



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H03H 21/00 (2006.01); H03H 21/0001 (2006.01); H03H 21/0018 (2006.01); H03H 11/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017121484, 19.06.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.06.2017Дата регистрации:  
08.05.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.06.2017

(45) Опубликовано: 08.05.2018 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

199178, Санкт-Петербург, 11-я линия В.О., 66,  
лит. А, Публичное акционерное общество  
"Российский институт мощного радиостроения",  
Патентное бюро

(72) Автор(ы):

Егоров Владимир Викторович (RU),  
Катанович Андрей Андреевич (RU),  
Лобов Сергей Александрович (RU),  
Маслаков Михаил Леонидович (RU),  
Мингалев Андрей Николаевич (RU),  
Смаль Михаил Сергеевич (RU),  
Тимофеев Александр Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

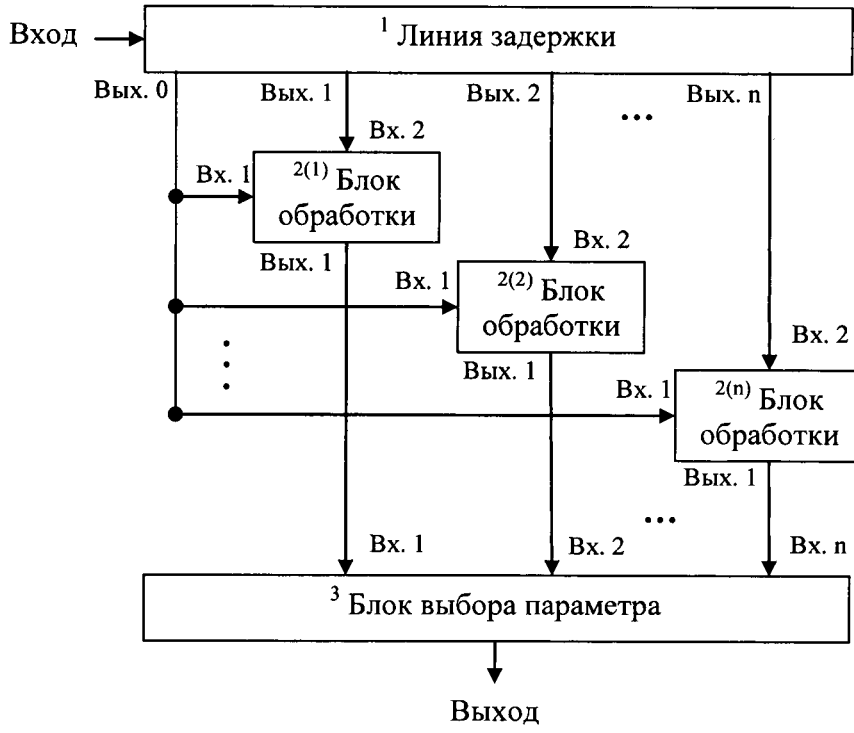
Публичное акционерное общество  
"Российский институт мощного  
радиостроения" (ПАО "РИМР") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: А.Ф.ВЕРЛАНЬ и др., Методы  
решения интегральных уравнений с  
программами для ЭВМ, Справочное  
пособие, Киев, Наукова Думка, 1978, стр.  
142-190. RU 2315429 С2, 20.01.2008. RU  
2436228 С1, 10.12.2011. GB 2506711 А,  
09.04.2014.(54) СПОСОБ АДАПТИВНОГО ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА АЛГОРИТМА  
КОРРЕКЦИИ СИГНАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике связи и может быть использовано в системах передачи данных с адаптивной коррекцией сигналов для выбора параметра алгоритма коррекции. Техническим результатом является выбор оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов без знания априорной информации с увеличенной точностью оценки  $\alpha_{\text{опт}}$ . Для этого, используя алгоритм  $R\{\}$  на основе поступившего тестового сигнала  $u_0(t)$  рассчитывают импульсную характеристику корректирующего фильтра  $h_{\text{кор}}(t, \alpha)$ , с помощью которой, используя алгоритм  $R\{\}$ , корректируют поступившие тестовые сигналы  $u_1(t) \dots u_n(t)$ , задержанные на интервал, равный длине информационного

сигнала  $L_{\text{И}}$ , в результате чего получают откорректированные тестовые сигналы  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , определяют значения ошибки  $e_j = \|K_j(t, \alpha) - K(t)\|, j = 1 \dots n$ , определяют зависимость значения ошибки  $e_1 \dots e_n$  от параметра  $\alpha$  путем изменения значения этого параметра, в результате чего получают массив значений параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , обеспечивающий соответствующее минимальное значение ошибки  $e_1 \dots e_n$  для каждого откорректированного тестового сигнала  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , после чего из массива  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  осуществляют окончательный выбор оптимального значения параметра  $\alpha_{\text{опт}}$ . 3

ил.



Фиг. 1

RU 2653485 C1

RU 2653485 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*H03H 21/00* (2006.01); *H03H 21/0001* (2006.01); *H03H 21/0018* (2006.01); *H03H 11/00* (2006.01)(21)(22) Application: **2017121484, 19.06.2017**(24) Effective date for property rights:  
**19.06.2017**Registration date:  
**08.05.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **19.06.2017**(45) Date of publication: **08.05.2018** Bull. № 13

Mail address:

199178, Sankt-Peterburg, 11-ya liniya V.O., 66, lit.  
A, Publichnoe aktsionernoe obshchestvo "Rossijskij  
institut moshchnogo radiostroeniya", Patentnoe  
byuro

(72) Inventor(s):

Egorov Vladimir Viktorovich (RU),  
Katanovich Andrej Andreevich (RU),  
Lobov Sergej Aleksandrovich (RU),  
Maslakov Mikhail Leonidovich (RU),  
Mingalev Andrej Nikolaevich (RU),  
Smal Mikhail Sergeevich (RU),  
Timofeev Aleksandr Evgenevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Publichnoe aktsionernoe obshchestvo "Rossijskij  
institut moshchnogo radiostroeniya" (PAO  
"RIMR") (RU)

(54) **METHOD FOR ADAPTIVE SELECTION OF THE OPTIMAL PARAMETER OF THE SIGNAL CORRECTION ALGORITHM**

(57) Abstract:

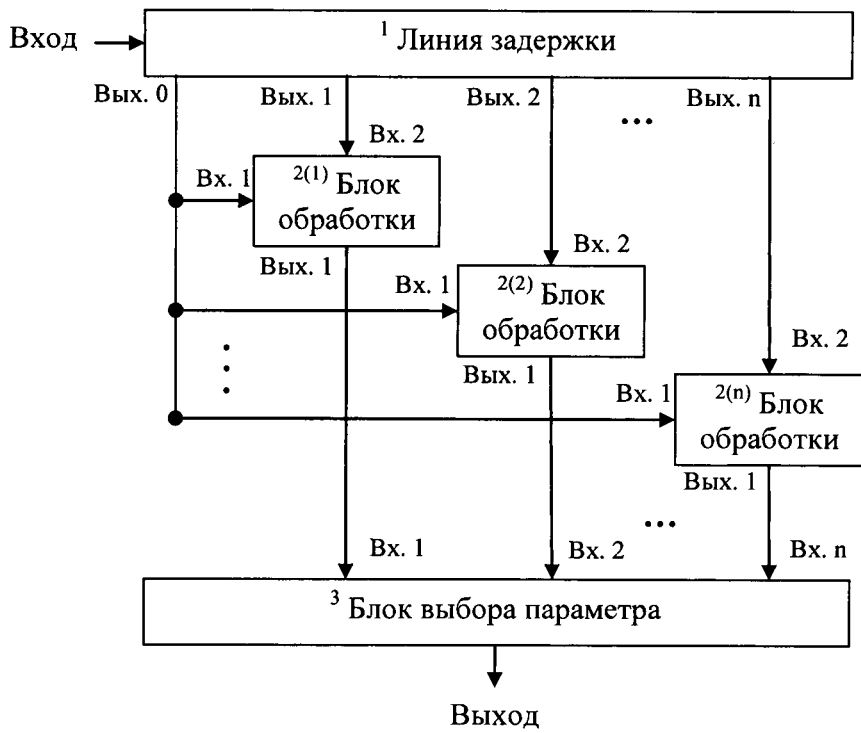
FIELD: wireless communication equipment.

SUBSTANCE: invention relates to a communication equipment and can be used in data communication systems with adaptive signal correction for selecting a parameter of the correction algorithm. Using algorithm  $R \{ \}$  based on received test signal  $u_0(t)$ , the impulse response of the correction filter  $h_{cor}(t, \alpha)$  is calculated, with the help of said impulse response, using algorithm  $R \{ \}$ , received test signals  $u_1(t) \dots u_n(t)$ , delayed by an interval equal to the length of information signal  $L_i$ , is corrected, resulting in corrected test signals  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , error values are determined,  $e_j = \|K_j(t, \alpha) - K(t)\|$ ,  $j =$

$1 \dots n$ , dependence of error value  $e_1 \dots e_n$  on parameter  $\alpha$  is determined by changing the value of this parameter, resulting in an array of parameter values  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , which provides the corresponding minimum error value  $e_1 \dots e_n$  for each corrected test signal  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , then from array  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , the final optimal value of the parameter  $\alpha_{opt}$  is selected.

EFFECT: technical result is selecting the optimal parameter of the signal correction algorithm without knowledge of a priori information with increased accuracy of estimate  $\alpha_{opt}$ .

1 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2653485 C1

RU 2653485 C1

Изобретение относится к технике связи и может быть использовано в системах передачи данных с адаптивной коррекцией сигналов для выбора параметра алгоритма коррекции.

Во многих системах передачи данных для компенсации искажений, внесенных каналом связи, применяют алгоритмы адаптивной коррекции сигналов. Для этого в передаваемый сигнал осуществляют периодические вставки известного на приемной стороне тестового сигнала. Такой подход используется, например, в стандарте авиационной передачи данных ARINC-635 [1].

Известно большое количество различных методов, алгоритмов и их модификаций, используемых для коррекции сигналов, например метод наименьших квадратов или алгоритм LMS [2], алгоритм RLS [3], метод регуляризации Тихонова [4]. Во всех этих и многих других алгоритмах для обеспечения устойчивости и сходимости вводят некоторый параметр, в частности параметр регуляризации (алгоритм RLS, метод регуляризации Тихонова), размер шага сходимости (алгоритм LMS). Выбор того или иного параметра оказывает существенное влияние не только на устойчивость решения, но и на вероятность ошибки на бит после демодуляции откорректированного сигнала, т.е. на помехоустойчивость.

Как известно, задача адаптивной коррекции сводится к решению двух уравнений, которые можно записать в следующей форме:

$$K(t) * h(t) = u(t), \quad (1)$$

$$K_m(t) * h(t) = u_m(t), \quad (2)$$

где  $K(t)$  - передаваемый тестовый сигнал,  $u(t)$  - принимаемый тестовый сигнал,  $K_m(t)$  - передаваемый информационный сигнал,  $u_m(t)$  - принимаемый информационный сигнал,  $h(t)$  - импульсная характеристика канала, \* - оператор свертки.

Из уравнения (1) получают приближенную импульсную характеристику канала в общем случае в виде:

$$h(t, \alpha_1) = R\{u(t), K(t), \alpha_1\}, \quad (3)$$

а результат коррекции в этом случае можно записать в виде:

$$K_m(t, \alpha_1, \alpha_2) = R\{u_m(t), h(t, \alpha_1), \alpha_2\}, \quad (4)$$

где  $R\{\}$  - некоторый алгоритм расчета,  $\alpha_1, \alpha_2$  - параметры, используемые для устойчивости алгоритма. Отметим, что в большинстве практических случаев допустимо принять:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \quad (5)$$

тогда вместо (5) запишем:

$$K_m(t, \alpha) = R\{u_m(t), h(t, \alpha), \alpha\} = R\{u_m(t), u(t), K(t), \alpha\}. \quad (6)$$

Известны различные способы выбора оптимального значения этого параметра.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является способ невязки, описанный в [5]. Этот способ часто применяют для выбора параметра регуляризации в методе регуляризации Тихонова. В условиях (3) (6) способ невязки заключается в том, что, используя алгоритм  $R\{\}$  на основе поступившего тестового сигнала  $u_0(t)$ , рассчитывают импульсную характеристику канала  $h(t, \alpha)$  и корректирующего фильтра  $h_{кор}(t, \alpha)$ , с помощью которой, используя некоторый алгоритм  $R\{\}$ , корректируют поступивший информационный сигнал  $u_m(t)$ , в результате чего получают

откорректированный информационный сигнал  $K_m(t, \alpha)$ , после чего определяют значение ошибки  $e$ , в качестве которой служит разница среднеквадратичного отклонения откорректированного информационного сигнала  $K_m(t, \alpha)$ , свернутого с рассчитанной импульсной характеристикой канала  $h(t, \alpha)$ , от принятого информационного сигнала  $u_m(t)$  и дисперсии шумовой составляющей  $\Delta u$ , т.е.  $e = \left\| K_m(t, \alpha) * h(t, \alpha) - u_m(t) \right\| - \Delta u$ , после чего определяют зависимость значения ошибки  $e$  от параметра  $\alpha$  путем изменения значения этого параметра, в результате чего получают оптимальное значение параметра  $\alpha_{opt}$ , обеспечивающего минимальное значение ошибки  $e$ .

Недостатком прототипа является необходимость знания определенной априорной информации, а именно дисперсии шумовой составляющей, оценка которой является отдельной достаточно сложной задачей и имеет определенную погрешность. Кроме того, при вычислении значения ошибки  $e$  вносится дополнительная погрешность при свертке приближенных (рассчитанных) значений  $K_m(t, \alpha)$  и  $h(t, \alpha)$ .

Целью изобретения является выбор оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов без знания априорной информации и без внесения дополнительной погрешности, т.е. увеличение точности оценки  $\alpha_{opt}$ .

Поставленная цель достигается тем, что способ адаптивного выбора оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов, заключающийся в том, что, используя алгоритм  $R\{ \}$  на основе поступившего тестового сигнала  $u_0(t)$ , рассчитывают импульсную характеристику корректирующего фильтра  $h_{кор}(t, \alpha)$ , отличающийся тем, что с помощью импульсной характеристики корректирующего фильтра  $h_{кор}(t, \alpha)$ , используя алгоритм  $R\{ \}$ , корректируют поступившие тестовые сигналы  $u_1(t) \dots u_n(t)$ , задержанные на интервал, равный длине информационного сигнала  $L_{И}$ , в результате чего получают откорректированные тестовые сигналы  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , определяют значения ошибки  $e_1 \dots e_n$ , в качестве которой служит среднеквадратичное отклонение откорректированного тестового сигнала  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$  от образцового тестового сигнала  $K(t)$ , т.е.  $e_j = \left\| K_j(t, \alpha) - K(t) \right\|, j=1 \dots n$ , после чего определяют зависимость значения ошибки  $e_1 \dots e_n$  от параметра  $\alpha$  путем изменения значения этого параметра, в результате чего получают массив значений параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , обеспечивающих соответствующее минимальное значение ошибки  $e_1 \dots e_n$  для каждого откорректированного тестового сигнала  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , после чего из массива  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  осуществляют окончательный выбор оптимального значения параметра  $\alpha_{opt}$ , в качестве которого, в зависимости от конкретного алгоритма  $R\{ \}$  и диапазона значений параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , берут среднее арифметическое значение или медианное значение из массива  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ .

На фиг. 1, 2 представлена структурная схема способа адаптивного выбора оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов.

Она содержит:

1 - линию задержки;

2(1)-2(n) - блок обработки;

3 - блок выбора параметра.

В свою очередь каждый блок обработки 2(1)-2(n) содержит:

2.1 - блок расчета импульсной характеристики;

2.2 - корректирующий фильтр;

2.3 - блок оценки ошибки;

2.4 - решающее устройство.

Работа способа осуществляется следующим образом. На вход линии задержки 1 поступает сигнал, содержащий периодически повторяющиеся тестовые и информационные сигналы. Структура такого сигнала представлена на фиг. 3. При этом длина каждого тестового сигнала составляет  $L_T$ , длина каждого информационного сигнала  $L_{И}$ . Количество отводов (выходов) линии задержки 1, равное  $n+1$ , может быть различным и выбирается исходя из конкретного применения. С каждого из  $n+1$  выходов линии задержки 1 поступают тестовые сигналы  $u_0(t) \dots u_n(t)$  длиной  $L_T$ , задержанные на интервал, равный длине информационного сигнала  $L_{И}$ . При этом с 0-го выхода линии задержки 1 тестовый сигнал подают на первый вход каждого блока обработки 2(1)-2(n), на второй вход которых поступают тестовые с выходов 1...n линии задержки 1, а именно с 1-го выхода линии задержки 1 на второй вход блока обработки 2(1), со 2-го выхода линии задержки 1 на второй вход блока обработки 2(2) и т.д.

В каждом блоке обработки 2(1)-2(n) осуществляют следующее.

Поступивший с первого входа блока обработки 2(1)-2(n) тестовый сигнал  $u_0$  подают на вход блока расчета импульсной характеристики 2.1, с выхода которого импульсную характеристику корректирующего фильтра  $h_{кор}(t, \alpha)$  подают на первый вход корректирующего фильтра 2.2. При этом на второй вход корректирующего фильтра 2.2 подают соответствующий тестовый сигнал  $u_1(t) \dots u_n(t)$ , поступивший со второго входа блока обработки 2(1)-2(n). На выходе корректирующего фильтра 2.1 получают соответствующий откорректированный тестовый сигнал  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , который подают на вход блока оценки ошибки 2.3. При этом в блоке расчета импульсной характеристики 2.1 и корректирующем фильтре 2.2 используют один и тот же алгоритм, обозначенный ранее как  $R\{ \}$ . В блоке оценки ошибки 2.3 получают значение ошибки, в качестве которой служит среднеквадратичное отклонение откорректированного тестового сигнала  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$  от образцового тестового сигнала  $K(t)$ , т.е.

$$e_j = \|K_j(t, \alpha) - K(t)\|, j=1 \dots n.$$

Полученное на выходе блока оценки ошибки 2.3 значение ошибки  $e_1 \dots e_n$  подают на вход решающего устройства 2.4, в котором определяют зависимость значения ошибки  $e_1 \dots e_n$  от параметра  $\alpha$  путем изменения значения этого параметра на первом выходе решающего устройства 2.4 и передаче его на управляющие входы блока расчета импульсной характеристики 2.1 и корректирующего фильтра 2.2. В результате на втором выходе решающего устройства 2.4, являющегося выходом блока обработки 2(1)-2(n), получают значение параметра  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , обеспечивающего минимальное значение ошибки  $e_1 \dots e_n$ .

Полученные на выходе блоков обработки 2(1)-2(n) значения параметра, представляющие собой массив  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , подают на соответствующие входы блока выбора параметра 3. В блоке выбора параметра 3 осуществляют окончательный выбор параметра  $\alpha$ , получая на выходе оптимальное значение параметра  $\alpha_{opt}$ . В зависимости от конкретного алгоритма  $R\{ \}$  и возможного диапазона значений параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , поступивших на входы блока выбора параметра 3, в качестве оптимального значения параметра  $\alpha_{opt}$  берут среднее арифметическое значение:

$$\alpha_{opt} = \sum_{k=1}^n \alpha_k \quad (7)$$

или медианное значение, соответствующее:

$$\alpha_{opt} = \alpha_{n/2} \quad (8)$$

где массив  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  соответствует отсортированным по возрастанию значениям

$\alpha_1 \dots \alpha_n$ .

Техническим результатом является выбор оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов с увеличенной точностью оценки  $\alpha_{opt}$ .

Список источников

1. ARINC Characteristic 635-4. HF Data Link Protocol. - Dec., 2003.

2. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. - М.: Техносфера, 2013. - 528 с.

3. Sayed A.H. Adaptive filters. - New Jersey: Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008. - 786 с.

4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач / Учебное пособие для вузов. - Изд. 3-е испр. - М.: Наука, 1986. - 288 с.

5. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Методы решения интегральных уравнений с программами для ЭВМ. Справочное пособие. - Киев: Наукова думка, 1978. - 292 с.

#### (57) Формула изобретения

Способ адаптивного выбора оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов заключается в том, что используя алгоритм  $R\{\}$  на основе поступившего тестового сигнала  $u_0(t)$  рассчитывают импульсную характеристику корректирующего фильтра

$h_{кор}(t, \alpha)$ , отличающийся тем, что с помощью импульсной характеристики

корректирующего фильтра  $h_{кор}(t, \alpha)$ , используя алгоритм  $R\{\}$ , корректируют

поступившие тестовые сигналы  $u_1(t) \dots u_n(t)$ , задержанные на интервал, равный длине информационного сигнала  $L_{И}$ , в результате чего получают откорректированные

тестовые сигналы  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , определяют значения ошибки  $e_1 \dots e_n$ , в качестве

которой служит среднеквадратичное отклонение откорректированного тестового сигнала

$K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$  от образцового тестового сигнала  $K(t)$ , т.е.  $e_j = \|K_j(t, \alpha) - K(t)\|, j=1 \dots n$ ,

после чего определяют зависимость значения ошибки  $e_1 \dots e_n$  от параметра  $\alpha$  путем

изменения значения этого параметра, в результате чего получают массив значений

параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , обеспечивающий соответствующее минимальное значение ошибки

$e_1 \dots e_n$  для каждого откорректированного тестового сигнала  $K_1(t, \alpha) \dots K_n(t, \alpha)$ , после чего

из массива  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  осуществляют окончательный выбор оптимального значения

параметра  $\alpha_{opt}$ , в качестве которого, в зависимости от конкретного алгоритма  $R\{\}$  и

диапазона значений параметров  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ , берут среднее арифметическое значение или

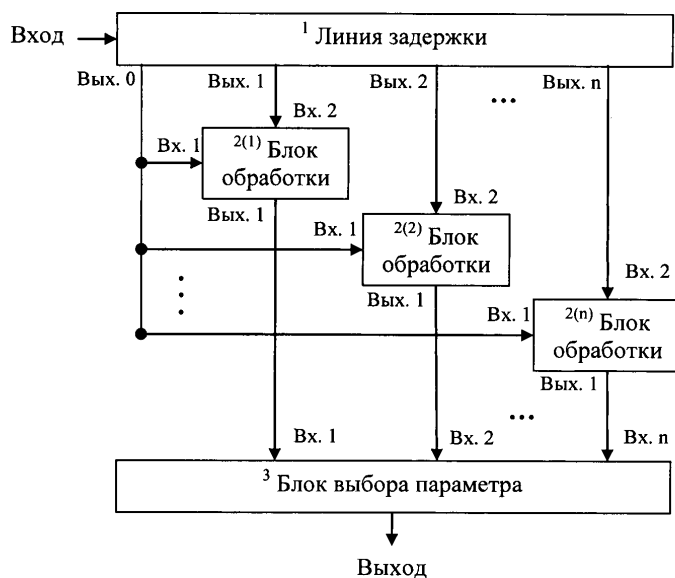
медианное значение из массива  $\alpha_1 \dots \alpha_n$ .



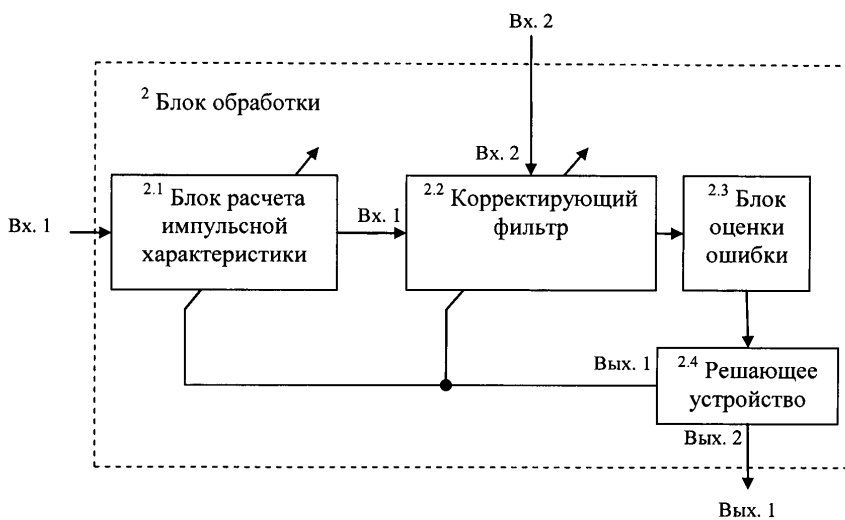
1

3-1

Способ адаптивного выбора оптимального параметра алгоритма коррекции сигналов



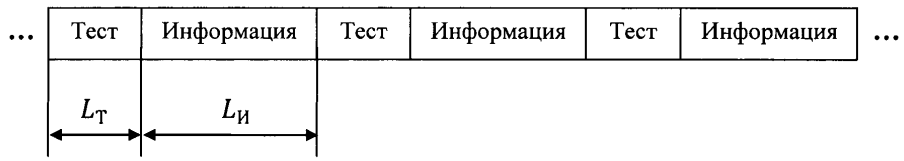
Фиг. 1



Фиг. 2

2

3-2



Фиг. 3