A_V \end{bmatrix}$ – вектор комплексних амплітуд N – OFDM сигналів

горизонтальної (H) і вертикальної (V) поляризації,

Q_H, Q_V – матриці характеристик спрямованості первинних або вторинних (після цифрового діаграмоутворення) приймальних каналів ЦАР в азимутальній площині на H і V поляризації,

V_H, V_V – матриці характеристик спрямованості первинних (вторинних) приймальних каналів ЦАР в кутовій площині для H (V) поляризації,

F_H, F_V – матриці амплітудно-частотних характеристик $\mathcal{F}_{H(V)g}(\omega_{H(V)im})$ ШПФ – фільтрів для $R \times D$ ідентичних приймальних каналів,

$q_{HV} (q_{VH}), d_{HV} (d_{VH})$ – кросполяризаційна розв'язка в азимутальній і кутовій площинах, „■” – символ добутку Кхатрі-Рао, M – кількість MIMO-передавачів, T – кількість частот N-OFDM-пакета для одного MIMO-передатчика.

Процес розділення сигналів можна звести до оцінювання їх амплітуд, наприклад, за методом максимальної правдоподібності. Представляє інтерес дослідження граничних можливостей поляризаційно-просторового ущільнення сигналів на основі аналізу нижньої границі Крамера-Рао (НГКР) для дисперсій оцінок амплітуд. В доповіді для аналітичної оцінки потенційної точності методу демодуляції N-OFDM сигналів з ортогональною поляризацією пропонується використовувати відомий підхід, який базується на розрахунку НГКР для дисперсій оцінок квадратурних складових амплітуд сигналів і порівнянні цих дисперсій з допустимим порогом. Значення порогу розраховується в залежності від заданої ймовірності безпомилкової демодуляції переданих повідомлень з урахуванням застосування додаткового завадозахищеного кодування.

КОМПЕНСАЦІЯ ДОППЛЕРІВСЬКОГО ЗСУВУ ЧАСТОТИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ N-OFDM СИГНАЛІВ

Аналіз сучасних тенденцій показує, що розвиток військової безпілотної авіації вважається одним з ключових компонентів глобальних перетворень сучасних збройних сил, зокрема військ НАТО. При цьому одне з основних проблемних питань сучасного етапу розвитку безпілотної авіації – стандартизація стосовно таких аспектів як класифікація БПЛА, узгодження діапазонів частот, що використовуються для обміну даними з наземними пунктами управління, форматів та проколів захищених каналів для забезпечення керування БПЛА та передачі ними корисної інформації.

В той же час причини складності щодо досягнення міжнародної узгодженості такі: визначення питань спектра є національною прерогативою кожної країни; частотний спектр – це величезний комерційний ресурс, який знаходиться у стадії підвищеного попиту у зв'язку з бурхливим розвитком телекомунікацій (наприклад, мобільного зв'язку). Тож питання ширини спектра, та пропускної спроможності каналів зв'язку з БПЛА є дуже актуальними в даний час. БПЛА рухаються по заданому маршруту з великою швидкістю відносно землі, що призводить до Допплерівських зсувів частоти. Якщо немає виправлень перед демодуляцією, такі зсуви можуть викликати погіршення продуктивності демодуляції і часті відмови каналів зв'язку. Для систем, що використовують метод ортогональної частотної дискретної модуляції (OFDM), при збільшенні Допплерівського частотного зсуву для відповідності вимогам надійності зв'язку необхідний достатній захисний інтервал OFDM-сигналу, однак як наслідок результатом буде велика витрата системної пропускної спроможності. До цього ефекту також призводить збільшення кількості підканалів. Тому урахування та компенсація Допплерівського зсуву частоти, викликаного швидким рухом літака – ретранслятора та мобільних базових станцій стали, актуальними питаннями у створенні систем зв'язку з використанням бортових ретрансляторів.

Для підвищення пропускної спроможності і частотного розподілу вузькосмугових інформаційних каналів зв'язку з БПЛА пропонується використовувати метод неортогональної частотної дискретної модуляції (N-OFDM), що базується на застосуванні надрелеївського частотного розрізнення сигналів при дотриманні вимог до якості зв'язку. Цей метод модуляції дозволяє ущільнити спектральну смугу, займаєму сигналом, адаптивно відстроїтися від вузько смугових перешкод і ефективно працювати в умовах Допплерівського зсуву несучих частот. Суттєвою відмінністю цього підходу є те, що частоти підканалів можуть бути рознесені за частотою менше, ніж на ширину синтезованого при операції швидкого перетворення Фур'є частотного фільтра, що застосовуються в OFDM.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОЗАСОБІВ КОМАНДНО-ШТАБНОЇ МАШИНИ В УМОВАХ ВПЛИВУ РАДІОПЕРЕШКОД

Під час проектування високочастотного тракту командно-штабної машини (КШМ) необхідно провести оцінку якості функціонування її радіозасобів (РЗ) в умовах складної перешкодової обстановки. Це можливо зробити експериментальним шляхом або за допомогою математичного моделювання. Експериментальна оцінка пов'язана зі значною витратою сил і засобів і, як правило, проводиться на завершальному етапі створення КШМ. В цей же час, на практиці потрібне проведення подібної оцінки вже на початкових етапах проектування. Найбільш доцільним способом її проведення є математичне моделювання.

Для формалізації процесів функціонування РЗ КШМ може бути використана модель функціонування КШМ за особливими станами у виді агрегату. При такому підході до моделювання під особливими станами КШМ будемо вважати: момент надходження повідомлення на передачу; момент впливу радіоперешкоди; момент закінчення передачі повідомлення. Всі інші стани КШМ будемо вважати неособливими. При такому розгляді процесів функціонування РЗ КШМ будемо вважати, що з особливих станів РЗ КШМ можуть переходити в новий стан стрибком.

Нехай у момент часу t_1 маємо чергове повідомлення k -го пріоритету. Якщо в момент часу надходження повідомлення РЗ вільний, то для його передачі необхідно затратити час t_{Σ} для перебудови РЗ по частоті:

$t_{\Sigma} = \frac{\bar{\tau}_a + \bar{\tau}_\Pi}{K_u^{\text{EMC}}},$	(1)
--	-----

де $\bar{\tau}_a$ і $\bar{\tau}_\Pi$ – середній час аналізу і перебудови РЗ КШМ за частотами; K_u^{EMC} – коефіцієнт електромагнітної сумісності (ЕМС) РЗ КШМ:

$K_u^{\text{EMC}} = K_{u1}^{\text{EMC}} \cdot K_{u2}^{\text{EMC}},$	(2)
---	-----

K_{u1}^{EMC} – коефіцієнт ЕМС РЗ КШМ з урахуванням випадкових зовнішніх радіоперешкод; K_{u2}^{EMC} – коефіцієнт ЕМС РЗ КШМ з урахуванням внутрішніх взаємних радіоперешкод.

Якщо обрана робоча частота виявиться непридатною за рівнем перешкод, то необхідно обрати іншу частоту. Загальний час, що необхідний РЗ КШМ для вибору придатної за рівнем перешкод робочої частоти, буде визначатися за виразом:

$t_2 = t_1 + t_{\Sigma} \cdot K,$	(3)
-----------------------------------	-----

де K – кількість циклів вибору частоти, придатної за рівнем перешкод з кількості частот Q ; t_1 – момент часу надходження повідомлення на обслуговування.

Нехай у момент надходження повідомлення РЗ зайнятий обслуговуванням попереднього повідомлення, тоді алгоритм функціонування РЗ КШМ можна представити у такий спосіб. При абсолютній дисципліні обслуговування, якщо заявка, що надійшла на передачу має пріоритет вище, ніж пріоритет повідомлення, що обслуговується, то його передача припиняється, і воно затримується протягом часу передачі повідомлення вищого пріоритету. Після закінчення обслуговування останнього повідомлення і звільнення РЗ КШМ попереднє повідомлення обслуговується заново, тобто передається в повному обсязі, за умови, що загальний час обслуговування повідомлення:

$t_{\text{общ}} = t_2 + t_{\text{пер}}(k) \leq t_{\text{доп}}(k),$	(4)
--	-----

де $t_{\text{пер}}(k)$ – час обслуговування повідомлення k -го пріоритету; $t_{\text{доп}}(k)$ – припустимий час обслуговування, обумовлений втратою цінності переданого повідомлення k -го пріоритету.

При відносній дисципліні обслуговування повідомлення k -го пріоритету очікує закінчення передачі попереднього повідомлення. При порушенні умови (4) це повідомлення втрачає право на подальше обслуговування.

У процесі передачі на повідомлення впливають випадкові, взаємні і навмисні перешкоди. Якщо передача повідомлення переривається за рахунок радіоперешкод, то відбувається пошук придатної частоти і перебудова РЗ на чергову частоту, вільну від перешкод, або яка має найменший рівень перешкод та задовольняє умові ЕМС РЗ у КШМ. Якщо для перерваного повідомлення час його обслуговування (передачі) не задовольняє умові (4), то повідомлення втрачає право на подальше обслуговування. При надходженні чергового повідомлення повторюється весь описаний вище процес обслуговування.

Для розгляду зазначених вище станів необхідно мати наступні вихідні дані:

1. Характеристики КШМ: кількість прийомопередавачів і приймачів у складі КШМ; структурні схеми ВЧ трактів КШМ; значення мінімально припустимого розлаштування по частоті між РЗ КШМ; характеристики ЕМС РЗ КШМ.

2. Характеристики потоків повідомлень, що надходять на РЗ КШМ.

3. Характеристики сигналів і перешкод: інтенсивність і види навмисних радіоперешкод противника та інші характеристики, необхідні в процесі моделювання.

Такий підхід до моделювання дозволить на етапі проектування оцінити вплив прийнятих технічних рішень щодо побудови структури ВЧ тракту КШМ на середній час та імовірність своєчасної передачі повідомлень РЗ КШМ.