



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46668 (13) U
(51) МПК (2009)
G01S 7/36
H03D 13/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА ПРИ ПЕРЕДАЧІ OFDM СИГНАЛІВ

1

2

(21) u200909212

(22) 07.09.2009

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл.№ 24, 2009 р.

(72) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ, ТРОЦЬКО
ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

(73) СЛЮСАР ВАДИМ ІВАНОВИЧ

(57) Спосіб випереджувальної компенсації ефекту Доплера при передачі OFDM сигналів, яким передбачено, що в режимі входження у зв'язок по прийнятому пілот-сигналу проводять оцінку доплерівського зсуву частоти, для кожної з піднесучих розраховують частотне виправлення, яке з протилежним знаком використовують при формуванні часових відліків цифро-аналогових перетворювачів у сеансі передачі сукупного OFDM сигналу, який **відрізняється** тим, що по отриманій оцінці частоти Доплера розраховують номінали

піднесучих F_m , що підлягають випромінюванню, з такою умовою, щоб внаслідок впливу доплерівського ефекту піднесучі OFDM сигналу, прийнятого на рухомому об'єкті, розташовувалися в максимумах амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів, синтезованих за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), при цьому застосовують розрахункове співвідношення:

$$F_m = F_{0m} F_p \left(1 \pm F_{p,dop} \right)^{-1},$$

де F_p - частота пілот-сигналу при відсутності доплерівського ефекту,

F_{0m} - центральна частота ШПФ-фільтра, яка відповідає m -й піднесучій,

$F_{p,dop}$ - доплерівська частота пілот-сигналу.

Корисна модель належить до техніки радіозв'язку і може бути використана в радіолініях зв'язку з мобільними абонентами, що рухаються з високою швидкістю.

Однією з проблем, що обмежують можливості застосування OFDM сигналів у радіолініях зв'язку з рухомими об'єктами, наприклад, безпілотними літальними апаратами (БПЛА), є негативний вплив ефекту Доплера. Великі швидкості руху призводять до доплерівських зсувів частоти, що викликає погіршення якості прийому OFDM сигналів і може супроводжуватися втратою даних.

Для рішення даної проблеми може бути використаний відомий метод компенсації доплерівського зсуву [1], що полягає у попередній навмисній зміні несучої частоти випромінюваного багаточастотного сигнального пакету у сторону, протилежну, напрямку очікуваного доплерівського зсуву. Таку компенсацію нескладно зробити в процесорі формування випромінюваних OFDM сигналів перед подачею їх на вхід цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП).

Початковим етапом компенсації впливу доплерівського зсуву частоти у відомому способі [1] є оцінка величини цього зсуву на етапі входження у

зв'язок за допомогою пілот-сигналів. Для цього можуть використовуватися, наприклад, модифікації методів оцінювання [2, 3], у яких пошук невідомої оцінки періоду дискретизації АЦП замінюється пошуком доплерівської частоти $F_{p,dop}$ пілот-сигналу. Відомий спосіб втручання у процес формування сигналів на передачу може виконуватись у спрощеному вигляді [1], коли для всіх сигналів багаточастотного пакету використовується однаковий частотний зсув, оцінений за частотою пілот-сигналу. Підставою для такого нехтування розбіжностями номіналів піднесучих частот у OFDM пакеті є відносно малі рівні частотних рознесення сигналів у порівнянні з абсолютним значенням несучої частоти.

Частковий варіант виконання відомого способу передбачає розрахунок частотних виправлень для кількох ключових піднесучих, кожна з яких характеризує групу несучих частот.

Зазначений спосіб компенсації доплерівського зсуву дозволяє лишити незмінними алгоритми демодуляції OFDM сигналів на приймальній стороні. Однак недоліком способу-аналогу є недостатньо висока точність компенсації доплерівського

(19) UA (11) 46668 (13) U

зсуву, що обмежує швидкість передачі даних.

Найбільш близьким за технічною сутністю до корисної моделі, що заявляється, є відомий спосіб випереджувальної компенсації доплерівського зсуву частоти [1], яким передбачено, що в режимі входження у зв'язок по прийнятому пілот-сигналу проводять оцінку доплерівського зсуву частоти F_{dop} , далі для кожної з піднесучих розраховують свій частотний зсув, для чого оцінку доплерівського зсуву частоти F_{dop} , яку отримано по пілот-сигналу, перераховують у абсолютне значення радіальної швидкості рухомого носія за виразом

$$V_r = \lambda \cdot F_{dop},$$

де λ - довжина хвилі пілот-сигналу,

далі для кожної i -ої піднесучої розраховують частотне виправлення за виразом $F_{dopi} = V_r / \lambda_i$, яке з протилежним знаком використовується при формуванні часових відліків ЦАП у сеансі передачі даних, на завершення по розрахованих номіналах всіх піднесучих формують призначений для передачі сукупний OFDM сигнал.

Спосіб-прототип дозволяє більш точно, порівняно зі способом-аналогом, врахувати доплерівський зсув частоти для кожної з піднесучих.

Недоліком способу-прототипу є наблизений характер співвідношень, що використовують для розрахунку частотних виправлень, які мають компенсувати виникнення доплерівських зсувів піднесучих.

З урахуванням сказаного, технічне завдання, що вирішується заявленою корисною моделлю, полягає у підвищенні точності розрахунку частотних виправлень для компенсації доплерівського зсуву піднесучих OFDM сигналу.

Сутність корисної моделі полягає в тому, що по отриманій оцінці частоти Доплера розраховують номінали піднесучих F_m , що підлягають випромінюванню, з такою умовою, щоб внаслідок впливу доплерівського ефекту піднесучі OFDM сигналу, прийнятого на рухомому об'єкті, розташовувалися в максимумам амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів, синтезованих за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), при цьому застосовують розрахункове співвідношення:

$$F_m = F_{0m} F_p \left(\pm F_{p,dop} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де F_p - частота пілот-сигналу при відсутності доплерівського ефекту,

F_{0m} - центральна частота ШПФ-фільтра, яка відповідає m -й піднесучій,

$F_{p,dop}$ - доплерівська частота пілот-сигналу.

Для більш повного розкриття суті заявленого способу доцільно розглянути проміжні викладення, що дозволили отримати співвідношення (1).

Умову інваріантного до доплерівського зсуву розташовування піднесучих OFDM сигналу в максимумі АЧХ фільтрів, синтезованих за допомогою операції ШПФ, можна записати у вигляді:

$$F_m \pm F_{m,dop} = F_{0m}, \quad (2)$$

де $F_{m,dop}$ - доплерівське зрушення піднесучої

F_m , знак якого визначається напрямком відносного руху об'єкта; F_{0m} - центральна частота ШПФ-фільтра, що відповідає m -й піднесучій.

З огляду на відомий зв'язок доплерівського зсуву частоти сигналу, отриманого з рухомого об'єкта, з радіальною швидкістю рухомого носія

$$V_r = \lambda_m F_{m,dop}, \quad (3)$$

де λ_m - довжина хвилі m -ї піднесучої, розрахункове співвідношення (2) нескладно замінити еквівалентним:

$$F_m \pm V_r F_m c^{-1} = F_{0m}, \quad (4)$$

де c - швидкість світла.

Звідси, шукана частота m -ї піднесучої при передачі на борт рухомого об'єкта, визначається з виразу

$$F_m = F_{0m} \left(\pm V_r c^{-1} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Щоб уникнути необхідності проміжного оцінювання радіальної швидкості, далі зручно скористатись відомою залежністю доплерівського зсуву частоти пілот-сигналу, отриманого з рухомого об'єкта, з радіальною швидкістю рухомого носія

$$V_r = \lambda_p F_{p,dop}, \quad (6)$$

де λ_p - довжина хвилі пілот-сигналу.

Перепишемо вираз (6) у вигляді

$$V_r = F_{p,dop} F_p^{-1} c. \quad (7)$$

З урахуванням підстановки (7) до виразу (5) одержимо співвідношення (1), а саме:

$F_m = F_{0m} F_p \left(\pm F_{p,dop} \right)^{-1}$, де F_p - частота пілот-сигналу за умови відсутності доплерівського ефекту.

Таким чином, суттєвою відмінністю заявленого способу є застосування нового розрахункового співвідношення (1) для визначення частотних виправлень.

Отриманий технічний результат полягає у підвищенні точності розрахунку частотних виправлень для компенсації доплерівського зсуву піднесучих OFDM сигналу.

Практична реалізація заявленого способу зводиться до застосування у приймачі інформаційного повідомлення цифрового сигнального процесора чи програмованих матриць логічних елементів, наприклад, від фірми Xilinx, за допомогою яких мають виконуватись передбачені заявленим способом операції над відліками цифрових напруг призначених для передачі OFDM сигналів.

Джерела інформації:

1. Слюсар В.І., Троцько О.О. Компенсація доплерівського зсуву частоти N-OFDM сигналів. // II Міжнародний науково-технічний симпозиум "Нові технології в телекомунікаціях" (ДУІКТ - КАРПАТИ '2009, с. Випіків). Збірник тез. - Київ: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. - 20-24 січня 2009. - С. 35. http://www.slyusar.kiev.ua/SLYUSAR_TROCKO_DUICT_2009.pdf. - прототип.

2. Слюсар В.И. Измерение периода дискретизации АЦП по сигналу известной частоты // Радиозлектроника - 1998. - N 5. - С. 43-47 (Изв. высш.

учебн. заведений).
http://www.slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_1998_05.pdf.
3. Слюсар В.И. Измерение периода дискретизации АЦП по сумме гармонических воздействий//

Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. - 1999. -
Том 42, №9. - С. 19-25. -
http://www.slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_1999_9.pdf.3