

УДК 621.391.254 (045)

АДАПТИВНА ЗМІНА ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛІЧНОГО ПРЕФІКСУ OFDM-СИМВОЛУ ПРИ БАГАТОПРОМЕНЕВОМУ ПОШИРЕННІ РАДІОСИГНАЛУ

Г. Ф. Конахович, д-р техн. наук, проф.; О. В. Марченко, Р. С. Одарченко

Національний авіаційний університет
sakramenter@mail.ru

Розглянуто методи боротьби з міжсимвольною інтерференцією в каналах з багатопроменевим поширенням радіосигналів. Запропоновано алгоритм адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM символів, що дає змогу вибирати найкоротший префікс для забезпечення максимально допустимої ефективної швидкості передавання даних за заданої якості обслуговування абонентів.

Ключові слова: багатопроменеве поширення, OFDM-символ, міжсимвольна інтерференція, швидкість передавання.

Methods to combat intersymbol interference in channels with multipath propagation of radio signals. An algorithm of adaptive changes in the duration of cyclic prefix OFDM symbols, allowing to choose the shortest prefix to ensure maximum permissible effective data rates for a given quality customer service.

Keywords: multipath propagation, OFDM-symbol intersymbol interference, the transmission speed.

Вступ

Специфікою багатьох ліній далекого радіозв'язку (тропосферних, супутникових та ін.) є багатопроменевий характер поширення радіосигналу (рис. 1).

Сигнал у точці прийому являє собою суму великого числа елементарних сигналів з різними амплітудами і випадковим часом запізнювання [1]. Окремі промені можуть запізнюватися один щодо одного на значну величину, що і викликає МСІ.

Залежно від ступеня викривлення форми імпульсу розрізняють великі (рис. 2) і малі (рис. 3) міжсимвольні перешкоди.

Ступінь викривлення форми імпульсу при накладенні сигналів залежить від різниці часу поширення радіохвиль за різними шляхами. Зазвичай різницю часу поширення по максимальному

і мінімальному шляхах називають часом багатопроменевості ($t_{\text{бп}}$).

Для відстаней зв'язку величина лежить у межах 0,2–0,5 мкс. Якщо тривалість імпульсу τ менше часу багатопроменевості, то виникають великі міжсимвольні перешкоди. Якщо ж тривалість імпульсу набагато перевищує час багатопроменевості, то міжсимвольні перешкоди мало впливають на прийом, тому що в даному випадку лише невелика частина елемента виявляється уражена перешкодою.

Одним із дієвих способів боротьби з міжсимвольною інтерференцією є технологія OFDM. Основні особливості функціонування даної технології наведено в працях [2; 3].

Особливістю використання даної технології є використання захисних інтервалів (рис. 4) [8].

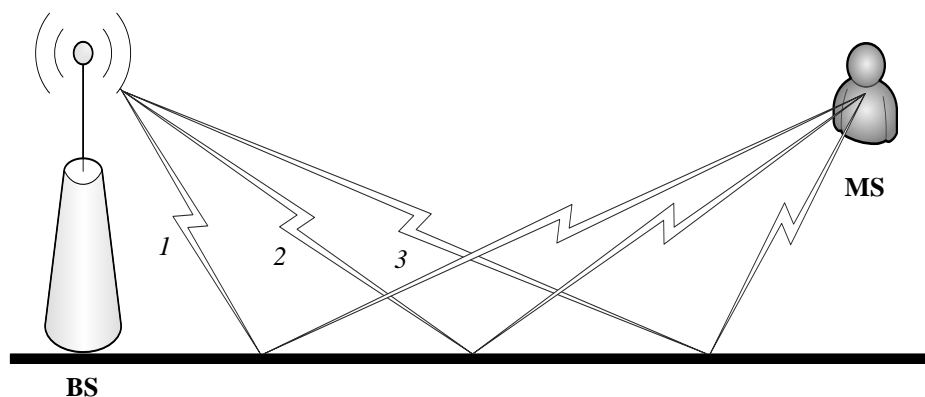


Рис. 1. Можливі шляхи поширення сигналу від передавача до приймача

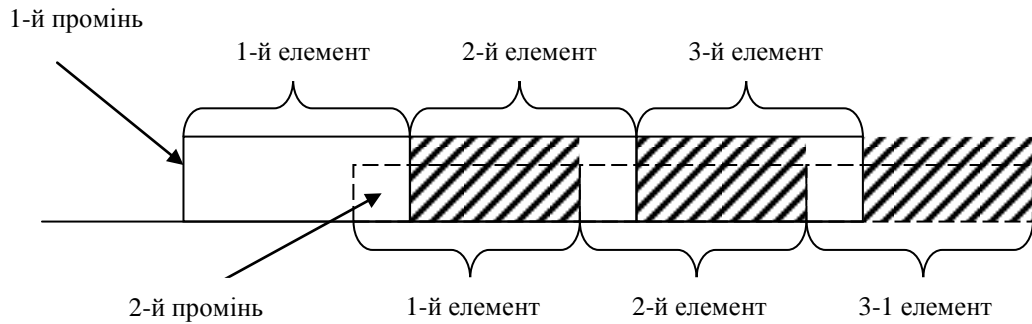


Рис. 2. Великі міжсимвольні перешкоди

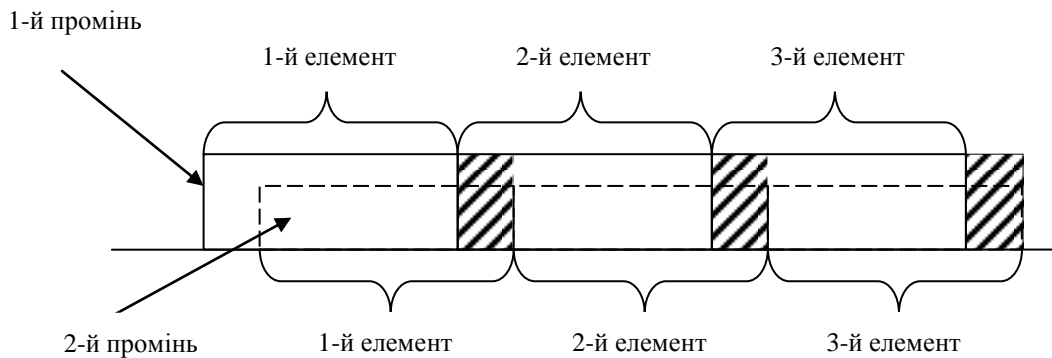


Рис. 3. Малі міжсимвольні перешкоди

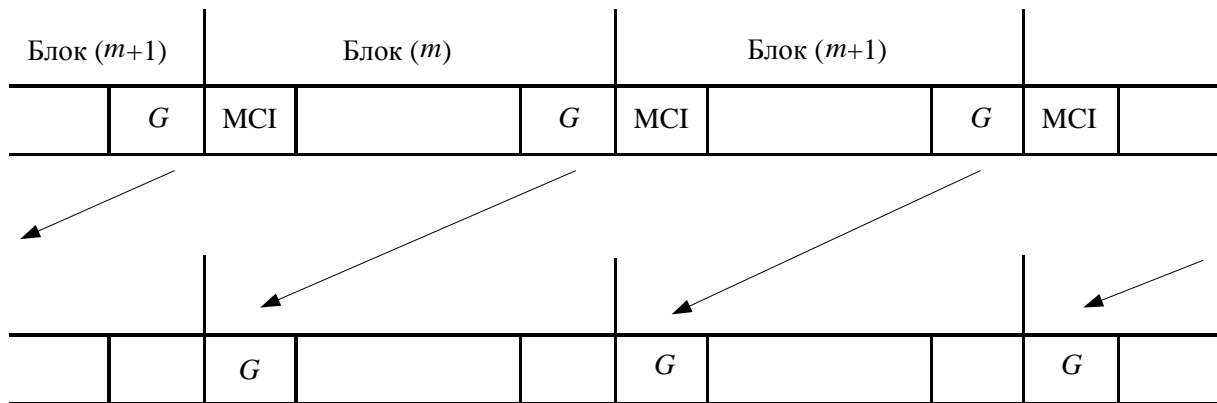


Рис. 4. Використання захисних інтервалів під час формування OFDM-символів

Аналіз досліджень і публікацій

Відомі способи формування сигналів OFDM [4–7] дозволяють проводити модуляцію сигналів у сучасних радіосистемах: Wi-Fi, Wi-Max, LTE тощо. В зазначених способах для боротьби із явищем міжсимвольної інтерференції використовується захисний інтервал постійної тривалості T_g . Проте питання щодо адаптивної зміни тривалості цього префіксу не розглядається.

Постановка мети і завдання дослідження

В бездротових системах четвертого покоління (Wi-Max та LTE) тривалість захисного інтервалу

може становити $1/4$, $1/8$, $1/16$ або $1/32$ часу тривалості OFDM символу T_s . Ця тривалість визначається виробником обладнання і є постійно протягом усього періоду експлуатації системи, в якій використовується технологія OFDM. Проте промені радіосигналу можуть проходити досить різний шлях, тому можуть значно запізнюватися і накладатися один на інший.

Час багатопроменевості $t_{\text{бп}}$ у цьому випадку залежить від довжин пройдених шляхів кожним променем радіосигналу окремо. Тривалість захисного інтервалу T_g обов'язково повинна обиратися із умови $T_g > t_{\text{бп}}$, але повинна бути якомо-

га коротшою, щоб підвищити ефективну пропускну здатність каналів із використанням OFDM.

Слід звернути увагу на те, що розроблені способи не надають змогу адаптивно змінювати тривалість захисного інтервалу. Це не дозволяє повністю використовувати пропускну здатність каналів із OFDM, при цьому нівелюючи вплив міжсимвольної інтерференції. Тому завданням адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу є усунення недоліку, який не надає змогу адап-

тивно підлаштовуватись під зовнішні умови, змінюючи тривалість циклічного зсуву. Це дозволить більш ефективно використовувати пропускну здатність каналів з використанням OFDM сигналів.

Виклад основного матеріалу дослідження

На рис. 5. зображено залежність часу багатопроменевості $t_{\text{бп}}$ від різниці відстаней між прямим та відбитим променем у логарифмічній шкалі.

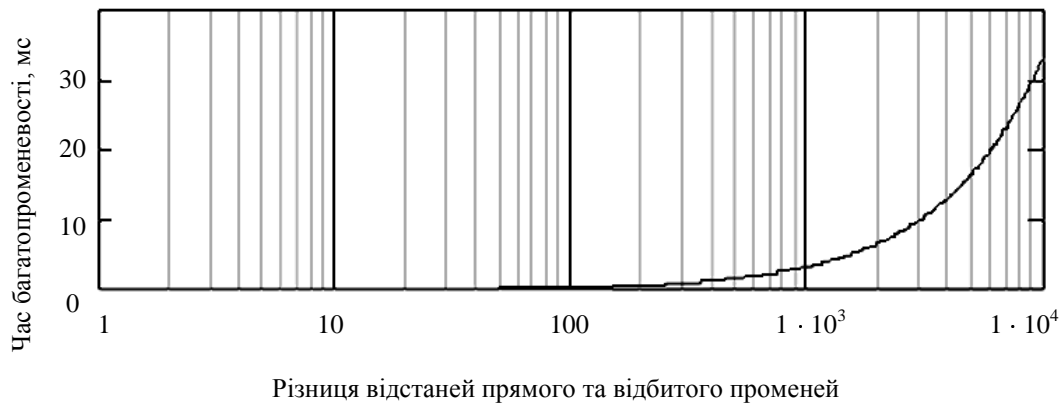


Рис. 5. Залежність часу багатопроменевості від різниці відстаней між прямим та відбитим променем

Із рис. 4 видно, якою має бути величина циклічного префіксу. Вибираючи тривалість циклічного префіксу з умови $T_{\text{ЦП}} > \text{НЗР}$ (він повинен бути більше за найбільшу затримку поширення радіосигналу), вдається уникнути взаємного впливу суміжних за часом символів сусідніх частот. Використання циклічного префіксу дає змогу усунути як МКС, так і МСІ (оскільки префікс одночасно є і захисним інтервалом).

Запобігаючи виникненню МСІ і МКС, циклічний префікс є одним із способів підвищення завадостійкості зв'язку за рахунок використання часової надмірності. «Плата» за отриманий вигаш як з погляду енергетичних витрат, так і в разі втрат у швидкості передачі інформації однакова і визначається однієї і тією ж величиною.

Оскільки, як було зазначено раніше, наприклад, у технології Wi-Max можливі такі тривалості циклічного префіксу: $T_g = 1/4T, 1/8T, 1/16T, 1/32T$ (T -тривалість OFDM символу без циклічного префіксу), що викликає зменшення корисної швидкості передачі даних $T/(T-T_g)$: 1,33; 1,142; 1,07; 1,032 для кожної тривалості циклічного префіксу відповідно.

У цій ситуації для недопущення значного зменшення швидкості передавання даних по мережі необхідним є вибір оптимальної тривалості циклічного префіксу для надавання абонентам

найбільш швидкісного доступу до ресурсів мережі.

Як уже зазначалося раніше та як відображено на рис. 1, дійсно промені можуть проходити досить різний шлях, можуть значно запізнюватися. Час багатопроменевості в цьому випадку залежить від довжин пройдених шляхів кожним променем радіосигналу окремо. Довжину подоланої кожним радіосигналом траси за формулою можна визначити за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{P_T \lambda^2}{4\pi p(d)}}.$$

Оскільки на приймальному боці наявні відомості про потужність, випромінювану антеною передавача та можливість виміряти потужність прийнятого сигналу, можна приблизно знайти відстань від передавача до приймача, яку було подолано кожним окремим i -м променем:

$$d_i = \sqrt{\frac{P_T \lambda^2}{4\pi p(d_i)}}.$$

Після цього необхідно знайти мінімальне та максимальне значення відстаней d . Знайшовши їх різницю можна визначити найбільшу різницю довжини ходу променів електромагнітних хвиль. Знаючи цю інформацію, можна визначити час багатопроменевості:

$$t_{\text{дi}} = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{c},$$

де c — швидкість світла у вакуумі.

Таким чином дана проста модель дає змогу змінювати тривалість циклічного префіксу OFDM символу, максимально наближаючи її до визначеного на попередньому кроці часу багатопроменевості.

На базі розробленої моделі можна розробити алгоритм адаптивної зміни циклічного префіксу OFDM символу, який дозволить максимально збільшити корисну пропускну здатність каналів,

при цьому забезпечуючи належний захист від міжсимвольних та міжканальних завад.

На рис. 6 показано алгоритм зміни тривалості циклічного префікса для конкретного розглянутого прикладу, зокрема, для мереж Wi-Max. Не всі кроки є детально розписаними, вони більше вказують на порядок дій під час визначення оптимального значення циклічного префіксу.

Для отриманого алгоритму можливо запропонувати структурну схему пристрою для адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM-символу при формуванні OFDM-сигналів (рис. 7).

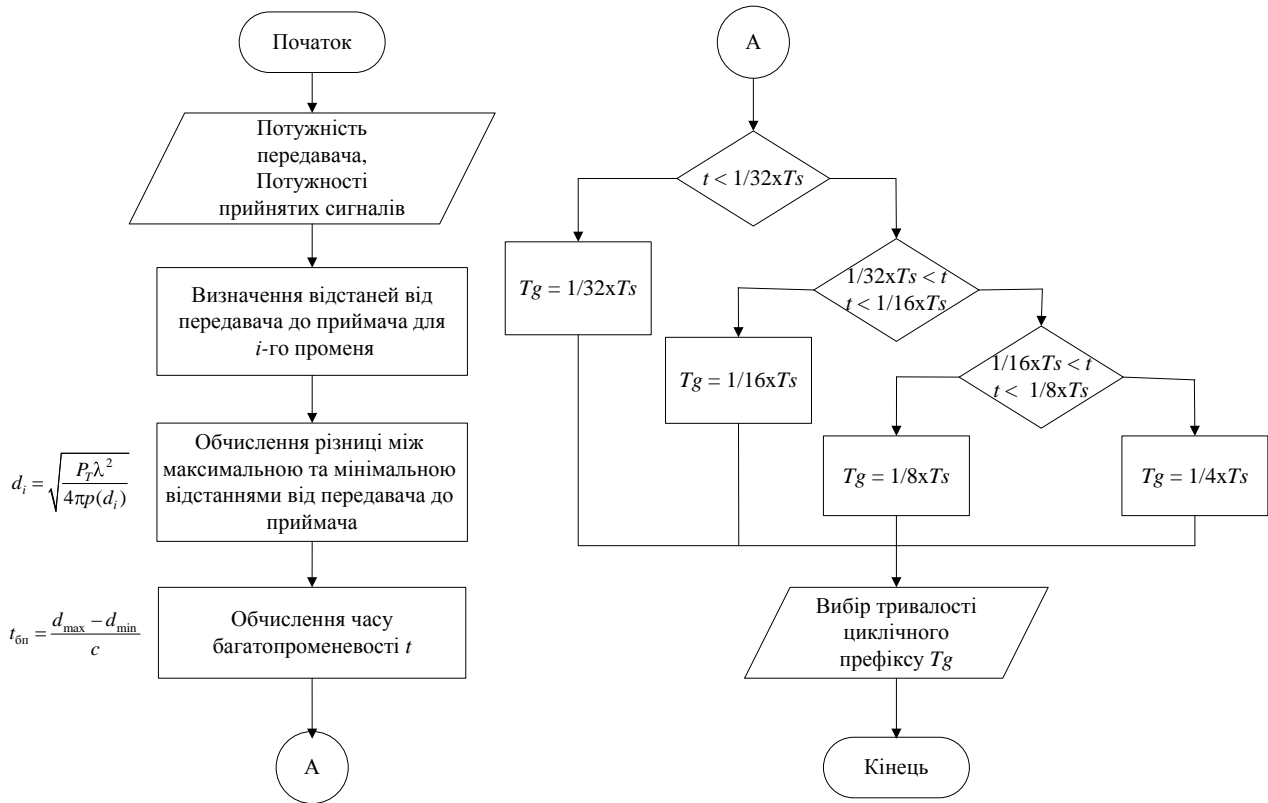


Рис. 6. Блок-схема алгоритму адаптивної зміни циклічного префіксу OFDM-символу в технології Wi-Max

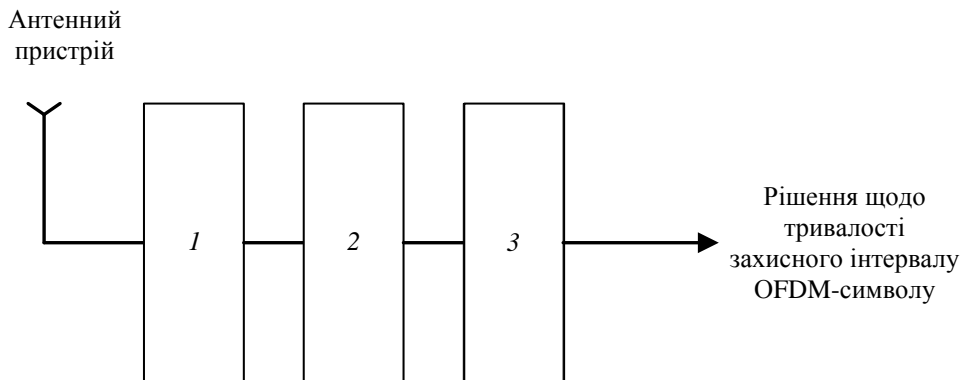


Рис. 7. Пристрій для адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM-символу при формуванні OFDM-сигналів

Пристрій для адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM-символу при формуванні OFDM-сигналів містить у своєму складі антенний пристрій, 1 — вимірювач потужності прийнятих радіосигналів; 2 — накопичувач інформації про потужності прийнятих сигналів; 3 — розв'язувальний пристрій.

Пристрій для адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM-символу при формуванні OFDM-сигналів працює таким чином.

Антенною приймається корисний радіосигнал. У вимірювачі потужності прийнятого радіосигналу 1 визначається потужність прийнятих сигналів. Після цього відомості про виміряну потужність надходять до накопичувача інформації про потужність радіосигналів 2, з якого дані передаються на розв'язувальний пристрій 3.

У розв'язувальному пристрої відбувається вибір сигналів із максимальною та мінімальною потужностями, обчислення часу багатопроменевості та вибір оптимальної тривалості циклічного префіксу. Це значення передається до формувача OFDM-символів.

Висновок

У даній роботі розглянуто методи боротьби з міжсимвольною інтерференцією в каналах з багатопроменевим поширенням радіосигналів. Зокрема, було розглянуто технологію OFDM для боротьби із наслідками багатопроменевості. Було запропоновано алгоритм, який дозволяє за допомогою статистичного аналізу зібраних даних мобільною станцією про потужність прийнятих сигналів визначати оптимальну тривалість цик-

лічного префіксу OFDM символів. Це дає змогу вибрати найкоротший префікс, що забезпечить максимально допустиму ефективну швидкість передавання даних за заданої якості.

На основі розробленого алгоритму було запропоновано структурну схему пристрою для адаптивної зміни тривалості циклічного префіксу OFDM-символу при формуванні OFDM-сигналів.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мальцев А. А.* Метод адаптивного распределения бит и мощности по поднесущим в OFDM-системах радиосвязи // Известия вузов. Радиофизика / А. А. Мальцев, А. В. Пудеев, А. Е. Рубцов, 2001. — Т. 44, №12. — С. 1050–1061.

2. *Вишневский В.* Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. Вишневский, А. Ляхов, С. Портной, И. Шахнович. — М.: ЭкоТрендз, 2005. — 592 с.

3. *Вишневский В.* Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / С. Портной, И. Шахнович. — М.: Техносфера, 2009. — 472 с.

4. *Патент* US №2007/0159957, МПК H04J 11/00 (2006.01), 2007.

Патент US №2009/0304126, МПК H04L 27/06, 2009

5. *Патент* US № 8000417, МПК H03D 1/04, 2011.

6. *Патент* України № 84411, МПК H04L 27/26, 2003.

7. *Сюваткин С. В.* WiMAX- технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение / С. В. Сюваткин, В. И. Есипенко. — БХВ-Петербург, 2005 — 368 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2012.