

УДК 004.045:621.396.96

І.В. Свид, А.І. Обод, І.А. Штих

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ЗБІР ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

В статті розглянута можливість використання сигналів з ортогональною частотною модуляцією в каналі відповіді запитальних систем передачі інформації. Отримані вирази для оцінки завадостійкості радіоканалу відповіді з ортогональним частотним розділенням. Показано, що наявність радіозавад від інших абонентських терміналів істотно погіршує завадостійкість прийому і чим вище кратність рознесення прийому, тим ситуація гірша.

Ключові слова: інформаційна мережа систем спостереження, ортогональна частотна модуляція.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури. Основою інформаційного забезпечення (ІЗ) споживачів системи контролю повітряного простору (ПП) є системи спостереження (СС), які поєднуються у інформаційну мережу (ІМ) [1 – 3]. Формування формуляру ПО здійснюється за даними первинної та вторинної СС. Побудова запитальної СС за принципами відкритої системи масового обслуговування з відмовами та з одноканальною системою обслуговування створює можливість постановки навмисних корельованих завад, що призводить до неможливості виміру координат ПО розглядаємої СС. Це призводить до викривлення інформації про ПО і, як наслідок, до трагічних ситуацій.

В роботах [4 – 7] розглянуті можливості передачі за існуючим каналом передачі запитальної СС з борту ПО не тільки польотної інформації (ПІ), а ще і координатної інформації ПО. Це передбачає перехід у ІЗ користувачів від запитальних СС до запитальних систем передачі ПІ, з використанням сучасних методів модуляції сигналів. Перехід до цифрових систем радіодоступу (РД) пов'язаний в першу чергу зі збільшенням швидкості передачі інформації при збереженні високої якості обслуговування абонентів (низькій ймовірності помилки при передачі інформації). Основною проблемою у досягненні цієї мети є складні умови багатопроменевого поширення сигналів у випадковому середовищі, що розсіює, які викликають глибокі завмирання (федінги) сигналів [8 – 10].

Системи РД відрізняються значним різноманіттям характеристик каналів і умов поширення радіосигналів. Радіоканали можна розділити на такі класи:

- без завмирань / з завмираннями;
- однопроменеві / багатопроменеві;
- без прямої видимості / прямої видимості.

Для систем РД характерне багатопроменеве поширення радіохвиль, внаслідок наявності відбиття від різних завад.

Часто основним показником якості функціонування систем РД виступає стійкість до зовнішніх завад, у тому числі до завмирань і міжсимвольної інтерференції, які викликані багатопроменевим поширенням сигналів. Така стійкість визначається способами обробки сигналів, вибором параметрів модуляції, кодування, синхронізації, протоколів доступу до каналу. З іншого боку, ці параметри істотно впливають на частотну ефективність системи радіозв'язку.

У каналах з завмираннями знаходять широке застосування сигнали з розширеним спектром і сигнали з ортогональною частотною модуляцією (OFDM). Слід зазначити, що сигнали з розширеним спектром займають значно більшу смугу, ніж потрібно для передачі простими сигналами. Застосування OFDM-сигналів не призводить до збільшення необхідної смуги частот [9].

Метою роботи є оцінка завадостійкості існуючих радіоканалів передачі інформації запитальних СС з ортогональним частотним розподілом.

Основна частина

При безпроводовій передачі сигналів один і той же сигнал в результаті багаторазових відображень може надходити в приймач різними шляхами. Тому в точці прийому результуючий сигнал являє собою суперпозицію (інтерференцію) багатьох сигналів з різними амплітудами і початковими фазами. Стосовно до багатопроменевої інтерференції, що виникає при передачі сигналів, розрізняють два крайніх випадки. У першому випадку максимальна затримка між різними сигналами не перевищує тривалості одного символу, та інтерференція виникає в межах одного символу, що передається. У другому випадку максимальна затримка між різними сигналами більше тривалості одного символу, і в результаті інтерференції складаються сигнали, що представляють різні символи. Внаслідок цього, виникає міжсимвольна інтерференція, яка найбільш сильно поз-

начається на спотворенні сигналу. Для того, щоб частково компенсувати ефект багатопроменевого поширення, застосовують частотні еквалайзери, проте зі зростанням швидкості передачі даних або за рахунок збільшення символної швидкості, або за рахунок ускладнення схеми кодування, ефективність їх застосування знижується. Тому для досягнення високої, швидкості передачі даних використовують інший підхід, який полягає в тому, що потік переданих даних розподіляється по множині частотних підканалів і передача ведеться паралельно на всіх цих підканалах. При цьому досягається висока швидкість передачі за рахунок одночасної передачі даних за всіма каналами, причому швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою. Це створює передумови для ефективного подавлення міжсимвольної інтерференції. При частотному поділі каналів необхідно, щоб ширина кожного каналу була, з одного боку, досить вузькою для мінімізації спотворення сигналу в його межах, а з іншого – досить широкою для забезпечення необхідної швидкості передачі.

Крім того, для економного використання всієї смуги каналу, яка поділяється на підканали, бажано якомога щільніше розташувати частотні підканали, але при цьому уникнути міжканальної інтерференції для того, щоб забезпечити повну незалежність каналів один від одного.

Зазначеним вимогам задовольняють ортогональні частотні канали. Функції, що описують несійні сигнали всіх цих каналів, ортогональні один одному, тобто для них виконується умова:

$$\int_0^T \sin 2\pi f_1 \cdot \sin 2\pi f_k \cdot t dt = 0, \text{ при } k \neq 1,$$

де T – тривалість переданого символу, f_1 та f_k – частоти 1-го та k -го несійних сигналів відповідно. Ортогональність несійних сигналів забезпечує частотну незалежність каналів один від одного і, отже, відсутність міжканальної інтерференції.

Розглянемо сигнали, що складаються з N піднесійних, коли вхідний високошвидкісний потік даних розділяється на множину низькошвидкісних потоків, кожен з яких незалежно модулюється на одній з піднесійних частот.

Нехай на кожній піднесійній протягом часу T передається послідовно M псевдовипадкових чисел, які утворюються як результат ділення вихідного інформаційного потоку на субканали. Очевидно, що в смузі $\Delta f_s = \frac{M}{T}$ сигнали ортогональні на кожному з інтервалів T .

При різних значеннях рівня завад (наприклад, K одночасно працюючих абонентів) і коефіцієнті передачі каналу h величини псевдовипадкових чисел взаємно незалежні.

Імовірність помилки на біт інформації можна оцінити як

$$P_e(q^2, h, N, K) \approx 0,5e^{-\frac{\vartheta(h)}{2}},$$

де
$$\vartheta(h) = \frac{hq^2}{\left[1 + \frac{(\mu_{sK}^2/h)(K-1)q^2}{B}\right]},$$

а q^2 – відношення повної середньої енергії корисного сигналу до спектральної потужності гаусівського шуму.

За відсутності завмирань коефіцієнт передачі каналу $h = \mu_{sK}^2 = 1$, а значення ϑ визначається зі

співвідношення
$$\vartheta = \frac{q^2}{\left[1 + \frac{(K-1)q^2}{B}\right]}.$$
 При великих

значеннях q^2 отримаємо $\vartheta = \frac{1}{K-1}$, тобто відно-

шення сигнал-шум на вході вирішального пристрою не залежить від співвідношення потужності сигналу до потужності гаусівського шуму і дорівнює відношенню бази широкосмугового сигналу до числа радіозавад (або числа інших абонентів, що працюють в системі широкосмугових багаточастотних сигналів) і заважають прийому корисного сигналу $W_1(t)$. Якщо сигнал $W_s(t)$ поширюється по багатопроменевому каналу, в якому одержуємо

$$\mu_{sK}^2 \geq h^2 \text{ та } \vartheta(h) \approx \frac{h_q^2}{\left[1 + \frac{(K-1)q^2}{B}\right]}.$$

Якщо сигнали $W_K(t)$ передаються різними радіопередавачами, то коефіцієнт передачі приймає вигляд

$$\mu_{Kп}^2 = \sum_{k=2}^K \frac{\mu_{Kп}^2}{K-1},$$

що являє собою суму великої кількості випадкових величин.

При великих значеннях K вона має середнє значення 1 і малу дисперсію, рівну $\sigma_K^2 = \frac{2}{K-1}$. Без-

ручи $\mu_{Kп}^2 = 1$, отримуємо вираз для P_e .

Розрахункова формула для визначення P_e повинна в комплексі враховувати вплив завмирань корисного сигналу і радіозавад на завадостійкість прийому інформаційного символу. Для цього обчислимо середнє значення $P_e(q^2, h, N, K)$ з урахуванням розподілу імовірностей випадкової величини h , яке має вигляд

$$\vartheta(h) \approx \left(\frac{N^N}{(N-1)!} \right) h^{(N-1)} e^{-Nh}.$$

Після чого отримуємо

$$P_e(q^2, h, N, K) \approx 0,5 \int_0^1 e^{-\psi(h)} dz,$$

де

$$\psi(h) = \frac{\frac{hq^2}{2}}{\left\{ 1 + \left[\frac{h(K-1)q^2}{B} \right] + Nh - (N-1)\ln(h) - \ln(k) \right\}},$$

$$\text{та } K_N = \frac{N^N}{(N-1)!}.$$

Представлені на рис. 1, 2 залежності дозволяють оцінити завадостійкість радіоканалів з ортогональним частотним розділом.

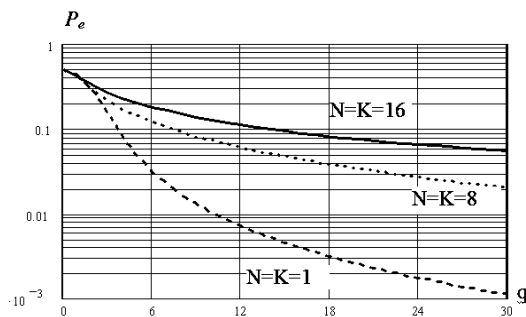


Рис. 1. Залежність $P_e = f(q, N, K)$

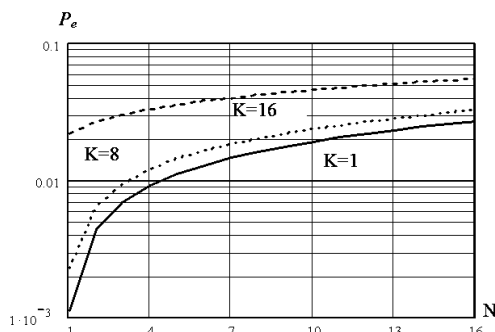


Рис. 2. Залежність $P_e = f(N, K, q = 30)$

Висновки

Аналіз отриманих залежностей показує про можливість використання ортогонального частотно-го розділення в існуючих каналах передачі польотної інформації запитальних систем спостереження. Однак наявність радіозавод від інших абонентських терміналів істотно погіршує завадостійкість прийому і чим вище кратність рознесення прийому, тим ситуація гірша.

Список літератури

1. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с.
2. Давыдов П.С. Радиолокационные системы летательных аппаратов / П.С. Давыдов, В.П. Жаворонков, Г.В. Кащеев. – М.: Транспорт, 1977. – 356 с.
3. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. і др.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
4. Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. – Х.: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.
5. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
6. Обод І.І., Свид І.В. Запитальний спосіб передачі інформації. Патент на корисну модель № 58523.
7. Обод І.І., Свид І.В., Шевцова В.В. Запитальний спосіб передачі інформації. Патент на корисну модель № 79487.
8. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: Экотрендз, 2005. – 384 с.
9. Кловский Д.Д. Прием сигналов со сверточным кодированием в канале смежесимвольной интерференцией / Д.Д. Кловский, В.Г. Карташевский, С.А. Белоус // Проблемы передачи информации. – 1991. – №2. – С. 37-48.
10. Быховский М.А. Многочастотные широкополосные сигналы открывают путь к 4G / М.А. Быховский // Мобильные системы. – 2007. – №3. – С. 12-15.

Надійшла до редколегії 13.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХП», Харків.

СБОР ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.В. Свид, А.И. Обод, И.А. Штих

В статье рассмотрена возможность использования сигналов с ортогональной частотной модуляцией в канале ответа запросных систем передачи информации. Полученные выражения для оценки помехоустойчивости радиоканала ответа с ортогональным частотным разделением. Показано, что наличие радиопомех от других абонентских терминалов существенно ухудшает помехоустойчивость приема и чем выше кратность разнесения приема, тем ситуация хуже.

Ключевые слова: информационная сеть систем наблюдения, ортогональная частотная модуляция.

GATHERING INFORMATION SYSTEMS INFORMATION NETWORK OBSERVATIONS OF AIRSPACE

I.V. Svyd, A.I. Obod, I.A. Shtyh

The article describes the use of signals with orthogonal frequency modulation in the channel response interrogation of data transmission systems. The resulting expression for estimating the response of the radio channel noise immunity with an Orthogonal Frequency Division. It is shown that the presence of interference from other subscriber terminals of the essence degrades noise immunity of the reception and at higher multiplicity receive diversity, the situation is worse.

Keywords: information network surveillance systems, orthogonal frequency modulation.