



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88893

(13) C2

(51) МПК (2009)
H04L 27/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ОЦІНКА ВІДХИЛЕННЯ ЧАСТОТИ І КАДРОВА СИНХРОНІЗАЦІЯ В ОЧРК-СИСТЕМІ

1

2

(21) а200608838

(22) 07.01.2005

(24) 10.12.2009

(86) PCT/US2005/000400, 07.01.2005

(31) 10/754,796

(32) 08.01.2004

(33) US

(46) 10.12.2009, Бюл.№ 23, 2009 р.

(72) ВІДЖАЯН РАДЖИВ, US, ГУПТА АЛОК КУМАР,
US, КРІШНАМУРТХІ РАГХУРМАН, US

(73) КВЕЛКОММ ІНКОРПОРЕЙТЕД, US

(56) WO 9965180 A, 16.12.1999

WO 02/078280 A, 03.10.2002

EP 0683576 A, 22.11.1995

US 2003/058951 A1, 27.03.2003

(57) 1. Спосіб виконання оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації в приймачі в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), причому спосіб включає в себе:

оцінку відхилення частоти в приймачі, базуючись на прийнятих символах і метриці, яка вказує виявлену потужність пілот-сигналу;

усунення оціненого відхилення частоти для одержання скоректованих по частоті пілот-символів; і виконання кадрової синхронізації, базуючись на метриці і скоректованих по частоті пілот-символах.

2. Спосіб за п. 1, в якому метрика базується на взаємній кореляції між двома прийнятими символами для двох періодів символу.

3. Спосіб за п. 1, в якому метрика базується на узгодженій фільтрації прийнятих символів з оцінками коефіцієнта посилення каналу.

4. Спосіб за п. 1, в якому оцінка відхилення частоти включає в себе:

обчислення, для кожного з множини передбачуваних відхилень частоти, значення для метрики, базуючись на прийнятих символах, в якому кожне з передбачуваних відхилень частоти відповідає різному можливому відхиленню частоти в приймачі, і в якому одержують множину значень метрики для множини передбачуваних відхилень частоти, ідентифікацію значення метрики з найбільшою величиною з числа множини значень метрики, і надання передбачуваного відхилення частоти для ідентифікованого значення метрики як оціненого відхилення частоти.

5. Спосіб за п. 1, в якому виконання кадрової синхронізації включає в себе:

обчислення значення для метрики для поточного періоду символу, базуючись на скоректованих по частоті пілот-символах, одержаних в одному або декількох періодах символу, включаючи поточний період символу,

кореляцію множини значень метрики, одержаних для множини періодів символу, відмічених поточним періодом символу, з множиною очікуваних значень для одержання значення кореляції для поточного періоду символу, в якому множина очікуваних значень являє собою очікувані значення для множини значень метрики в позначеному періоді символу, і

виконання виявлення піка по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів символу, для визначення кадрової синхронізації.

6. Спосіб за п. 1, який додатково включає в себе: дескремблювання скоректованих по частоті пілот-символів з послідовністю псевдовипадкових чисел (ПВЧ) для одержання дескрембльованих пілот-символів, в якому послідовність ПВЧ вирівнюється на основі кадрової синхронізації; і

оцінку коефіцієнта посилення каналу, базуючись на дескрембльованих пілот-символах.

7. Спосіб за п. 6, який додатково включає в себе: виконання виявлення даних по скоректованих по частоті символах даних за допомогою оцінок коефіцієнта посилення каналу для одержання виявлених символів даних.

8. Спосіб за п. 1, в якому оцінене відхилення частоти усувається за допомогою циклічного зсуву вибірок часової області перед виконанням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для одержання прийнятих символів.

9. Спосіб за п. 1, в якому оцінене відхилення частоти усувається за допомогою зсуву індексів підсмуги на оцінене відхилення частоти.

10. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

блок оцінки відхилення частоти, що служить для оцінки відхилення частоти в пристрої приймача, базуючись на метриці і прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу;

блок корекції частоти, що служить для усунення оціненого відхилення частоти для одержання скоректованих по частоті пілот-символів; і

(13) C2

(11) 88893

(19) UA

блок кадрової синхронізації, що служить для виконання кадрової синхронізації, базуючись на метриці і скоректованих по частоті пілот-символах.

11. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

засіб для оцінки відхилення частоти в пристрої приймача, базуючись на метриці і прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу;

засіб для усунення оціненого відхилення частоти для одержання скоректованих по частоті пілот-символів; і

засіб для виконання кадрової синхронізації, базуючись на метриці і скоректованих по частоті пілот-символах.

12. Спосіб виконання оцінки відхилення частоти в приймачі в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), причому спосіб включає в себе:

обчислення, для кожного з множини передбачуваних відхилень частоти, значення для метрики, базуючись на прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу, в якому кожне з передбачуваних відхилень частоти відповідає різному можливому відхиленню частоти в приймачі, і в якому множини значень метрики одержують для множини передбачуваних відхилень частоти; і

оцінку відхилення частоти в приймачі, базуючись на множині значень метрики.

13. Спосіб за п. 12, в якому метрика визначається на основі взаємної кореляції між двома прийнятими символами для двох періодів символу.

14. Спосіб за п. 13, в якому значення метрики для кожного передбачуваного відхилення частоти обчислюється за допомогою:

обчислення, для кожної з множини підсмуг пілот-сигналу, що використовуються для передачі пілот-сигналу, взаємної кореляції між двома прийнятими символами, одержаними в двох періодах символу для передбачуваної підсмуги, яка зсунута на передбачуване відхилення частоти від підсмуги пілот-сигналу,

підсумовування результатів взаємної кореляції для множини підсмуг пілот-сигналу для одержання статистики рішень, і

одержання значення метрики для передбачуваного відхилення частоти, базуючись на статистиці рішень.

15. Спосіб за п. 13, в якому взаємна кореляція між двома прийнятими символами для передбачуваного відхилення частоти враховує різницю фаз між двома прийнятими символами через передбачуване відхилення частоти.

16. Спосіб за п. 12, в якому метрика визначається на основі узгоджено відфільтрованих символів.

17. Спосіб за п. 16, в якому значення метрики для кожного передбачуваного відхилення частоти обчислюється за допомогою:

множення, для кожної з множини підсмуг пілот-сигналу, що використовуються для передачі пілот-сигналу, оцінки коефіцієнта посилення каналу для передбачуваної підсмуги на прийнятий символ для передбачуваної підсмуги для одержання узгодже-

но відфільтрованого символу для підсмуги пілот-сигналу, причому передбачувана підсмуга зміщена від підсмуги пілот-сигналу на передбачуване відхилення частоти,

підсумовування узгоджено відфільтрованих символів для множини підсмуг пілот-сигналу для одержання статистики рішень, і

одержання значення метрики для передбачуваного відхилення частоти, базуючись на статистиці рішень.

18. Спосіб за п. 12, в якому оцінка відхилення частоти включає в себе:

ідентифікацію значення метрики з найбільшою величиною з числа множини значень метрики, і надання передбачуваного відхилення частоти для ідентифікованого значення метрики як оціненого відхилення частоти для приймача.

19. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

блок кореляції, що служить для обчислення, для кожного з множини передбачуваних відхилень частоти, значення для метрики, базуючись на прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу, в якому кожне з передбачуваних відхилень частоти відповідає різному можливому відхиленню частоти в приймачі, і в якому множини значень метрики одержують для множини передбачуваних відхилень частоти; і виявник, що служить для оцінки відхилення частоти в пристрої приймача, базуючись на множині значень метрики.

20. Пристрій приймача за п. 19, в якому блок кореляції служить, для кожного передбачуваного відхилення частоти, для:

обчислення, для кожної з множини підсмуг пілот-сигналу, що використовуються для передачі пілот-сигналу, взаємної кореляції між двома прийнятими символами, одержаними в двох періодах символу для передбачуваної підсмуги, яка зміщена на передбачуване відхилення частоти від підсмуги пілот-сигналу,

підсумовування результатів взаємної кореляції для множини підсмуг пілот-сигналу для одержання статистики рішень, і

одержання значення метрики для передбачуваного відхилення частоти, базуючись на статистиці рішень.

21. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

засіб для обчислення, для кожного з множини передбачуваних відхилень частоти, значення для метрики, базуючись на прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу, в якому кожне з передбачуваних відхилень частоти відповідає різному можливому відхиленню частоти в пристрої приймача, і в якому множини значень метрики одержують для множини передбачуваних відхилень частоти; і

засіб для оцінки відхилення частоти в пристрої приймача, базуючись на множині значень метрики.

22. Зчитуваний процесором носій для зберігання інструкцій, що служать для:

обчислення, для кожного з множини передбачуваних відхилень частоти, значення для метрики, базуючись на прийнятих символах, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу, в якому кожне з передбачуваних відхилень частоти відповідає різному можливому відхиленню частоти в приймачі, і в якому множини значень метрики одержують для множини передбачуваних відхилень частоти; і

оцінки відхилення частоти в приймачі, базуючись на множині значень метрики.

23. Спосіб виконання кадрової синхронізації в приймачі в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), причому спосіб включає в себе:

обчислення значення для метрики для поточного періоду символу, базуючись на прийнятих пілот-символах для одного або декількох періодів символу, що включають в себе поточний період символу, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу;

кореляцію множини значень метрики, одержаних для множини періодів символу, відмічених поточним періодом символу, з множиною очікуваних значень для одержання значення кореляції для поточного періоду символу, в якому множина очікуваних значень являє собою очікувані значення для множини значень метрики в позначеному періоді символу; і

виконання виявлення піка по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів символу, для визначення кадрової синхронізації.

24. Спосіб за п. 23, який додатково включає в себе:

виконання оцінки відхилення частоти для одержання оціненого відхилення частоти в приймачі, і в якому значення метрики для поточного періоду символу є основою для оціненого відхилення частоти.

25. Спосіб за п. 23, в якому виявлення піка виконується за допомогою порівняння значення кореляції для поточного періоду символу з пороговим значенням, і оголошення кадрової синхронізації, якщо значення кореляції більше, ніж порогове значення.

26. Спосіб за п. 23, в якому значення метрики для поточного періоду символу одержують на основі взаємної кореляції між прийнятими пілот-символами для поточного періоду символу і прийнятими пілот-символами для попереднього періоду символу.

27. Спосіб за п. 23, в якому для кожної з множини підсмуг пілот-сигналу, що використовуються для передачі пілот-сигналу, пілот-символи для підсмуги пілот-сигналу скремблюються з послідовністю псевдовипадкових чисел (ПВЧ) перед передачею.

28. Спосіб за п. 27, в якому кожне з множини очікуваних значень одержують за допомогою взаємної

кореляції відповідної пари елементів сигналу (chip) в послідовності ПВЧ.

29. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

блок обчислення метрики, що служить для обчислення значення для метрики для поточного періоду символу, базуючись на прийнятих пілот-символах для одного або декількох періодів символу, що включають в себе поточний період символу, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу;

корелятор, що служить для кореляції множини значень метрики, одержаних для множини періодів символу, відмічених поточним періодом символу, з множиною очікуваних значень для одержання значення кореляції для поточного періоду символу, в якому множина очікуваних значень являє собою очікувані значення для множини значень метрики в позначеному періоді символу; і

виявник піка, що служить для виконання виявлення піка по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів символу, для визначення кадрової синхронізації.

30. Пристрій приймача за п. 29, в якому для кожної з множини підсмуг пілот-сигналу, що використовуються для передачі пілот-сигналу, пілот-символи для підсмуги пілот-сигналу скремблюються з послідовністю псевдовипадкових чисел (ПВЧ) перед передачею.

31. Пристрій приймача за п. 30, в якому значення метрики для поточного періоду символу одержують на основі взаємної кореляції між прийнятими пілот-символами для поточного періоду символу і прийнятими пілот-символами для попереднього періоду символу, і в якому кожне з множини очікуваних значень одержують за допомогою взаємної кореляції відповідної пари елементів сигналу в послідовності ПВЧ.

32. Пристрій приймача в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК), який містить:

засіб для обчислення значення для метрики для поточного періоду символу, базуючись на прийнятих пілот-символах для одного або декількох періодів символу, що включають в себе поточний період символу, в якому метрика вказує на виявлену потужність пілот-сигналу;

засіб для кореляції множини значень метрики, одержаних для множини періодів символу, відмічених поточним періодом символу, з множиною очікуваних значень для одержання значення кореляції для поточного періоду символу, в якому множина очікуваних значень являє собою очікувані значення для множини значень метрики в позначеному періоді символу; і

засіб для виконання виявлення піка по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів символу, для визначення кадрової синхронізації.

Даний винахід належить, в основному, до передачі даних, і, зокрема, до методів виконання оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації в системі зв'язку з ортогональним частотним розділенням каналів (ОЧРК).

ОЧРК являє собою метод модуляції з багатьма несучими, здатний забезпечувати високі робочі характеристики для деяких безпроводних середовищ. ОЧРК ефективно розділяє повну ширину смуги частот системи на множини (N_{sb}) ортогональних підсмуг, які також звичайно згадуються як тони, піднесучі, біни і частотні канали. При ОЧРК кожна підсмуга асоціюється з відповідною піднесучою. Яка може модулюватися даними.

У ОЧРК-системі передавач спочатку кодує, перемежує і модулює потік інформаційних бітів для одержання потоку символів модуляції. У кожному періоді ОЧРК-символу N_{sb} символів «передачі» можуть посилатися по N_{sb} підсмугам, де кожен символ передачі може бути символом даних (тобто символом модуляції для даних), пілот-символом (тобто символом модуляції для пілот-сигналу) або нульовим значенням сигналу. Передавач перетворює N_{sb} символів передачі у часову область, використовуючи зворотне швидке перетворення Фур'є (ЗШГФ), і одержує «перетворений» символ, який містить N_{sb} елементів сигналу (чинів) часової області. Для боротьби з частотно-селективними замираннями (тобто частотна характеристика, яка змінюється по N_{sb} підсмугам), які викликаються багатоприменовостю в безпроводному каналі, звичайно повторюється частина кожного перетвореного символу. Повторювана частина часто згадується як циклічний префікс і включає в себе N_{cp} елементів сигналу. ОЧРК-символ формується з перетвореного символу і його циклічного префікса. Кожен ОЧРК-символ містить N_L елементів сигналу (де $N_L = N_{sb} + N_{cp}$) і має тривалість N_L періодів елементів сигналу, яка являє собою один період ОЧРК-символу (або просто «період символу»). Передавач може передавати ОЧРК-символи в кадрах, причому кожен кадр містить множину (N_{sym}) ОЧРК-символів. Кадри ОЧРК-символів додатково обробляються і передаються на приймач.

Приймач виконує доповнюючу обробку і одержує N_L вибірок для кожного прийнятого ОЧРК-символу. Приймач видаляє циклічний префікс з кожного прийнятого ОЧРК-символу для одержання прийнятого перетвореного символу. Приймач потім перетворює кожен прийнятий перетворений символ в частотну область, використовуючи швидке перетворення Фур'є (ШПФ) і одержує N_{sb} «прийнятих» символів для N_{sb} підсмуг, які є оцінками N_{sb} символів передачі.

Приймач звичайно виконує оцінку відхилення частоти для визначення відхилення частоти в приймачі. Відхилення частоти може бути внаслідок відмінності частот генераторів в передавачі і приймачі, доплерівського зсуву частоти і т.д. Приймач також звичайно виконує кадрову синхронізацію для виявлення початку кожного кадру, так що належна послідовність прийнятих символів може надаватися для демодуляції, усунення перемежування і декодування.

Для підтримки кадрової синхронізації передавач звичайно передає навчальну послідовність по кожному кадру. Ця навчальна послідовність містить пілот-символи і передається по позначеним підсмугам. Приймач обробляє навчальну послідовність з метою виявлення початку кожного кадру. Навчальна послідовність представляє службові дані, які знижують ефективність системи. Крім того, звичайно не є надійними робочі характеристики виявлення, які базуються на навчальній послідовності, особливо в умовах низького відношення сигнал-шум (ВШ).

Тому, в техніці існує потреба в методах виконання оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації в ОЧРК-системі.

У даному документі описуються методи виконання оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації в ОЧРК-системі. Ці методи можуть забезпечувати хороші робочі характеристики навіть в умовах низького ВШ і базуються на метриці, яка вказує на виявлену потужність пілот-сигналу в приймачі. Метрика може визначатися різним чином в залежності від способу, що використовується для виявлення потужності пілот-сигналу. Якщо недоступні оцінки коефіцієнта посилення каналу, що звичайно і буває, коли виконується оцінка відхилення частоти, тоді потужність пілот-сигналу може виявлятися за допомогою (1) взаємної кореляції двох прийнятих символів, одержаних в двох періодах ОЧРК-символу (звичайно двох прийнятих символів протягом двох послідовних періодів ОЧРК-символу), оскільки кожна підсмуга пілот-сигналу використовується для передачі пілот-сигналу, і (2) накопичення результатів кореляції для всіх підсмуг пілот-сигналу для одержання статистики рішень. Потім визначають метрику, базуючись на статистиці рішень.

Для оцінки відхилення частоти значення метрики обчислюється для кожного з численних передбачуваних відхилень частоти, які являють собою різні можливі відхилення частоти в приймачі. Ідентифікується значення метрики з найбільшою величиною з числа значень метрики для численних передбачуваних відхилень частоти. Передбачуване відхилення частоти для цього ідентифікованого значення метрики передбачається як оцінене відхилення частоти в приймачі.

Для кадрової синхронізації одержують значення кореляції для кожного періоду ОЧРК-символу за допомогою кореляції ідентифікованих значень метрики, одержаних для N_c (наприклад, найостанніших) періодів ОЧРК-символу, з N_c очікуваними значеннями. Очікувані значення обчислюються способом, сумісним зі способом, яким обчислюються значення метрики. Наприклад, якщо пілот-символи для кожної підсмуги пілот-сигналу скремблюються з послідовністю псевдовипадкових чисел (ПВЧ) передавачем, і значення метрики одержуються за допомогою взаємної кореляції пар прийнятих символів, тоді очікувані значення одержуються за допомогою взаємної кореляції пар елементів сигналу (chip) в послідовності ПВЧ. Виявлення піка виконується по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів ОЧРК-символу, для визначення кадрової синхронізації.

Нижче більш детально описуються різні аспекти, варіанти здійснення і відмітні ознаки винаходу.

Відмітні ознаки і суть даного винаходу стануть більш очевидними з докладного опису, викладеного нижче, що розглядається разом з кресленнями, на яких подібні позиції визначають відповідним чином по всьому документу, і на яких:

Фіг.1 зображує передавач і приймач в ОЧРК-системі;

Фіг.2 ілюструє передачу пілот-сигналу і даних для одного кадру, використовуючи частотно-часову площину;

Фіг.3 зображує процес відновлення символів даних для кожного кадру;

Фіг.4 ілюструє кореляцію значень M_n метрики з очікуваними значеннями a_n для кадрової синхронізації;

Фіг.5 зображує процес виконання оцінки ціло-числового відхилення частоти;

Фіг.6 зображує процес виконання кадрової синхронізації;

Фіг.7 зображує ОЧРК-демодулятор в приймачі;

Фіг.8 зображує конкретну конструкцію ОЧРК-демодулятора.

Слово «зразковий» використовується в даному документі для того, щоб мати на увазі «служує як приклад, копія або ілюстрація». Будь-який варіант здійснення або конструкція, описані в даному документі як «зразкові», необов'язково повинні тлумачитися як переважні або вигідні по відношенню до інших варіантів здійснення або конструкцій.

Фіг.1 зображує блок-схему передавача 110 і приймача 150 в ОЧРК-системі 100. У передавачі 110 процесор 120 даних передачі (TX) приймає, форматує і кодує дані трафіку (тобто інформаційні біти) для одержання кодованих даних. Кодування підвищує надійність передачі даних і може включати в себе кодування з виявленням помилок (наприклад, циклічним надмірним кодом (ЦНК)), кодування з випереджаючою корекцією помилок (наприклад, згортувальне, турбо- і/або блокове кодування) або їх комбінацію. Кодування звичайно виконується для кожного пакета даних, який може мати фіксовану або змінну довжину. Процесор 120 даних TX потім перемежує кодовані дані для одержання даних з перемежуванням. Перемежування забезпечує рознесення у часі і/або по частоті від впливів шкідливих шляхів і також може виконуватися для кожного пакета даних. Процесор 120 даних TX потім модулює (тобто відображає символ на) дані з перемежуванням, базуючись на одній або декількох схемах модуляції (наприклад, квадратурна фазова маніпуляція (КФМ), багаторівнева фазова маніпуляція (БФМ), багатопозиційна квадратурна амплітудна модуляція (БКАМ) і т.д.), для одержання символів даних. Однакові або різні схеми модуляції можуть використовуватися для символів даних і пілот-символів.

ОЧРК-модулятор 130 приймає і обробляє символи даних і пілот-символи для одержання ОЧРК-символів. Обробка ОЧРК-модулятором 130 може включати в себе (1) мультиплексування символів даних, пілот-символів і нульових значень сигналу

в підсмуги даних, підсмуги пілот-сигналу і незастосовані підсмуги, відповідно, для одержання N_{sb} символів передачі для N_{sb} підсмуг для кожного періоду ОЧРК-символу, (2) перетворення N_{sb} символів передачі для кожного періоду ОЧРК-символу за допомогою N_{sb} -точкового ЗШПФ для одержання перетвореного символу і (3) приєднання циклічного префікса до кожного перетвореного символу для формування відповідного ОЧРК-символу. Пілот-символи можуть мультиплексуватися з символами даних, як описано нижче. ОЧРК-модулятор 130 виробляє кадри ОЧРК-символів, де кожний кадр містить N_{sym} ОЧРК-символів і може відповідати цілому числу пакетів даних (наприклад, одному пакету даних).

Блок 132 передавача (TMTR) приймає і перетворює ОЧРК-символи в один або декілька аналогових сигналів і додатково приводить в певний стан (наприклад, посилює, фільтрує і перетворює з підвищенням частоти) аналоговий сигнал(и) для генерування модульованого сигналу, придатного для передачі по безпроводному каналу. Модульований сигнал потім передається за допомогою антени 134 на приймач 150.

У приймачі 150 переданий сигнал приймається антеною 152 і подається на блок 154 приймача (RCVR). Блок 154 приймача приводить в певний стан (наприклад, фільтрує, посилює і перетворює з пониженням частоти) прийнятий сигнал і оцифровує приведений в певний стан сигнал для одержання потоку вхідних вибірок. ОЧРК-демодулятор 160 приймає і обробляє вхідні вибірки для одержання прийнятих символів. Обробка ОЧРК-демодулятором 160 може включати в себе (1) попередню обробку вхідних вибірок, як описано нижче, (2) видалення циклічного префікса, приєднаного до кожного прийнятого ОЧРК-символу, для одержання прийнятого перетвореного символу і (3) перетворення кожного прийнятого перетвореного символу за допомогою N_{sb} -точкового ШПФ для одержання N_{sb} прийнятих символів для N_s підсмуг. N_{sb} прийнятих символів для кожного періоду ОЧРК-символу включають в себе прийняті символи даних для підсмуг даних і прийняті пілот-символи для підсмуг пілот-сигналу. ОЧРК-демодулятор 160 також оцінює і коректує відхилення частоти в приймачі, виявляє початок кожного кадру, виконує виявлення даних і виробляє послідовність виявлених символів даних для кожного кадру, як описано нижче. Процесор 170 даних прийому (RX) потім демодулює, усуває перемежування і декодує виявлені символи даних для одержання декодованих даних. Обробка ОЧРК-демодулятора 160 і процесора 170 даних RX є доповнюючою до обробки, що виконується ОЧРК-модулятором 130 і процесором 120 даних TX, відповідно, на передавачі 110.

Контролери 140 і 180 керують роботою в передавачі 110 і приймачі 150, відповідно. Блоки 142 і 182 пам'яті забезпечують зберігання програмних кодів і даних, що використовуються контролерами 140 і 180, відповідно.

Фіг.2 зображує передачу даних і пілот-сигналу для одного кадру на частотно-часовій площині 200. Вертикальна вісь площини 200 представляє

частоту, і горизонтальна вісь представляє час. N_{sb} підсмугом призначаються індекси від 1 до N_{sb} по вертикальній осі. N_p підсмугом використовуються для передачі пілот-сигналу, де, як правило, $N_{sb} N_p = 1$. Підсмуги пілот-сигналу вказуються заштрихованими прямокутниками на Фіг.2 і можуть бути розподілені (наприклад, рівномірно) по N_{sb} загальним підсмугом. N_{sym} ОЧРК-символам для кадру призначаються індекси від 1 до N_{sym} по горизонтальній осі. Кожний ОЧРК-символ включає в себе N_{sb} символів передачі для N_{sb} підсмуг. У нижченаведеному описі k являє собою індекс підсмуги, і n являє собою індекс для ОЧРК-символу і періоду ОЧРК-символу.

Різні ОЧРК-системи можуть використовувати різні значення для різних параметрів, вказаних на Фіг.2. Як конкретний приклад, зразкова ОЧРК-система може мати загальну смугу частот системи $BW_{sys}=6\text{МГц}$, використовувати ОЧРК-символ з $N_{sb}=4096$ підсмугами, розподіляти $N_p=512$ підсмуг для пілот-сигналу, використовувати циклічний префікс з $N_{cp}=512$ елементами сигналу (чипами) і мати довжину кадру в одну секунду. Для цієї системи кожна підсмуга має ширину смуги частот $BW_{sb}=1,46\text{кГц}$ (тобто $6,0\text{МГц}/4096$), кожний ОЧРК-символ має довжину $N_L=4608$ елементів сигналу (тобто $4096+512$), кожний період ОЧРК-символу має тривалість 768мкс (тобто $4608/6,0 \times 10^6$), і кожний кадр включає в себе $N_{sym}=1302$ ОЧРК-символів (тобто $1,0/768 \times 10^6$).

Фіг.2 також зображує схему передачі пілот-сигналу з частотним розділенням каналів (ЧРК), в якій пілот-символи передаються по підсмугом пілот-сигналу, і символи даних передаються по підсмугом даних. Підсмуги пілот-сигналу можуть бути фіксованими для всіх періодів ОЧРК-символу або можуть змінюватися від періоду символу до періоду символу, від кадру до кадру і т.п. Передача пілот-сигналу також може посилатися безперервно по всьому кадру (як показано на Фіг.2) або може посилатися тільки в деяких періодах ОЧРК-символу. У будь-якому випадку підсмуги, що використовуються для передачі пілот-сигналу і періодів ОЧРК-символу, в яких передається пілот-сигнал, відомі априорі і передавачу, і приймачу. Для простоти, в подальшому описі передбачається, що пілот-сигнал передається безперервно по позначеним підсмугом пілот-сигналу, як показано на Фіг.2.

Послідовність N_p пілот-символів передається по N_p підсмугом пілот-сигналу в одному періоді ОЧРК-символу. Послідовність пілот-символів позначається як $\{p(k)\}$ і включає в себе один пілот-символ для кожної підсмуги пілот-сигналу. Ця ж послідовність $\{p(k)\}$ пілот-символів передається в кожному з N_{sym} періодів ОЧРК-символу для кадру.

Щоб сприяти кадровій синхронізації, пілот-символи для кожної підсмуги пілот-сигналу скремблюються з послідовністю ПВЧ. Послідовність ПВЧ позначається як $\{b_n\}$ і містить N_{sym} елементів сигналу ПВЧ, де кожний елемент сигналу ПВЧ являє собою або +1, або -1 (тобто $b_n \in \{1, -1\}$). Для кожної підсмуги пілот-сигналу N_{sym} (це ж значення) пілот-символів для N_{sym} періодів ОЧРК-символу для кадру множиться на N_{sym} елементів сигналу

ПВЧ для одержання N_{sym} скремблених пілот-символів для цієї підсмуги пілот-сигналу. Скремблений пілот-символ для кожної підсмуги пілот-сигналу кожного періоду ОЧРК-символу може бути виражений як:

$$P_n(k) = p(k) \cdot b_n, \text{ для } k \in P \quad (1)$$

де $P_n(k)$ являє собою скремблений пілот-символ для підсмуги k пілот-сигналу в періоді n символу; і

P являє собою множину N_p підсмуг пілот-сигналу.

N_p послідовностей скремблених пілот-символів одержують для N_p підсмуг пілот-сигналу, базуючись на N_p пілот-символах для цих підсмуг і цієї ж послідовності ПВЧ. Скремблені пілот-символи мультиплексуються з символами даних, обробляються і передаються.

У приймачі прийняті символи після ШПФ можуть бути виражені таким чином:

$$R_n(k) = S_n(k) \cdot H_n(k) \cdot e^{j(\theta + 2\pi f n N_L N_{sb})} + N_n(k) \quad (2)$$

де $S_n(k)$ являє собою символ передачі для підсмуги k в періоді n символу;

$H_n(k)$ являє собою комплексний коефіцієнт посилення каналу для підсмуги k в періоді n символу;

$N_n(k)$ являє собою шум для підсмуги k в періоді n символу;

$R_n(k)$ являє собою прийнятий символ для підсмуги k в періоді n символу;

θ являє собою невідомий зсув фази, який є постійним по всім N_{sb} підсмугам; і

f являє собою зсув частоти (в цілих числах підсмуг), що підлягає оцінці.

Символом $S_n(k)$ передачі може бути пілот-символ $P_n(k)$ або символ $D_n(k)$ даних.

Рівняння (2) передбачає, що дробове відхилення частоти (тобто менше однієї підсмуги) було оцінено і скоректовано до виконання ШПФ. Дробове відхилення частоти до $\pm BW_{sb}/2$ може бути оцінене на основі циклічного префікса, приєднаного до кожного ОЧРК-символу, або з використанням деяких інших методів, відомих в техніці. Дробове відхилення частоти викликає перешкоди між підсмугами і, таким чином, оцінюється і видаляється за допомогою фазообертача перед виконанням ШПФ, як описано нижче.

Відхилення f частоти являє собою велике відхилення частоти, яке може викликатися, наприклад, різними частотами генераторів передавача і приймача. Відхилення f частоти виражається в цілих числах підсмуг, оскільки дробова частина була скоректована перед ШПФ. Цілочислове відхилення f частоти приводить до того, що символ $S_n(k)$ передачі, що посиляється по підсмузі k , приймається на підсмузі $k+f$, тобто $S_n(k) \Rightarrow R_n(k+f)$. Весь спектр після ШПФ в приймачі, таким чином, зсувається на f відносно спектра перед ЗШПФ в передавачі. Цілочислове відхилення частоти тільки зсуває спектр і не викликає перешкоди між підсмугами. Це відхилення частоти, таким чином, може бути усунене або перед виконанням ШПФ в приймачі, або після нього. В нижченаведеному описі «відхилення частоти» і «зсув частоти» є синонімі-

чними термінами, які використовуються навіперемінно.

Фіг.3 зображує блок-схему послідовності операцій процесу 300 відновлення символів $S_n(k)$ передачі для кадру. Спочатку, цілочислове відхилення \hat{f} частоти оцінюється на основі метрики $M_n(f)$ і прийнятих символів $R_n(k)$, як описано нижче (етап 312). Оцінене цілочислове відхилення \hat{f} частоти потім усувається з метою одержання скоректованих по частоті символів $\tilde{S}_n(k)$, які включають в себе скоректовані по частоті символи $\tilde{D}_n(k)$ даних (тобто прийняті символи даних) для підсмуг даних і скоректовані по частоті пілот-символи $\tilde{P}_n(k)$ (тобто прийняті пілот-символи) для підсмуг пілот-сигналу (етап 314). Кадрова синхронізація також виконується на основі цієї ж метрики $M_n(f)$ і скоректованих по частоті пілот-символів (етап 316).

Якщо була виконана корекція цілочислового відхилення частоти і кадрова синхронізація, коефіцієнт посилення $H_n(k)$ каналу може оцінюватися на основі скоректованих по частоті пілот-символів $\tilde{P}_n(k)$ (етап 318). Виявлення даних потім виконується по скоректованим по частоті символам $\tilde{D}_n(k)$ даних за допомогою оцінок $\hat{H}_n(k)$ коефіцієнта посилення каналу для одержання виявлених символів $\hat{D}_n(k)$ даних, які являють собою оцінки символів $D_n(k)$ даних, що посиляються передавачем (етап 320). Належна послідовність виявлених символів даних для кадру передбачається для подальшої обробки (етап 322). Кожний з етапів на Фіг.3 більш детально описується нижче.

Для етапу 312 на Фіг.3 цілочислове відхилення f частоти оцінюється на основі метрики $M_n(f)$, яка вказує на виявлену потужність пілот-сигналу в приймачі. Метрика $M_n(f)$ може визначатися різним чином в залежності від способів, що використовуються для виявлення потужності пілот-сигналу. Приймач може використовувати різні способи для виявлення потужності пілот-сигналу в залежності від того, чи є доступними чи ні оцінки коефіцієнта посилення каналу. Нижче описується декілька способів виявлення потужності пілот-сигналу.

Спосіб взаємної кореляції може використовуватися для виявлення прийнятої потужності пілот-сигналу, коли оцінки коефіцієнта посилення каналу недоступні в приймачі. Все саме так в той час, коли виконується оцінка відхилення частоти. Для цього способу статистика рішень для різних припущень \tilde{f} може бути виражена як:

$$A_n(\tilde{f}) = \sum_{k \in P} R_n(k + \tilde{f}) \cdot R_{n-1}^*(k + \tilde{f}) \cdot e^{-j2\pi f N_L N_{sb}}, \quad (3)$$

для $\tilde{f} \in F$

де \tilde{f} являє собою передбачуване відхилення частоти;

$k + \tilde{f}$ являє собою передбачувану підсмугу, яка зміщена на \tilde{f} від підсмуги k пілот-сигналу;

$R_n(k + \tilde{f})$ являє собою прийнятий символ для передбачуваної підсмуги $k + \tilde{f}$ в періоді n символу;

$A_n(\tilde{f})$ являє собою статистику рішень для передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти в періоді n символу;

F являє собою множину передбачуваних відхилень частоти для оцінки, тобто $F = \{0, \pm 1 \dots \pm f_{\max}\}$, де f_{\max} являє собою максимальне очікуване відхилення частоти; і

«*» означає комплексно спряжене число.

Кожне з передбачуваних відхилень частоти в множині F являє собою різне можливе цілочислове відхилення частоти в приймачі.

У рівнянні (3) передбачається, що пілот-символи для підсмуги k пілот-сигналу зсуваються на передбачуване відхилення \tilde{f} частоти, і прийняті символи $R_n(k + \tilde{f})$ і $R_{n-1}(k + \tilde{f})$ для передбачуваної підсмуги $k + \tilde{f}$ (замість підсмуги k пілот-сигналу) використовуються для статистики рішень. Рівняння (3) фактично обчислює взаємну кореляцію між двома прийнятими символами для двох послідовних періодів ОЧРК-символу, тобто $R_n(k + \tilde{f}) \cdot R_{n-1}^*(k + \tilde{f})$. Ця взаємна кореляція усуває вплив безпровідного каналу без необхідності оцінки коефіцієнта посилення каналу, яка звичайно ще недоступна. Рівняння (3) потім накопичує результати взаємної кореляції для всіх N_p підсмуг пілот-сигналу для одержання статистики $A_n(\tilde{f})$ рішень для передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти.

Експоненціальний член $e^{-j2\pi f N_L N_{sb}}$ в рівнянні (3) є причиною різниці фаз (тобто зсуву фази) між двома послідовними ОЧРК-символами внаслідок передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти. Різні передбачувані відхилення частоти мають різні зсуви фази. У рівнянні (3) також передбачається, що безпровідний канал приблизно постійний або повільно змінюється протягом двох періодів ОЧРК-символу. Це припущення, в основному, вірне для більшості систем. Якість статистики $A_n(\tilde{f})$ рішень просто гірше, якщо безпровідний канал змінюється швидше.

Статистика $A_n(\tilde{f})$ рішень обчислюється для кожного з різних припущень \tilde{f} . Множину статистик $A_n(\tilde{f})$ рішень для $\tilde{f} \in F$ одержують для всіх передбачуваних відхилень частоти в множині F .

Метрика визначається таким чином:

$$M_n(\tilde{f}) = \text{Re}\{A_n(\tilde{f})\} \quad (4)$$

Статистика $A_n(\tilde{f})$ рішень являє собою, в основному, комплексне значення, і тільки дійсна частина використовується для метрики.

Цілочислове відхилення частоти може обчислюватися як передбачуване відхилення частоти, яке приводить до максимальної величини метрики. Це може бути виражено таким чином:

$$\hat{f}_n = \arg \max_{\tilde{f} \in F} |M_n(\tilde{f})| \quad (5)$$

де \hat{f}_n являє собою оцінене цілочислове відхилення частоти, визначене на періоді n ОЧРК-символу. Метрика може мати як позитивні, так і негативні значення, оскільки пілот-символи скремблюються з послідовністю $\{a_n\}$ ПВЧ. Взяття величини метрики усуває вплив скремблювання.

Цілочислове відхилення частоти може оцінюватися або один раз, використовуючи одну пару ОЧРК-символів, або багато разів, використовуючи численні пари ОЧРК-символів. Відхилення частоти звичайно повільно змінюється, і однакове оцінене цілочислове відхилення частоти часто одержують для кожної пари ОЧРК-символів. Численні оцінки цілочислового відхилення частоти можуть використовуватися для виявлення неточної оцінки і забезпечення більшої упевненості в оціненому цілочисловому відхиленні частоти. У будь-якому випадку на етапі 312 одержують одне оцінене цілочислове відхилення \hat{f} частоти. Крім того, оцінка цілочислового відхилення частоти звичайно вимагає виконання тільки один раз, коли приймач перший раз настроюється на передавач, і існує велика різниця між частотами генераторів передавача і приймача.

При правильному припущенні f метрика $M_n(f)$ може бути виражена таким чином:

$$M_n(f) = a_n \cdot \sum_{k \in P} |H_n(k+f)|^2 \cdot |p(k+f)|^2 + v_n(k+f) \quad (6)$$

де $v_n(k+f)$ являє собою шумовий член для $M_n(f)$ і може бути виражений як:

$$v_n(k+f) = \text{Re} \left\{ \sum_{k \in P} R_n(k+f) \cdot N_{n-1}^*(k+f) + R_{n-1}^*(k+f) \cdot N_n(k+f) \right\} \quad (7)$$

$$i \quad a_n = b_n \cdot b_{n-1}, \text{ причому } b_0 = \eta_{N_{\text{sym}}} \quad i \quad a_n \in \{1, -1\} \quad (8)$$

У рівняннях (6) і (8) a_n являє собою кореляцію між двома елементами b_n і b_{n-1} сигналу ПВЧ для двох послідовних періодів ОЧРК-символу, де послідовність ПВЧ циклічно повертається до початку.

Для каналу з адитивним білим гауссовим шумом (АБГШ) коефіцієнт посилення $H_n(k+f)$ каналу може бути виключений з рівняння (6). У цьому випадку ВСШ метрики $M_n(f)$ при правильному припущенні f може бути виражений як:

$$\text{SNR}_{fe} = \frac{(N_P \cdot P_S)^2}{N_P \cdot \sigma_V^2} = N_P \cdot \frac{P_S}{\sigma_n^2} \quad (9)$$

де P_S являє собою потужність передачі для кожного пілот-символу, яка дорівнює $P_S = E\{|p_k|^2\}$, де

$E\{x\}$ являє собою очікуване значення x ;

σ_V^2 являє собою дисперсію шуму $v_n(k+f)$, яка дорівнює

$$\sigma_V^2 = \sigma_n^2 \cdot P_S;$$

σ_n^2 являє собою дисперсію шуму $N_n(k)$;

$(N_P \cdot P_S)^2$ являє собою потужність сигналу метрики $M_n(f)$;

$N_P \cdot \sigma_V^2$ являє собою потужність шуму метрики $M_n(f)$; і

SNR_{fe} являє собою ВСШ метрики $M_n(f)$.

У рівнянні (9) відношення P_S / σ_n^2 являє собою також ВСШ прийнятих символів даних. Якщо кількість підсмуг пілот-сигналу досить велика, тоді ВСШ метрики $M_n(f)$ може бути високим навіть тоді, коли ВСШ прийнятих символів даних низьке. Для зразкової ОЧРК-системи, описаної вище, з $N_P = 512$ ВСШ метрики $M_n(f)$ приблизно дорівнює 27дБ, коли ВСШ прийнятих символів даних дорівнює 0дБ

(тобто SNR_{fe} 27дБ, коли $P_S / \sigma_n^2 = 0$ дБ). Цілочислове відхилення частоти, таким чином, може надійно оцінюватися на основі метрики $M_n(f)$ навіть в умовах низького ВСШ.

У рівнянні (3) експоненціальний член використовується для корекції фази внаслідок передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти. Спрощена статистика $A_n(\tilde{f})$ рішень може визначатися без цього члена корекції фази таким чином:

$$A_n(\tilde{f}) = \sum_{k \in P} R_n(k + \tilde{f}) \cdot R_{n-1}^*(k + \tilde{f}) \quad (10)$$

Метрика тоді може визначатися як $M_n(\tilde{f}) = A_n(\tilde{f})$. Цілочислове відхилення частоти може оцінюватися так, як показано в рівнянні (5).

Взагалі, $A_n(\tilde{f})$ являє собою комплексне значення, і квадрат величини $|A_n(\tilde{f})|^2$ (замість величини) може бути легше обчислений і використаний для рівняння (5). Можна показати, що ВСШ метрики $M_n(f)$, визначеної на основі $A_n(\tilde{f})$, приблизно на 3дБ гірше, ніж ВСШ метрики $M_n(f)$, визначеної на основі $A_n(\tilde{f})$. Це погіршення на 3дБ в ВСШ може компенсуватися подвоєнням кількості підсмуг пілот-сигналу.

Спосіб узгодженого фільтра може використовуватися для виявлення потужності прийнятого пілот-сигналу, коли в приймачі доступні оцінки коефіцієнта посилення каналу. Для цього способу статистика рішень може визначатися таким чином:

$$A_n^*(\tilde{f}) = \sum_{k \in P} R_n(k + \tilde{f}) \cdot P_n^*(k) \cdot H_n^*(k + \tilde{f}), \text{ для } \tilde{f} \in F \quad (11)$$

де $H_n(k + \tilde{f})$ являє собою оцінку коефіцієнта посилення для передбачуваної підсмуги $k + \tilde{f}$. У рівнянні (11) множення на $H_n^*(k + \tilde{f})$ усуває вплив безпровідного каналу, і множення на $P_n^*(k)$ усуває модуляцію на пілот-символ. Метрика $M_n(f)$ тоді може визначатися рівною дійсній частині статистики $A_n^*(\tilde{f})$ рішень, тобто $M_n(\tilde{f}) = \text{Re}\{A_n^*(\tilde{f})\}$, аналогічно тому, що показано в рівнянні (4). Інші способи також можуть використовуватися для виявлення потужності прийнятого пілот-сигналу. Метрика визначається на основі статистики рішень, яка передбачається цими способами.

Для етапу 314 на Фіг.3 оцінене цілочислове відхилення \hat{f} частоти усувається для одержання

скоректованих по частоті символів $\tilde{S}_n(k)$. Корекція цілочислового відхилення частоти може виконуватися або до ШПФ або після нього в приймачі. Для корекції відхилення частоти після ШПФ прийняті символи $R_n(k)$ просто переводяться на \hat{f} підсмуг, і скоректовані по частоті символи $\tilde{S}_n(k)$ одержують у вигляді $\tilde{S}_n(k) = R_n(k + \hat{f})$ для всіх відповідних значень k . Для корекції відхилення частоти перед ШПФ оцінене цілочислове відхилення \hat{f} частоти може об'єднуватися з дробовим відхиленням частоти для одержання загального відхилення частоти. У вхідних вибірок тоді виконується циклічний зсув фази на загальне відхилення частоти, і ШПФ виконується на вибірках з циклічно зсунутою фазою. Частота генератора приймача також може підстроюватися за допомогою фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) для корекції оціненого відхилення \hat{f} частоти.

Для етапу 316 на Фіг.3 кадрова синхронізація виконується на основі (1) цієї ж метрики $M_n(\hat{f})$, яка використовується для оцінки відхилення частоти, і (2) скоректованих по частоті пілот-символів $\tilde{R}_n(k)$. Оцінка відхилення частоти на етапі 312 забезпечує максимальне значення M_n метрики для кожного періоду n ОЧРК-символу, яка може бути виражена як:

$$M_n = M_n(\hat{f}) \quad (12)$$

де $M_n(\hat{f})$ може визначатися на основі або $A_n(\hat{f})$, або $A'_n(\hat{f})$. Спрощена статистика $A_n(\hat{f})$ рішень може використовуватися, якщо цілочислове відхилення частоти коректується перед виконанням ШПФ. Значення M_n метрики одержують на основі скоректованих по частоті пілот-символів за допомогою оцінки відхилення частоти.

Взаємна кореляція між значеннями M_n і a_n виконується для кожного періоду ОЧРК-символу таким чином:

$$C_n = \sum_{i=0}^{N_c-1} M_{n-i} \cdot a_{n-i} \quad (13)$$

де N_c являє собою кореляційну довжину, яка дорівнює

$$N_c = N_c - 1; i$$

C_n являє собою результат взаємної кореляції між (1) значеннями M_n для N_c найостанніших періодів ОЧРК-символу і (2) значеннями a_n для перших N_c періодів ОЧРК-символу в кожному кадрі.

Фіг.4 ілюструє кореляцію між значеннями M_n і a_n . Усічена послідовність з першими N_c значеннями a_n для кадру показана у верхній частині Фіг.4 і наведена з індексами від 1 до N_c . Послідовність з N_c+1 самими останніми значеннями M_n показана в середині Фіг.4, і їй надані індекси з $n-N_c$ до n . Для кожного періоду n ОЧРК-символу одержують одне значення C_n кореляції за допомогою кореляції усіченої послідовності a_n з послідовністю M_n для періоду ОЧРК-символу. Послідовність M_n фактично зсувається ліворуч, коли одержують нове значення M_n для наступного періоду ОЧРК-символу. Послідовність a_n залишається нерухомою.

Значення a_n являють собою очікувані значення для значень M_n . Для описаного вище варіанта здійснення значення a_n визначаються як $a_n = b_n \cdot b_{n-1}$, оскільки значення M_n одержують за допомогою кореляції двох послідовних прийнятих пілот-символів, які скремблюються з двома елементами сигналами b_n і b_{n-1} ПВЧ. Для даного варіанта здійснення поліпшені робочі характеристики для кадрової синхронізації можуть бути досягнуті, якщо послідовність $\{b_n\}$ ПВЧ визначається так, що послідовність $\{a_n\}$ також являє собою послідовність ПВЧ. Більш конкретно, взаємна кореляція між послідовністю $\{a_n\}$ і її зсунутими варіантами повинна бути рівною нулю або бути низькою за винятком того випадку, коли дві послідовності вирівняні. Для варіанта здійснення, в якому значення M_n одержують на основі статистики рішень, показаної в рівнянні (11), значення a_n просто дорівнюють значенням b_n для послідовності ПВЧ. Взагалі кажучи, значення a_n залежать від того, як одержують значення M_n .

Виявлення піка виконується по значенням C_n кореляції, одержаним для різних періодів ОЧРК-символу, для визначення початку кадру. Пік кореляції з'являється тоді, коли значення M_n вирівняні зі значеннями a_n . Виявлення піка може виконуватися різним чином. Наприклад, значення C_n кореляції для кожного періоду ОЧРК-символу може порівнюватися з пороговим значенням, і пік кореляції може оголошуватися кожен раз, коли значення кореляції перевищує порогове значення. Як інший приклад, пік кореляції може оголошуватися кожен раз, коли значення C_n кореляції перевищує середнє значення або наступне найбільше значення кореляції на деяку величину.

Кадрова синхронізація також може виконуватися для виявлення кінця кадру або деякої іншої частини кадру. Це може досягатися за допомогою вибору різних частин послідовності значень a_n , що відповідають частині кадру, яка підлягає виявленню. У загальних рисах, кореляція виконується між (1) значеннями M_n для N_c періодів ОЧРК-символу, «відмічених» поточним періодом n ОЧРК-символу, і (2) очікуваними значеннями a_n для значень M_n в позначеному періоді ОЧРК-символу або частині кадру.

Для каналу з АБГШ кореляція між M_n і a_n забезпечує коефіцієнт посилення N_c (кореляційної довжини) в ВСШ значення C_n кореляції у піці. Отже, надійне виявлення кадрової синхронізації можливе навіть в умовах низького ВСШ. Кореляційна довжина N_c може вибиратися на основі різних факторів. Більше значення для N_c забезпечує більший коефіцієнт посилення в ВСШ і більшу надійність при виявленні кадру. Однак, необхідно більше пам'яті для зберігання значень M_n для більшого значення N_c .

Щоб спростити обробку відносно кадрової синхронізації, значення M_n можуть квантуватися в L бітів, де $L \geq 1$. Наприклад, значення M_n можуть квантуватися в один біт за допомогою виконання жорстких рішень по цих значеннях. Квантовані значення M_n (позначені як M_n) можуть корелюватися зі значеннями a_n , як показано в рівнянні (13).

Якщо пілот-символи скремблюються з послідовністю ПВЧ, як описано вище, тоді пілот-символи не можуть відновлюватися доти, поки не буде виконана кадрова синхронізація і не буде відомий початок кадру. Скоректовані по частоті пілот-символи $\tilde{H}_n(k)$ потім можуть дескремблюватися за допомогою множення цих символів на комплексно спряжене число послідовності ПВЧ. Коефіцієнт $H_n(k)$ посилення каналу може оцінюватися, базуючись на дескремблених пілот-символах.

Для етапу 320 на Фіг.3 виявлення даних виконується по скоректованих по частоті символах даних таким чином:

$$\hat{D}_n(k) = \frac{\tilde{D}_n(k)}{\hat{H}_n(k)} \quad (14)$$

де $\hat{H}_n(k)$ являє собою оцінку коефіцієнта посилення каналу для підсмузи k в періоді n символу; i

$\hat{D}_n(k)$ являє собою виявлені символи даних для підсмузи k в періоді n символу.

Виявлення даних також може виконуватися іншим чином, як відомо в техніці. Виявлені символи даних для кадру забезпечуються у вигляді однієї послідовності для подальшої обробки.

Фіг.5 зображує блок-схему послідовності операцій процесу 500 для виконання оцінки цілочислового відхилення частоти в приймачі в ОЧРК-системі. Процес 500 може використовуватися для етапу 312 на Фіг.3.

Спочатку, значення для метрики $M_n(f)$ обчислюється для кожного з деякої кількості передбачуваних відхилень частоти, базуючись на прийнятих символах (блок 510). Це може досягатися за допомогою вибору передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти для оцінки (етап 512). Для кожної підсмузи k пілот-сигналу виконується взаємна кореляція між двома прийнятими символами, одержаними в двох послідовних періодах ОЧРК-символу на передбачуваній підсмузі $k + \tilde{f}$, яка зсунута на \tilde{f} від підсмузи k пілот-сигналу (етап 514). Член корекції фази може включатися або може не включатися у взаємну кореляцію, як показано в рівняннях (3) і (10). Результати взаємної кореляції для всіх підсмуз пілот-сигналу накопичуються для одержання статистики $A_n(\tilde{f})$ або $A'_n(\tilde{f})$ рішень для передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти (етап 516). Якщо не були оцінені всі передбачувані відхилення частоти (як визначено на етапі 518), тоді процес повертається на етап 512 до вибраного іншого передбачуваного відхилення частоти для оцінки. Інакше, множину значень метрики одержують з множини статистик рішень, одержаних для всіх передбачуваних відхилень частоти, які були оцінені (етап 520). Метрикою може бути або дійсна частина статистики рішень, або повна статистика рішень.

Відхилення частоти потім оцінюється на основі множини значень метрики (блок 530). Це досягається обчисленням величини (або квадрата величини) кожного значення метрики. Ідентифікується значення метрики в множині з найбільшою вели-

чиною (або найбільшою піднесеною до квадрату величиною) (етап 532). Передбачуване відхилення частоти для цього ідентифікованого значення метрики передбачається як оцінене цілочислове відхилення частоти (етап 534).

Звичайно потрібне виконання оцінки цілочислового відхилення частоти тільки один раз, наприклад, коли приймач перший раз настроюється на передавач або на початку передачі даних після тривалого періоду бездіяльності. Після цього, механізм, що використовується для оцінки і відстеження дробового відхилення частоти, може використовуватися для підтримки захоплення частоти в приймачі.

Фіг.6 зображує блок-схему послідовності операцій процесу 600 виконання кадрової синхронізації в приймачі в ОЧРК-системі. Процес 600 може використовуватися для етапу 316 на Фіг.3.

Спочатку, значення M_n метрики обчислюється для кожного періоду ОЧРК-символу, базуючись на взаємній кореляції між двома прийнятими символами, одержаними в двох послідовних періодах ОЧРК-символу на кожній підсмузі пілот-сигналу, як описано вище (етап 612). Значення M_n метрики одержують після того, як цілочислове відхилення f частоти буде оцінене і видалене або перед ШПФ, або після ШПФ. Для кожного періоду ОЧРК-символу послідовність значень M_n для N_c (наприклад, найостанніших) періодів ОЧРК-символу корелюється з послідовністю значень a_n для одержання значення C_n кореляції для періоду ОЧРК-символу, як показано в рівнянні (13) (етап 614). Значення a_n являють собою очікувані значення для значень M_n при належному вирівнюванні у часі. Потім виконується виявлення піка по значеннях кореляції, одержаних для різних періодів ОЧРК-символу (етап 616). Кадрова синхронізація оголошується тоді, коли виявляється пік кореляції (етап 618). Виявлений пік кореляції може відповідати початку кадру або деякій іншій частині кадру, в залежності від послідовності значень a_n , що використовуються для кореляції.

Кадрова синхронізація може виконуватися на безперервній основі, наприклад, для кожного кадру. Кадрова синхронізація також може виконуватися за потреби, наприклад, на початку кожного пакета даних.

Фіг.7 зображує блок-схему варіанта здійснення ОЧРК-демодулятора 160 в приймачі 150 на Фіг.1. Препроцесор 710 приймає і обробляє вхідні вибірки від блока 154 приймача і забезпечує попередньо оброблені вибірки. Препроцесор 710 може виконувати перетворення частоти вибірки, корекцію дробової і можливо цілочислової частоти, видалення циклічного префікса і т.д., як описано нижче. Блок 720 ШПФ виконує ШПФ по попередньо обробленим вибіркам для кожного прийнятого ОЧРК-символу для одержання прийнятих символів $R_n(k)$.

Блок обчислення метрики/блок 750 оцінки відхилення частоти оцінює цілочислове відхилення частоти в приймачі 150, базуючись на метриці $M_n(f)$ і прийнятих символах $R_n(k)$, як описано вище.

Блок 750 подає оцінене цілочислове відхилення \hat{f} частоти або на препроцесор 710, або на блок 730

корекції частоти. Препроцесор 710 може виконувати корекцію цілочислової частоти перед ШПФ, і блок 730 корекції частоти може виконувати корекцію цілочислової частоти після ШПФ. Блок 760 кадрової синхронізації приймає значення M_n метрики від блока 750 обчислення метрики, виконує кадрову синхронізацію, базуючись на цих значеннях метрики, і подає сигнал Кадрової синхронізації на блок 770 оцінки каналу. Сигнал Кадрової синхронізації вказує початок кожного кадру.

Блок 730 корекції частоти подає скоректовані по частоті символи $\tilde{D}_n(k)$ даних на виявник 740 даних і скоректовані по частоті пілот-символи $\tilde{P}_n(k)$ на блок 770 оцінки каналу. Блок 770 оцінки каналу дескремблює скоректовані по частоті пілот-символи, базуючись на сигналі Кадрової синхронізації, оцінює коефіцієнт посилення каналу, базуючись на дескремблених пілот-символах, і подає оцінки $\hat{a}_n(k)$ коефіцієнта посилення каналу на виявник 740 даних. Виявник 740 даних виконує виявлення даних по скоректованих по частоті символах даних з оцінками коефіцієнта посилення каналу, як показано в рівнянні (14), і видає виявлені символи $\hat{D}_n(k)$ даних.

Фіг.8 зображує блок-схему конкретної конструкції ОЧРК-демодулятора 160. У препроцесорі 710 перетворювач 810 частоти вибірки приймає і перетворює вхідні вибірки (з частотою вибірки) в інтерпольовані вибірки (з частотою елементів сигналу). Частота елементів сигналу належить до частоти елементів сигналу, які складають ОЧРК-символи в передавачі. Частота вибірки належить до частоти, що використовується блоком 154 приймача для оцифровування прийнятого сигналу. Частота вибірки звичайно вибирається більш високою, ніж частота елементів сигналу, щоб спростити фільтрацію в приймачі. Блок 812 добування часу добуває часові співвідношення прийнятих ОЧРК-символів (наприклад, базуючись на циклічному префіксі), визначає межі прийнятих ОЧРК-символів і подає часозадавальні сигнали на інші блоки обробки в ОЧРК-демодуляторі 160 (для простоти не показані на Фіг.8). Виявник 814 дробового відхилення частоти оцінює дробове відхилення частоти в приймачі, базуючись на циклічному префіксі в інтерпольованих вибірках. Фазообертач 816 застосовує корекцію дробового відхилення частоти до інтерпольованих вибірок і видає скоректовані по частоті вибірки. Блок 818 видалення циклічного префікса видаляє циклічний префікс, приєднаний до кожного ОЧРК-символу передавачем, і видає попередньо оброблені вибірки.

Для варіанта здійснення, показаного на Фіг.8, блок обчислення метрики/блок 750 оцінки відхилення частоти використовує метрику, що визначається на основі способу взаємної кореляції. У блоці 750 корелятор 850 виконує взаємну кореляцію по парам прийнятих символів, одержаних в двох послідовних періодах ОЧРК-символу на передбачуваний підсмузі $k + \tilde{f}$. Для кожного передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти взаємна кореляція виконується для кожної підсмузи пілот-сигналу і може

враховувати або може не враховувати корекцію фази для передбачуваного відхилення \tilde{f} частоти. Накопичувач/блок 852 подальшої обробки накопичує результати кореляції для всіх підсмуз для кожного передбачуваного відхилення частоти для одержання статистики $A_n(\tilde{f})$ рішень для цього припущення. Блок 852 виробляє значення $M_n(\tilde{f})$ метрики для кожного передбачуваного відхилення частоти, базуючись на дійсній частині статистики $A_n(\tilde{f})$ рішень або повної статистики $A_n(\tilde{f})$ рішень. Корелятор 850 і накопичувач 852 утворюють блок обчислення метрики. Виявник 854 величини виявляє значення $M_n(\hat{f})$ метрики з найбільшою величиною для кожного періоду ОЧРК-символу. Виявник 854 подає (1) оцінене відхилення \hat{f} частоти на блок 730 корекції частоти або виявник 814 дробового відхилення частоти і (2) значення M_n метрики на блок 760 кадрової синхронізації.

Для варіанта здійснення, показаного на Фіг.8, корелятор 860 в блоці 760 кадрової синхронізації корелює значення M_n метрики зі значеннями a_n і виробляє значення C_n кореляції для кожного періоду ОЧРК-символу. Виявник 862 піка виконує виявлення піка по значенням C_n кореляції для різних періодів ОЧРК-символу і виробляє сигнал Кадрової синхронізації.

Для ясності, як оцінка відхилення частоти, так і кадрова синхронізація були описані для зразкової ОЧРК-системи. Взагалі кажучи, методи оцінки відхилення частоти, описані вище, можуть використовуватися незалежно від кадрової синхронізації. Крім того, методи кадрової синхронізації, описані вище, можуть використовуватися незалежно від оцінки відхилення частоти, що може досягатися різним чином. Методи оцінки відхилення частоти або методи кадрової синхронізації, або методи як оцінки відхилення частоти, так і кадрової синхронізації, описані в даному документі, можуть використовуватися в приймачі, в залежності від його конструкції.

Схема передачі пілот-сигналу, описана вище, підтримує як оцінку відхилення частоти, так і кадрову синхронізацію. Також можуть використовуватися інші схеми передачі пілот-сигналу. Наприклад, пілот-символи можуть передаватися переривистим чином (тобто тільки по позначеним періодам ОЧРК-символу), по різним підсмугам в різні періоди ОЧРК-символу і т.д. Немає необхідності скремблювати пілот-символи з послідовністю ПВЧ для оцінки відхилення частоти. Метрика визначається таким чином, який відповідає і є сумісним зі схемою передачі пілот-сигналу, що використовується ОЧРК-системою.

Методи оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації, описані в даному документі, можуть бути реалізовані різним чином. Наприклад, ці методи можуть бути реалізовані апаратними засобами, програмними засобами або їх комбінацією. Для апаратної реалізації блоки обробки, що використовуються для виконання оцінки відхилення частоти і/або кадрової синхронізації, можуть бути реалізовані в одній або декількох спеціалізованих інтегральних схемах (спеціалізованих IC), проце-

сорах цифрової обробки сигналів (ПЦОС), пристроях цифрової обробки сигналів (ПЦОС), програмованих логічних пристроях (ПЛП), програмованих вентильних матрицях (ПВМ), процесорах, контролерах, мікроконтролерах, мікропроцесорах, інших електронних блоках, розроблених для виконання функцій, описаних в даному документі, або їх комбінації.

Для програмної реалізації методи оцінки відхилення частоти і кадрової синхронізації можуть бути реалізовані за допомогою модулів (наприклад, процедур, функцій і т.д.), які виконують функції, описані в даному документі. Програмні коди можуть зберігатися в блоці пам'яті (наприклад, в блоці 182 пам'яті на Fig.1) і виконуватися процесором (наприклад, контролером 180). Блок пам'яті може бути реалізований в процесорі або поза процесором, в цьому випадку він може бути зв'язаний з можливістю передачі даних з процесором за допомогою різних засобів, які відомі в техніці.

Попередній опис розкритих варіантів здійснення передбачений для того, щоб дати можливість будь-якому фахівцеві в даній галузі техніки виконати або використати даний винахід. Різні модифікації цих варіантів здійснення легко очевидні для фахівця в даній галузі техніки, і узагальнені принципи, визначені в даному документі, можуть бути застосовані до інших варіантів здійснення, не виходячи за межі суті і об'єму винаходу. Таким чином, передбачається, що даний винахід не обмежується варіантами здійснення, показаними в даному документі, але повинен відповідати найбільшому об'єму, що узгоджується з принципами і новими відмітними ознаками, описаними в даному документі.

Перелік посилальних позицій

120 Процесор даних TX

130, 160 ОЧРК-модулятор

132 TMTR

140, 180 Контролер

142, 182 Пам'ять 154 RXVR

170 Процесор даних RX

312 Оцінити цілочислове відхилення частоти, базуючись на метриці $M_n(f)$ і прийнятих символах

314 Усунути оцінене цілочислове відхилення частоти для одержання скоректованих по частоті символів

316 Виконати кадрову синхронізацію, базуючись на метриці $M_n(f)$ і скоректованих по частоті пілот-символах

318 Оцінити коефіцієнт посилення каналу, базуючись на скоректованих по частоті пілот-символах

320 Виконати виявлення даних по скоректованих по частоті символах даних з оцінками коефіцієнта

посилення каналу для одержання виявлених символів даних

322 Надати послідовність виявлених символів даних для кадру

512 Вибрати передбачуване відхилення \tilde{f} частоти

514 Для кожної підсмуги k пілот-сигналу обчислити взаємну кореляцію між двома прийнятими символами, одержаними в двох періодах ОЧРК-символу на передбачуваній підсмугі $k + \tilde{f}$

516 Виконати накопичення результатів взаємної кореляції для всіх під смуг пілот-сигналу для одержання статистики рішень для передбачуваного відхилення частоти

518 Інше передбачуване відхилення частоти?

520 Одержати множину значень метрики для множини статистик рішень для всіх передбачуваних відхилень частоти

532 Ідентифікувати значення метрики в множині з найбільшою величиною

534 Надати передбачуване відхилення частоти для ідентифікованого значення метрики як оцінене цілочислове відхилення частоти

612 Обчислити значення M_n метрики для кожного періоду n ОЧРК-символу

614 Для кожного періоду n ОЧРК-символу виконати кореляцію послідовності значень M_n метрики для N_c (найостанніших) періодів ОЧРК-символу з послідовністю значень a_n для одержання значення C_n кореляції для періоду n ОЧРК-символу

616 Виконати виявлення піка по значенням C_n кореляції, одержаним для різних періодів ОЧРК-символу

618 Оголосити кадрову синхронізацію, коли виявляється пік кореляції

710 Препроцесор

720 ШПФ

730 Корекція цілочислового відхилення частоти

740 Виявник даних

750 Обчислення метрики/блок оцінки відхилення частоти

760 Блок кадрової синхронізації

770 Блок оцінки каналу

810 Перетворювач частоти вибірки

812 Добування часу

814 Виявник дробового відхилення частоти

816 Фазообертач

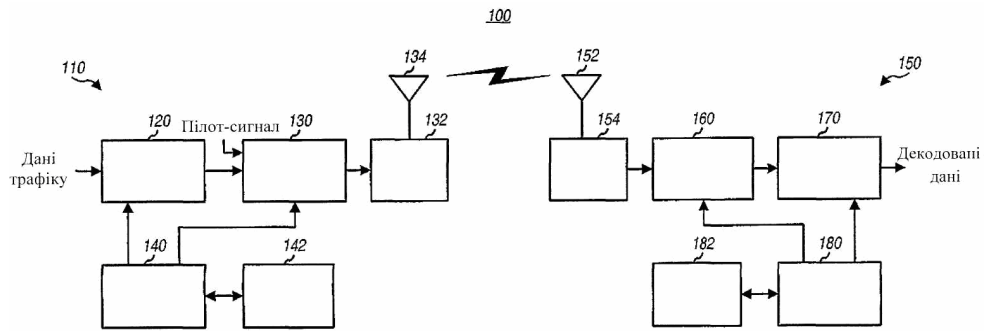
818 Видалення циклічного префікса

850, 860 Корелятор

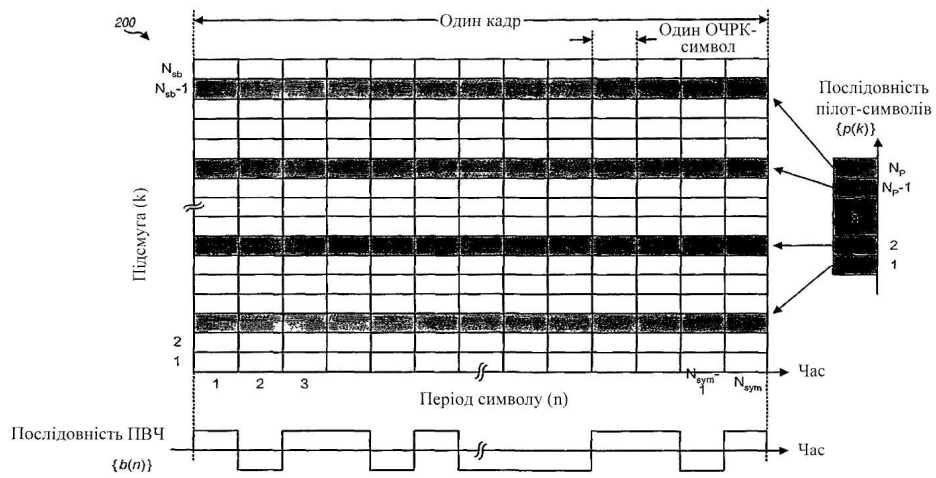
852 Накопичення/подальша обробка

854 Виявник величини

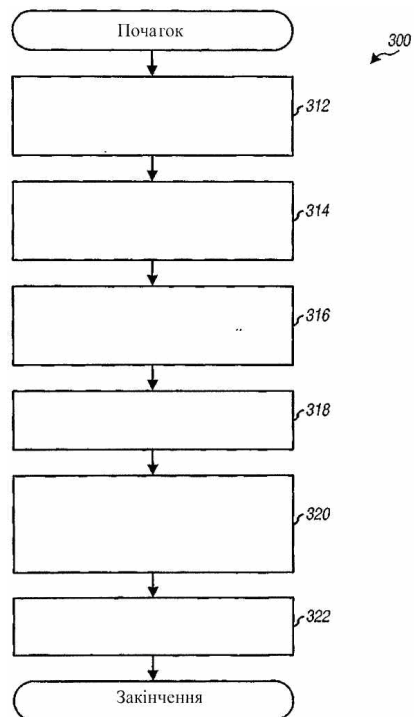
862 Виявник піка



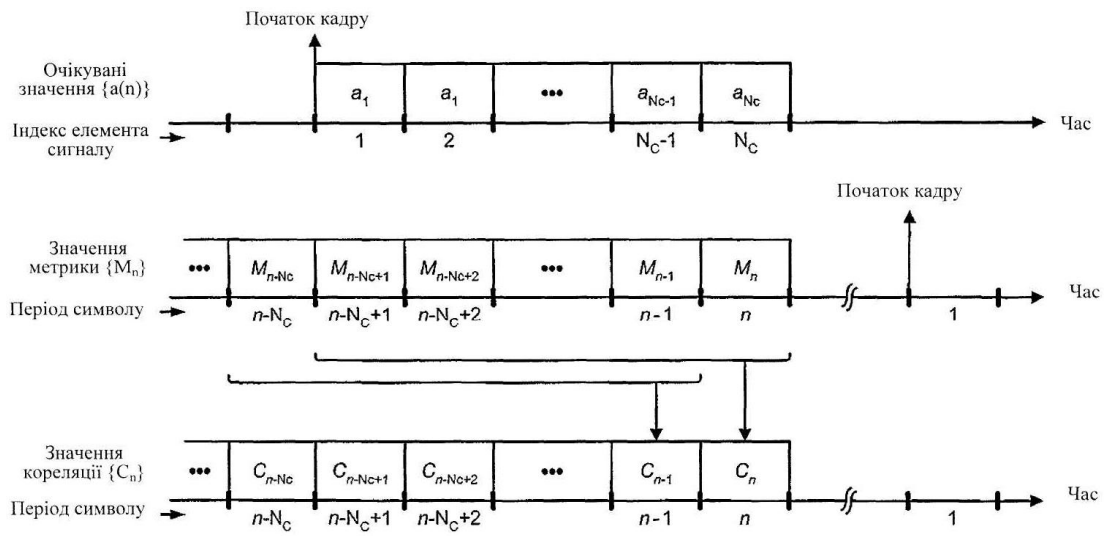
Фіг. 1



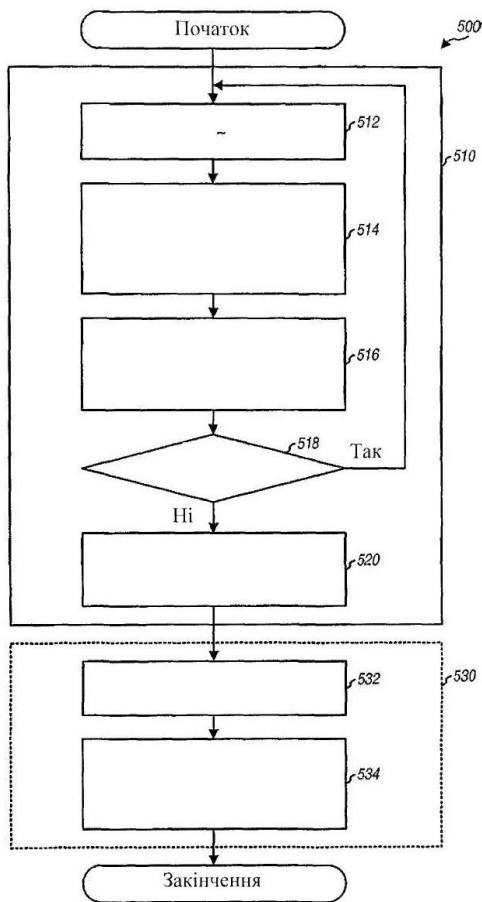
Фіг. 2



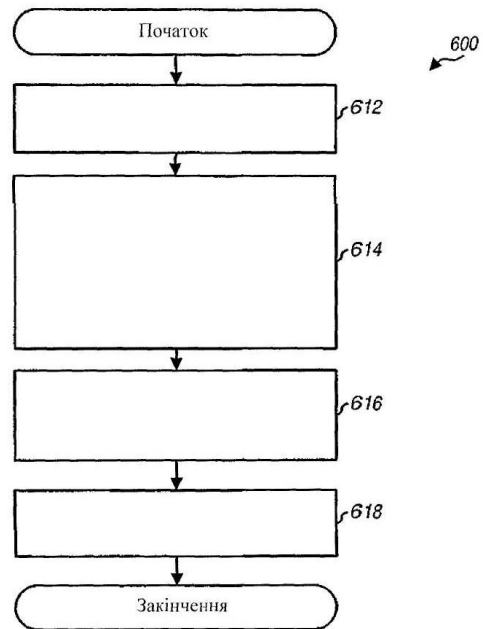
Фіг. 3



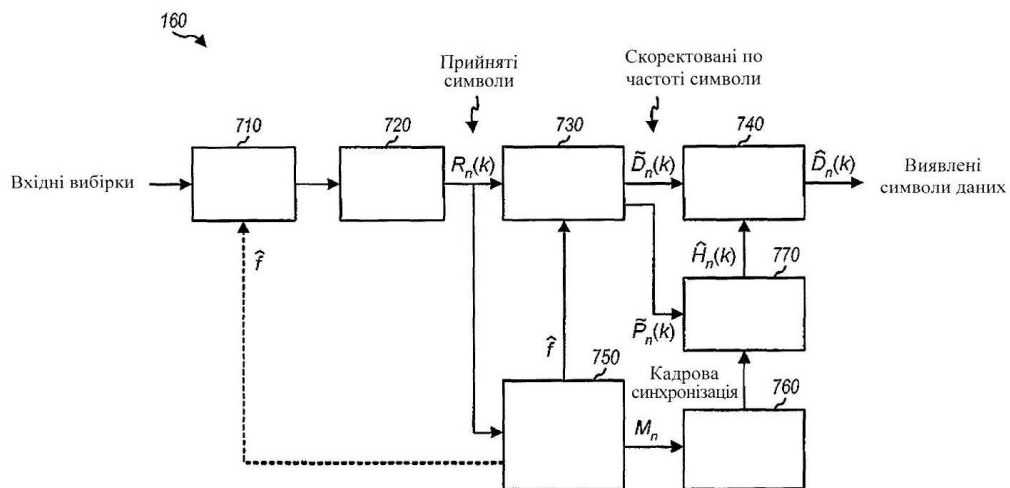
Фіг. 4



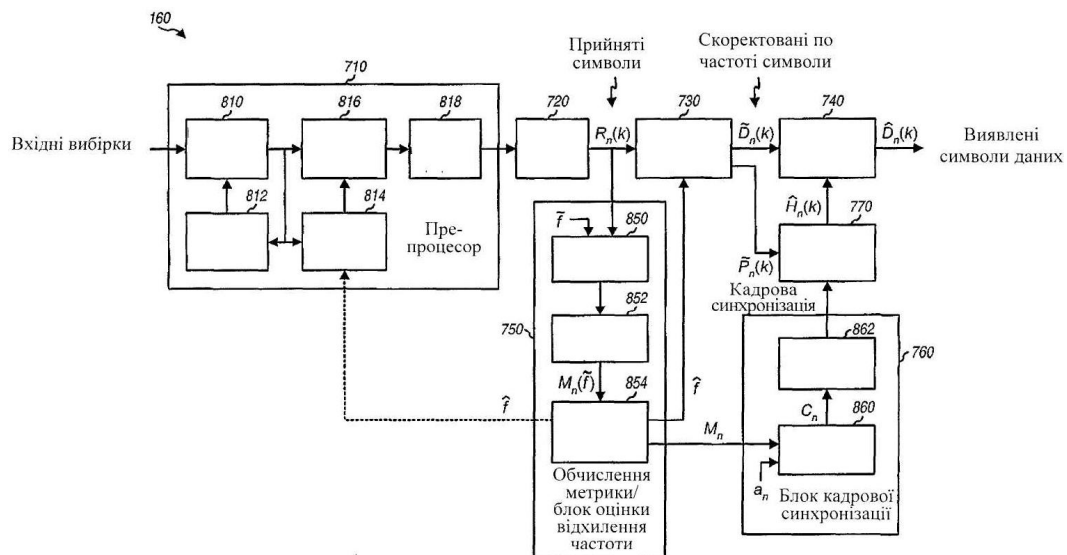
Фіг. 5



Фіг. 6



Фіг. 7



Фіг. 8