

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 831 289** (13) **C1**

(51) МПК

[H03K 3/00 \(2006.01\)](#)[H03M 13/00 \(2006.01\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 11.12.2024)

Пошлина: учтена за 5 год с 27.04.2028 по 26.04.2029. Установленный срок для уплаты пошлины за 6 год: с 27.04.2028 по 26.04.2029. При уплате пошлины за 6 год в дополнительный 6-месячный срок с 27.04.2029 по 26.10.2029 размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК

H03K 3/00 (2024.08); G01S 13/02 (2024.08); H03M 13/00 (2024.08)(21)(22) Заявка: [2024111554](#), 26.04.2024(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.04.2024Дата регистрации:
03.12.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2024

(45) Опубликовано: [03.12.2024](#) Бюл. № [34](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2276385 C1, 10.05.2006. RU 2801743 C1, 15.08.2023. SU 1676074 A2, 07.09.1991. SU 911695 A1, 07.03.1982. US 7139397 B2, 21.11.2006.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**Ненашев Вадим Александрович (RU),
Бестугин Александр Роальдович (RU),
Киришина Ирина Анатольевна (RU),
Солёный Сергей Валентинович (RU),
Кучин Александр Александрович (RU),
Горбунов Сергей Александрович (RU),
Ненашев Сергей Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения" (RU)****(54) Способ формирования M-последовательностей для генерации сигнально-кодовых конструкций**

(57) Реферат:

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике. Техническим результатом является обеспечение более низкого уровня боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции, чем у аналогичной АКФ канонических M-последовательностей, при этом ВКФ этих последовательностей носит равномерный характер, что обеспечивает выделение модулированных зондирующих сигналов в общем радиолокационном канале при реализации режимов многопозиционных бортовых систем. Технический результат достигается тем, что предлагаемый способ реализует поиск M-последовательностей за счет введения новых значений для каждой из кодовых структур, генерируемой в рамках группы полиномов одного порядка, что позволяет однозначно при приеме в общем радиолокационном канале идентифицировать модулированные этой новой последовательностью сигналы, при одновременном их излучении с N позиций многопозиционной системы бортовых РЛС, разнесенных в пространстве и

объединенных во взаимодействующую группу. 1 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к электронно-вычислительной технике и может быть использовано в различных системах локации, интенсивного обмена информацией и в многопозиционных пространственно-распределенных системах генерации маркированных сигнально-кодовых конструкций.

Применение М-последовательностей для генерации сигнально-кодовых конструкций обеспечивает преимущества при их использовании в различных систем обнаружения, в частности в связи, локации и навигации в числе которых простой способ генерации канонических М-последовательностей, большая база для генерации элементарных импульсных сигналов, автокорреляционной функции (АКФ) М-последовательности имеет резкий спад в окрестности максимума и равномерный уровень боковых лепестков во всем временном диапазоне, кроме того они хорошо изучены и апробированы.

Известен способ для формирования М-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 является, довольно низкий уровень боковых лепестков АКФ канонической бинарной М-последовательности, при этом случайное искажение значений элементов последовательности приводит к росту боковых лепестков АКФ.

Известен «Способ повышения разрешающей способности по дальности радиолокационной станции» (Патент РФ № 2596229, МПК G01S 13/24, опублик. 10.09.2016, Бюл. №25). В способе формируют пачку из N импульсов сигнала на разных несущих частотах и N опорных сигналов в виде ортогональных М-последовательностей, где N - целое число большее либо равное двум, модулируют по фазе каждый импульс опорным сигналом, последовательно когерентно излучают и принимают отраженную пачку из N импульсов сигнала. Далее осуществляют свертку каждого принятого импульса с соответствующим ему опорным сигналом в виде М-последовательности, осуществляют доплеровскую фильтрацию пачки из N импульсов сигнала, формируют N элементов разрешения по дальности.

Недостатком является то, что канонические М-последовательности одинаковой длины, генерируемые полиномами одного порядка, не являются ортогональными, что приводит к обнаружению эхо-сигналов, воздействующих деструктивно друг на друга в совместных радиолокационных каналах бортовых РЛС при многопозиционном режиме работы.

Наиболее близким по технической сущности аналогом, принятым за прототип предлагаемого изобретения, является «Способ формирования и приема сложных сигналов на основе М-последовательностей» (Патент РФ № 2276385, МПК G01S 13/02, опублик. 10.05.2006, Бюл. №13).

В указанном способе излучаемый сигнал манипулируется последовательностью, получаемой в результате сложения по модулю 2 двух исходных последовательностей,

сформированных по одному и тому же закону $a_k = b_1 a_{k-1} \oplus b_2 a_{k-2} \oplus \dots \oplus b_n a_{k-n}$, $k > n$, с тактовыми частотами f_1 и f_2 , находящимися в отношении $\frac{P}{\Theta} = \frac{f_1}{f_2}$, где b_1, b_2, \dots, b_n - одноразрядные двоичные числа, n - число разрядов регистра сдвига,

определяющее длину исходных последовательностей $N=2^n - 1$, P и Θ - взаимно простые числа, а принимаемый сигнал с периодом повторения

$$T = P \frac{N}{f_1} = \Theta \frac{N}{f_2}$$

поступает на два коррелятора, на выходе которых формируются значения задержек τ_1 и τ_2 относительно исходных M -последовательностей и затем вычисляется полное число тактов задержки для тактовой частоты f_1

$$r_1 \equiv \Theta^{-1} \text{int} \left(\frac{\tau_2}{N} P - \frac{\tau_1}{N} \Theta + 0,5 \right) \text{mod } P$$

и для тактовой частоты f_2

$$r_2 \equiv P^{-1} \text{int} \left(\frac{\tau_2}{N} \Theta - \frac{\tau_1}{N} P + 0,5 \right) \text{mod } \Theta,$$

где $\text{int}(X)$ - есть целая часть числа X , $L = Y \text{mod } Z$ - есть сравнение числа L с числом Y по модулю Z , а P^{-1} и Θ^{-1} - есть величины, обратные P и Θ по модулю Θ и P , вычисляемые с использованием математической теории чисел.

Недостатком прототипа является неспособность обеспечить маркирование зондирующих модулированных сигналов с более низким уровнем боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции и равномерно распределенным характером лепестков взаимокорреляционной функции (ВКФ) этих последовательностей.

Техническим результатом заявляемого изобретения является обеспечение более низкого уровня боковых лепестков апериодической автокорреляционной функции, чем у аналогичной АКФ канонических M -последовательностей, при этом ВКФ этих последовательностей носит равномерный характер, что обеспечивает выделение модулированных зондирующих сигналов в общем радиолокационном канале при реализации режимов многопозиционных бортовых систем.

Технический результат достигается тем, что в способе формирования M -последовательностей для генерации сигнально-кодовых конструкций, заключающимся в том, что излучаемый сигнал преобразуют последовательностью, получаемой в результате сложения по модулю два двух исходных последовательностей, сформированных по одному и тому же закону, где $k > n$, отличающийся тем, что число исходных последовательностей может быть от 2 до Q , где Q - это количество генерирующих полиномов, существующих в рамках одного порядка, после чего выбирают требуемое количество Q генерирующих полиномов одного порядка L и соответственно осуществляют их генерацию одной длины N , при этом количество Q связано с количеством позиций излучающих бортовых РЛС в многопозиционной системе, далее значения $\{1; 0\}$ каждой из Q последовательностей приводят к значениям пары $\{1; -1\}$ и для этих последовательностей строят нормированные к единице автокорреляционные функции, по которым определяют максимальное по модулю значение боковых лепестков U_{\max} , а в сгенерированных M -последовательностях заменяют их элементы со значением «-1» на «q» и со значением «1» на «p», после чего определяют систему выражений, где описывающие изменения уровней каждого из N лепестков автокорреляционной функции и соответствующей системы S_v взаимокорреляционных функций в зависимости от введенных параметров «p» и «q» в каждую из структур отдельных M -последовательностей, генерируемых различными полиномами одного порядка L , после чего по системе выражений $S_1 \dots S_Q$ определяют значения «p» и «q», при которых уровни боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции будут наименьшими из возможных уровней, из числа тех, что ниже значения U_{\max} с учетом выражений системы S_v , полученных для взаимокорреляционных функций, которая будет иметь равномерный характер при подстановке значения «p» и «q», после чего формируют зондирующий маркированный сигнал, сгенерированный на основе модуляции полученными выше модифицированными M -последовательностями.

Технический результат достигается тем, что предлагаемый способ реализует поиск M -последовательностей за счет введения новых значений для каждой из кодовых

структур, генерируемой в рамках группы полиномов одного порядка, что позволяет однозначно при приеме в общем радиолокационном канале идентифицировать модулированные этой новой последовательностью сигналы, при одновременном их излучении с N позиций многопозиционной системы бортовых РЛС, разнесенных в пространстве и объединенных во взаимодействующую группу.

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

Заявляемый способ реализуется благодаря следующей последовательности действий:

1) Выбирают Q различных полинома $g_1(x) \dots g_Q(x)$ одного порядка L для генерации канонических M-последовательностей имеющих длину $N = 2^L - 1$. При этом количество Q связано с количеством позиций излучающих бортовых РЛС в многопозиционной системе.

- При степени полинома $L = 3$ и длине последовательности $N = 7$, следует $g_1(x) = x^3 + x + 1$, $g_2(x) = x^3 + x^2 + 1$,
- При степени полинома $L = 4$ и длине последовательности $N = 15$, следует $g_1(x) = x^4 + x + 1$, $g_2(x) = x^4 + x^3 + 1$;
- При степени полинома $L = 5$ и длине последовательности $N = 31$, следует $g_1(x) = x^5 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^5 + x^3 + 1$, $g_1(x) = x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$, а $g_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$, $g_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$;
- При степени полинома $L = 6$ и длине последовательности $N = 63$, следует $g_1(x) = x^6 + x + 1$, $g_1(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$, $g_1(x) = x^6 + x^5 + 1$, а $g_2(x) = x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$;
- При степени полинома $L = 7$ и длине последовательности $N = 127$, следует $g_1(x) = x^7 + x + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^3 + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^3 + x^2 + x + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^4 + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^5 + x^2 + x + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^5 + x^3 + x + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$, $g_1(x) = x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^4 + x + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
- При степени полинома $L = 8$ и длине последовательности $N = 255$, следует $g_1(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^5 + x^3 + x + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + 1$, $g_1(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x + 1$
- При степени полинома $L = 9$ и длине последовательности $N = 511$, следует $g_1(x) = x^9 + x^4 + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^4 + x^3 + x + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^5 + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^6 + x^4 + x^3 + 1$, $g_1(x) = x^9 + x^7 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^9 + x^7 + x^5 + x + 1$, $g_2(x) = x^9 + x^7 + x^5 + x^2 + 1$, $g_2(x) = x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + 1$, $g_2(x) = x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$, $g_2(x) = x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$

2) Генерируют Q M-последовательностей по полиномам $g_1(x) \dots g_Q(x)$ и привести значения $\{1; 0\}$ каждой из Q последовательностей к значениям пары $\{1; -1\}$.

3) Строят для каждой из M-последовательностей, полученных на шаге 2, нормированную АКФ.

4) Определяют максимальное по модулю значение боковых лепестков U_{\max} каждой нормированной АКФ, полученных на шаге 3.

5) В каждой сгенерированной последовательности на шаге 2 заменяют элементы со значением «-1» на «q» и со значением «1» на «p».

б) Определяют систему S_1, \dots, S_Q , где каждый ее элемент $S=(R_1(p, q), \dots, R_N(p, q))$, включает выражения, которые описывают изменения уровней лепестков (главного и боковых) АКФ и соответствующую систему выражений S_v ВКФ в зависимости от введенных параметров «р» и «q».

7) Получают выражения для каждого бокового лепестка для нормированной АКФ, сформировав тем самым соответствующую систему выражений.

8) По выражениям, полученным на шаге 7, определяют значения «р» и «q», при которых уровни боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции будут наименьшими из возможных уровней, из числа тех, что ниже значения U_{\max} .

9) Используя выражения системы S_v , полученные для ВКФ на шаге 6, осуществляют проверку, что значения боковых лепестков ВКФ при подстановке, найденных на шаге 8 значений «р» и «q» имеют равномерный характер для каждой новой последовательности из Q .

10) Убеждаются, что значения боковых лепестков АКФ, полученных на шагах 8 и 9, ниже, чем максимальный уровень бокового лепестка U_{\max} , определенного на шаге 4.

Формула изобретения

Способ формирования M -последовательностей для генерации сигнально-кодовых конструкций, заключающийся в том, что излучаемый сигнал преобразуют последовательностью, получаемой в результате сложения по модулю два двух исходных последовательностей, сформированных по одному и тому же закону $a_k = b_1 a_{k-1} \oplus b_2 a_{k-2} \oplus \dots \oplus b_n a_{k-n}$, где $k > n$, отличающийся тем, что число исходных последовательностей может быть от 2 до Q , где Q - это количество генерирующих полиномов, существующих в рамках одного порядка, после чего выбирают требуемое количество Q генерирующих полиномов одного порядка L и соответственно осуществляют их генерацию одной длины N , при этом количество Q связано с количеством позиций излучающих бортовых РЛС в многопозиционной системе, далее значения $\{1; 0\}$ каждой из Q последовательностей приводят к значениям пары $\{1; -1\}$ и для этих последовательностей строят нормированные к единице автокорреляционные функции, по которым определяют максимальное по модулю значение боковых лепестков U_{\max} , а в сгенерированных M -последовательностях заменяют их элементы со значением «-1» на «q» и со значением «1» на «р», после чего определяют систему выражений S_1, \dots, S_Q , где $S=(R_1(p, q), \dots, R_N(p, q))$, описывающие изменения уровней каждого из N лепестков автокорреляционной функции и соответствующей системы S_v взаимокорреляционных функций в зависимости от введенных параметров «р» и «q» в каждую из структур отдельных M -последовательностей генерируемых различными полиномами одного порядка L , после чего по системе выражений $S_1 \dots S_Q$ определяют значения «р» и «q», при которых уровни боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции будут наименьшими из возможных уровней, из числа тех, что ниже значения U_{\max} с учетом выражений системы S_v , полученных для взаимокорреляционных функций, которая будет иметь равномерный характер при подстановке значения «р» и «q», после чего формируют зондирующий маркированный сигнал, сгенерированный на основе модуляции полученными выше модифицированными M -последовательностями.



Фиг. 1