



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016127420, 07.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
07.07.2016Дата регистрации:  
04.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.07.2016

(45) Опубликовано: 04.12.2017 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

197374, Санкт-Петербург, ул. Мебельная, 47, к.  
1, кв. 286, Голубеву А.Г.

(72) Автор(ы):

Голубев Анатолий Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное Общество "Акустический  
институт имени академика Н.Н. Андреева"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: ЗЮКО А.Г., КЛОВСКИЙ Д.Д.,  
КОРЖИК В.И., НАЗАРОВ М.В. Теория  
электрической связи, под редакцией  
КЛОВСКОГО Д.Д. Москва, Радио и связь,  
1999, стр. 194. RU 2153776 C2, 27.07.2000. RU  
2232473 C2, 10.07.2004. RU 2282944 C2,  
27.08.2006. SU 1480135 A1, 15.05.1989. RU  
2560102 C2, 20.08.2015. US 5128959 A,  
07.07.1992. US 5109390 A, 28.04.1992. US  
5365544 A, (см. прод.)

(54) Способ приема сигналов в системе цифровой связи с компенсацией помех, обусловленных многолучевой интерференцией

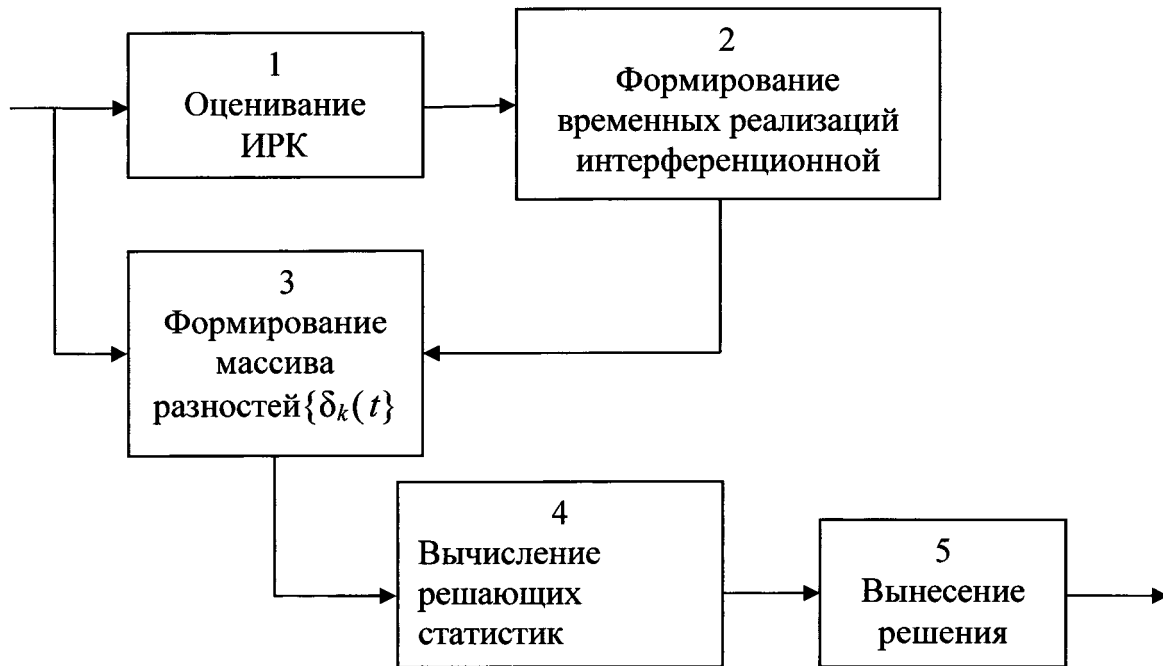
(57) Реферат:

Изобретение относится к области передачи цифровой информации. Технический результат - повышение помехоустойчивости приема сигналов цифровой связи при работе системы связи в условиях наличия многолучевой интерференции. Данный способ предусматривает выполнение следующих операций: по испытательному импульсу, расположенному в заранее известном на приемном конце системы связи фрагменте интервала времени приема сообщения, осуществляют операцию оценивания ИРК, формируют соответствующую каждой  $k$ -й из допустимых альтернатив ЭП  $k$ -ю временную реализацию ИП, причем указанное формирование реализаций ИП осуществляют с учетом

результата оценивания ИРК, формируют массив разностей  $\{\delta_k(t)\}$ , между анализируемой ЭП и каждой  $k$ -й из указанных реализаций ИП в отдельности, по каждой из этих разностей  $\delta_k(t)$  формируют  $k$ -ю решающую статистику (РС)  $z_k$ , а по совокупности указанных РС выносят решение о том, какая именно ЭП принята, причем каждую  $k$ -ю РС  $z_k$  формируют посредством вычисления корреляции между  $k$ -й реализацией разности  $\delta_k(t)$  и соответствующей  $k$ -й альтернативой ЭП, а решение о том, какая именно ЭП принята, выносят путем определения индекса  $k=k_0$  при той из совокупности РС  $z_{k_0}$ , которая удовлетворяет условию  $z_{k_0}=\max_k\{z_k\}$ . 3 ил.

RU 2 637 422 C1

RU 2 637 422 C1



Блок-схема заявляемого способа.

Фиг.1

(56) (продолжение):  
15.11.1994.

RU 2 6 3 7 4 2 2 C 1

RU 2 6 3 7 4 2 2 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H04L 17/00* (2006.01)  
*H04L 27/30* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2016127420, 07.07.2016**

(24) Effective date for property rights:  
**07.07.2016**

Registration date:  
**04.12.2017**

Priority:  
(22) Date of filing: **07.07.2016**

(45) Date of publication: **04.12.2017** Bull. № 34

Mail address:  
**197374, Sankt-Peterburg, ul. Mebelnaya, 47, k. 1,  
kv. 286, Golubevu A.G.**

(72) Inventor(s):  
**Golubev Anatolij Gennadievich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**Aksionernoje Obshchestvo "Akusticheskij  
institut imeni akademika N.N. Andreeva" (RU)**

(54) **METHOD OF RECEIVING SIGNALS IN DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM WITH COMPENSATION OF NOISE DEFINED BY MULTIPLE-BEAM INTERFERENCE**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: method includes performing the following operations: by a test pulse, located in a fragment of message reception time interval known in the receiving end of the communication system, the ICR estimation operation is performed, each k-th time-based IN realisation, corresponding to each allowable k-th TSE alternative, is formed. This formation of IN realisations is performed taking into account the result of the ICR estimation, forming an array of differences  $\{\delta_k(t)\}$ , between the analyzed TSE and each of the k-th of the indicated IN realisations separately, for each of these differences  $\delta_k(t)$  they form the k-th decisive statistics (PC)  $z_k$ , and based on the totality of these PCs

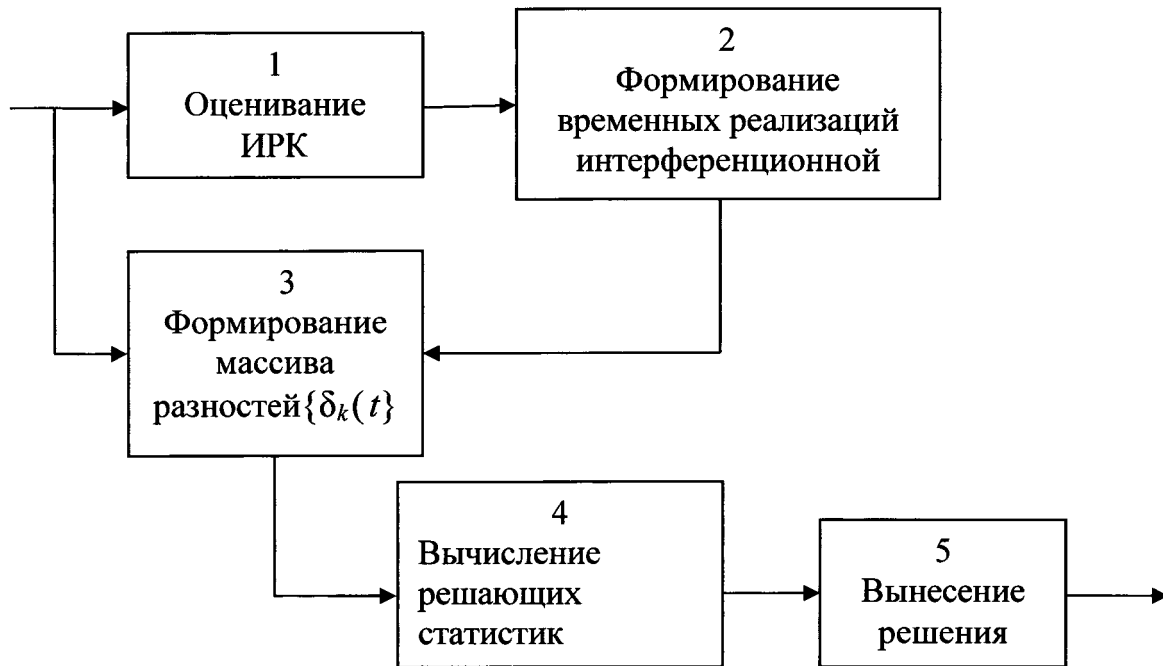
they make a decision about which particular TSE is adopted. Each kth PC  $z_k$  are formed by calculating the correlation between the k-th realisation of the  $\delta_k(t)$  difference and the corresponding k-th TSE alternative, and the decision, about which particular TSE is adopted, is carried out by determining the index  $k = k_0$  for that of the collection PC  $z_{k0}$ , which satisfies the condition  $z_{k0} = \max_k \{z_k\}$ .

EFFECT: increase of noise immunity of reception of signals of digital communication during the operation of a communication system in the presence of multiple-beam interference.

3 dwg

RU 2 637 422 C1

RU 2 637 422 C1



Блок-схема заявляемого способа.

Фиг.1

RU 2637422 C1

RU 2637422 C1

Изобретение относится к области передачи цифровой информации и предназначено для применения в декодерах систем связи, работающих в условиях многолучевого распространения.

При работе систем связи на сравнительно больших дальностях, как правило, имеет место многолучевое распространение, т.е. эффект прихода в точку приема совокупности компонент сигналов или элементарных посылок (ЭП), распространяющихся по нескольким лучам с индивидуальными задержками и амплитудами. В таких ситуациях имеют место помехи приему, обусловленные, в частности, временным перекрытием (интерференцией) ЭП, передаваемых в смежные (или в более общем случае в относительно близко расположенные) моменты времени. Данный эффект именуется межсимвольной интерференцией [1, 2]. Наряду с указанными в рассматриваемых условиях также имеют место и помехи приему, обусловленные временным перекрытием пришедших по разным лучам компонент одной и той же ЭП. Данный эффект именуется внутрисимвольной интерференцией (ВСИ) [1, 3]. Он иллюстрирован в [3, рис. 21. Возникновение межсимвольной и внутрисимвольной интерференции]. Совокупность двух указанных эффектов будем именовать интерференцией, обусловленной многолучевым распространением или многолучевой интерференцией, а порождаемые ей помехи - интерференционными помехами (ИП).

При длительности ЭП (и равного ей периода следования ЭП в сообщении), много большей длительности импульсной реакции канала (ИРК) распространения, преобладающей (среди ИП) является помеха, порожденная ВСИ. При длительности же ИРК, много большей длительности ЭП, преобладающей является помеха, порожденная МСИ. В промежуточных ситуациях уровни указанных компонент ИП сопоставимы. Заявляемый способ посвящен подавлению компоненты ИП, обусловленной ВСИ.

Известен способ приема сигналов цифровой связи при многолучевом распространении (т.е. при распространении в канале с частотно-селективными замираниями), предусматривающий подавление (или компенсацию) ИП [4]. Он предусматривает компенсацию нежелательного эффекта интерференции путем «комбинирования приема на разнесенные антенны». Применение данного аналога связано с необходимостью наличия нескольких приемных антенн, что является его недостатком.

Известен способ приема сигналов цифровой связи при многолучевом распространении, основанный на так называемом алгоритме Кловского-Николаева (АКН) [2, с. 194] (прототип). Этот способ рассчитан на прием сообщения, содержащего последовательность ЭП, и предусматривает выполнение совокупности следующих операций. По испытательному импульсу, расположенному в заранее известном на приемном конце фрагменте интервала времени приема сообщения, осуществляется оценивание импульсной реакции канала (ИРК) распространения. По результату оценивания ИРК на приемном конце системы связи предсказывается алфавит возможных ЭП, соответствующих всем символам передаваемых сообщений (в связи с этим описанная, в частности, в [1] система связи именуется системой с испытательным импульсом и предсказанием (СИИП)). Количество возможных (или допустимых) последовательностей ЭП в сообщении является конечным; каждая из них далее именуется альтернативой указанных последовательностей, а предположение о том, какая именно из этих альтернатив принята, - гипотезой (принимаемой альтернативы). При известной (предсказанной) на приемном конце системы связи совокупности символов алфавита (т.е. совокупности ЭП) форма принимаемой последовательности ЭП, посредством которой передается все сообщение, при справедливости каждой

конкретной из этих гипотез, известна. С учетом этого обстоятельства, в прототипе по сигналу, наблюдаемому на интервале времени приема сообщения, применительно к совокупности гипотез последовательности ЭП принимаемого сообщения (с учетом результата оценивания ИРК) формируют соответствующие этим гипотезам временные реализации компонент помехи, обусловленных интерференцией (т.е. формируют соответствующие ИП).

Далее по наблюдаемому на интервале времени приема сообщения сигналу, результату оценивания ИРК, а также временной реализации ИП, сформированной применительно к каждой  $k$ -й альтернативе последовательности ЭП, в прототипе последовательно вычисляются решающие статистики (РС), каждая  $k$ -я из которых представляет собой оценку энергии сигнала, сформированного как разность между наблюдаемой реализацией сигнала и временной реализацией ИП, сформированной применительно к  $k$ -й альтернативе последовательности ЭП (далее результат вычисления указанной разности именуется разностным сигналом). При принятии решения о фактически принятой альтернативе последовательности ЭП указанные РС сравниваются между собой, и определяется индекс  $k_0$  при той из РС (т.е. при той оценке энергии указанного разностного сигнала), которая по амплитуде минимальна (см. [2], соотношение (5.65) на с. 194).

Примечание: при описании прототипа в [2, с. 194] номера альтернатив последовательности ЭП обозначены как  $i$ , а указанный индекс при минимальной по уровню РС обозначен как  $\hat{i}_0$ .

Недостаток прототипа - сравнительно низкая помехоустойчивость приема (декодирования) - обусловлен следующими обстоятельствами. Во-первых, принцип его действия основан на том, что оценка энергии указанного разностного сигнала при вычислении РС, соответствующей действительно принятой альтернативе последовательности ЭП, меньше всех прочих РС только в смысле статистической тенденции, т.е. совсем не гарантировано. Впрочем, указанное явление свойственно всем возможным вариантам формирования РС. В данном же случае указанный эффект проявляется в особой степени по следующей причине. В случае правильного угадывания принятой альтернативы последовательности ЭП имеет место совпадение сформированной временной реализацией ИП и ИП, являющейся компонентой принимаемой реализации сигнала; в этом случае при вычислении разностного сигнала ИП, являющаяся компонентой принимаемой реализации сигнала, компенсируется, и за счет этого энергия разностного сигнала уменьшается. Но при сравнительно малом отношении сигнал/шум указанная тенденция нередко (а возможно, и как правило) может быть нарушена. Данный негативный эффект обусловлен тем, что прием сообщений осуществляется при мешающем действии (наряду с ИП) также и фонового шума. В случае радиосвязи это может быть электрический шум входных цепей приемных станций, а в случае звукоподводной (гидроакустической) связи - шум моря и/или шумоизлучение морских объектов. При этом (т.е. при малом отношении суммарного уровня принимаемого сигнала и ИП к уровню фонового шума) имеющая место при вычислении разностного сигнала компенсация ИП к существенному снижению уровня этого разностного сигнала не приводит, поскольку указанный уровень определяется уровнем не столько ИП, сколько фонового шума. Фоновый же шум при формировании разностного сигнала не компенсируется.

Вторым обстоятельством, приводящим к сравнительно низкой помехоустойчивости приема, является то, что интегрирование (накопление) квадрата разностного сигнала

есть накопление некогерентное, что влечет за собой сравнительно низкое отношение сигнал/шум в РС.

Данные эффекты приводят к сравнительно высокой вероятности ошибок при принятии решений.

5 Итак, недостатком прототипа является сравнительно низкая помехоустойчивость приема при сравнительно малом отношении суммарного уровня принимаемого сигнала и ИП к уровню фоновому шуму.

10 Целью изобретения является повышение помехоустойчивости приема сигналов цифровой связи при работе системы связи в условиях наличия многолучевой интерференции.

Цель достигается тем, что в способе приема сигналов с компенсацией помех, обусловленных многолучевой интерференцией, в соответствии с которым по испытательному импульсу, расположенному в заранее известном на приемном конце системы связи фрагменте интервала времени приема сообщения, осуществляют операцию 15 оценивания ИРК, формируют соответствующую каждой  $k$ -й (при  $k=1 \dots K$ , где  $K$  - количество альтернатив в алфавите передаваемых ЭП) из допустимых альтернатив ЭП  $k$ -ю временную реализацию ИП, причем указанное формирование реализаций ИП осуществляют с учетом результата оценивания ИРК, формируют массив разностей  $\{\delta_k(t)\}$ , между анализируемой ЭП и каждой  $k$ -й из указанных реализаций ИП в отдельности, 20 по каждой из этих разностей  $\delta_k(t)$  формируют  $k$ -ю решающую статистику (РС)  $z_k$ , а по совокупности указанных РС выносят решение о том, какая именно ЭП принята, операцию формирования каждой  $k$ -й РС  $z_k$  выполняют посредством вычисления корреляции между  $k$ -й реализацией разности  $\delta_k(t)$  и соответствующей  $k$ -й альтернативой 25 ЭП, а решение о том, какая именно ЭП принята, выносят путем определения индекса  $k=k_0$  при той из совокупности РС  $z_{k_0}$ , которая удовлетворяет условию  $z_{k_0} = \max_k \{z_k\}$ .

Блок-схема, иллюстрирующая заявляемый способ, представлена на фиг. 1, где обозначены:

- 1 - оценивание ИРК;
- 30 - 2 - формирование временных реализаций интерференционной помехи;
- 3 - формирование массива разностей  $\{\delta_k(t)\}$ ;
- 4 - вычисление решающих статистик;
- 5 - вынесение решения.

35 Блок-схемы двух вариантов устройства, реализующего заявляемый способ, приведены на фиг. 2 и 3, где обозначены:

- 6 - блок буферной памяти;
- 7 - первый коррелятор;
- 8 - блок определения задержек и амплитуд лучей;
- 9 - блок вычитания;
- 40 - 10 - блок формирования временных реализаций ИП;
- 11 - блок накопления сигналов в лучах;
- 12 - второй коррелятор;
- 13 - блок принятия решения.

45 Приведенное ниже описание совокупности операций заявляемого способа и принципа его действия сопровождается пояснениями, основанными на блок-схемах вариантов реализующего этот способ устройства (главным образом того варианта устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 2).

Операция 1 (оценивание ИРК) реализуется посредством вычисления взаимно

корреляционной функции (ВКФ) между фрагментом принимаемого сигнала, содержащим испытательный импульс (в смеси с помехами), и опорной функцией коррелятора (это первый коррелятор 7 на фиг. 2 и 3), совпадающей по форме с этим испытательным импульсом. Указанная ВКФ вычисляется в диапазоне ее временных аргументов, равном 5 ожидаемой длительности ИРК. При выполнении операции оценивание ИРК процедура вычисления ВКФ дополняется реализуемой блоком 8 процедурой определения задержек и амплитуд лучей (см. блок-схему на фиг. 2), т.е. процедурой сравнения каждого из временных отсчетов указанной ВКФ с порогом и при превышении некоторыми 10 отсчетами этого порога фиксации соответствующих этим отсчетам значений временного аргумента ВКФ и ее амплитуды. Выполнение операции оценивание ИРК обеспечивается в общей сложности совокупностью показанных на блок-схемах, приведенных на фиг. 2 и 3 блоков 7 и 8. Динамика совместной работы этих блоков подробно раскрыта, в частности, в описании к патенту [5]. При этом в выполнении этой операции в 15 приведенном в указанном источнике описании (см. блок-схему на фиг. 1, приведенную при указанном описании [5]) участвуют блоки 2 и 3, совпадающие по названиям, выполняемым функциям и технической реализации (в том числе, по динамике работы) с совокупностью блоков соответственно 7 и 8, показанных на блок-схемах на фиг. 2 и 3 настоящего описания. Показанный на блок-схемах, приведенных на фиг. 2 и 3 20 настоящего описания, блок буферной памяти 6 при выполнении операции оценивание ИРК просто транслирует принимаемый сигнал на вход коррелятора 2 (речь идет о блок-схеме на фиг. 1, приведенной при указанном описании [5]). Аналогичный блок, выполняющий те же функции, имеется и в блок-схеме, приведенной на фиг. 1 в описании [5] (где он обозначен как блок 1).

Примечание. В связи с тем, что указанный блок буферной памяти 6 никакого 25 функционального преобразования принимаемых сигналов не производит (он их лишь хранит и по поступающим командам выдает на свои выходы, причем два его функциональных выхода показаны на фиг. 2 и 3 условно и могут быть электрически реализованы как один выход), соответствующая ему операция в совокупности признаков заявляемого способа отсутствует. Различия в подаче принимаемых сигналов на блок- 30 схемах, приведенных на фиг. 1 с одной стороны и 2 и 3 с другой стороны (а именно на блок-схеме на фиг. 1 эти сигналы подаются на входы операций 1 и 2 параллельно, а на блок-схеме на фиг. 2 они подаются на соответствующие операциям 1 и 2 блоки 7 и 9 - через блок 6), обусловлены отсутствием в совокупности признаков заявляемого способа операции хранения (буферизации) принимаемых сигналов. Указанные различия 35 преодолеваются, если считать, что в заявляемом способе перед подачей принимаемых сигналов на входы операций 1 и 2 подразумевается их буферизация.

Результатом выполнения операции 1 является оценка ИРК, характеризующаяся совокупностью задержек и амплитуд лучей (имеются в виду задержки лучей относительно луча, пришедшего первым, т.е. характеризующегося минимальным 40 временем распространения).

Операция 2 (формирование временных реализаций ИП) предусматривает поочередное формирование на интервале времени приема ЭП К временных реализаций ИП, каждая к-я из которых соответствует гипотезе приема соответствующей, т.е. к-й альтернативы ЭП  $S_k(t)$ . Содержание данной операции зависит от варианта устройства, реализующего 45 заявляемый способ. Так, при варианте указанного устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 2, операция 2 реализуется следующим образом.

Принимаемая многолучевая ЭП (ее к-я альтернатива)  $y_k(t)$  имеет вид



$$y_k(t) = \sum_{l=1}^L A_l S_k(t - \tau_l), \quad (1)$$

причем  $S_k(t)=0$  при  $t < 0$  или при  $t > T_{\text{ЭП}}$ ,

5 где  $A_l$  и  $\tau_l$  (при  $l = 1 \dots L$ ) - соответственно амплитуда и временная задержка ЭП, принятой по  $l$ -му лучу (имеется в виду задержка относительно ЭП, пришедшей в точку приема первому, т.е.  $l=1$ -му лучу; при этом по определению  $\tau_l = 0$ );  $L$  - количество  
10 лучей, по которым в точку приема приходит каждая ЭП;  $T_{\text{ЭП}}$  - длительность ЭП. (Далее для упрощения изложения и без изменения сущности заявляемого способа полагается, что оценки амплитуд и временных задержек лучей совпадают с их истинными значениями.) Оценки задержек ЭП, принимаемых по совокупности  $L$  лучей, формируются на правом выходе блока 8 (это блок определения задержек и амплитуд лучей,  
15 показанный на блок-схеме на фиг. 2), а оценки амплитуд ЭП, приходящих по этим лучам, формируются на левом выходе указанного блока 8 (в варианте реализующего заявляемый способ устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 3, указанные оценки формируются на тех же выходах того же блока 8).

Принцип (динамика) взаимодействия блоков 6 и 8 реализующего заявляемый способ  
20 устройства (блок-схема которого приведена на фиг. 2) состоит в том, что на управляющий вход блока буферной памяти 6 с левого выхода блока определения задержек и амплитуд лучей 8 последовательно поступают оценки задержек лучей, по поступлении каждой  $l$ -й указанной оценки с нижнего выхода блока 6 читается (в  
25 объекте [5] это осуществляется для дальнейшего накопления ЭП по всем лучам) фрагмент временной реализации принятого сигнала, содержащий ЭП, принятую по  $l$ -му лучу (эта функция подробно описана в [5]). При этом ЭП, принимаемая по указанному  $l$ -му лучу, перекрывается во времени с такими же ЭП, принимаемыми по  
30 всем тем лучам, абсолютная величина разности задержек которых с задержкой  $l$ -го луча не превышает длительности ЭП  $T_{\text{ЭП}}$ , т.е. лучам, задержки которых удовлетворяют следующему условию

$$|\tau_l - \tau_{l'}| \leq T_{\text{ЭП}}. \quad (2)$$

35 При этом при приеме  $k$ -й альтернативы ЭП, пришедшей по  $l$ -му лучу, соответствующая ей временная реализация ИП  $\xi_{kl}(t)$  (с учетом соотношения (1)) вычисляется как

$$40 \quad \xi_{kl}(t) = \sum_{l=1, \neq l'}^L A_l S_k[t - (\tau_l - \tau_{l'})], \quad (3)$$

где запись пределов суммирования в (3) означает, что при суммировании индекс номера луча  $l$  принимает все значения в интервале  $1 \dots L$  за исключением значения  
45  $l = l'$ ; тот факт, что индекс номера луча, участвующего в суммировании в (3), должен удовлетворять соотношению (2), может не оговариваться, поскольку все те слагаемые суммы (3), которые соответствуют ЭП, принимаемым тем по лучам, которые с  $l$ -м лучом во времени не перекрываются, и так никакого вклада в это сумму не вносят.

Пояснение: индекс номера луча  $l'$ , меняющийся в диапазоне  $1 \dots L$ , введен наряду с индексом номера луча  $l$  только для того, чтобы имелась возможность оговорить условие  $l \neq l'$  в соотношении (3). Далее необходимости учета указанного условия нет, поэтому используется только индекс номера луча  $l$  (вместо  $l'$ ).

Операция 2 в процессе отработки заявляемым способом совокупности операций формирования каждой  $k$ -й (из их общего количества  $K$ ) РС предусматривает  $L$ -кратное формирование в соответствии с соотношением (3) временной реализации ИП  $\xi_{kl}(t)$ . При этом при формировании на выходах блока 8 оценок амплитуды и задержки каждого  $l$ -го луча наряду с чтением с нижнего выхода блока 6 фрагмента временной реализации принятого сигнала, содержащий ЭП, принятую по этому  $l$ -му лучу, осуществляется вычисление временной реализации ИП  $\xi_{kl}(t)$ .

Тот факт, что операция 2 на интервале времени приема ЭП выполняется многократно, на представленных блок-схемах заявляемого способа, а также вариантов реализующего его устройств, для простоты не отражен, но подразумевается. Это же относится и к операциям 3 и 4.

Операция 3 (формирование массива разностей  $\{\delta_k(t)\}$ ) реализуется показанным на блок-схеме реализующего заявляемый способ устройства, представленной на фиг. 2, блоком вычитания 9. При этом под каждой разностью  $\delta_k(t)$  понимается совокупность из  $L$  разностей  $\delta_{kl}(t)$ , полученных по совокупности лучей, т.е.

$$\delta_{kl}(t) = S_{kl}(t) - \xi_{kl}(t) \quad (4)$$

при  $l = 1 \dots L$ .

Массив разностей  $\{\delta_k(t)\}$ , сформированный применительно к каждой из совокупности  $K$  альтернатив  $L$ -лучевых ЭП, содержит  $K$  указанных разностей, каждая из которых относится к одной (т.е.  $k$ -й) из альтернатив  $Z$ -лучевой ЭП, причем каждая из этих разностей в свою очередь содержит  $L$  разностей  $\xi_{kl}(t)$  вида (4). Все эти разности поочередно (в пределах интервала времени приема одной ЭП) вычисляются при выполнении операции 3; в реализующем заявляемый способ варианте устройства, блок-схема которого представлена на фиг. 2, эта операция выполняется блоком 9.

Операция 4 (вычисление решающих статистик) реализуется следующим образом. Каждая  $k$ -я РС  $z_k$  вычисляется, например, по формуле

$$z_k = \sum_{l=1}^L A_l \int_0^{T_{\text{ЭП}}} \delta_{kl}(t) S_k(t) dt \quad (5)$$

В соотношении (5) суммирование осуществляется по лучам, а интегрирование от произведения  $\delta_{kl}(t) S_k(t)$  - есть корреляция между разностью  $\delta_{kl}(t)$  и опорной функцией, совпадающей по форме с  $k$ -й альтернативой ЭП  $S_k(t)$ . Здесь и далее начало отсчета времени при приеме очередной ЭП отсчитывается от момента приема ее переднего фронта.

Возможен также и вариант расчета РС по формуле (5) при изменении в ней порядка суммирования и интегрирования, т.е. вариант вида

$$z_k = \int_0^{T_{\text{ЭП}}} \sum_{l=1}^L A_l \delta_{kl}(t) S_k(t) dt. \quad (5a)$$

В варианте реализующего заявляемый способ устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 2, вычисление РС производится фактически в соответствии с формулой (5а), причем реализуется оно совокупностью блоков накопления сигналов в лучах (блок 11) и вторым коррелятором (блок 12).

5 Операция 5 (вынесение решения) реализуется путем сравнения всех РС  $z_k$  и определения индекса  $k=k_0$  при той из совокупности РС  $z_{k0}$ , которая является среди них максимальной по уровню, т.е. удовлетворяет условию

$$z_{k_0} = \max_k \{z_k\}. \quad (6)$$

10 В описанном выше варианте реализующего заявляемый способ устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 2, компенсация ИП осуществляется до К- ратного вычисления корреляции принимаемого сигнала с опорными функциями, совпадающими с альтернативами ЭП. Между тем операции компенсации ИП (т.е. вычитания) и вычисления корреляции принимаемого сигнала с каждой из К фиксированных опорных  
15 функций являются линейными, и поэтому при изменении порядка их выполнения результат обработки не изменится. Этим положением обосновывается эквивалентность вариантов устройств, блок-схемы которых приведены на фиг. 2 и 3.

В варианте устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 3, вначале реализуется процедура вычисления корреляций (второй коррелятор 12 на блок-схеме на фиг. 3) и  
20 лишь затем компенсация ИП (блок вычитания 9 в блок-схеме на фиг. 3). В данном варианте устройства имеется, в частности, следующая особенность выполнения операции формирования временных реализаций ИП (в сравнении с вариантом устройства, блок-схема которого приведена на фиг. 2), а именно в данном случае указанная операция реализуется следующим образом.

25 Пусть временная реализация автокорреляционной функции (АКФ)  $k$ -й альтернативы ЭП -  $\Omega_k(\tau)$ . Вводится модифицированная АКФ (МАКФ)  $k$ -й альтернативы ЭП вида

$$\begin{aligned} \Omega_{km}(t) &= 0 \text{ при } t \in \tau_l \pm 0.5\tau_k; \\ \Omega_{km}(t) &= \Omega_k(t) \text{ при } t \notin \tau_l \pm 0.5\tau_k, \end{aligned} \quad (7)$$

30 где  $\tau_k$ - интервал корреляции ЭП (определяемый как  $\tau_k=1/F$ , где  $F$  - ширина полосы частот ЭП); записи  $t \in \tau_l \pm 0.5\tau_k$  и  $t \notin \tau_l \pm 0.5\tau_k$  означают, что временной аргумент  $t$  АКФ  $\Omega_k(t)$  соответственно принадлежит и не принадлежит интервалам  $\tau_l \pm 0.5\tau_k$  при всех  $l$ .

35 Формирование временных реализаций ИП (выполняемое блоком 10 формирования временных реализаций ИП) в рассматриваемом случае выполняется по следующему правилу:

$$\xi_k(t) = \sum_{l=1}^L A_l \Omega_{km}(t - \tau_l). \quad (8)$$

40 Таким образом, в варианте реализующего заявляемый способ устройства, блок-схема которого представлена на фиг. 3, операция формирования временных реализаций ИП осуществляется не раздельно по ЭП, принимаемой по каждому лучу (как это было в варианте устройства, блок-схема которого представлена на фиг. 2), а по всей  
45 многолучевой ЭП в целом (причем все это - для каждой альтернативы ЭП в отдельности).

Примечание. При описании рассматриваемых двух вариантов реализующего заявляемый способ устройства функционально эквивалентным данным соответствуют их совпадающие обозначения. Из этого не следует, что все эти данные в двух варианта

устройства между собой совпадают количественно.

В остальном рассматриваемый вариант устройства работает следующим образом. По всей хранящейся в блоке 6 временной реализации принимаемого (на интервале времени прихода очередной ЭП) сигнала в совокупности блоков 7 и 8 реализуется оценивание ИРК (точно так же, как и в варианте устройства, блок-схема которого представлена на фиг. 2), а во втором корреляторе 12 - К-кратное вычисление ВКФ между этой реализацией и опорными функциями, совпадающими по форме с к-альтернативами ЭП. В итоге на выходе коррелятора 12 формируются К указанных ВКФ  $R_k(t)$  при  $k=1 \dots K$ . Диапазон изменения временного аргумента  $t$  каждой из этих ВКФ равен предполагаемой длительности ИРК.

Далее в блоке вычитания 9 осуществляется вычисление К разностей

$$\delta_k(t) = R_k(t) - \xi_k(t). \quad (9)$$

Каждый к-й при  $k=1 \dots K$  формируемый далее в блоке 11 результат накопления сигналов в лучах, являющийся фактически массивом из К РС  $z_k$ , определяется как сумма вида

$$z_k = \sum_{l=1}^L A_l \delta_k(t), \quad (10)$$

Результаты выполнения расчетов по формуле (10) эквивалентны (причем не только функционально, но в данном случае практически и количественно) РС вида (5) и (5а).

Далее в блоке принятия решения рассматриваемого устройства формируется оценка индекса  $z_{k0}$  в соответствии с правилом (6).

Таким образом, несмотря на то, что в варианте устройства, блок-схема которого приведена рис. 3, порядок выполнения преобразований сигнала совпадает с оговоренным в формуле изобретения не вполне, этот вариант устройства эквивалентен варианту устройства, блок-схема которого приведена рис. 2 (он скомпонован из варианта, блок-схема которого приведена рис. 2, путем изменения на обратный порядка следования операций вычисления корреляций и вычитаний, являющихся линейными). В связи с изложенным, реализующее заявляемый способ устройство, блок-схема которого приведена рис. 3 (оно скомпоновано на основе того же изобретательского решения, что и устройство, блок-схема которого представлена на фиг. 2), следует считать примером (вариантом) устройства, реализующего заявляемый способ.

Все блоки всех реализующих заявляемый способ вариантов устройства выполняются на программируемых аппаратных средствах цифровой обработки сигналов. Кроме того, указанные устройства (как и сам заявляемый способ) рассчитаны на использование в синхронной системе связи. В такой системе на приемном конце известны моменты начала прихода каждой ЭП. Принципиально возможен, например, вариант реализации синхронизации с реализацией работы передатчика и приемника в системе единого времени; при этом время распространения сигнала от передатчика до приемника известно. В этом случае в состав реализующих заявляемый способ устройств входит таймер, выдающий в момент прихода переднего фронта каждой ЭП сигнал синхронизации на не опущенные на фиг. 2 и 3 синхровходы всех блоков 6...13. В момент подачи сигнала синхронизации начинается выполнение своей функции блоком 6 и далее с небольшими задержками друг относительно друга - блоками 7...13.

Аппаратные средства синхронизации в состав указанных устройств (а также и соответствующие им операции в состав заявляемого способа) не включены, поскольку подавляющее большинство систем цифровой (дискретной) связи являются синхронными,

и поэтому специалисту для воспроизведения заявляемого объекта конкретизация (описание) средств синхронизации не требуется.

Технический эффект - повышение помехоустойчивости приема сигналов цифровой связи при работе системы связи в условиях наличия многолучевой интерференции - достигается в заявляемом способе за счет того, что его принцип действия основан на когерентной (корреляционной) обработке принимаемых ЭП, обеспечивающей максимально возможное отношение сигнал/шум в формируемых РС, по которым принимается решение.

Объем данного изобретения не ограничивается приведенными в описании примерами устройств, которые являются лишь иллюстрирующими, а прилагаемую формулу изобретения следует рассматривать с учетом возможных эквивалентов.

#### Литература

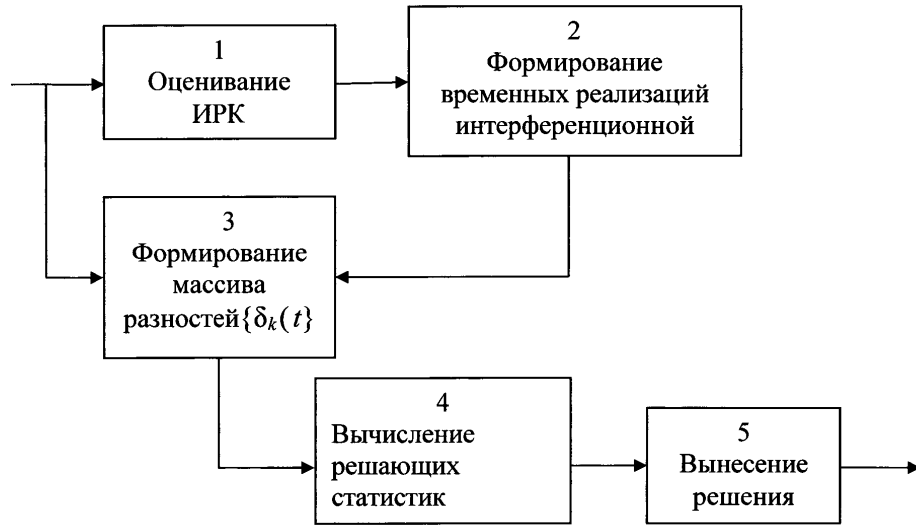
1. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. - М.: Радио и связь. 1969. - 304 с.: ил.
2. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В. Теория электрической связи / Под ред. Кловского Д.Д. - М.: Радио и связь, 1999. - 432 с.: ил.
3. Стандарт IEEE 802.11a, b, g, n. Беспроводные сети передачи данных Wi-Fi. (Интернет-ресурс; набрать приведенное название статьи, например, в Yandex).
4. Боттомлей Грегори Е. Способ и устройство для подавления интерференции в многоантенных цифровых сотовых системах связи. Патент РФ № 2137302.
5. Голубев А.Г. «Устройство для декодирования дискретных сигналов, распространяющихся в многолучевом канале». Пат. РФ № 2560102.

#### (57) Формула изобретения

Способ приема сигналов в системе цифровой связи с компенсацией помех, обусловленных многолучевой интерференцией, в соответствии с которым по испытательному импульсу, расположенному в заранее известном на приемном конце системы связи фрагменте интервала времени приема сообщения, осуществляют операцию оценивания импульсной реакции канала (ИРК) распространения, формируют соответствующую каждой  $k$ -й (где  $k=1 \dots K$ , причем  $K$  - количество альтернатив в алфавите передаваемых ЭП) из допустимых альтернатив ЭП  $k$ -ю временную реализацию интерференционной помехи (ИП), причем указанное формирование реализаций ИП осуществляют с учетом результата оценивания ИРК, формируют массив разностей  $\{\delta_k(t)\}$ , между анализируемой ЭП и каждой  $k$ -й из указанных реализаций ИП в отдельности, по каждой из этих разностей формируют  $k$ -ю решающую статистику (РС), а по совокупности указанных РС выносят решение о том, какая именно ЭП принята, отличающийся тем, что каждую  $k$ -ю (при  $k=1 \dots K$ ) РС  $z_k$  формируют посредством вычисления корреляции между  $k$ -й реализацией разности  $\delta_k(t)$  и  $k$ -й альтернативой ЭП, а решение о том, какая именно ЭП принята, выносят путем определения индекса  $k=k_0$  при той из совокупности РС  $z_{k_0}$ , которая удовлетворяет условию

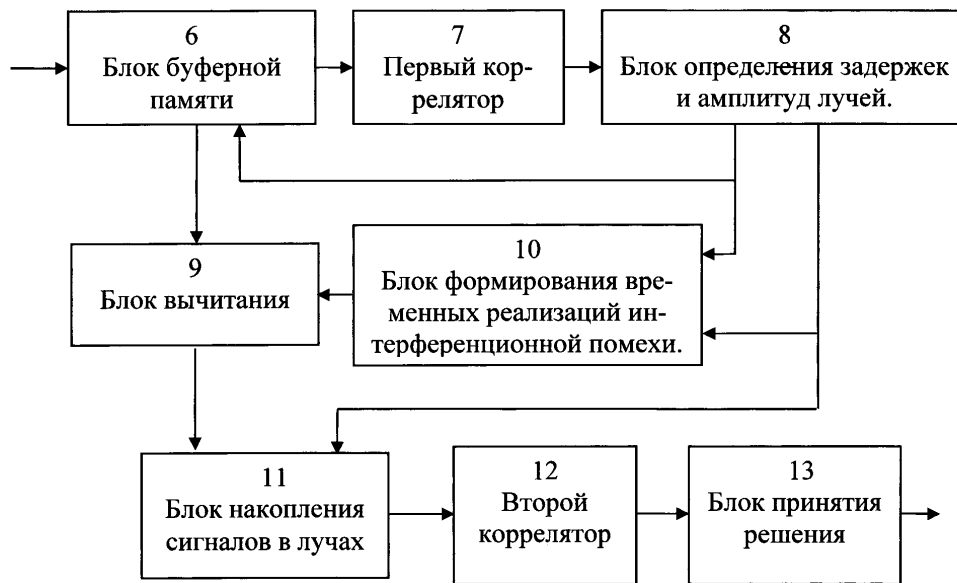
$$z_{k_0} = \max_k \{z_k\}.$$

1

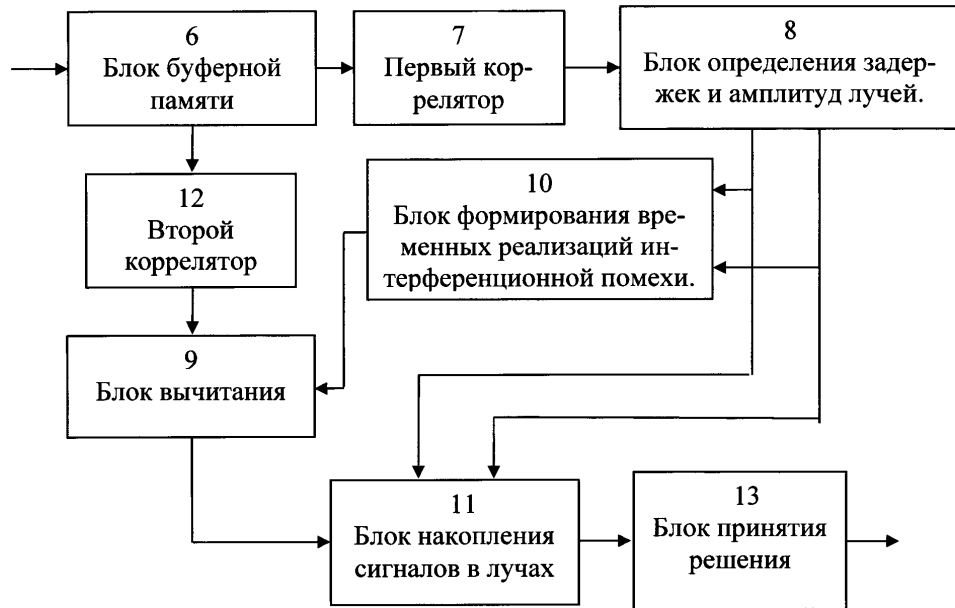


Фиг.1. Блок-схема заявляемого способа.

2



Фиг.2. Блок-схема устройства, реализующего заявляемый способ (вариант 1).



Фиг.3. Блок-схема устройства, реализующего заявляемый способ (вариант 2).