

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 861 836** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
[H04J 13/12 \(2011.01\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 13.05.2026)

Начисление для уплаты
пошлины за поддержание
патента в силе

(52) СПК

[H04J 13/00 \(2026.01\)](#); [H04J 13/12 \(2026.01\)](#)(21)(22) Заявка: [2025133501](#), 01.12.2025(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.12.2025Дата регистрации:
13.05.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.12.2025

(45) Опубликовано: [13.05.2026](#) Бюл. № 14(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2214681 C2, 20.10.2003. RU
2521961 C2, 10.07.2014. CN 101651468 A,
17.02.2010. US 20190334694 A1, 31.10.2019.
US 20210036796 A1, 04.02.2021.

Адрес для переписки:

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая
Морская, 67, лит. А, ГУАП, ЦКНИ

(72) Автор(ы):

Григорьев Евгений Константинович (RU),
Куртяник Даниил Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

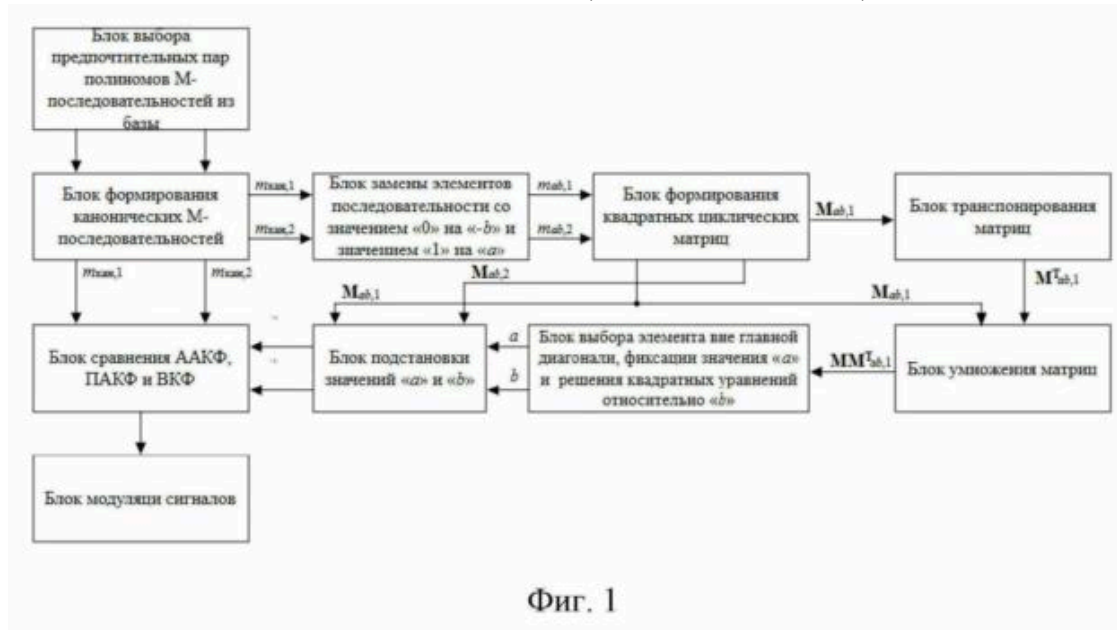
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения" (RU)

(54) Способ формирования квазиортогональных кодовых последовательностей максимальной длины

(57) Реферат:

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике. Технический результат заключается в уменьшении количества уровней периодической взаимнокорреляционной функции генерируемых квазиортогональных кодовых последовательностей при сохранении свойств аperiodической и периодической автокорреляционной функции. Такой результат достигается тем, что на основе канонической M -последовательности формируют квадратную матрицу путем циклического сдвига вправо первой строки, данную матрицу умножают на ее транспонированную матрицу, формируют две канонические M -последовательности $m_{\text{кан},1}$ и $m_{\text{кан},2}$ порядка n и длины $N=2^n-1$ на основе набора предпочтительных пар примитивных полиномов, в канонических M -последовательностях значение 0 заменяют на $-b$, а значение 1 на a , из полученных двух последовательностей $m_{\text{ab},1}$ и $m_{\text{ab},2}$ формируют квадратные циклические матрицы $M_{\text{ab},1}$ и $M_{\text{ab},2}$ левосторонним циклическим сдвигом на один элемент, матрицу $M_{\text{ab},1}$ умножают на саму себя транспонированную $M_{\text{ab},1}^T$, в матрице $MM_{\text{ab},1}^T$, являющейся результатом умножения $M_{\text{ab},1}$ и $M_{\text{ab},1}^T$, выбирают элемент вне главной диагонали и приравнивают его к нулю с присвоением значению a , путем решения квадратного уравнения вычисляют значение

b , вычисленные значения a и b подставляют в матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ соответственно, проверяют их на ортогональность, после чего формируют сложные сигналы, на основе строк матриц $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$. 1 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике и может быть использовано в системах связи, локации и навигации, использующих сложные сигналы на основе M -последовательностей.

Широкое применение канонических M -последовательностей в качестве основы сложных сигналов в системах связи, локации и навигации, обусловлено рядом их известных свойств. К основным можно отнести низкую вычислительную сложность формирования канонических M -последовательностей, довольно низкий уровень боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции (ААКФ), а также одноуровневость периодической автокорреляционной функции (ПАКФ). Данные кодовые последовательности хорошо изучены и широко апробированы на практике.

Известен способ для формирования M -последовательностей (Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985. - 384 с., ил. стр. 54). В основе логики последовательности действий данного способа заложены сдвигающие регистры с триггерами, для функционирования которых необходимо знать характеристический полином определенной степени.

Недостатком способа является то, что канонические M -последовательности одинаковой длины, генерируемые полиномами одного порядка, не являются ортогональными или квазиортогональными, что приводит к их деструктивным воздействиям двух на друга, что ограничивает их применение в пространственно-распределенных системах, поскольку приводит к необходимости формирования производных систем сигналов, например на базе кодов Уолша.

Известен «Способ формирования комплексного квазиортогонального кода» (Патент РФ № 2214681, МПК H04B 1/69, опубл. 20.10.2003, Бюл. №29). Данный способ включает формирование M -последовательности, имеющей длину N , и специальной последовательности, имеющей хорошую полную корреляцию с M -последовательностью; формирование заранее установленного количества других специальных последовательностей путем циклического сдвига упомянутой специальной последовательности; формирование заранее установленного количества других M -последовательностей путем циклического сдвига упомянутой M -последовательности и перестановку столбцов специальных циклически сдвинутых последовательностей способом, аналогичным способу перестановки столбцов для преобразования сформированных M -последовательностей в ортогональные коды Уолша для формирования масок-кандидатов; формирование образцов ортогональных кодов путем использования масок-кандидатов и ортогональных кодов Уолша, имеющих ту же длину, что и маски-кандидаты с последующим выбором квазиортогональных кодов-кандидатов, удовлетворяющих предельному значению частной корреляции между ортогональными кодами Уолша и образцами квазиортогональных кодов и частной корреляции между различными образцами квазиортогональных кодов, выбор масок подходящих для создания выбранных квазиортогональных кодов.

Недостатком указанного способа является то, что формируемые квазиортогональные коды являются комплексными с алфавитом $\{1, -1, j, -j\}$, что усложняет методы и устройства обработки сигналов с применением указанных последовательностей.

Наиболее близким по технической сути является способ, описанный в работе (Поиск и модификация кодовых последовательностей на основе персимметричных квазиортогональных циркулянтов / Е. К. Григорьев, В. А. Ненашев, А. М. Сергеев, Е. В. Самохина // Телекоммуникации. – 2020. – № 10. – С. 27-33.)

В указанном способе на основе канонической M -последовательности со значениями элементов «0» и «1» формируют квадратную матрицу, путем циклического сдвига вправо первой строки, в полученной матрице все элементы со значением «0» заменяют на неопределенное значение «-b», данную матрицу умножают на её транспонированную матрицу, в результирующей матрице для нахождения элемента «b» элемент лежащий вне главной диагонали матрицы приравнивают к нулю и решают квадратное уравнение с выбором корня, который по модулю меньше единицы, полученное значение «b» подставляют обратно в матрицу.

Недостатком способа-прототипа являются неудовлетворительные взаимнокорреляционные свойства, а именно высокое количество уровней периодической взаимнокорреляционной функции (ПВКФ).

Задачей изобретения является улучшение взаимнокорреляционных свойств формируемых квазиортогональных кодовых последовательностей при сохранении свойств ААКФ и ПАКФ прототипа.

Техническим результатом заявляемого изобретения является уменьшенное количество уровней ПВКФ генерируемых квазиортогональных кодовых последовательностей при сохранении свойств ААКФ и ПАКФ прототипа.

Технический результат достигается тем, что в способе формирования квазиортогональных кодовых последовательностей максимальной длины, заключающимся в том, что на основе канонической M -последовательности формируют квадратную матрицу, путем циклического сдвига вправо первой строки, в полученной матрице все элементы со значением «0» заменяют на неопределенное значение «-b», данную матрицу умножают на её транспонированную матрицу, в результирующей матрице для нахождения элемента «b» элемент лежащий вне главной диагонали матрицы приравнивают к нулю и решают квадратное уравнение с выбором корня, который по модулю меньше единицы, полученное значение «b» подставляют обратно в матрицу, при этом формируют две канонические M -последовательности $m_{кан,1}$ и $m_{кан,2}$ порядка n и длины $N=2^n-1$ на основе заранее сформированного набора предпочтительных пар примитивных полиномов таким образом, что две сформированные канонические M -последовательности будут иметь максимальный уровень периодической взаимнокорреляционной функций (ПВКФ) не превышающий значения $2^{(n+2)/2} + 1$, затем в канонических M -последовательностях значение «0» заменяют на «-b», а значение «1» на «a», из полученных двух последовательностей $m_{ab,1}$ и $m_{ab,2}$ формируют квадратные циклические матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ путем левостороннего циклического сдвига на один элемент, матрицу $M_{ab,1}$ затем умножают на саму себя транспонированную $M_{ab,1}^T$, в матрице $MM_{ab,1}^T$ являющейся результатом умножения $M_{ab,1}$ и $M_{ab,1}^T$ выбирают элемент вне главной диагонали и приравнивают его к нулю с присвоением значению «a» псевдослучайного целого или вещественного числа и затем путем решения квадратного уравнения вычисляют значение «b», вычисленные значения «a» и «b» подставляют в матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ соответственно, после чего их проверяют на ортогональность и убеждаются, что строки этих матриц облают меньшим уровнем бокового лепестка аperiodической автокорреляционной функции чем у соответствующих канонических M -последовательностей $m_{кан,1}$ и $m_{кан,2}$, убеждаются что количество уровней периодической автокорреляционной и взаимнокорреляционной функций не изменилось, после чего формируют сложные сигналы, на основе строк матриц $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$.

Технический результат достигается тем, что в предлагаемом способе заранее отображены пары примитивных полиномов с требуемыми свойствами ПВКФ, а также за счет введения новых вещественных значений для каждой модифицированной M -последовательности и дополнительно за счет введения левостороннего циклического сдвига, что позволяет сформировать наборы квазиортогональных кодовых последовательностей с улучшенными ПВКФ, при сохранении свойств ААКФ и ПАКФ

и дополнительно позволяет формировать циклические матрицы симметричной конструкции на основе указанных модифицированных М-последовательностей.

Сущность изобретения поясняется структурной схемой, представленной на фиг. 1.

Заявляемый способ реализуется благодаря следующей последовательности действий:

1) Формируют набор предпочтительных пар примитивных полиномов порядков n для которых максимальный уровень ПВКФ формируемых канонических М-последовательностей не превышает значения $2^{(n+2)/2}+1$.

2) Определяют необходимую длину N М-последовательностей, выбирают полиномы соответствующего порядка n из набора полученного на шаге 1 генерируют 2 канонические М-последовательности $m_{\text{кан},1}$ и $m_{\text{кан},2}$.

3) В сформированных на шаге 2 канонических М-последовательностях элементы со значением «0» заменяют на «-b», а элементы со значением «1» на «a» соответственно и получают последовательности $m_{ab,1}$ и $m_{ab,2}$.

4) Из сформированных на шаге 3 последовательностей $m_{ab,1}$ и $m_{ab,2}$ формируют квадратные циклические матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ путем левостороннего циклического сдвига первой строки.

5) Матрицу $M_{ab,1}$ полученную на шаге 4 умножают на саму себя транспонированную получая квадратную матрицу $MM_{ab,1}^T$.

6) У матрицы $MM_{ab,1}^T$ полученной на шаге 5 выбирают элемент, не лежащий на главной диагонали матрицы представляющий собой многочлен второй степени.

7) Многочлен, полученный на шаге 6 приравнивают к нулю получая квадратное уравнение, значение «a» в этом уравнении заменяют на псевдослучайное целое или вещественное число, затем решают квадратное уравнение относительно элемента «b», выбирая наименьший по модулю корень уравнения в качестве значения «b».

8) Полученные на шаге 7 значения «a» и «b» подставляют в квадратные циклические матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ полученные на шаге 4 получая циклические квазиортогональные матрицы $M_{ab,1}^{\text{орп}}$ и $M_{ab,2}^{\text{орп}}$.

9) Вычисляют значения ААКФ, ПАКФ и ПВКФ канонических М-последовательностей полученных на шаге 2 и строк циклических квазиортогональных матриц $M_{ab,1}^{\text{орп}}$ и $M_{ab,2}^{\text{орп}}$.

10) Убеждаются, что значения боковых лепестков ААКФ строк циклической квазиортогональной матрицы $M_{ab,1}^{\text{орп}}$ полученные на шаге 9 ниже, чем максимальное значение бокового лепестка ААКФ канонической М-последовательности $m_{\text{кан},1}$ полученное на шаге 9.

11) Убеждаются, что значения боковых лепестков ААКФ строк циклической квазиортогональной матрицы $M_{ab,2}^{\text{орп}}$ полученные на шаге 9 ниже, чем максимальное значение бокового лепестка ААКФ канонической М-последовательности $m_{\text{кан},2}$ полученное на шаге 9.

12) Убеждаются что количество уровней ПАКФ и ПВКФ у строк циклических квазиортогональных матриц $M_{ab,1}^{\text{орп}}$ и $M_{ab,2}^{\text{орп}}$ не изменилось по сравнению с соответствующим количеством уровней ПАКФ и ПВКФ канонических М-последовательностей $m_{\text{кан},1}$ и $m_{\text{кан},2}$.

Формула изобретения

Способ формирования квазиортогональных кодовых последовательностей максимальной длины, заключающийся в том, что на основе канонической М-последовательности формируют квадратную матрицу путем циклического сдвига вправо первой строки, в полученной матрице все элементы со значением 0 заменяют на неопределенное значение -b, данную матрицу умножают на ее транспонированную матрицу, в результирующей матрице для нахождения элемента b элемент, лежащий вне главной диагонали матрицы, приравнивают к нулю и решают квадратное уравнение с выбором корня, который по модулю меньше единицы, полученное значение b подставляют обратно в матрицу, отличающийся тем, что формируют две канонические М-последовательности $m_{\text{кан},1}$ и $m_{\text{кан},2}$ порядка n и длины $N=2^n-1$ на основе заранее сформированного набора предпочтительных пар примитивных полиномов таким образом, что две сформированные канонические М-последовательности будут иметь максимальный уровень периодической

взаимнокорреляционной функции, не превышающий значения $2^{(n+2)/2} + 1$, затем в канонических М-последовательностях значение 0 заменяют на $-b$, а значение 1 на a , из полученных двух последовательностей $m_{ab,1}$ и $m_{ab,2}$ формируют квадратные циклические матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ путем левостороннего циклического сдвига на один элемент, матрицу $M_{ab,1}$ затем умножают на саму себя транспонированную $M_{ab,1}^T$, в матрице $MM_{ab,1}^T$, являющейся результатом умножения $M_{ab,1}$ и $M_{ab,1}^T$, выбирают элемент вне главной диагонали и приравнивают его к нулю с присвоением значению a псевдослучайного целого или вещественного числа и затем путем решения квадратного уравнения вычисляют значение b , вычисленные значения a и b подставляют в матрицы $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$ соответственно, после чего их проверяют на ортогональность и убеждаются, что строки этих матриц обладают меньшим уровнем бокового лепестка апериодической автокорреляционной функции, чем у соответствующих канонических М-последовательностей $m_{кан,1}$ и $m_{кан,2}$, убеждаются, что количество уровней периодической автокорреляционной и взаимнокорреляционной функций не изменилось, после чего формируют сложные сигналы, на основе строк матриц $M_{ab,1}$ и $M_{ab,2}$.



Фиг. 1