



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013151578/08, 19.11.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.11.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.11.2013

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2015 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 10.10.2015 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: СКЛЯР Б., Цифровая связь. теоретические основы и практическое применение, 2-ое издание, Москва, изд. Дом "Вильямс", 2003, стр.1014, рис.15,24. RU 2346404 C2, 10.02.2009. RU 116293 U1, 20.05.2012. RU 2267230 C1, 27.12.2005. US 6002716 A, 14.12.1999. EP 0535403 A1, 07.04.1993. EP 2348649 A2, 27.07.2011.

Адрес для переписки:

194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса, 21, кв. 113, Голубеву А.Г.

(72) Автор(ы):

Голубев Анатолий Геннадиевич (RU),
Молчанов Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

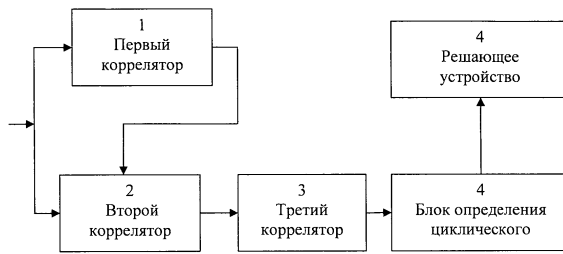
Открытое акционерное общество
"Камчатский гидрофизический институт"
(ОАО "КГФИ") (RU)

(54) СПОСОБ ДЕКОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ СВЯЗИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области передачи дискретной информации или передачи данных и предназначено для применения в устройствах приема (декодирования) сигналов в системах связи, в частности в каналах с многолучевым распространением. Технический результат - обеспечение возможности декодирования сообщения при движущихся носителях приемника и/или передатчика. Для этого осуществляют взаимно-корреляционную обработку принимаемых сигналов в каждом из $M \geq 2$ каналов декодирования, причем не менее чем в одном из каналов декодирования взаимно-корреляционную обработку принимаемых сигналов выполняют многоканальной по доплеровской скорости носителя передатчика относительно носителя приемника, затем осуществляют измерение доплеровского сжатия масштаба времени в

принимаемом сигнале, а по результатам этого измерения выполняют коррекцию масштаба времени опорной функции, используемой при осуществлении каждой из операций взаимно-корреляционной обработки принимаемых сигналов в не менее чем $M-1$ каналах декодирования, по результатам взаимно-корреляционной обработки не менее чем в $M-1$ каналах декодирования принимают решение о принятом коде. Положительный эффект достигается за счет подстройки опорных функций корреляторов, реализующих операции взаимно-корреляционной обработки, под обусловленное текущим доплеровским эффектом сжатие (или растяжение) масштаба времени принимаемого сигнала. Эта подстройка реализуется путем такого же сжатия масштаба времени указанных опорных функций. 2 ил.



Блок-схема заявляемого устройства.

Фиг.1

RU 2565014 C2

RU 2565014 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013151578/08, 19.11.2013**
 (24) Effective date for property rights:
19.11.2013
 Priority:
 (22) Date of filing: **19.11.2013**
 (43) Application published: **27.05.2015** Bull. № 15
 (45) Date of publication: **10.10.2015** Bull. № 28
 Mail address:
**194156, Sankt-Peterburg, pr. Ehngel'sa, 21, kv. 113,
 Golubevu A.G.**

(72) Inventor(s):
**Golubev Anatolij Gennadievich (RU),
 Molchanov Pavel Aleksandrovich (RU)**
 (73) Proprietor(s):
**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo
 "Kamchatskij gidrofizicheskiy institut" (OAO
 "KGFI") (RU)**

(54) **METHOD OF DECODING COMMUNICATION SIGNALS**

(57) Abstract:

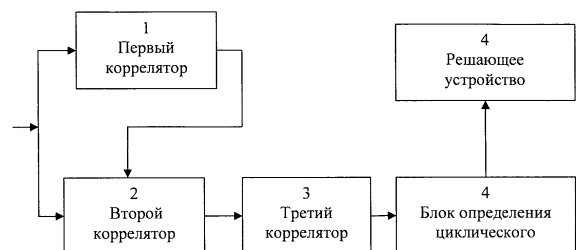
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: invention relates to transmission of discrete information or transmission of data and is intended for application in devices for receiving (decoding) signals in communication systems, particularly in multipath channels. The method includes cross-correlation processing of received signals in each of $M \geq 2$ decoding channels, where in at least one of the decoding channels cross-correlation processing of received signals is performed in a multichannel manner based on the Doppler velocity of the carrier of the transmitter relative to the carrier of the receiver; measuring the Doppler compression of the time scale in the received signal; based on the measurement result, correcting the time scale of the reference function used for each cross-correlation processing of the received signals in at least $M-1$ decoding channels; making a decision on the received code based on the results of cross-correlation processing in at least $M-1$ decoding

channels. The positive effect is achieved by adjusting reference functions of correlators performing cross-correlation processing under the compression (or stretching) of the time scale of the received signal updated by the current Doppler Effect. This adjustment is realised by the same compression of the time scale of said reference functions.

EFFECT: enabling message decoding with moving receiver and/or transmitter carriers.

2 dwg



Блок-схема заявляемого устройства.

Фиг. 1

RU 2 565 014 C2

RU 2 565 014 C2

Изобретение относится к области передачи дискретной информации или передачи данных и предназначено для применения в устройствах приема (декодирования) сигналов в системах связи, в частности в каналах с многолучевым распространением.

Одной из основных при обработке сигналов в декодерах, работающих в системах передачи дискретной информации, является совокупность операций фильтрации, согласованной со всеми информационными сигналами передаваемого алфавита [1, разделы 3.2.2 и 3.2.3]. Далее наряду с термином «операция согласованной фильтрации» для удобства последующего изложения используются и эквивалентные ему термины «операция вычисления корреляции» или «операция взаимно-корреляционной обработки»; это уточнение терминологии в принципиальном плане ничего не меняет (об эквивалентности согласованной фильтрации и корреляции сказано, в частности, в [1, разделы 3.2.2]). По результатам выполнения операции вычисления корреляции в указанном аналоге реализуется операция принятия решения о переданном коде (рассматриваем простейший вариант декодирования, т.е. поэлементный прием).

При использовании в системе связи M -арного кодирования [1, с.33] и неподвижных источнике и приемнике передаваемого сообщения количество одновременно выполняемых операций вычисления корреляций составляет M или 2^M (это зависит от варианта определения M -арного кода как содержащего либо M альтернатив информационных сигналов, либо M бит; далее для конкретности считаем, что речь идет о варианте M альтернатив информационных сигналов). От количества указанных одновременно выполняемых операций напрямую зависят вычислительные ресурсы аппаратных средств фильтрации, необходимые для реализации как этой операции, так и всей совокупности операций декодирования.

Известные аналоги (см. например, [2]...[6]), как и упомянутый выше аналог [1], рассчитаны на передачу данных только при неподвижных источнике и приемнике. В случае же реализации связи между подвижными объектами при взаимно неизвестных скоростях и направлениях их движения каждая из упомянутых выше при описании аналога [1] операций вычисления корреляции должна была бы быть многоканальной по доплеровской скорости объектов (в данном случае доплеровская скорость есть скорость их взаимного сближения/удаления). При разрешении информационных сигналов по доплеру, составляющем ν_0 (Гц) (в данном случае речь идет о разрешении по доплеровскому сдвигу частоты), и диапазоне этих скоростей μ (Гц) (в данном случае речь идет о возможном диапазоне доплеровских сдвигов частоты) количество одновременно выполняемых операций доплеровской фильтрации при каждом из передаваемых символов составляет ν_0/μ , а общее количество таких операций - $M \cdot \nu_0/\mu$. При этом в связи со значительными необходимыми вычислительными ресурсами аппаратных средств фильтрации имело бы место существенное удорожание аппаратуры декодера. Указанный недостаток, а именно расчет только на передачу данных между неподвижным источником и приемником, либо дороговизна аппаратных средств обработки при предполагаемом развитии аналогов за счет доплеровской многоканальности фильтрации (чего фактически в описаниях этих аналогов нет), в равной степени присущ всем известным аналогам.

В качестве прототипа рассматривается способ декодирования [1]. Его недостаток сформулирован выше.

Целью заявляемого способа является преодоление указанного недостатка прототипа. Для достижения этой цели в способ декодирования сигналов связи, включающий операцию взаимно-корреляционной обработки принимаемых сигналов в каждом из $M \geq 2$ каналов декодирования, а также операцию принятия решения по результатам

взаимно-корреляционной обработки не менее чем в $M-1$ каналах декодирования, причем не менее чем в одном из каналов декодирования операция взаимно-корреляционной обработки принимаемых сигналов выполняется многоканальным по доплеровской скорости носителя передатчика (и/или приемника - в дальнейшем это «и/или...» может не оговариваться, но при этом подразумевается), по результатам этой операции выполняется операция измерения доплеровского сжатия масштаба времени в принимаемом сигнале, а по результатам этого измерения реализуется операция коррекции масштаба времени опорной функции, используемой при осуществлении каждой из операций взаимно-корреляционной обработки принимаемых сигналов в не менее чем $M-1$ каналах декодирования.

Блок-схема заявляемого способа представлена на фиг.1, где обозначены:

- 1-1...1- M - операции взаимно-корреляционной обработки в каждом из M каналов декодирования (здесь и далее значок «-» есть дефис; операции же вычитания или тире соответствует значок «-»);
- 2 - операция принятия решения;
- 3-1...3-($M-1$) - операция коррекции масштаба времени опорных функций в $M-1$ каналах декодирования;
- 4 - операция измерения доплеровского сжатия масштаба времени в принимаемом сигнале.

Каждая из операций взаимно-корреляционной обработки 1-1...1- M выполняется по принципу высокоскоростной свертки, поясненному, например, в [7, блок-схема на рис.5.14, с.295]. При этом сигнальным входом реализующего эту операцию коррелятора является нижний на указанном рис.5.14 вход, на который подается принимаемый сигнал $x(n)$. Опорная же функция этого коррелятора (на указанном рис.5.14 она обозначена как $h(n)$) хранится в его долговременной памяти, на рис.5.14 для простоты не показанной. Далее обозначаем опорную функцию коррелятора, выполняющего операцию взаимно-корреляционной обработки в i -м ($i=0...M$) канале декодирования, как $h_i(n)=S_i(n)$ (здесь и далее n - аргумент дискретного времени, которому соответствует момент $t_n=n/f_d$, где f_d - частота дискретизации; $S_i(n)$ - сигнал, соответствующий передаче i -го символа из M -арного алфавита).

При реализации каждого коррелятора, выполняющего соответствующую операцию взаимно-корреляционной обработки, над его опорной функцией, дополненной с целью формирования аперидической свертки нулевыми отсчетами (см. [8, разделы 2.24 и 2.25]) выполняется операция дискретного преобразования Фурье (ДПФ), и массив результата ДПФ (результат его комплексного сопряжения) запоминается в долговременной памяти соответствующего коррелятора. Над массивами отсчетов входного сигнала $x(n)$ также выполняется ДПФ, далее выполняется поэлементное перемножение (т.е. перемножение одноименных отсчетов) массивов результатов ДПФ над опорной функцией и над входным сигналом и обратное ДПФ (ОДПФ) от массива результатов указанного перемножения. Период обновления массива отсчетов входного сигнала при смежных по времени циклах вычисления корреляции в каждом из корреляторов обычно выбирается равным длительности каждого из сигналов $S_i(n)$ (длительности всех сигналов $S_i(n)$ при $i=0...M$ между собой совпадают), при этом длина окна ДПФ составляет несколько более чем двойную длительность каждого из этих сигналов. M независимо выполняемых операций взаимно-корреляционной обработки показаны на фиг.1 условно. При их реализации в спектральной области входящая в состав выполняющих эти операции корреляторов процедура ДПФ от входного сигнала

может быть для всех корреляторов общей.

Возможен также эквивалентный рассмотренному вариант блок-схемы реализующего каждую операцию 1-1...1-М коррелятора во временной области; описание этого варианта коррелятора приведено в [7, рис.6.18б, с.418], где (в соответствии с
5 сегодняшним уровнем техники) вместо рециркулирующей линии задержки, хранящей массив временных отсчетов опорного сигнала при его жестком ограничении, реализуется многоразрядный регистр сдвига, хранящий те же отсчеты, представленные многоразрядными кодовыми словами или соответствующее оперативное запоминающее устройство.

10 Не менее чем одна из операций взаимно-корреляционной обработки (на фиг.1 она обозначена как операция 1-М), реализуется многоканальной по доплеровской скорости (имеется в виду скорость сближения или расхождения носителей приемника и/или передатчика, т.е. выполняющий ее коррелятор содержит $K_d \geq v_0/\mu$ областей
15 долговременной памяти, в которых хранятся K_d опорных функций $S_M(n, v_k)$, где v_k - k -я альтернатива сжатия (растяжения) масштаба времени принимаемого сигнала, происходящего вследствие в общем случае ненулевой доплеровской скорости носителей приемника и/или передатчика (далее для краткости именуем это параметр как k -я доплеровская альтернатива); $v_k = k \cdot \Delta v$, где $\Delta v \leq v_0$ - шаг между смежными доплеровскими
20 альтернативами (целесообразно выполнение условия $\Delta v = (0.5 \dots 0.7) \cdot v_0$).

Каждая k -я опорная функция указанного 1-М-го канала декодирования (т.е. опорная функция, соответствующая k -й альтернативе доплеровской скорости) определяется как $S_M(n, v_k) = S_M[\tilde{n}(v_k)]$, где при малых доплеровских скоростях справедливо соотношение
25 $\tilde{n}(v_k) = n \cdot \{1 - v_k \cdot f_0^{-1}\}$. Доплеровскую скорость V_k считаем положительной при сближении точек передачи и приема. Доплеровская скорость V_k является малой при $V_k \cdot c^{-1} \ll 1$, где c - скорость распространения сигнала в канале связи.

30 Многоканальная по доплеровской скорости корреляция выполняется путем вычисления ДПФ от входного сигнала и от всех K_d опорных функций, векторного (т.е. поэлементного) перемножения результата ДПФ от входного сигнала и результата ДПФ от каждой опорной функции в отдельности и вычисления ОДПФ от каждого из результатов указанного векторного перемножения. В итоге выполнения операции 1-М формируется совокупность из K_d результатов взаимно-корреляционной обработки.

35 Динамика обновления входных и выходных данных при выполнении операций 1-1...1-М иллюстрируется, например, в [8, с.76-78].

Операция принятия решения 2 выполняется решающим блоком, представляющим собой схему сравнения каждого текущего уровня сигнала на его входе с заданным порогом, хранящимся в его долговременной памяти. В случае превышения уровнем i -го сигнала (т.е. результата взаимно-корреляционной обработки в i -м канале
40 декодирования) порога на выходе решающего блока формируется, например, код « i », свидетельствующий о принятии сигнала $S_i(n)$.

Следует заметить, что все операции взаимно-корреляционной обработки (с оговоркой относительно реализации такой операции в не менее чем одном канале декодирования
45 в многоканальном по доплеру варианте), а также операция принятия решения по своему содержанию и выполнению в заявляемом объекте и в прототипе полностью совпадают.

Совокупность операций 3-1...3-(М-1) коррекции масштаба времени опорных функций в не менее чем М-1 каналах декодирования выполняется следующим образом. При сформированном выполнении операции 4 результата измерения величины доплеровского

сжатия масштаба времени ξ (описание содержания этой операции приведено ниже) все опорные функции $S_i(n)$ не менее чем $M-1$ каналов декодирования пересчитываются как

$$S_i(n, \xi) = S_i[\check{n}(\xi)], \text{ где } \check{n}(\xi) = n \cdot (1 - \xi \cdot f_0^{-1}).$$

5 Операция измерения доплеровского сжатия масштаба времени (оси времени) в принимаемом сигнале 4 реализуется следующим образом. При выполнении операции взаимно-корреляционной обработки в не менее чем одном канале декодирования (а именно операции 1- M) сформированы K_d результатов этой операции в K_d доплеровских каналах. При выполнении операции 4 находится максимальный по уровню из этих
10 результатов и определяется номер соответствующей ему доплеровской альтернативы, т.е. номер « k_0 » той опорной функции $S_M(n, \nu_k)$, результат взаимно-корреляционной обработки принимаемого сигнала с которой оказался максимальным по уровню. Указанный уровень обозначается как Y_{k_0} . Наряду с этим уровнем также фиксируются уровни результатов взаимно-корреляционной обработки принимаемого сигнала с
15 опорными функциями $S_M(n, \nu_{k-1})$ и $S_M(n, \nu_{k+1})$; эти уровни обозначаются соответственно как Y_{k_0-1} и Y_{k_0+1} . Далее искомое значение результата измерения доплеровского сжатия масштаба времени ξ вычисляется по формуле (что следует из [7, с.325, ф-ла (5.39)])

$$\xi = \{k_0 + [0.5 \cdot (Y_{k_0-1} - Y_{k_0+1}) / (Y_{k_0+1} - 2 \cdot Y_{k_0} - Y_{k_0-1})]\} \cdot \Delta \nu.$$

20 Принцип действия заявляемого способа состоит в следующем. Сообщение сопровождается (а, возможно, и начинается) передачей серии испытательных или синхроимпульсов, т.е. импульсов заранее известной формы, не несущих информации, а служащих только для установления связи или для контроля импульсной
25 характеристики канала [2]. Пусть, например, этот сигнал передается эпизодически (см. [2, с.108, рис.3.1]). При этом информационные сигналы передаются при $(M-1)$ -арном кодировании. В результате выполнения функции взаимно-корреляционной обработки каждого из испытательных сигналов (операция 1- M) и измерения доплеровского сжатия масштаба времени в этих сигналах (операция 4) формируется параметр ξ . Принцип его формирования основан на параболической интерполяции зависимости уровня результата
30 взаимно-корреляционной обработки от расстройки частоты принимаемого сигнала (см. [7, с.325]). В результате выполнения совокупности операций 3-1...3-($M-1$) коррекции масштаба времени опорных функций в $M-1$ каналах декодирования происходит настройка реализующих операции взаимно-корреляционной обработки 1-1...1-($M-1$) корреляторов на мгновенную доплеровскую скорость сближения (расхождения)
35 носителей передатчика и приемника, чем обеспечивается классический (т.е. как в аналогах и прототипе) вариант работы декодера, рассчитанного на декодирование сигналов связи при неподвижных носителях передатчика и приемника. А именно в каждом i -м из $M-1$ каналов декодирования реализуется одноканальная по доплеру взаимно-корреляционная обработка одного (соответствующего этому каналу, т.е. i -
40 му) из сигналов передаваемого алфавита $S_i(n)$, среди всех $M-1$ результатов этой обработки как правило (т.е. в смысле статистической тенденции) максимальным будет сигнал на выходе именно того канала декодирования, опорная функция в котором совпадает с фактически переданным сигналом, что и будет зафиксировано при выполнении операции 4.

45 Возможен вариант реализации способа декодирования, эквивалентный описанному и состоящий в коррекции масштаба времени не опорных функций, а принимаемого сигнала. При этом коррекция масштаба времени в принимаемом сигнале $x(n)$ математически описывается как

$$x(n, \xi) = x[\check{n}(\xi)], \text{ где } \check{n}(\xi) = n \cdot (1 + \xi \cdot f_0^{-1}).$$

Таким образом, заявляемый способ, в отличие от прототипа, обеспечивает решение задачи декодирования при наличии относительного движения носителей передатчика и приемника, причем практически без увеличения вычислительных затрат аппаратных средств сигнальной обработки, необходимых для реализации функции декодирования в сравнении с прототипом, в котором декодирование в таких условиях невозможно.

Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е издание. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1098 с., ил.

2. Д.Д. Кловский. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Связь. 1969. 375 с., ил.

3. Устройство приема дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Пат. РФ №2048701.

4. Цифровое устройство для демодуляции дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Пат. РФ 2267230.

5. Устройство для передачи дискретных сигналов в многолучевом канале связи. Пат. РФ №959291.

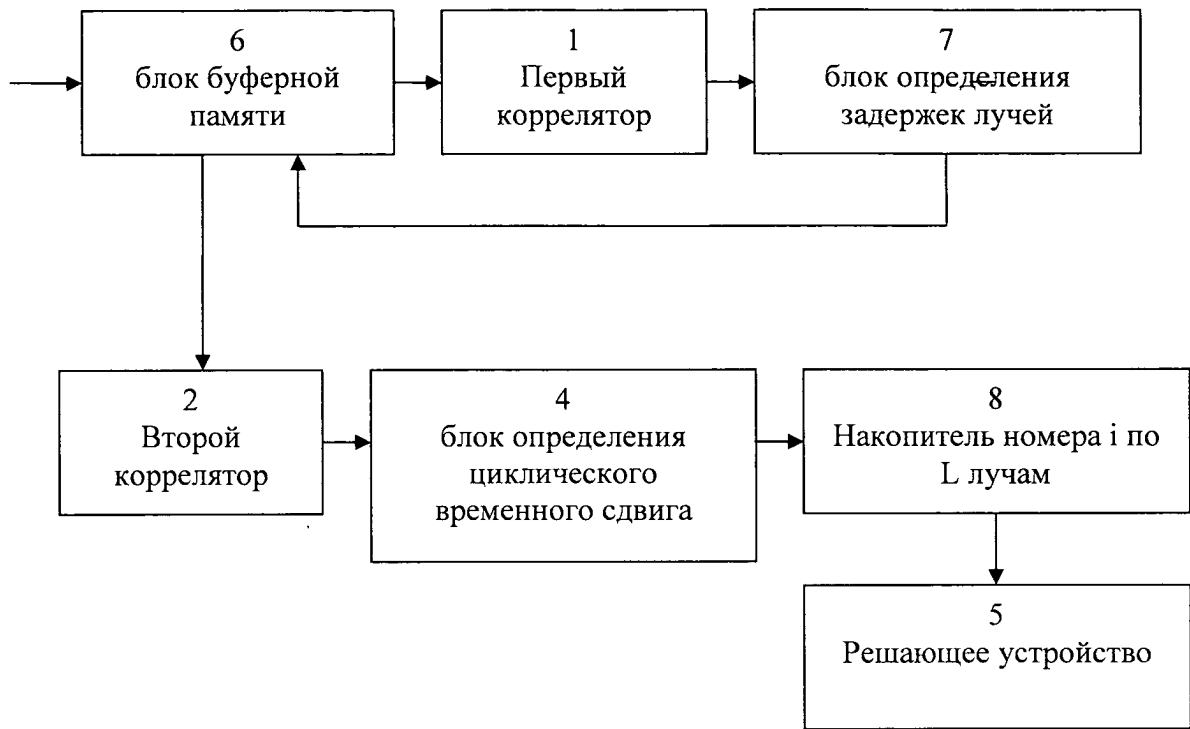
6. Sussman S.M. A matched filter communication system for multipath channels // IEEE Trans. IT - 6. N 3. June 1960.

7. «Применение цифровой обработки сигналов» под ред. Э. Оппенгейма. М.: Мир. 1980. 552 с., ил.

8. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир. 1978. 848 с., ил.

Формула изобретения

Способ декодирования сигналов связи, включающий операцию взаимно-корреляционной обработки принимаемых сигналов в каждом из $M \geq 2$ каналов декодирования, а также операцию принятия решения по результатам взаимно-корреляционной обработки не менее чем в $M-1$ каналах декодирования, отличающийся тем, что не менее чем один из каналов декодирования выполняется многоканальным по доплеровской скорости носителя передатчика относительно носителя приемника, по результатам взаимно-корреляционной обработки в этом канале декодирования осуществляется измерение доплеровского сжатия масштаба времени в принимаемом сигнале и по результатам этого измерения осуществляется коррекция масштаба времени опорных функций, используемых при осуществлении операций взаимно-корреляционной обработки в не менее чем $M-1$ каналах декодирования.



Блок-схема прототипа.

Фиг.2