



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013123683/08, 23.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2013

(45) Опубликовано: 10.09.2014 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2007763 C1, 15.02.1994 . Алексеев А.И. и др., "Теория и применение псевдослучайных сигналов", издательство "НАУКА", 1969 г. RU 2264034 C1, 10.11.2005 . RU 106392 U1, 10.07.2011 . US 5914701 A, 22.06.1999 . WO 9821842 A2, 22.05.1998

Адрес для переписки:

192281, Санкт-Петербург, ул. Пловдивская, 3,
корп. 1, кв. 59, Шилову Виктору Петровичу

(72) Автор(ы):

Шилов Виктор Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

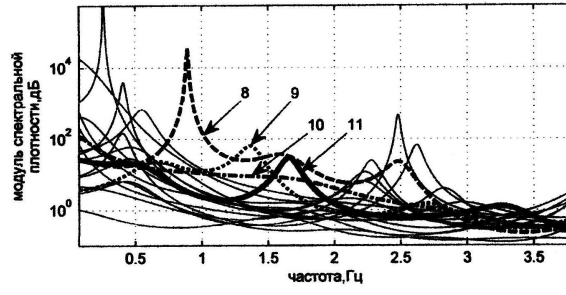
Шилов Виктор Петрович (RU)

(54) СПОСОБ ВНУТРИИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ-ДЕМОДУЛЯЦИИ С ПРЯМЫМ РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам приемопередачи дискретной (цифровой) информации и может быть использовано в технике электрорадиосвязи, телеметрии, радиогидролокации и в других областях. Технический результат заключается в возможности приемопередачи дискретной информации при низких значениях отношения сигнал-шум, при высоких значениях спектральной эффективности широкополосных сигналов (ШПС). Данный результат на передающей стороне достигается формированием ШПС с прямым (непосредственным) расширением спектра путем использования в качестве огибающих импульсных информационных сигналов функций с ограниченным спектром, аппроксимирующих на одном или нескольких

промежутках, расположенных внутри импульса, колебания с частотой, превышающей граничную частоту спектра модулированного импульса в целом (выбросы частоты). При этом значения параметров этих колебаний ставят в соответствие информативному признаку сигнала, подлежащего передаче. На приемной стороне достижение заявленного результата осуществляется путем выделения промежутка с выбросом частоты, с последующим определением параметров колебаний на этом промежутке и вынесением решения о значении информативного признака в принятом модулированном сигнале, после обработки принятой смеси сигнала с шумом в полосе частот модулированного сигнала с ограниченным спектром. 7 ил.



Фиг.7

R U 2 5 2 8 0 8 5 C 1

R U 2 5 2 8 0 8 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H04L 7/00 (2006.01)
H04B 1/69 (2011.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013123683/08, 23.05.2013
(24) Effective date for property rights:
23.05.2013
Priority:
(22) Date of filing: 23.05.2013
(45) Date of publication: 10.09.2014 Bull. № 25
Mail address:
192281, Sankt-Peterburg, ul. Plovdivskaja, 3, korp.
1, kv. 59, Shilovu Viktoru Petrovichu

(72) Inventor(s):
Shilov Viktor Petrovich (RU)
(73) Proprietor(s):
Shilov Viktor Petrovich (RU)

(54) **METHOD FOR INTRAPULSE MODULATION-DEMODULATION WITH DIRECT SPECTRUM SPREADING**

(57) Abstract:

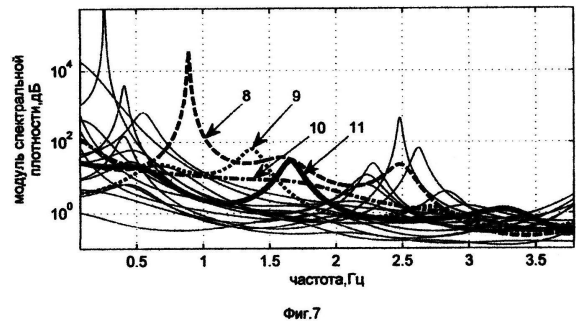
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: method is carried out by generating broadband signals with direct (indirect) spectrum spreading by using as pulsed information signal envelopes band-limited functions which approximate at one or more intervals, lying within a pulse, oscillations with frequency higher than the cut-off frequency of the spectrum of the modulated pulse overall (frequency emission). Parameter values of said oscillations are brought into conformity with the information-bearing feature of the signal to be transmitted. At the receiving side, the disclosed result is achieved by selecting an interval with frequency emission, with subsequent determination of oscillation parameters at said interval and making a decision on the value of the information-bearing feature in the

received modulated signal, after processing the received mixture of the signal and noise in the frequency band of the modulated band-limited signal.

EFFECT: enabling transeiving of discrete information at low signal-to-noise values, at high values of spectral efficiency of broadband signals.

7 dwg



RU 2 528 085 C1

RU 2 528 085 C1

Изобретение относится к способам модуляции-демодуляции дискретных (цифровых) сигналов и может быть использовано в электрорадиосвязи, локации, телеметрии, телефонии и в других областях. Известны способы внутриимпульсной модуляции с прямым (непосредственным) расширением спектра, осуществляемой путем формирования шумовой или шумоподобной огибающей импульсных сигналов, являющихся в этом случае широкополосными сигналами (ШПС) или сигналами с большой базой $B=T\Delta W\Delta$, и где $T\Delta$ и $W\Delta$ - эффективные длительность и полоса частот, занимаемая сигналом соответственно (Петрович Н.Т., Размахнин М.К. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Сов.радио, 1969, с.63-65). В качестве огибающих ШПС могут быть использованы образцы реального шума, регулярные сигналы типа реализации шумового процесса и другие подобные. Наиболее близким способом к предлагаемому является широко применяемый способ внутриимпульсной модуляции, заключающийся в представлении импульсного сигнала псевдослучайной последовательностью (ПСП), обладающей шумоподобными свойствами (Алексеев А.И. и др. Теория и применение псевдослучайных сигналов. М.: Наука, 1969, с.22-24). Данный способ, при обычно используемых способах демодуляции на приемной стороне, заключающихся в оптимальной фильтровой либо корреляционной обработке, позволяет при увеличении значения базы сигнала максимально приблизиться к границе Шеннона как среди рассматриваемой группы способов модуляции, так и среди всех других известных способов. Однако реальное достижение границы, а тем более ее преодоление не обеспечивается, первое - по причине невозможности увеличения базы сигнала до бесконечности, а второе в связи с наличием ограничения на минимальное значение величины энергетической эффективности $(E_0/N_0)_{\min} = \ln 2$, где \ln - натуральный логарифм, E_0 - энергия сигнала и N_0 - спектральная плотность мощности шумов в полосе частот сигнала, вытекающего из формулы Шеннона для пропускной способности канала передачи информации:

$$C = W \log(1 + S/N),$$

где \log - логарифм по основанию 2;

C - пропускная способность канала [бит/Гц];

W - ширина полосы частот канала (сигнала) [Гц];

(S/N) - отношение сигнал/шум;

$S = (E_0/T)$ - средняя мощность сигнала [Вт];

$N = (N_0 W)$ - мощность шума в полосе частот канала [Вт];

T - длительность сигнала [с].

Физической причиной существования границы Шеннона и предельно-минимального значения величины энергетической эффективности является полная или частичная перекрываемость (скрещенность) спектров полезного и мешающего (шумового) сигналов при их обработке в приемной части канала передачи информации. Задачей настоящего изобретения является разработка способа модуляции-демодуляции сигналов, позволяющего осуществить демодуляцию смеси сигнала с шумом, при устранении скрещивания их спектров в той степени, которую обеспечивают существующие технические средства. Технический результат - возможность приемопередачи дискретной информации при значениях отношения сигнал-шум принципиально и существенно меньших, чем это допускается теориями информации Шеннона и потенциальной помехоустойчивости Котельникова при одних и тех же значениях спектральной эффективности сигналов. Решение поставленной задачи, применительно к этапу модуляции сигнала (синтезу сигнала), осуществляют путем представления информационного импульсного сигнала импульсным сигналом с огибающей,

описываемой функцией с ограниченным спектром, имеющей на одном или нескольких своих промежутках колебания с частотой, превышающей граничную частоту спектра синтезируемого сигнала (выбросы частоты). При этом параметры этих колебаний (амплитуду, частоту, фазу, порознь или в различных сочетаниях) ставят в соответствие информативному признаку сигнала, подлежащего передаче. Решение поставленной задачи на приемной стороне, при проведении обработки принятой смеси полезного и мешающего сигналов, производят в два этапа. На первом этапе смесь сигнала с шумом обрабатывается необходимым для используемого вида приемопередающего канала образом в полосе частот занимаемой полезным сигналом, например в случае супергетеродинного канала, производят преселекцию, высокочастотное усиление, гетеродинирование, усиление на промежуточной частоте. На втором этапе, являющемся собственно этапом демодуляции, осуществляют времячастотную обработку смеси сигнала с шумом в полосе частот, соответствующей элементарному сигналу, представляющему собой промежуток, содержащий выброс частоты. Данная обработка включает в себя разбиение принятой смеси сигнала с шумом на ряд элементарных импульсов с длительностью, равной длительности промежутка с выбросом частоты, с последующей частотно-фильтровой (в случае отображения информативного признака на амплитудно-фазовые параметры колебаний в выбросе) или спектральной (в случае отображения информативного признака только на частоту колебаний в выбросе) обработкой элементарных импульсных сигналов, выполняемой с использованием известных технических средств, таких как, оконно-временная селекция, частотная фильтрация, спектральный анализ коротких сигналов, вейвлетный анализ и другие. На основании определения значений параметров колебаний в выбросе выносятся решение о значении информативного признака, содержащегося в принятом сигнале.

Подтверждением реализации предлагаемого способа модуляции-демодуляции дискретных сигналов являются результаты расчета по формированию модулированного сигнала и его выделению из шума в соответствии с алгоритмом предлагаемого способа, выполненные в среде MATLAB и представленные на графиках (Фиг.1-Фиг.7). На (Фиг.1) в осях время-напряжение представлены исходный информационный сигнал (1), представляющий собой прямоугольный видеоимпульс длительностью $T=7$ с и равный ему по энергии модулированный сигнал (2), имеющий на промежутке длительностью одна секунда, расположенном по оси времени от трех до четырех секунд, два квазипериода колебаний с выбросом частоты. График этих колебаний (3) в укрупненном масштабе в осях время-напряжение представлен на Фиг.2. Спектр модулированного сигнала(4) в осях частота-модуль спектральной плотности представлен на Фиг.3, а на Фиг.4 в тех же осях представлен псевдовектор спектра промежутка с выбросом частоты (5), рассчитанный по методу MUSIC. Временная диаграмма аддитивной смеси модулированного сигнала с нормальным гауссовым шумом(6) при отношении сигнал-шум, равном минус двести децибел (по мощности), в полосе частот, соответствующей частоте дискретизации, равной восемь герц, при учете зашумления полезного сигнала на всем пути его распространения в среде передачи и обработки вплоть до поступления смеси сигнала с шумом непосредственно на демодулятор в осях время-напряжение представлена на Фиг.5. Временная диаграмма сигнально-шумовой смеси, обработанной в полосе частот модулированного сигнала (приблизительно один герц)(7), разбитая на ряд элементарных импульсных сигналов с помощью окна длительностью, равной одной секунде, с шагом, равном периоду дискретизации (одна восьмая секунды), в пределах перекрытия окна с промежутком, содержащем выброс частоты, в осях время-напряжение, представлена на Фиг.6. Спектральная диаграмма в осях частота-модуль

спектральной плотности являющаяся конечным результатом расчета и на которой изображены псевдовекторы спектров всех проанализированных элементарных импульсных сигналов в пределах длительности модулированного сигнала, приведена на Фиг.7, где позициями 8, 9, 10 обозначены псевдовекторы спектров элементарных импульсных сигналов, частично перекрывающихся с промежутком, содержащем выброс частоты, а позицией (11) помечен псевдовектор элементарного импульса, совмещенного с промежутком выброса частоты точно. Полученный результат демонстрирует надежное выделение промежутка с выбросом частоты и соответственно обнаружение информативного признака в принятом зашумленном модулированном сигнале.

Для сравнения полученного в ходе расчета результата с достижимым с помощью известных способов значением отношения сигнал-шум при всех прочих равных условиях, вычислим это значение, используя формулу, связывающую его с энергетической и спектральной эффективностями сигнала, в виде:

$$(S/N)=(E0/N0)(R/W),$$

где (R/W) - спектральная эффективность сигнала [бит/Гц];

R - скорость передачи информации [бит/с].

Подставляя в эту формулу минимальное значение $(E0/N)_{\min}=\ln 2$, обеспечивающее в соответствии с теорией информации Шеннона безошибочный прием сигналов со структурой белого шума, получаем выражение:

$$(S/N) \geq (R/W) \ln 2,$$

представляющее собой одну из возможных форм описания границы (предела) Шеннона (применительно к отношению сигнал-шум). Подставив в последнее выражение значение $(R/W)=1$ [бит/герц], использованное в расчете, получим $(S/N) \geq \ln 2$ или приблизительно $(S/N) \geq$ минус 1,6 дБ против значения минус 200 дБ, использованного при расчете и при котором обеспечивается выделение полезного сигнала из шума.

Предлагаемый способ может найти применение во всех областях техники, связанных с использованием дискретных (цифровых) сигналов, обеспечивая при этом уникальные возможности работы каналов передачи информации глубоко под шумами, при относительно высокой энергетической эффективности (по сравнению с известными способами), со всеми вытекающими из этого факта полезными при всех прочих равных условиях свойствами, такими как, увеличение дальности передачи информации, возможности повторного использования частотного ресурса по отношению к узкополосным сигналам, скрытности передачи информации и рядом других полезных свойств.

Формула изобретения

Способ внутриимпульсной модуляции-демодуляции с прямым расширением спектра, заключающийся в придании огибающей исходного информационного импульсного сигнала формы, определяющей граничную частоту спектра модулированного сигнала, превышающую аналогичную величину исходного информационного импульсного сигнала, на передающей стороне, и извлечении информативного признака из смеси модулированного сигнала с шумом на приемной стороне, отличающийся тем, что на передающей стороне в качестве огибающей информационного импульсного сигнала используют функцию с ограниченным спектром, имеющую на одном или нескольких промежутках внутри импульса колебания с частотой, превышающей граничную частоту спектра модулированного импульса в целом (выбросы частоты), при этом значения параметров этих колебаний ставят в соответствие информативному признаку сигнала, подлежащего передаче, на приемной стороне, принятую смесь сигнала с шумом после

обработки в полосе частот модулированного импульсного сигнала вплоть до демодулятора разбивают на элементарные импульсные сигналы с длительностью, равной длительности промежутка с выбросом частоты, которые затем подвергают частотно-фильтровой или спектральной обработке в полосе частот, определяемой промежутком с выбросом частоты, выделяя этот промежуток (промежутки), и далее, анализируя параметры колебаний с выбросом частоты, выносят решение о значении информативного признака в принятом модулированном сигнале.

10

15

20

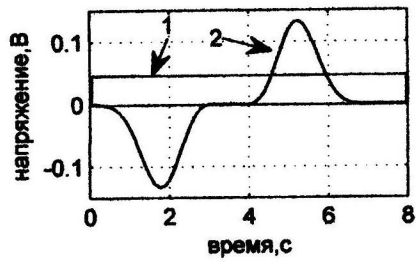
25

30

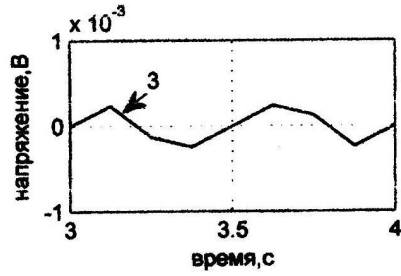
35

40

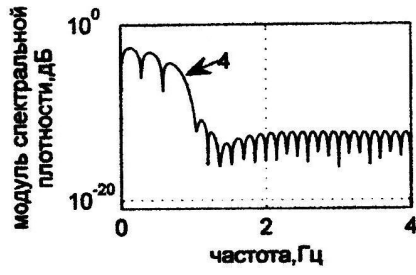
45



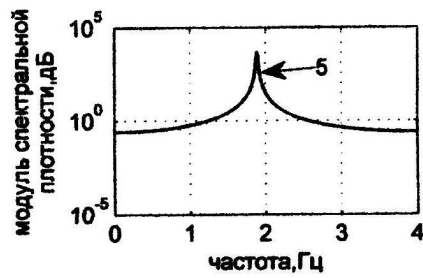
Фиг.1



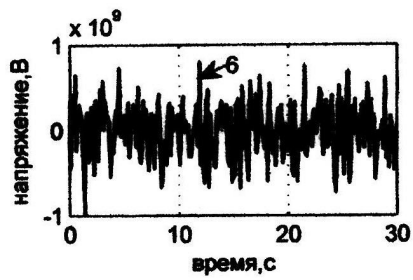
Фиг.2



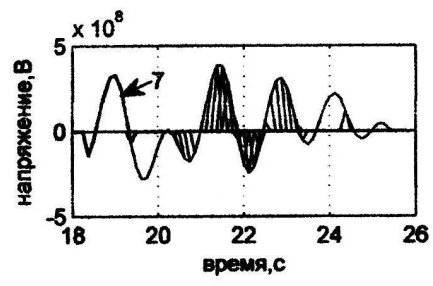
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6