

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** **2 870 893** (13) **C1**

(51) МПК

G01S 13/00 (2006.01)H03K 3/84 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 29.09.2026)

Начисление для уплаты
пошлины за поддержание
патента в силе

(52) СПК

G01S 13/26 (2026.01); G01S 13/32 (2026.01); H03K 3/00 (2026.01); H03K 3/84 (2026.01); H03M 13/00 (2026.01)(21)(22) Заявка: [2025133498](#), 01.12.2025(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.12.2025Дата регистрации:
29.09.2026Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **01.12.2025**(45) Опубликовано: [29.09.2026](#) Бюл. № **28**(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2831289 C1, 03.12.2024. RU 2276385 C1, 10.05.2006. RU 2782343 C1, 26.10.2022. RU 2801743 C1, 15.08.2023. SU 394816 A1, 10.01.2014. RU 2503971 C1, 10.01.2014. ЧЕМБАРИСОВА Р.И., НЕНАШЕВ В.А. БЕСТУГИН А.Р., КИРШИНА И.А., НЕНАШЕВ С.А. Поиск комплексных М-последовательностей для фазовой модуляции сигнально-кодовых конструкций в системах бортового****контроля // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 25.05.2025, т. 19 N 5, сс. 27-37. US 5136611 A, 04.08.1992. JP 2009124499 A, 04.06.2009. US 2002013797 A1, 31.01.2002.**Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, лит. А, ФГАОУ ВО "ГУАП", ЦКНИ

(72) Автор(ы):

**Ненашев Вадим Александрович (RU),
Чембарисова Рената Ильдаровна (RU),
Ненашев Сергей Александрович (RU),
Бестугин Александр Роальдович (RU),
Кирина Ирина Анатольевна (RU),
Саута Олег Игоревич (RU),
Рыжов Константин Юрьевич (RU),
Степанов Георгий Юрьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

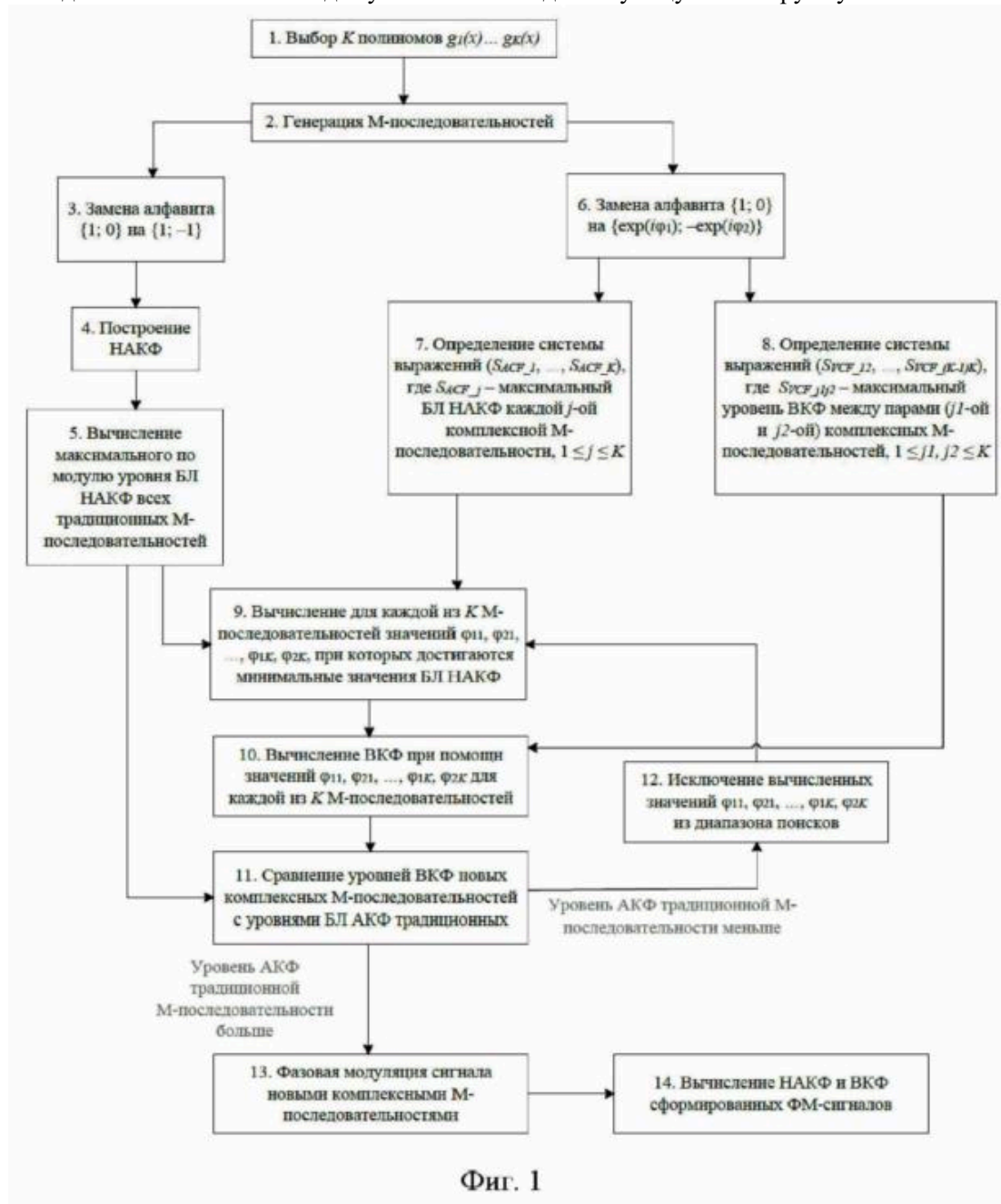
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения" (RU)

(54) Способ формирования фазомодулированных сигналов в многопозиционной системе бортовых радиолокационных станций (РЛС)

(57) Реферат:

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике и может быть использовано в различных системах локации и многопозиционных пространственно-распределенных системах генерации маркированных конструкций. Техническим результатом является обеспечение более низких уровней боковых лепестков апериодической и периодической нормированной автокорреляционной функции, чем у традиционных М-последовательностей, при этом уровни взаимокорреляционной

функции не будут превышать уровни автокорреляционной функции. Заявленный способ реализует поиск комплексных М-последовательностей за счет введения новых комплексных значений для каждой из кодовых структур, генерируемой в рамках группы полиномов одного порядка, что позволяет однозначно идентифицировать модулированные этой новой комплексной М-последовательностью сигналы при приеме в общем радиолокационном канале, при одновременном их излучении с К позиций многопозиционной системы бортовых РЛС, разнесенных в пространстве и объединенных в единую взаимодействующую группу. 1 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике и может быть использовано в различных системах локации и многопозиционных пространственно-распределенных системах генерации маркированных конструкций.

Использование М-последовательностей для создания сигнально-кодовых конструкций предлагает ряд преимуществ в различных системах обнаружения, включая навигацию. К их достоинствам относятся простота генерации традиционных М-последовательностей, автокорреляционная функция (АКФ) М-последовательностей, которая демонстрирует резкий спад уровня боковых лепестков (БЛ) около максимума, при этом сохраняя стабильный уровень БЛ на всем временном интервале. Кроме того, такие последовательности хорошо исследованы и проверены на практике.

Известен «Генератор М-последовательностей» (Патент СССР № 754658 А1, МПК Н03К 3/84. Оpubл. 11.08.1980 г., бюл. № 24). Этот способ описывает устройство, осуществляющее генерацию традиционных бинарных М-последовательностей.

Недостатком изобретения является высокий уровень боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции (ААКФ).

Известен «Способ повышения разрешающей способности по дальности радиолокационной станции» (Патент РФ № 2596229, МПК G01S 13/24, опубл. 10.09.2016, бюл. № 25). Способ включает формирование пачки из N импульсов сигнала на различных несущих частотах, модуляцию каждого импульса ортогональными М-последовательностями, последовательное излучение и прием сигналов, их свертку с опорными сигналами и доплеровскую фильтрацию для формирования элементов разрешения по дальности. Это позволяет подавить помеховые сигналы, принимаемые с кратных дальностей, и улучшить соотношение сигнал/шум.

М-последовательности, генерирующиеся полиномами одного порядка, не являются ортогональными, что приводит к обнаружению эхо-сигналов, деструктивно воздействующих двух на друга в совместных радиолокационных каналах бортовых радиолокационных станций (РЛС) при многопозиционном режиме работы.

Наиболее близким по технической сущности аналогом, принятым за прототип предлагаемого изобретения, является «Способ формирования М-последовательностей для генерации сигнально-кодовых конструкций» (Патент РФ № 2831289 С1, МПК H03K 3/00, H03M 13/00. Опубл. 03.12.2024, бюл. № 34). Основная цель изобретения - генерация М-последовательностей с измененным алфавитом $\{p; q\}$. Сгенерированные таким образом последовательности показывают более низкие уровни БЛ АКФ в сравнении с традиционными. Уровень взаимокорреляционной функции (ВКФ) нескольких таких последовательностей достаточно низок, что позволяет их использование в многопозиционных системах бортовых РЛС.

Недостатком прототипа является ограниченность в улучшении спектральных характеристик сигнала, что делает его менее устойчивым к помехам и искажениям.

Задачей заявляемого изобретения является способ создания сигнально-кодовых конструкций на основе новых комплексных М-последовательностей.

Техническим результатом заявляемого способа является обеспечение более низких уровней БЛ апериодической и периодической НАКФ, чем у традиционных М-последовательностей, при этом уровни ВКФ не будут превышать уровни АКФ.

Технический результат достигается тем, что в способе формирования фазомодулированных сигналов в многопозиционной системе бортовых радиолокационных станций (РЛС), заключающимся в том, что излучаемый сигнал преобразуют комплексной М-последовательностью, полученной в результате сложения по модулю два двух исходных последовательностей, сгенерированных по одному закону $a_k = b_1 a_{m-1} \oplus b_2 a_{m-2} \oplus \dots \oplus b_n a_{m-n}$, где $m > n$, с учетом того, что число исходных последовательностей находится в диапазоне от 2 до K , где K - количество порождающих полиномов, имеющих один порядок L , причем количество K связано с количеством позиций излучающих бортовых радиолокационных станций в многопозиционной системе, после чего производят генерацию K М-последовательностей одной длины $N=2^L-1$, у которых значения пары $\{1; 0\}$ приводят к паре $\{1; -1\}$, и для этих последовательностей строят нормированные к единице автокорреляционные функции, по которым определяют максимальные по модулю уровни боковых лепестков, дополнительно в сгенерированных ранее М-последовательностях значения пары $\{1; 0\}$ приводят к паре $\{\exp(i \cdot \phi_1); -\exp(i \cdot \phi_2)\}$, где ϕ - угол направления единичного вектора на комплексной плоскости, который также является начальной фазой элементарных импульсов при генерации фазомодулированного сигнала, после чего определяют систему выражений $S_{ACF_1}, \dots, S_{ACF_K}$, где S_{ACF_j} является максимальным боковым лепестком нормированной автокорреляционной функции для каждой j -ой М-последовательности, определяют систему $S_{VCF_12}, \dots, S_{VCF_{(K-1)K}}$, где $S_{VCF_{j1j2}}$ является максимальным уровнем взаимокорреляционной функции между парами ($j1$ -ой и $j2$ -ой) М-последовательностей, после чего вычисляют оптимальные значения $\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{1K}, \phi_{2K}$, при которых максимальные по модулю боковые лепестки нормированной к единице автокорреляционной функции комплексных М-последовательностей достигают наименьшего значения, одновременно с этим они ниже боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции М-последовательностей, после при помощи найденных значений ϕ вычисляют взаимные корреляционные функции для пар комплексных М-последовательностей, их уровни сравнивают с уровнями боковых лепестков автокорреляционной функции М-последовательностей, при условии, что уровни взаимокорреляционной функции ниже уровней автокорреляционной функции, производят фазовую модуляцию сигнала комплексными М-последовательностями, а

также осуществляют проверку корреляционных свойств полученных сигналов, если уровни взаимокорреляционной функции выше уровней автокорреляционной функции, то производят исключение вычисленных значений ϕ , после чего производят их новый поиск.

Технический результат достигается тем, что предлагаемый способ реализует поиск комплексных М-последовательностей за счет введения новых комплексных значений для каждой из кодовых структур, генерируемой в рамках группы полиномов одного порядка, что позволяет однозначно идентифицировать модулированные этой новой комплексной М-последовательностью сигналы при приеме в общем радиолокационном канале, при одновременном их излучении с K позиций многопозиционной системы бортовых РЛС, разнесенных в пространстве и объединенных в единую взаимодействующую группу.

Сущность заявляемого изобретения поясняется структурной схемой, изображенной на фиг. 1.

Заявляемый способ реализуется при выполнении следующих действий:

- 1) Выбирают K различных полиномов одного порядка L : $(g_1(x), \dots, g_K(x))$;
- 2) Генерируют М-последовательности длины $N = 2^L - 1$ по выбранным полиномам, число которых равно K ;
- 3) В каждой из K М-последовательностей алфавит вида $\{1; 0\}$ заменяют на значения $\{1; -1\}$;
- 4) Строят НАКФ М-последовательностей;
- 5) Вычисляют максимальный по модулю уровень БЛ НАКФ для K М-последовательностей;
- 6) Алфавит М-последовательностей, полученных на шаге 2, меняют с $\{1; 0\}$ на $\{\exp(i \cdot \phi_1); -\exp(i \cdot \phi_2)\}$, где ϕ - угол направления единичного вектора на комплексной плоскости, который также является начальной фазой элементарных импульсов при генерации ФМ-сигнала;
- 7) Определяют систему выражений $(S_{ACF_1}, \dots, S_{ACF_K})$, где каждый ее элемент S_{ACF_j} является максимальным боковым лепестком НАКФ для каждой j -ой комплексной М-последовательности, $1 \leq j \leq K$;
- 8) Определяют систему выражений $(S_{VCF_12}, \dots, S_{VCF_(K-1)K})$, где каждый ее элемент S_{VCF_jlj2} является максимальным уровнем ВКФ между парами ($j1$ -ой и $j2$ -ой) комплексных М-последовательностей, $1 \leq j1, j2 \leq K$;
- 9) Определяют такие значения $\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{1K}, \phi_{2K}$, при которых максимальные по модулю БЛ НАКФ М-последовательностей, полученных на шаге 5, достигают наименьшего значения, а также они меньше, чем у комплексных;
- 10) При помощи $\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{1K}, \phi_{2K}$ вычисляют ВКФ K комплексных М-последовательностей;
- 11) Сравнивают уровни ВКФ комплексных М-последовательностей с уровнями БЛ АКФ М-последовательностей, полученных на шаге 5;
- 12) Если уровни БЛ АКФ М-последовательностей, полученных на шаге 5, ниже уровней ВКФ комплексных, то вычисленные на шаге 12 значения $\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{1K}, \phi_{2K}$ исключают из диапазона поисков и действия, начиная с шага 12, повторяют;
- 13) Если уровни БЛ АКФ М-последовательностей, полученных на шаге 5, выше уровней ВКФ комплексных, то производят фазовую модуляцию ФМ излучаемых сигналов сгенерированными комплексными М-последовательностями;
- 14) Проводят проверку автокорреляционных и взаимокорреляционных свойств сгенерированных сигналов.

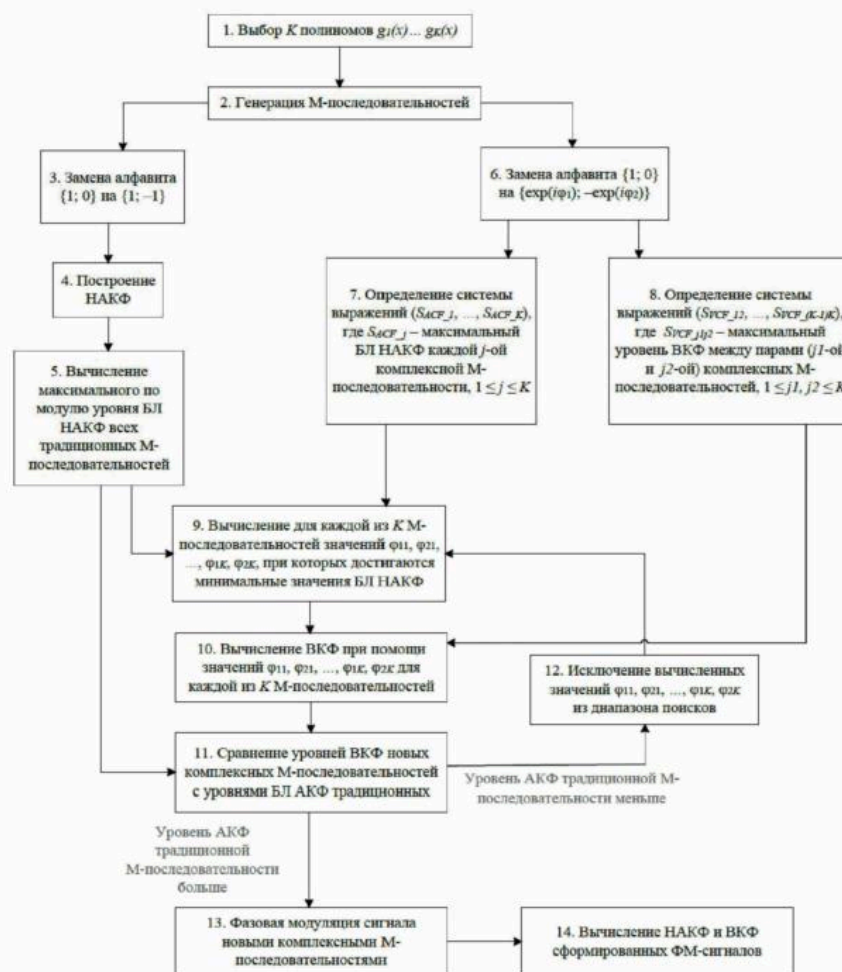
Результатом выполненного исследования являются ФМ-сигналы, чьи БЛ НАКФ достигают наименьших значений при достаточно низком уровне ВКФ между всеми сигналами. Таким образом достигается возможность использования таких сигналов в многопозиционных системах бортовых РЛС.

Изобретение было реализовано на базе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в рамках НИР «Разработка новых методов по формированию и обработке потоков радиолокационных кадров в пространственно-распределенных системах технического зрения и группового взаимодействия беспилотных летательных аппаратов».

Формула изобретения

Способ формирования фазомодулированных сигналов в многопозиционной системе бортовых радиолокационных станций (РЛС), заключающийся в том, что

излучаемый сигнал преобразуют комплексной М-последовательностью, полученной в результате сложения по модулю два двух исходных последовательностей, сгенерированных по одному закону $a_k = b_1 a_{m-1} \oplus b_2 a_{m-2} \oplus \dots \oplus b_n a_{m-n}$, где $m > n$, с учетом того, что число исходных последовательностей находится в диапазоне от 2 до K , где K – количество порождающих полиномов, имеющих один порядок L , причем количество K связано с количеством позиций излучающих бортовых радиолокационных станций в многопозиционной системе, после чего производят генерацию K М-последовательностей одной длины $N=2^L-1$, у которых значения пары $\{1; 0\}$ приводят к паре $\{1; -1\}$, и для этих последовательностей строят нормированные к единице автокорреляционные функции, по которым определяют максимальные по модулю уровни боковых лепестков, отличающийся тем, что в сгенерированных ранее М-последовательностях значения пары $\{1; 0\}$ приводят к паре $\{\exp(i \cdot \phi_1); -\exp(i \cdot \phi_2)\}$, где ϕ – угол направления единичного вектора на комплексной плоскости, который также является начальной фазой элементарных импульсов при генерации фазомодулированного сигнала, после чего определяют систему выражений $S_{ACF_1}, \dots, S_{ACF_K}$, где S_{ACF_j} является максимальным боковым лепестком нормированной автокорреляционной функции для каждой j -ой М-последовательности, определяют систему $S_{VCF_12}, \dots, S_{VCF_{(K-1)K}}$, где $S_{VCF_{j1j2}}$ является максимальным уровнем взаимокорреляционной функции между парами ($j1$ -ой и $j2$ -ой) М-последовательностей, после чего вычисляют оптимальные значения $\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{1K}, \phi_{2K}$, при которых максимальные по модулю боковые лепестки нормированной к единице автокорреляционной функции комплексных М-последовательностей достигают наименьшего значения, одновременно с этим они ниже боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции М-последовательностей, после при помощи найденных значений ϕ вычисляют взаимные корреляционные функции для пар комплексных М-последовательностей, их уровни сравнивают с уровнями боковых лепестков автокорреляционной функции М-последовательностей, при условии, что уровни взаимокорреляционной функции ниже уровней автокорреляционной функции, производят фазовую модуляцию сигнала комплексными М-последовательностями, а также осуществляют проверку корреляционных свойств полученных сигналов, если уровни взаимокорреляционной функции выше уровней автокорреляционной функции, то производят исключение вычисленных значений ϕ , после чего производят их новый поиск.



Фиг. 1