

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012112429/08, 02.09.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.09.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
23.09.2009 US 12/586,620

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2013 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 10.04.2014 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 2008/0293371 A1, 27.11.2008. US  
2007/0160162 A1, 12.07.2007. WO 2008/021392  
A2, 21.02.2008. EP 1901505 A2, 19.03.2008. US  
2007/0127586 A1, 07.06.2007. US 2009/0190685  
A1, 30.07.2009. RU 2296435 C2, 27.03.2007(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 30.03.2012(86) Заявка РСТ:  
US 2010/047699 (02.09.2010)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2011/037738 (31.03.2011)

Адрес для переписки:

109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО  
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

ДОРОН Айелет (IL),  
АВИВИ Ротем (IL),  
ЛОМНИТЦ Юваль (IL)

(73) Патентообладатель(и):

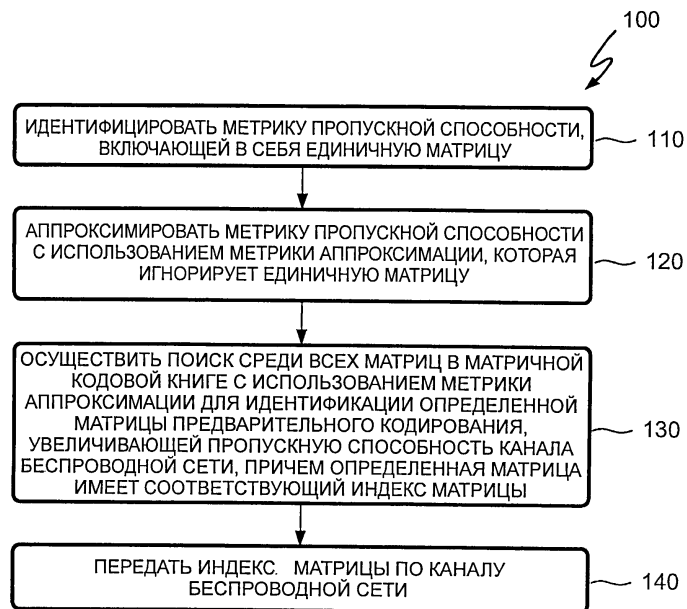
ИНТЕЛ КОРПОРЕЙШН (US)

(54) СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТРИЦЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ,  
СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ КАНАЛУ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ, И СПОСОБ АППРОКСИМАЦИИ  
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сети беспроводной связи. Технический результат - увеличение производительности линии связи. Способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, содержащий этапы, на которых: идентифицируют метрику пропускной способности, включающую в себя единичную матрицу; аппроксимируют метрику пропускной способности с использованием метрики аппроксимации, не учитывающей единичную

матрицу; осуществляют поиск по всем матрицам в матричной кодовой книге с использованием метрики аппроксимации, причем матричная кодовая книга хранится в устройстве памяти, для идентификации определенной матрицы предварительного кодирования, увеличивающей пропускную способность канала беспроводной сети, причем указанная определенная матрица предварительного кодирования имеет соответствующий индекс матрицы; и передают указанный индекс матрицы по указанному каналу



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012112429/08, 02.09.2010**(24) Effective date for property rights:  
**02.09.2010**

Priority:

(30) Convention priority:  
**23.09.2009 US 12/586,620**(43) Application published: **10.10.2013 Bull. № 28**(45) Date of publication: **10.04.2014 Bull. № 10**(85) Commencement of national phase: **30.03.2012**(86) PCT application:  
**US 2010/047699 (02.09.2010)**(87) PCT publication:  
**WO 2011/037738 (31.03.2011)**

Mail address:

**109012, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO "Sojuzpatent"**

(72) Inventor(s):

**DORON Ajelet (IL),  
AVIVI Rotem (IL),  
LOMNITTs Juval' (IL)**

(73) Proprietor(s):

**INTEL KORPOREJShN (US)**(54) **METHOD OF IDENTIFYING PRECODING MATRIX CORRESPONDING TO WIRELESS NETWORK CHANNEL AND METHOD OF APPROXIMATING WIRELESS CHANNEL CAPACITY IN WIRELESS NETWORK**

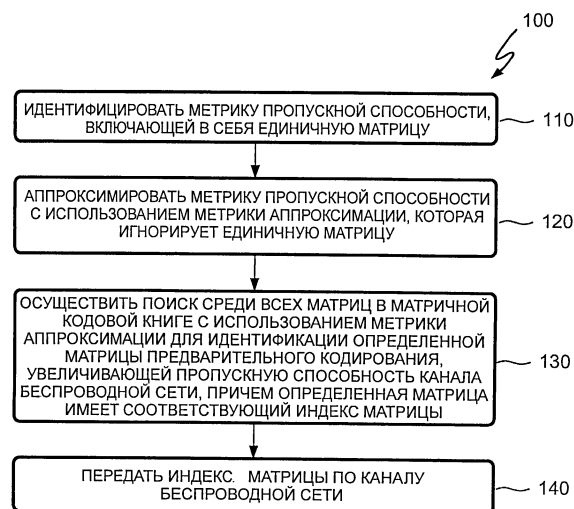
(57) Abstract:

FIELD: physics, communications.

SUBSTANCE: invention relates to a wireless communication network. The method of identifying a precoding matrix corresponding to a wireless network channel comprises steps of: identifying a capacity metric which includes an identity matrix; approximating the capacity metric using an approximation metric which ignores the identity matrix; using the approximation metric to search over all matrices in a matrix codebook, wherein the matrix codebook is stored in a storage device, in order to identify a particular precoding matrix which increases capacity of the wireless network channel, wherein said particular precoding matrix has a corresponding matrix index; and transmitting said matrix index across said the wireless network channel.

EFFECT: high link efficiency.

10 cl, 9 dwg



Фиг. 1

Область техники

Настоящее изобретение относится, в целом, к сети беспроводной связи и, более конкретно, к способам формирования диаграммы направленности антенны и способам определения информации о состоянии канала.

Уровень техники

Обратная связь (CL) для системы со многими входами-выходами (MIMO) является технологией увеличения производительности линии связи (также называемой каналом) между передающей антенной (например, антенной базовой станции) и принимающей антенной (например, антенной мобильной станции) посредством обеспечения передатчика информацией о состоянии канала. Передатчик может иметь полную или частичную информацию о матрице коэффициентов канала, а также может использовать данную информацию для увеличения пропускной способности и увеличения производительности линии связи. MIMO с обратной связью является особенностью стандарта беспроводной широкополосной связи IEEE 802.16 (обычно известного как Совместимый Всемирный Широкополосный Беспроводной Доступ или WiMAX) и, в особенности, стандартов 802.16e Rev2 (также известного как Ver1.5) и 802.16m. Обратная связь в системе со многими входами-выходами является обобщением для формирования диаграммы направленности антенны в случае наличия более одного потока передачи (например, выход от кодировщика MIMO). В некоторых вариантах осуществления, формирование диаграммы направленности антенны включает в себя технологию обработки сигналов, например, использование матрицы "предварительного кодирования", посредством которой оценивают различные потоки передачи сигналов для увеличения производительности системы.

Краткое описание чертежей

Раскрытые варианты осуществления настоящего изобретения будут более понятны после прочтения нижеследующего подробного описания, которое сделано со ссылками на сопроводительные чертежи, где:

Фиг.1 является блок-схемой, иллюстрирующей способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.2 является графиком, показывающим достигаемую производительность при использовании различных метрик выбора, включая в себя Метрику Пропускной Способности MMSE согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.3 является блок-схемой, иллюстрирующей способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.4 и 5 являются блок-схемами, на которых изображен способ идентификации целевой матрицы предварительного кодирования для  $M$  поднесущих из матричной кодовой книги в памяти устройства, содержащей множество матриц предварительного кодирования, согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.6 и 7 являются блок-схемами, на которых изображен способ, для случая множества каналов, идентификации целевой матрицы предварительного кодирования из матричной кодовой книги в памяти устройства, содержащей множество матриц предварительного кодирования, согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.8 является изображением кадра, содержащим область, к которой может быть применен вариант осуществления изобретения;

Фиг.9 является блок-схемой, на которой показан способ аппроксимации пропускной

способности канала беспроводной связи согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Для упрощения и ясности понимания, на фигурах, показанных на чертежах, изображена общая структура системы, а описания и подробности хорошо известных признаков и технологий могут быть опущены во избежание неопределенностей при описании вариантов осуществления настоящего изобретения. Кроме того, элементы на фигурах не обязательно изображены в масштабе. Например, размеры некоторых элементов на фигурах могут быть изображены более большими относительно других элементов для улучшения понимания вариантов осуществления настоящего изобретения.

Одинаковые номера ссылочных позиций на разных фигурах обозначают одни и те же элементы, и, в то же время, похожие номера ссылочных позиций могут, но не обязательно, обозначать похожие элементы.

Термины "первый", "второй", "третий", "четвертый" и т.п., если таковые есть, в данном описании и формуле изобретения использованы для различения одинаковых элементов, и не обязательно использованы для описания конкретной последовательности или хронологического порядка. Необходимо понимать, что данные термины являются взаимозаменяемыми при определенных обстоятельствах, и приведенное здесь описание способов, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, например, может быть выполнено в соответствии с другой последовательностью показанных этапов, чем приведенное в описании. Аналогично, что касается описанного здесь способа, содержащего некоторую последовательность этапов, порядок выполнения данных этапов не обязательно является единственно возможным, и некоторые из этапов могут быть пропущены и/или могут быть добавлены другие этапы, не описанные здесь. Кроме того, термины "содержит", "включает в себя", "имеет", а также их вариации обозначают открытое множество, и некоторый процесс, способ, устройство или изделие могут содержать список элементов, не обязательно ограниченный данными элементами, и может включать в себя другие элементы, не обозначенные напрямую, для реализации процесса, способа, устройства и изделия.

Термины "левый", "правый", "спереди", "сзади", "сверху", "снизу", "над", "под" и т.п., использованы в данном описании и формуле изобретения для целей описания и не обязательно обозначают некоторое взаимное расположение. Также необходимо понимать, что, в случае определенных обстоятельств, данные термины являются взаимозаменяемыми и приведенное здесь описание способов согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, например, может быть выполнено в соответствии с другой ориентацией данных элементов, отличающейся от приведенной в данном описании. Используемый здесь термин "соединение" соответствует прямому или не прямому электрическому, или не электрическому, соединению. Предметы, описанные здесь как "соседние", могут иметь физический контакт друг с другом, или относиться к одной общей области, что должно быть понятно из содержания используемой фразы. Фраза "в одном варианте осуществления" не обязательно относится к одному и тому же варианту осуществления.

#### Подробное описание

В одном варианте осуществления настоящего изобретения предложен способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, содержащий этапы, на которых идентифицируют метрику пропускной способности, включающую в себя единичную матрицу, аппроксимируют метрику пропускной способности с использованием метрики аппроксимации, не учитывающей единичную матрицу, используют метрику аппроксимации для поиска по

всем матрицам в матричной кодовой книге для определенной конкретной матрицы предварительного кодирования, увеличивающей пропускную способность канала беспроводной связи, и передают по каналу беспроводной сети индекс матрицы, соответствующий указанной определенной матрице предварительного кодирования.

5 В другом варианте осуществления способ содержит этапы, на которых строят диагональную матрицу, включающую в себя член энергии ошибки декодера от декодера минимальной среднеквадратичной ошибки, вычисляют пропускную способность линии связи при помощи декодера минимальной среднеквадратичной ошибки для построения метрики минимальной среднеквадратичной ошибки, осуществляют поиск по всем  
10 матрицам в матричной кодовой книге с использованием метрики минимальной среднеквадратичной ошибки для идентификации определенной матрицы предварительного кодирования, позволяющей увеличить пропускную способность канала беспроводной связи, и передают по каналу беспроводной связи индекс матрицы, соответствующий указанной определенной матрице предварительного кодирования.

15 В частном варианте осуществления настоящего изобретения способ выбора целевой матрицы предварительного кодирования для  $M$  поднесущих (то есть для логической полосы) из матричной кодовой книги, хранящейся в памяти устройства и содержащей множество матриц предварительного кодирования, содержит этапы, на которых идентифицируют критерий выбора, выбирают метрику, соответствующую критерию  
20 выбора, и усредняют матрицу канала каждой из  $N$  поднесущих, где  $N$  больше 1 и меньше или равно  $M$ , для создания  $L$  усредненных матриц канала. Затем, для каждой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге вычисляют метрику с использованием каждой усредненной матрицы канала для получения  $L$  усредненных метрик и вычисляют сумму/среднее значение  $L$  усредненных метрик по  $M$  поднесущим.  
25 Далее данный способ содержит этап, на котором осуществляют выбор в качестве целевой матрицы предварительного кодирования одной из множества матриц предварительного кодирования, позволяющей увеличить сумму/среднее значение метрики.

В некотором варианте осуществления, для множества экземпляров каналов, способ  
30 выбора целевой матрицы предварительного кодирования из матричной кодовой книги, хранящейся в памяти устройства и содержащей множество матриц предварительного кодирования, содержит этап, на котором предоставляют буфер для метрик  $N$  кодовых слов в соответствии с размером матричной кодовой книги. Затем, для каждой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге вычисляют метрику матрицы  
35 предварительного кодирования для каждого экземпляра канала и накапливают метрики для каждой матрицы предварительного кодирования в метрике, хранящейся в буфере. Далее способ содержит этап, на котором осуществляют выбор, в качестве целевой матрицы предварительного кодирования, определенной матрицы из множества матриц предварительного кодирования, соответствующей заданной накопленной метрике.

40 В одном варианте осуществления настоящего изобретения, способ аппроксимации пропускной способности канала в беспроводной сети содержит этапы, на которых принимают множество пилот-сигналов, оценивают множество матриц отклика канала и множество членов мощности шума для каждого из множества пилот-сигналов, выполняют операцию вычисления следа и операцию вычисления определителя матрицы  
45 для каждой из множества матриц отклика канала (или функций от этих матриц, например,  $H \cdot H^H$ , где  $()^H$  является оператором эрмитового транспонирования) для получения множества следов и множества определителей матриц, находят среднее значение множества следов, среднего значения для абсолютного значения множества

определителей и среднего значения множества членов мощности шума, представляющих пропускную способность канала беспроводной сети в виде функции от среднего значения множества следов, среднего значения для абсолютного значения множества определителей и среднего значения для множества членов мощности шума, и находят решение указанной функции.

Модель канала, используемая в настоящем документе (если не указано иное), является следующей:

$$\vec{x} = F\vec{s}, \quad (1)$$

где  $\vec{x}$  - передаваемый сигнал (с величиной вектора  $N_{tx} \times 1$ ),  $N_{tx}$  - количество фактических (физических) передающих антенн,  $F$  - матрица предварительного кодирования (с размером матрицы  $N_{tx} \times N_{streams}$ ),  $N_{streams}$  - количество передаваемых потоков, то есть, количество выходов от кодировщика MIMO,  $\vec{s}$  - выходной сигнал от кодировщика MIMO, и

$$\vec{y} = HF\vec{s} + \vec{v}, \quad (2)$$

где  $\vec{y}$  - принимаемый сигнал (с величиной вектора  $N_{rx} \times 1$ ),  $N_{rx}$  - количество принимающих антенн,  $H$  - матрица канала (с размером матрицы  $N_{rx} \times N_{tx}$ ), а  $\vec{v}$  - шум в канале (с величиной вектора  $N_{rx} \times 1$ ). Взаимоотношение между  $N_{streams}$ ,  $N_{tx}$  и  $N_{rx}$  должно удовлетворять условию  $N_{streams} \leq \min(N_{tx}, N_{rx})$ . По меньшей мере в одном варианте осуществления  $N_{rx} \geq 2$ , то есть в данном случае присутствует несколько принимающих антенн.

В данном случае, мы подразумеваем использование CL-MIMO для стандарта IEEE 802.16e и WiMAX версии 1.5 (включающего в себя TDD (Дуплексная связь с временным разделением) и FDD (Полудуплексная связь с частотным разделением)), а также стандарта IEEE 802.16m. Выбранный для CL-MIMO способ является предварительным кодированием на основе кодовой книги, в котором матрица предварительного кодирования выбирается из кодовой книги, то есть, известного набора матриц. Приемник выбирает из кодовой книги индекс наиболее подходящей матрицы в соответствии с состоянием канала и отправляет его передатчику. После этого передатчик использует соответствующую матрицу в качестве матрицы предварительного кодирования. Матрицы предварительного кодирования, используемые в протоколах 802.16e и 802.16m, являются унитарными - суммарная мощность в каждой колонке матрицы равна единице. Это означает отсутствие перегрузки мощности (превышения) между передаваемыми потоками. Мы предполагаем: вертикальное кодирование MIMO; пространственное мультиплексирование; декодер MIMO использует минимальную среднеквадратическую ошибку (MMSE (Minimum Mean Square Error)) или декодирование по критерию максимального правдоподобия (MLD (Maximum Likelihood Decoding)); и изменения существуют в выделении непрерывных/соседних поднесущих, например, в случае 802.16e, это является адаптированной модуляцией и кодированием, или, в случае 802.16m, непрерывными возвратными блоками данных (CRU).

Метрики выбора матрицы

Мы будем использовать имеющуюся кодовую книгу стандарта и будем пытаться найти эффективный способ выбора матрицы предварительного кодирования в данной кодовой книге. Поскольку данная задача осуществляется устройством абонента, алгоритм выбора матрицы должен быть простым и требовать как можно меньше вычислительных ресурсов, имея, при этом, хорошую производительность. Одним из

способов выбора матрицы предварительного кодирования из имеющейся кодовой книги является осуществление полного поиска среди всех матриц в кодовой книге с использованием некоторой метрики или других критериев выбора. Ниже будет приведено описание конкретных метрик согласно вариантам осуществления настоящего изобретения.

Одной из таких метрик, называемой этом документе Метрикой Abs-Det, является аппроксимация пропускной способности в средах с большим соотношением сигнал/шум (SNR). Метрика Abs-Det определяет матрицу  $F$  предварительного кодирования, которая увеличивает, или даже максимально использует, пропускную способность конкретного канала беспроводной связи.

Предположим, что метрика  $I(F)$  пропускной способности для матрицы  $F$  предварительного кодирования может быть выражена как:

$$I(F) = \det(I_{N_{\text{streams}}} + \frac{E_s}{N_{\text{streams}} N_0} F * H * HF), \quad (3)$$

где  $I_{N_{\text{streams}}}$  является единичной матрицей размером  $N_{\text{streams}} \times N_{\text{streams}}$ ,  $E_s$  является полной энергией передачи.  $N_0$  является энергией шума, а  $F$  и  $H$  были описаны выше. Необходимо отметить, что выражение (3) может быть подвергнуто аппроксимации с игнорированием единичной матрицы, как приведено ниже:

$$I(F) \approx \tilde{I}(F) = \left( \frac{E_s}{N_{\text{streams}} N_0} \right)^2 \det(F * H * HF), \quad (4)$$

где  $\tilde{I}(F)$  является Метрикой Abs-Det. Метрика Abs-Det может быть также выражена следующим образом:

$$\tilde{I}(F) = \left( \frac{E_s}{N_{\text{streams}} N_0} \right)^2 \text{abs}^2(\det(HF)). \quad (5)$$

Целевая матрица  $F$  предварительного кодирования может быть идентифицирована решением:

$$F = \arg \max_{F_i \in F} \tilde{I}(F). \quad (6)$$

Метрика Abs-Det позволяет снизить количество вычислений на 25% по отношению к метрике пропускной способности, и ее производительность аналогична таковой для метрики пропускной способности (пренебрежимо малыми потерями) в случае декодера с максимальным правдоподобием для различных ситуаций (например, разные настройки антенны, разное сигнально-точечное пространство и скорость кодирования, разное количество потоков и т.п.).

Переходя к фигурам, на фиг.1 показана блок-схема, иллюстрирующая способ 100 идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, согласно варианту осуществления настоящего изобретения. Матрица предварительного кодирования выбирается из ограниченного множества матриц предварительного кодирования, называемых кодовыми словами, расположенных в кодовой книге. Кодовая книга, обычно, хранится в памяти и базовой станции, и абонентской станции беспроводной сети. В качестве одного примера, способ 100 может идентифицировать матрицу предварительного кодирования, которая увеличит пропускную способность конкретного беспроводного канала с использованием Метрики Abs-Det, описанной выше. В качестве другого примера, в беспроводной сети этапы



способа 100 могут быть выполнены абонентской станцией.

Этап 110 способа 100 используют для идентификации метрики пропускной способности, которая включает в себя единичную матрицу. В качестве примера, метрика пропускной способности может совпадать с метрикой, приведенной в формуле (3).

Единичная матрица, в некоторых вариантах осуществления, может быть умножена на константу.

На этапе 120 способа 100 происходит аппроксимация метрики пропускной способности с использованием метрики аппроксимации, не использующей единичную матрицу. В качестве примера, метрика аппроксимации может быть или аналогичной ей, матрицей Abs-Det, показанной в формуле (4), или эквивалентным выражением, показанным в формуле (5).

На этапе 130 способа 100 происходит поиск среди всех матриц в матричной кодовой книге с использованием метрики аппроксимации для идентификации конкретной матрицы предварительного кодирования, которая увеличит пропускную способность канала беспроводной сети, и эта конкретная матрица предварительного кодирования имеет соответствующий индекс матрицы. Это, например, может быть выполнено решением уравнения (6). Необходимо отметить, что данная конкретная матрица предварительного кодирования просто является матрицей, которая предпочтительна для абонентской станции. Затем абонентская станция может передать свой выбор базовой станции, которая, в свою очередь, может выбрать матрицу, предложенную абонентской станцией, (или другую матрицу) в качестве матрицы предварительного кодирования.

На этапе 140 способа 100 по каналу беспроводной сети передают индекс матрицы. Например, этап 140 может состоять из передачи отчета от абонентской станции на базовую станцию, относящегося к индексу матрицы, предпочтительной для абонентской станции, и базовая станция может использовать данную информацию при выборе матрицы предварительного кодирования.

Другая подобная метрика, называемая в этом документе Метрикой Пропускной Способности MMSE, является оптимизированным критерием выбора на основе фактической пропускной способности соединения с декодером MMSE. Пусть E является диагональной матрицей, которая включает в себя, по диагонали, энергию ошибок декодера MMSE, например:

$$E = \text{diag} \left( I_{N_{\text{streams}}} - F * H * \left( F * H * HF + \frac{N_{\text{streams}} N_0}{E_s} I_{N_{\text{streams}}}^{-1} \right) HF \right). \quad (7)$$

Тогда Метрика  $I_{\text{MMSE}}(F)$  Пропускной Способности MMSE может быть выражена как:

$$I_{\text{MMSE}}(F) = \text{trace}(\log(E^{-1})) \quad (8)$$

и матрица F предварительного кодирования может быть идентифицирована решением:

$$F = \arg \max_{F_i \in F} I_{\text{MMSE}}(F_i). \quad (9)$$

В случае, например, декодирования MMSE, двух потоков, двух передающих антенн и двух принимающих антенн, Метрика Пропускной Способности MMSE может получать увеличение производительности примерно на 0.8 децибел (дБ) для системы без обратной связи (т.е. без формирования диаграммы направленности антенны) и показывать подобную производительность для оптимальной системы с обратной связью (т.е. формирование диаграммы направленности антенны с теоретическим оптимальным критерием выбора). Другие различные критерии выбора дают производительность,

аналогичную таковой для системы без обратной связи. Данное увеличение производительности проиллюстрировано на фиг.2, на которой приведена вероятность ошибки на пакет (PER) для разных критериев выбора, наложенная на SNR (соотношение сигнал/шум) для данной обстановки, т.е. декодирования MMSE с двумя потоками, двумя передающими антеннами и двумя принимающими антеннами. Также предполагается модель ITU В для малоподвижных объектов (пешеходов) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) с соотношением %. Теоретическая оптимальная метрика (которая не может быть реализована на практике) является самой нижней линией на графике, в то время как метрика пропускной способности MMSE, согласно варианту осуществления настоящего изобретения и описанная выше, является непрерывной линией, наиболее приближенной к оптимальной метрике.

На фиг.3 показана блок-схема способа 300 согласно настоящему изобретению для идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети. В качестве примера, способ 300 может, для идентификации матрицы предварительного кодирования конкретного канала беспроводной сети, использовать вышеописанную Метрику Пропускной Способности MMSE. В качестве другого примера, этапы способа 300 могут быть выполнены абонентской станцией беспроводной сети.

На этапе 310 способа 300 осуществляют построение диагональной матрицы, включающей в себя терм энергии ошибки декодера от декодера минимальной среднеквадратической ошибки. Например, диагональная матрица может быть аналогична диагональной матрице E, приведенной в формуле (7).

На этапе 320 способа 300 осуществляют вычисление пропускной способности соединения с декодером минимальной среднеквадратической ошибки для построения метрики минимальной среднеквадратической ошибки. Например, метрика минимальной среднеквадратической ошибки может совпадать с метрикой, приведенной в формуле (8).

На этапе 330 способа 300 осуществляют поиск среди всех матриц в матричной кодовой книге (хранящейся в памяти устройства) с использованием метрики минимальной среднеквадратической ошибки для идентификации конкретной матрицы предварительного кодирования, позволяющей увеличить пропускную способность канала беспроводной сети, и данная конкретная матрица предварительного кодирования имеет соответствующий индекс матрицы. Например, это может быть сделано посредством решения уравнения (9).

На этапе 340 способа 300 индекс матрицы передают по каналу беспроводной сети. Например, этап 340 может состоять из отправки абонентской станцией на базовую станцию отчета, относящегося к индексу матрицы, предпочтительной для абонентской станции, и базовая станция может использовать данную информацию при выборе матрицы для предварительного кодирования. Необходимо заметить, что, как подразумевают под собой названия, индекс матрицы, предпочтительной для абонентской станции, является матрицей, предпочтительной для абонентской станции. После отправки абонентской станцией на базовую станцию своего выбора, базовая станция, в свою очередь, может выбрать матрицу, предпочтительную для абонентской станции, (или другую матрицу) в качестве матрицы предварительного кодирования.

#### Прореживание частоты

В соответствии со стандартами IEEE 802.16e и 802.16m, только один индекс матрицы предварительного кодирования отправляют обратно для некоторого диапазона (в стандарте 802.16e это называют логическим диапазоном, а стандарте 802.16m поддиапазоном, что соответствует, например, 72 непрерывным поднесущим).

Следовательно, абоненту (приемнику) необходимо выбрать одну матрицу предварительного кодирования, которая наилучшим образом подходит для всего диапазона. Существуют некоторые способы выбора матрицы предварительного кодирования для диапазона, один из которых состоит в усреднении или суммировании метрики пропускной способности для диапазона. (Аналогичным образом, для диапазона могут быть использованы другие метрики усреднения (не обязательно пропускной способности)). Однако вычисление метрик для всех поднесущих и всех матриц требует больших вычислительных затрат. Одним из способов сокращения объема вычислений является вычисление метрики с прореживанием частот для каждой из  $N$  поднесущих (где  $N \leq M$ , и  $M$  является величиной диапазона). В случае с прореживанием частот, произвольную матрицу канала получают для одной из поднесущих в группе  $N$  поднесущих. Например, может быть взята матрица канала для средней поднесущей. В целом, общие этапы данного способа являются следующими:

1. Выбор соответствующей метрики для критерия выбора.

2. Для каждой матрицы предварительного кодирования в кодовой книге:

- а) вычисление метрики, соответствующей матрице канала, для каждой из  $N$  поднесущих ( $1 \leq N \leq M$ );

- б) вычисление суммы/усреднения метрик по всему диапазону.

3. Выбор матрицы предварительного кодирования, которая максимизирует суммарную метрику.

Приблизительное решение для суммирования полосы пропускания, которое будет предпочтительным в случае прореживания частоты, может использовать метрику полосы пропускания для усредненной матрицы канала всего диапазона. Это наиболее точно соответствует аппроксимации суммарной пропускной способности для случая, предполагающего небольшие изменения в канале по всему диапазону. Аналогичным образом могут быть использованы другие критерии выбора для усредненной матрицы канала. В целом, они являются следующими:

1. Выбор соответствующей метрики для критерия выбора.

2. Усреднение матрицы канала для каждой из  $N$  поднесущих ( $N \leq M$ ).

3. Для каждой матрицы предварительного кодирования в кодовой книге:

- а) вычисление метрики, соответствующей усредненной матрице канала, для каждой из  $N$  поднесущих ( $1 \leq N \leq M$ );

- б) вычисление суммы/усреднение метрик по всему диапазону.

4. Выбор матрицы предварительного кодирования, которая максимизирует суммарную метрику.

Способ усреднения канала показан на фиг.4, которая является блок-схемой, отображающей, согласно варианту осуществления настоящего изобретения, способ выбора целевой матрицы предварительного кодирования для  $M$  поднесущих из матричной кодовой книги, хранящейся в памяти устройства и содержащей множество матриц предварительного кодирования.

На этапе 410 способа 400 происходит идентификация метрики, соответствующей критерию выбора. На этапе 420 происходит усреднение матрицы канала для каждой из  $N$  поднесущих, где  $N$  больше 1 и меньше или равно  $M$ , для создания  $L$  усредненных матриц канала. На этапе 430 способа 400 происходит вычисление метрики с использованием каждой усредненной матрицы канала для получения  $L$  усредненных метрик для каждой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге. На этапе 440 способа 400 вычисляют сумму/среднее значение для  $L$  усредненных метрик для  $M$  поднесущих каждой матрицы предварительного кодирования в кодовой

книге. На этапе 450 способа 400 из множества матриц предварительного кодирования выбирают одну конкретную целевую матрицу предварительного кодирования, которая увеличивает сумму/среднее значение метрики.

Необходимо заметить, что целевая матрица предварительного кодирования просто является матрицей, предпочтительной для абонентской станции. Абонентская станция, впоследствии, может передать данную предпочтительную матрицу базовой станции, которая, в свою очередь, может выбрать матрицу, предпочтительную для абонентской станции, (или другую матрицу) в качестве матрицы предварительного кодирования.

В одном варианте осуществления,  $N$  равно  $M$ . (Это означает, что  $L=1$ ). В этом же, или другом варианте осуществления,  $L$  равно  $M$ , разделенному на  $N$ , т.е. каждая усредненная метрика содержит то же самое количество непрерывных поднесущих, как и все другие усредненные метрики.

При использовании способа усреднения канала достигается такой же результат, как и при использовании способа суммирования пропускной способности, но с меньшим количеством вычислений. Допустим, как было приведено выше, что  $M$ =размеру диапазона. Результаты моделирования показывают, что способ усреднения канала при  $N=M$  (одна усредненная матрица канала на диапазон) дает примерно такую же производительность, как и в случае средней пропускной способности для  $N=1$  (без прореживания частот), достигающей 0.05 дБ. Это происходит потому, что, без учета сложности усредненной матрицы канала, благодаря величине  $N$  вычисление происходит только единожды (а не для каждой матрицы предварительного кодирования в кодовой книге). Для сравнения, прореживание частот для случая, когда  $N=M$  (выбор одной произвольной матрицы канала для диапазона), имеющей такую же сложность, как и усредненный канал, где  $N=M$ , дает ухудшение производительности около 0.5 дБ. Другое преимущество усреднения матрицы канала заключается в том, что это помогает усреднить оценку ошибок в канале. На фиг.5, в виде блок-схемы 500, показан способ усреднения канала.

#### Адаптация рангов и выбор диапазона

Существует несколько способов, которые могут быть использованы для выбора диапазона передачи и ранга (т.е. количества потоков) матрицы предварительного кодирования. Непосредственным способом (для заданной кодовой книги) является сравнение метрики, используемой для выбора матрицы предварительного кодирования (например, метрики пропускной способности), для всех диапазонов и рангов. Недостаток данного способа заключается в том, что для нахождения метрики для наилучшей матрицы должны быть просмотрены все матрицы в кодовой книге для всех релевантных рангов, что ведет к увеличению сложности процесса. Почти оптимальным способом, который устраняет необходимость поиска среди всех матриц в кодовой книге, является аппроксимация пропускной способности посредством наилучшей матрицы предварительного кодирования из кодовой книги с использованием пропускной способности для оптимальной матрицы предварительного кодирования без разбиения кодовой книги. (Данный способ является почти оптимальным, поскольку в нем сначала выбирают ранжирование в соответствии с одним критерием и затем выбирают матрицу, вместо того, чтобы одновременно выбирать ранжирование и матрицу). Также могут быть использованы другие метрики аппроксимации для получения наилучшей матрицы в кодовой книге. Решение для предварительного кодирования без кодовой книги основано на разложении по сингулярным числам (SVD (singular value decomposition)) матрицы канала. Таким образом, критерием для адаптации рангов является сравнение пропускной способности с различным количеством потоков, предполагая

предварительное кодирование SVD.

Например, для двух принимающих антенн и двух передаваемых потоков пропускная способность равна:

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} F^* H^* H F \right|, \quad (10)$$

где  $I$  является единичной матрицей,  $E_s$  является полной энергией передачи,  $N_0$  является энергией шума,  $H$  является матрицей канала и  $F$  является оптимальной матрицей предварительного кодирования (без разбиения кодовой книги) с количеством столбцов, соответствующим количеству потоков. Пропускная способность для двух потоков также может быть выражена как:

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} D \right|, \quad (11)$$

где  $D$  является диагональной матрицей с характеристическим числом матрицы  $HH^*$  по диагонали. Пропускная способность для двух потоков может быть альтернативно выражена, как:

$$C_2 = \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\max} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\min} \right), \quad (12)$$

где  $\lambda_{\max}$  является наибольшим характеристическим числом матрицы  $HH^*$ ,  $\lambda_{\min}$  является вторым характеристическим числом матрицы.

В качестве другого примера для одного передаваемого потока (и любого количества передающих и принимающих антенн) пропускная способность может быть выражена как:

$$C_1 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{N_0} F^* H^* H F \right|, \quad (13)$$

где  $I$ ,  $E_s$ ,  $N_0$ ,  $H$  и  $F$  были описаны выше. Формулы (11) и (13) являются, по существу, одинаковыми; их отличие состоит в размере матрицы  $F$ , который равен количеству передающих антенн на количество передаваемых потоков (1 или 2). Пропускная способность для одного потока также может быть выражена эквивалентным образом:

$$C_1 = \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{N_0} \lambda_{\max} \right), \quad (14)$$

где значение  $\lambda_{\max}$  было описано выше.

Поскольку пропускная способность (или любая другая метрика) не представляет, с одинаковой достоверностью, производительность предварительного кодирования с разными рангами, при сравнении метрик для разных рангов можно использовать коэффициент масштабирования. Например, если мы хотим сравнить предварительное кодирование ранга 1 с предварительным кодированием ранга 2 для двух принимающих антенн, мы выберем ранг 2, когда  $C_2 > \alpha \cdot C_1$ , и выберем ранг 1, когда  $C_2 < \alpha \cdot C_1$ , где  $C_1$  и  $C_2$  были описаны выше, а  $\alpha$  является параметром, зависящим, например, от SNR (соотношение сигнал/шум).

Вычисление матрицы предварительного кодирования для нескольких каналов

Вычисление для нескольких каналов может потребоваться, например, при вычислении одной матрицы предварительного кодирования, которая может быть использована

для нескольких диапазонов ("индекс матрицы предварительного кодирования нескольких диапазонов") при вычислении широкополосной матрицы предварительного кодирования, которая может быть использована для любого подканала, вычислении долгосрочной матрицы предварительного кодирования, которая может быть использована для усреднения в течение длительного времени, и т.п. Алгоритм, согласно варианту осуществления настоящего изобретения, состоит в выборе матрицы, которая увеличивает (например, максимизирует) аккумулярованную метрику для всех экземпляров следующим образом:

1. Использование буфера для метрик  $N$  кодовых слов (в соответствии с размером кодовой книги).

2. Для каждой матрицы предварительного кодирования:

а) для каждого канала (например, диапазона) вычисление метрики матрицы предварительного кодирования (так же, как это осуществляется в случае одного диапазона);

б) аккумулярование метрик для каждой матрицы предварительного кодирования в буфере метрик (т.е. добавление метрики кодового слова  $i$  к точке ввода  $i$ ). Для матрицы предварительного кодирования нескольких диапазонов добавление осуществляется по диапазонам (например, разных диапазонов частот в одном кадре, а для долгосрочной матрицы предварительного кодирования, добавление осуществляется по кадрам, например, передаваемым в разное время).

3. Выбор матрицы предварительного кодирования в соответствии с требуемой ("наилучшей") полученной метрикой.

Способ для нескольких усредненных каналов показан на фиг.6 и 7. На фиг.6 показана блок-схема способа 600 для идентификации, в случае нескольких каналов, целевой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге, хранящейся в памяти устройства и содержащей множество матриц предварительного кодирования, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Фиг.7 является блок-схемой способа 700.

На этапе 610 способа 600 выделяют буфер для метрик  $N$  кодовых слов в соответствии с размером матричной кодовой книги. На этапе 620 способа 600 вычисляют метрику матрицы предварительного кодирования для каждого канала. На этапе 630 способа 600 аккумуляруют метрики каждой матрицы предварительного кодирования в буфере метрик. Этапы 620 и 630 выполняют для каждой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге. На этапе 640 способа 600 выполняют идентификацию целевой матрицы предварительного кодирования, как одной конкретной матрицы из множества матриц предварительного кодирования, удовлетворяющей заданной (например, максимальной) из аккумулярованных метрик.

Необходимо заметить, что целевая матрица предварительного кодирования просто является матрицей, предпочтительной для абонентской станции. Абонентская станция, впоследствии, может передать данную предпочтительную матрицу базовой станции, которая, в свою очередь, может выбрать матрицу, предпочтительную для абонентской станции, (или другую матрицу) в качестве матрицы предварительного кодирования.

В одном варианте осуществления, этап 630 содержит добавление для множества диапазонов, например, различных частотных диапазонов (группы соседних поднесущих) в одном кадре. В другом варианте осуществления, этап 630 содержит добавление по множеству кадров, например, кадров, передаваемых в разное время.

Вычисление MIMO CINR

Как было указано выше, значения пропускной способности могут быть использованы

для оповещений CINR (Carrier to Interference+Noise Ratio (отношение уровня сигнала к уровню шума)), поскольку, в случае 802.16e, CINR для MIMO основан на пропускной способности MIMO. Фактически, стандарт WiMAX требует, или будет требовать в будущем, чтобы MIMO-совместимая мобильная станция с приемником, реализованным с максимальным правдоподобием (ML (Maximum Likelihood)), поддерживала усредненные оповещения CINR, основанные на пропускной способности. Например, мобильная станция должна отправлять оповещения в соответствии со следующими вычислениями:

$$AVG\_CINR_{dB} = 10 \log_{10} (e^{C(d,y|H)} - 1), \quad (15)$$

где  $C(d,y|H)$  является пропускной способностью, определяемой как:

$$C(d, y | H) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \log \left( 1 + \frac{\text{trace}(H_p^H H_p)}{\sigma^2} + \frac{\text{abs}^2(\det(H_p))}{\sigma^4} \right), \quad (16)$$

где суммирование осуществляется для некоторого набора пилот-сигналов  $P$  в заданной области частотно-временной плоскости (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов (OFDM) поднесущих  $\times$  символы OFDM),  $\sigma^2$  является оценкой мощности шума (описанной ниже),  $H$  является матрицей отклика канала (ранее называемой в этом документе, для простоты, матрицей канала), и  $H^H$  является матрицей отклика после применения оператора эрмитового транспонирования.

Расширенным вариантом данного способа является вычисление  $C_{\text{region}}(d, y|H)$  для одной или более заданных областей и последующее усреднение  $C_{\text{region}}(d, y|H)$  для всех этих областей для получения  $C(d, y|H)$ .

Стандарт WiMAX (а точнее, IEEE 802.16 REV2 D8) определяет, что мощность шума, чтобы уменьшить ее изменение, должна быть усреднена для всей области (поднесущие OFDM  $\times$  символы OFDM) следующим образом:

$$\sigma^2 = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2. \quad (17)$$

Данные требования стандарта устанавливают, что вычисление  $AVG\_CINR_{dB}$  должно быть сделано в две итерации, в первой из которых получают усреднение мощности шумов и во второй получают пропускную способность, что, в свою очередь, требует хранения всех пилот-сигналов одного кадра (или области). Другими словами, при первой итерации должно быть вычислено значение  $\sigma^2$  для всей области (поднесущие OFDM  $\times$  символы OFDM) и во второй (последующей) итерации должна быть вычислена пропускная способность для той же области или блока. Необходимость хранения в памяти всех принятых пилот-сигналов во время приема одного кадра подразумевает использование относительно большого объема памяти (например, 3600 пилот-сигналов  $\times$  32 бита = 14,4 килобайта). Варианты осуществления настоящего изобретения существенно уменьшают требования к используемой памяти и, таким образом, улучшают производительность сети.

В качестве альтернативы прямому вычислению  $C(d,y|H)$  посредством двойной итерации для вычисления пропускной способности, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения используется только одна итерация, как было изложено выше, что позволяет устранить необходимость хранения в памяти всех пилот-сигналов. Такое упрощенное вычисление возможно из-за того, что  $\text{trace}(H_p^H H_p)$  и  $\text{abs}$

( $\det(H_p)$ ) являются практически постоянными для небольшой области (например, области с единственным кластером (или 14 поднесущими) для нескольких символов OFDM (например, всех символов в кадре)), что означает возможность нахождения среднего значения  $\text{trace}(\cdot)$  и  $\text{abs}(\det(\cdot))$  для всей области. Следовательно, несмотря на то, что термы

5 суммы элементов главной диагонали матрицы и определителя матрицы (и мощности шума) изменяются со временем и частотой, в некоторой среде (среде с малоподвижными объектами) можно найти локальную область с некоторым временем/частотой, где вариации данных термов являются достаточно небольшими, и может быть найдено среднее значение каждого из этих термов для данной области.

10 Таким образом, аппроксимация пропускной способности может быть следующей:

$$C(d, y | H) \approx \log \left( 1 + \frac{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(H_p^H H_p)}{\sigma^2} + \frac{\left( \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(H_p)) \right)^2}{\sigma^4} \right). \quad (18)$$

Формула (18) позволяет выполнить усреднение термов мощности шума, суммы элементов главной диагонали матрицы и определителя матрицы с использованием единственной итерации. Например, мобильная станция может принять пилот-сигнал, оценить канал, вычислить связанные с ним термы мощности шума, "суммы элементов

20 главной диагонали матрицы" и "опредетителя матрицы" и затем отклонить данный пилот-сигнал без необходимости сохранения его в памяти. Вместо этого, только аккумулярованные термы мощности шума, "суммы элементов главной диагонали матрицы" и "опредетителя матрицы" необходимы для хранения в памяти, и эти термы

25 используются для вычисления пропускной способности.

На фиг.8 показано расположение кластеров 820 в кадре 810. Кадр 810 дополнительно разделен на области, например, область 835, для которой может быть осуществлена аппроксимация (18). Каждый кластер 820 содержит восемь пилот-сигналов 821, половина

30 из которых (обозначенная белыми кругами) передается первой передающей антенной, и другая половина из которых (обозначенная черными кругами) передается второй передающей антенной. (Данная структура пилот-сигналов определена в стандарте 802.16e и помогает приемнику произвести оценку матрицы  $H$  каналов). На чертеже также приведена временная ось 850 и частотная ось 860.

Область 835 является примером области одного кластера (или 14 поднесущих) для нескольких символов OFDM (например, всех символов кадра 810). Например, на фиг.8 белые и черные круги представляют (как было упомянуто выше) поднесущие пилот-сигналов и каждый прямоугольник является областью с 14 тонами (по частотной оси) для 2 символов (по временной оси). Прямоугольник также называется кластером

40 (например, кластер 820), включающим в себя  $14 \times 4$  поднесущих, и из них 8 являются поднесущими пилот-сигнала. Заданная область, для которой вычисляют формулы (16), (17) и (18) является районом с  $N \times M$  кластерами, где максимальное значение  $M$  зависит от длины кадра (в символах), а максимальное значение  $N$  зависит от быстрого преобразования Фурье (FFT) для ширины полосы пропускания.

Фиг.9 является блок-схемой, иллюстрирующей способ 900 аппроксимации пропускной способности канала беспроводной сети согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

На этапе 910 способа 900 получают множество пилот-сигналов. На этапе 920 способа 900 оценивают матрицы отклика канала и множество термов мощности шума, так



чтобы получить матрицу отклика канала и терм мощности шума для каждого из множества пилот-сигналов, и каждая из множества матриц отклика канала и каждый из множества термов мощности шума соответствует одному индивидуальному пилот-сигналу из множества пилот-сигналов. В одном варианте осуществления (в соответствии с фиг.8) мы приняли допущение, что матрица канала является постоянной для пары символов, и, используя пару пилот-сигналов 823 (черный и белый, от каждой передающей антенны), мы оцениваем одну матрицу  $H$ . Однако в итоге мы будем иметь  $H$  для каждого пилот-сигнала, хотя  $H$  для пилот-сигналов 823, обозначенных белыми кругами, равна  $H$  для пилот-сигналов 823, обозначенных черными кругами. Так же, поскольку мы предположили, что  $H$  является постоянной для пары символов, в некоторых вариантах осуществления  $\text{trace}(\cdot)$  и  $\det(\cdot)$  вычисляются для каждого второго символа. Однако это просто является реализацией, уменьшающей сложность, и в других вариантах осуществления вычисление  $\text{trace}(\cdot)$  и  $\det(\cdot)$  может быть сделано для каждого символа.

На этапе 930 способа 900 выполняют операцию суммирования элементов главной диагонали матрицы и операцию вычисления определителя матрицы для каждой из множества матриц отклика канала (или их функций - см. выше) для получения множества сумм элементов главной диагонали матриц и множества определителей матриц. В одном варианте осуществления, выполнение операции суммирования элементов главной диагонали матрицы содержит решение функции  $\text{trace}(H_p^H H_p)$ , где  $p$  является индексом пилот-сигнала,  $H$  является матрицей отклика канала, а  $H^H$  является матрицей отклика канала после применения оператора эрмитового транспонирования. В том же самом или другом варианте осуществления, выполнение операции вычисления определителя матрицы содержит решение функции  $\det(H_p)$ , где, опять же,  $p$  является индексом пилот-сигнала, а  $H$  является матрицей отклика канала.

На этапе 940 способа 900 находят среднее значение для множества сумм элементов главной диагонали матриц, среднее значение для абсолютного значения множества определителей матриц, и среднее значение для множества термов мощности шума. В одном варианте осуществления, нахождение среднего значения для множества сумм

элементов главной диагонали матриц содержит решение  $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(H_p^H H_p)$ , где  $P$

соответствует общему количеству пилот-сигналов, для которых вычисляется  $\text{trace}(\cdot)$  (например, для каждого другого (например, каждого четного или каждого нечетного) символа). В этом же или другом варианте осуществления, нахождение среднего значения для абсолютного значения множества определителей матриц содержит решение

$(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(H_p)))^2$ , где, опять же,  $P$  соответствует общему количеству пилот-

сигналов, для которых вычисляется  $\det(\cdot)$  (например, для каждого другого (например, каждого четного или каждого нечетного) символа). В этом же или другом варианте осуществления, нахождение среднего значения для множества термов мощности шума

содержит решение  $\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$ , где, как и ранее,  $p$  является индексом пилот-сигнала,  $\sigma$

является термом мощности шума, а  $P$  соответствует общему количеству пилот-сигналов для выбранной области.

На этапе 950 способа 900 пропускную способность канала беспроводной сети

представляют как функцию от среднего значения для множества сумм элементов главной диагонали матриц, среднего значения для абсолютного значения множества определителей матриц и среднего значения для множества термов мощности шума.

На этапе 960 способа 900 осуществляют решение данной функции.

5 В одном варианте осуществления, способ 900 содержит прием первого из множества пилот-сигналов и последующую оценку первой матрицы отклика канала, первого термина мощности шума, первой суммы элементов главной диагонали матрицы и первого определителя матрицы, каждый из которых соответствует первому из множества пилот-сигналов, перед тем как принять второй из множества пилот-сигналов (в данной точке  
10 процесс оценки повторяется для параметров, соответствующих второму из множества пилот-сигналов). В некоторых примерах данного варианта осуществления, способ 900 дополнительно содержит удаление из памяти устройства первого из множества пилот-сигналов после оценки первой матрицы отклика канала, первого термина мощности шума, первой суммы элементов главной диагонали матрицы и первого определителя матрицы,  
15 поскольку отсутствует необходимость в его хранении до приема или обработки всех других пилот-сигналов.

Несмотря на то что изобретение было описано со ссылками на конкретные варианты осуществления, для специалистов в данной области техники должно быть очевидно, что могут быть сделаны различные изменения без отступления от идеи и объема  
20 изобретения. Соответственно, раскрытые варианты осуществления настоящего изобретения должны пониматься как иллюстрирующие объем изобретения, но не ограничивающие его. Очевидно, что объем настоящего изобретения должен быть ограничен только до размеров, требуемых приложенной формулы изобретения. Например, обычному специалисту в данной области техники должно быть понятно,  
25 что способы и относящиеся к ним конструкции, рассмотренные здесь, могут быть реализованы посредством различных вариантов осуществления, и описанные выше некоторые варианты осуществления не обязательно являются описанием всех возможных вариантов осуществления.

Также, выгоды, другие преимущества и решения задач были описаны в соответствии  
30 с некоторыми вариантами осуществления. Выгоды, преимущества, решения задач и любой элемент или элементы, которые могут привести к любой выгоде, преимуществу и решению или быть более явно определены, не должны быть истолкованы как критические, требуемые или важные признаки или элементы для любого или всех пунктов формулы изобретения.

35 Более того, варианты осуществления или ограничения, раскрытые здесь, не предназначены для общего доступа в соответствии с доктриной об общедоступности, если варианты осуществления и/или ограничения: (1) не заявлены явно в пунктах формулы изобретения; и (2) являются или могут быть потенциально эквивалентными явным элементам и/или ограничениям в пунктах формулы изобретения, попадающих  
40 под доктрину эквивалентов.

### Формула изобретения

1. Способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей каналу беспроводной сети, содержащий этапы, на которых:

45 идентифицируют метрику пропускной способности, включающую в себя единичную матрицу;

аппроксимируют метрику пропускной способности с использованием метрики аппроксимации, не учитывающей единичную матрицу;

осуществляют поиск по всем матрицам в матричной кодовой книге с использованием метрики аппроксимации, причем матричная кодовая книга хранится в устройстве памяти, для идентификации определенной матрицы предварительного кодирования, увеличивающей пропускную способность канала беспроводной сети, причем указанная

5 определенная матрица предварительного кодирования имеет соответствующий индекс матрицы; и

передают указанный индекс матрицы по указанному каналу беспроводной сети.

2. Способ по п.1, в котором:

на этапе идентификации определенной матрицы предварительного кодирования,

10 увеличивающей пропускную способность канала беспроводной сети, находят решение выражения  $F = \arg \max_{F_i \in F} \tilde{I}(F_i)$ , где  $F$  - указанная определенная матрица

предварительного кодирования, а  $\tilde{I}(F)$  - указанная метрика аппроксимации.

3. Способ идентификации матрицы предварительного кодирования, соответствующей

15 каналу беспроводной сети, содержащий этапы, на которых:

строят диагональную матрицу, включающую в себя член энергии ошибки декодера от декодера минимальной среднеквадратической ошибки;

вычисляют пропускную способность линии связи при помощи декодера минимальной

20 среднеквадратической ошибки для построения метрики минимальной среднеквадратической ошибки;

с использованием метрики минимальной среднеквадратической ошибки осуществляют поиск по всем матрицам в матричной кодовой книге, хранящейся в устройстве памяти, для идентификации определенной матрицы предварительного кодирования, увеличивающей пропускную способность канала беспроводной сети,

25 причем указанная определенная матрица предварительного кодирования имеет соответствующий индекс матрицы; и

передают указанный индекс матрицы по указанному каналу беспроводной сети.

4. Способ по п.3, в котором:

на этапе идентификации определенной матрицы предварительного кодирования,

30 увеличивающей пропускную способность канала беспроводной сети, находят решение выражения  $F = \arg \max_{F_i \in F} I_{\text{MMSE}}(F_i)$ , где  $F$  - указанная определенная матрица предварительного кодирования,  $I_{\text{MMSE}}(F) = \text{trace}(\log(E^{-1}))$ , а  $E$  - диагональная

35 матрица.

5. Способ идентификации целевой матрицы предварительного кодирования для  $M$  поднесущих в матричной кодовой книге, хранящейся в устройстве памяти и содержащей множество матриц предварительного кодирования, причем способ содержит этапы, на

40 которых:

выбирают метрику, соответствующую критерию выбора;

усредняют матрицу канала для каждой  $N$  поднесущих, где  $N$  больше 1 и меньше или равно  $M$ , для создания  $L$  усредненных матриц канала;

при этом для каждой матрицы предварительного кодирования в матричной кодовой книге:

45 вычисляют метрику с использованием каждой усредненной матрицы канала для получения  $L$  усредненных метрик; и

вычисляют сумму/среднее значение для  $L$  усредненных метрик по  $M$  поднесущим;

и

идентифицируют в качестве целевой матрицы предварительного кодирования

определенную матрицу предварительного кодирования из множества матриц предварительного кодирования, которая повышает сумму/среднее значение метрики.

6. Способ по п.5, в котором:

N равно M.

5 7. Способ по п.5, в котором:

L равно M, деленному на N.

8. Способ идентификации, для множества экземпляров канала, целевой матрицы предварительного кодирования из матричной кодовой книги, хранящейся в памяти устройства и содержащей множество матриц предварительного кодирования, причем  
10 способ содержит этапы, на которых:

обеспечивают буфер для метрики из N кодовых слов в соответствии с размером матричной кодовой книги;

при этом для каждой матрицы в кодовой книге:

15 вычисляют для каждого экземпляра канала метрику матрицы предварительного кодирования; и

накапливают метрики для каждой матрицы предварительного кодирования к метрике, хранящейся в буфере;

и

20 идентифицируют в качестве целевой матрицы предварительного кодирования определенную матрицу из множества матриц предварительного кодирования, удовлетворяющую требуемой накопленной метрике.

9. Способ по п.8, в котором:

этап накопления метрик для каждой матрицы предварительного кодирования содержит этап, на котором выполняют сложение по множеству диапазонов.

25 10. Способ по п.8, в котором:

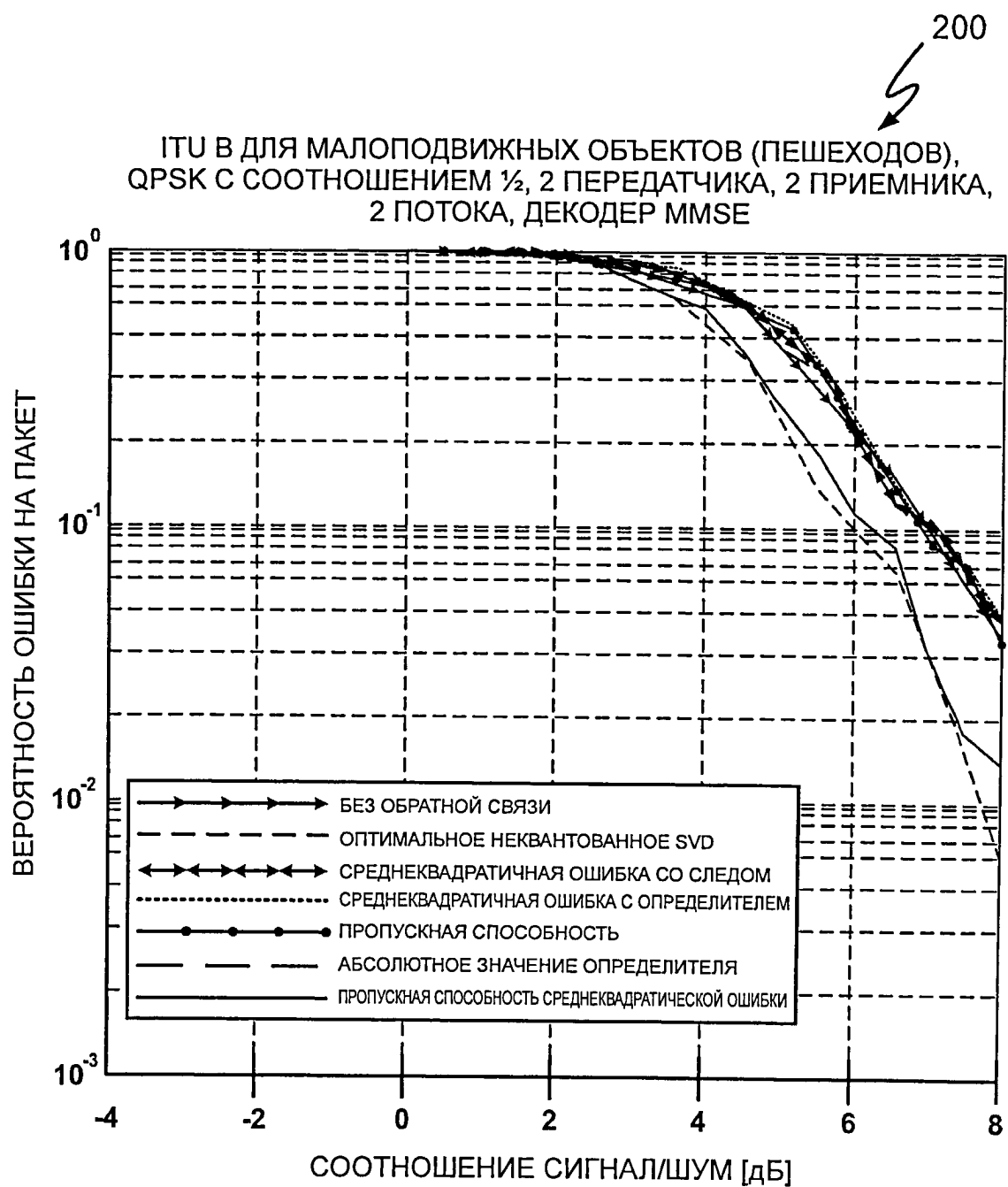
этап накопления метрик для каждой матрицы предварительного кодирования содержит этап, на котором выполняют сложение по множеству кадров.

30

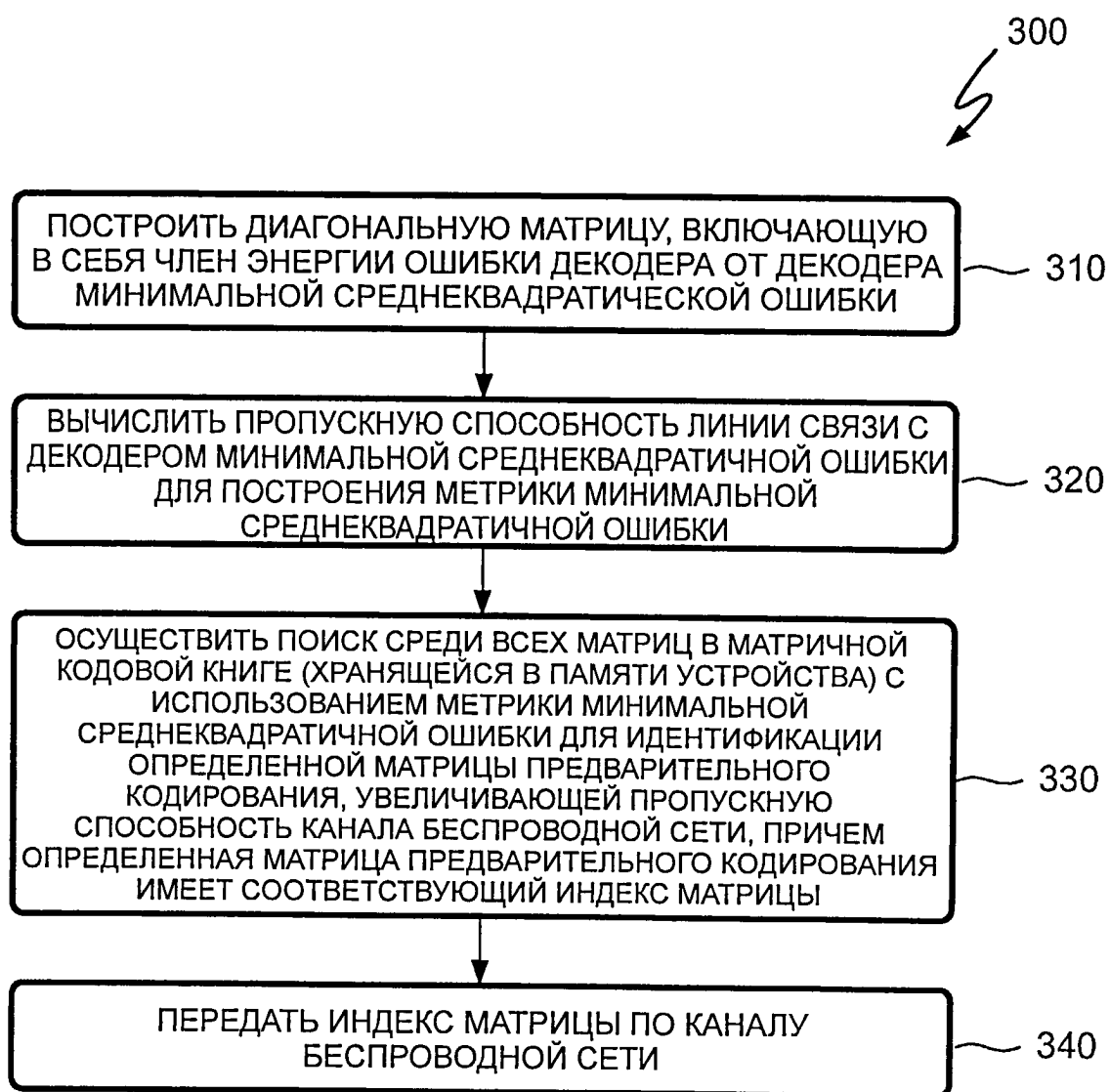
35

40

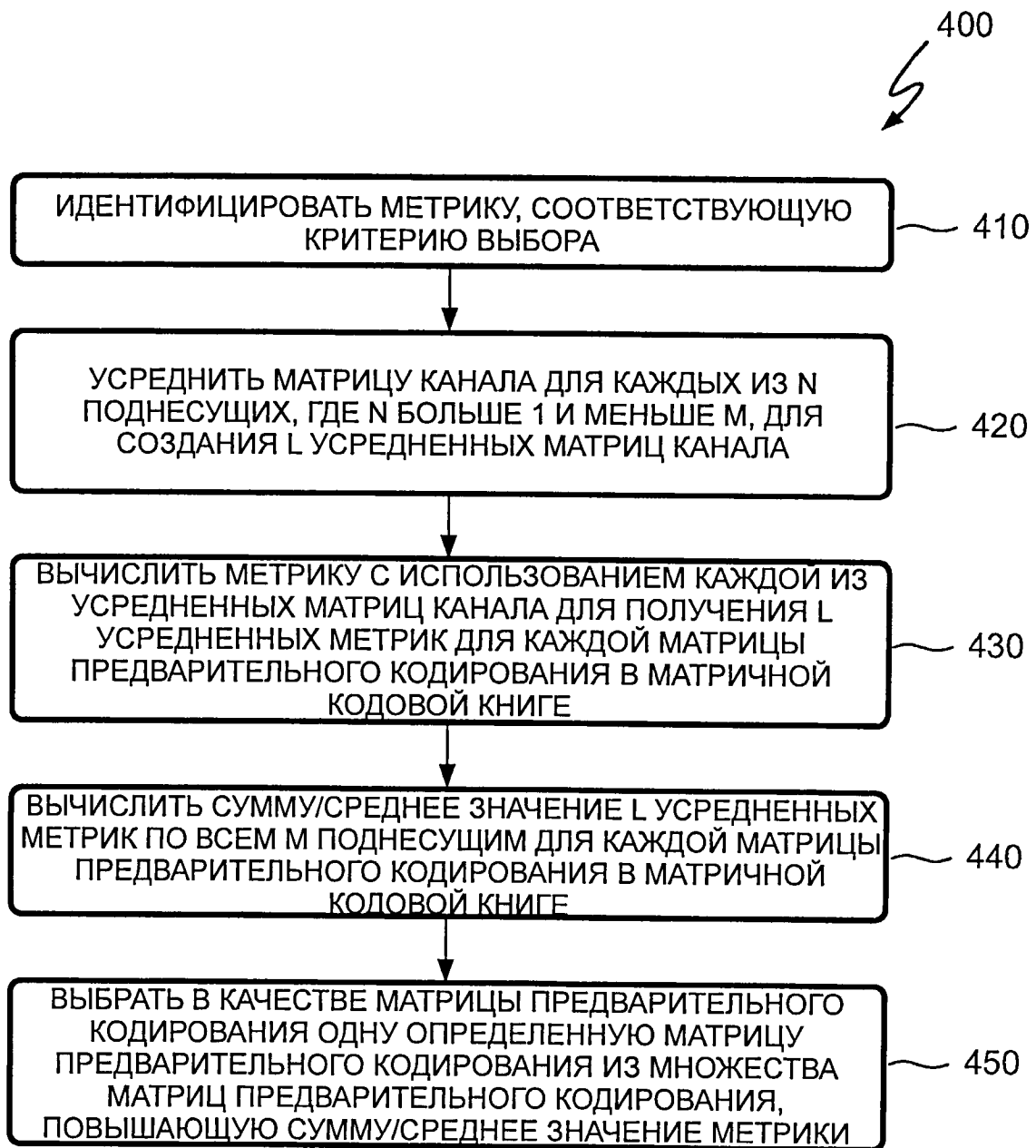
45



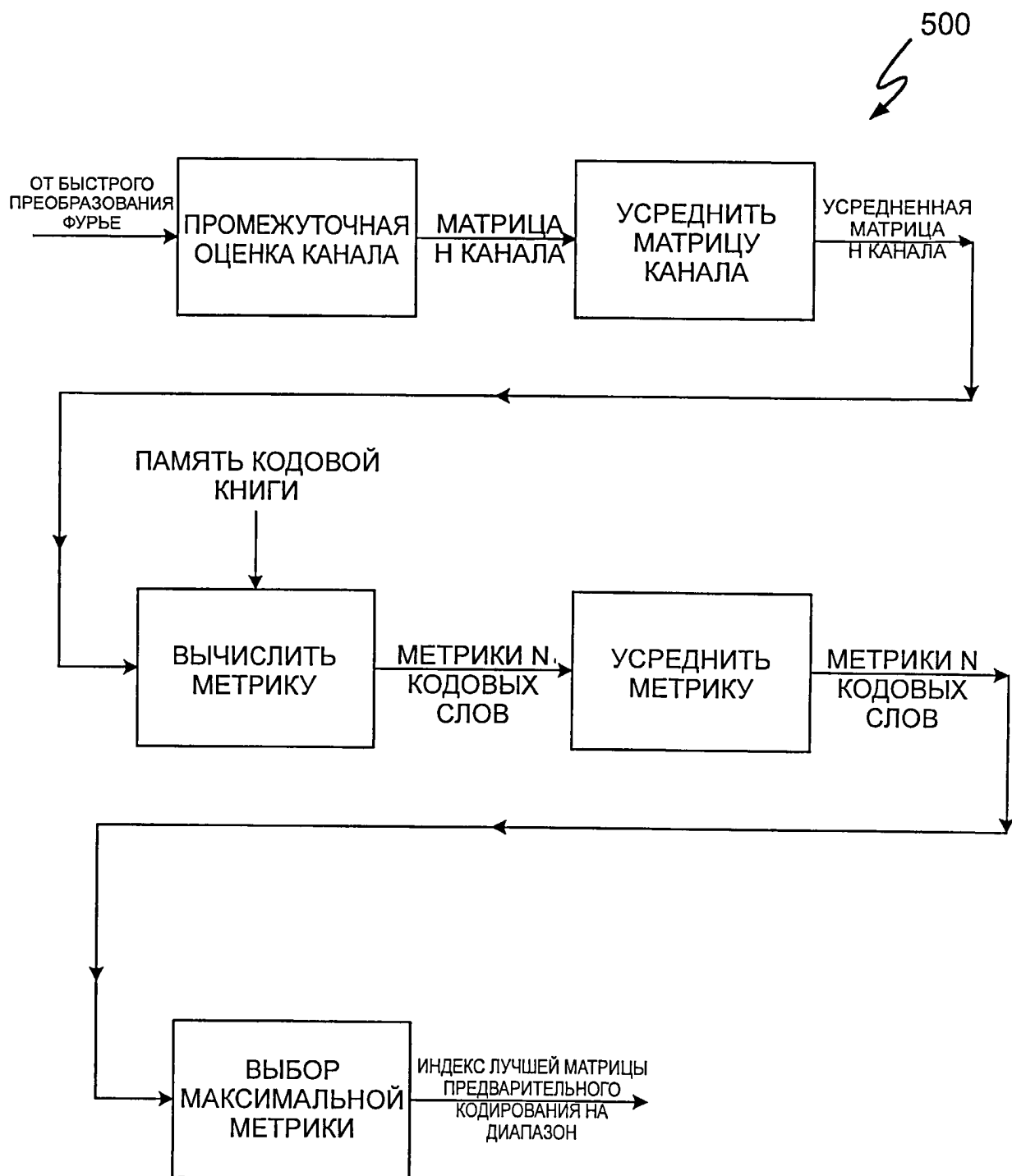
Фиг. 2



Фиг. 3

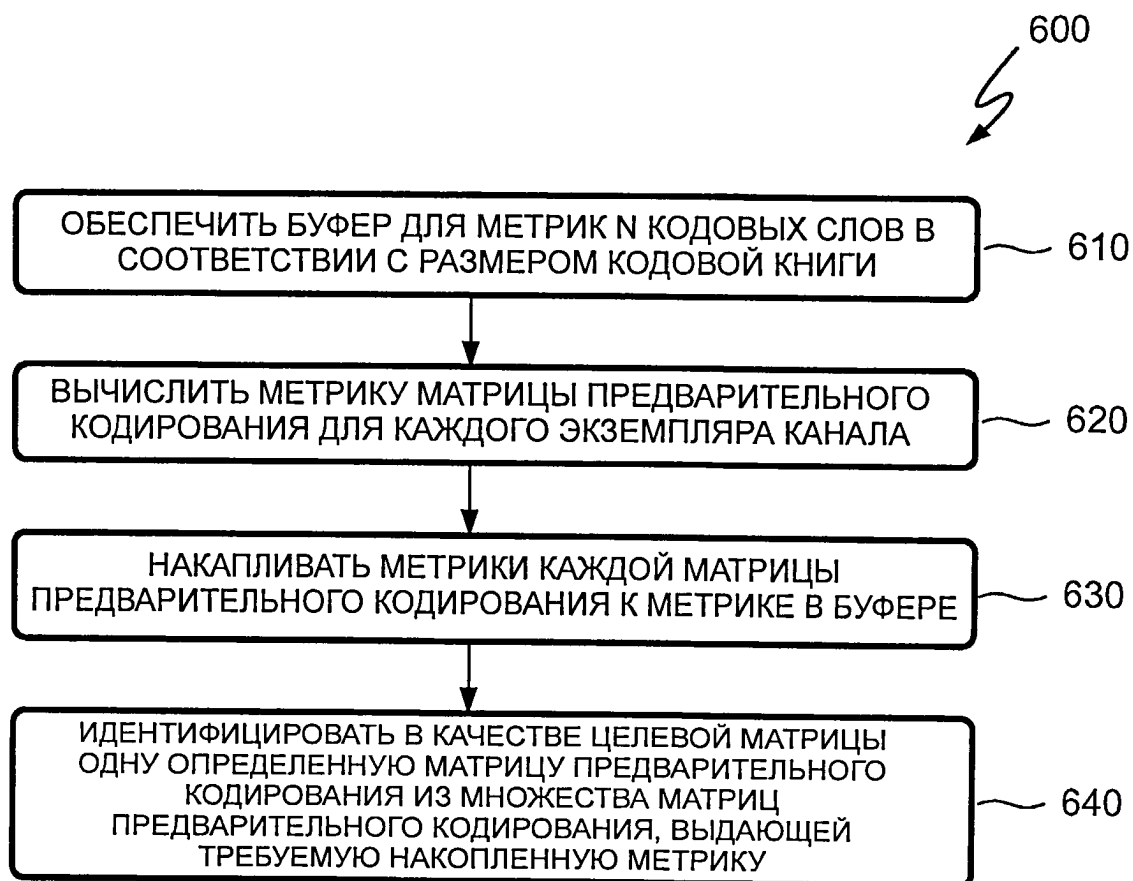


Фиг. 4

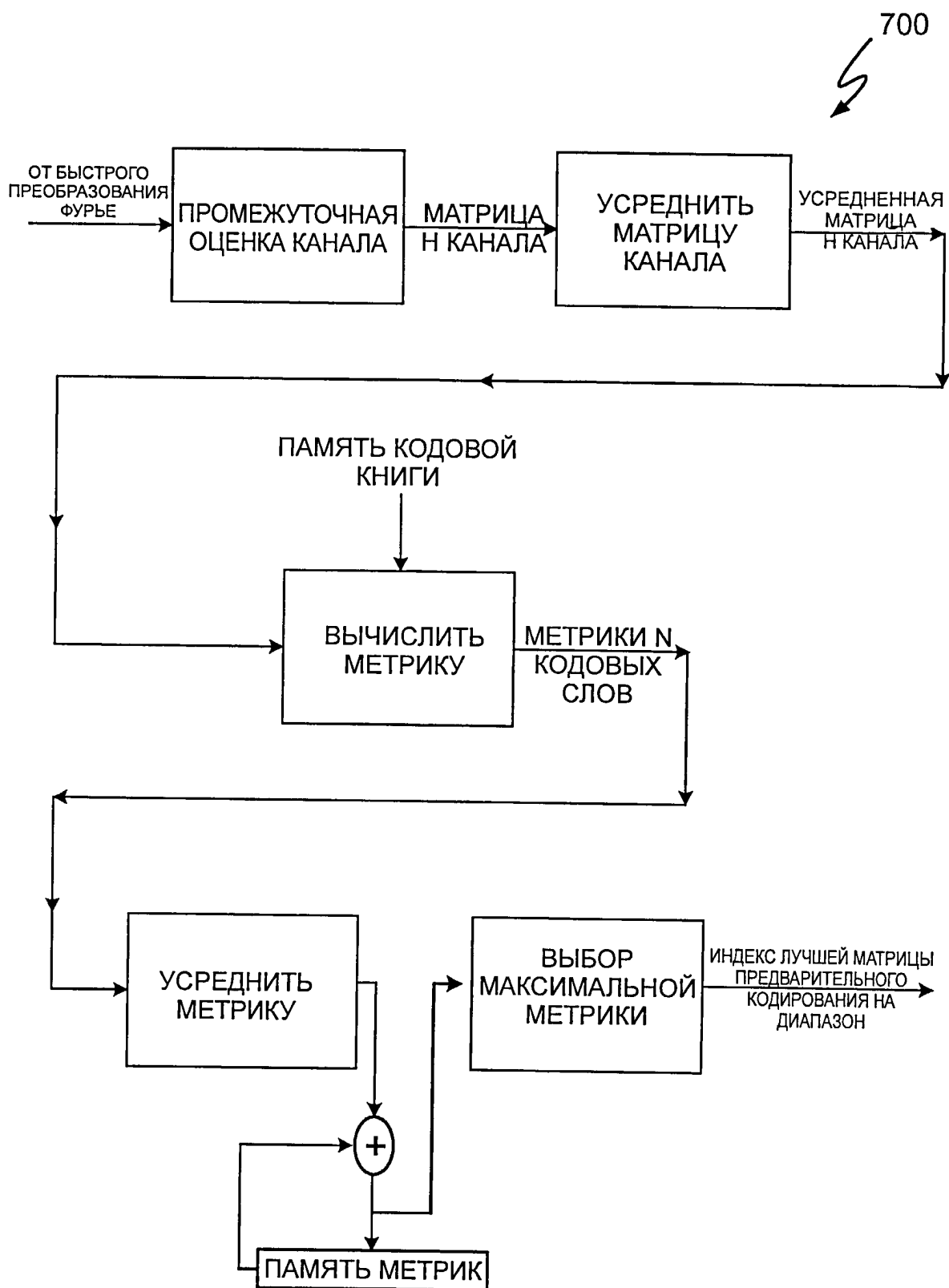


Фиг. 5

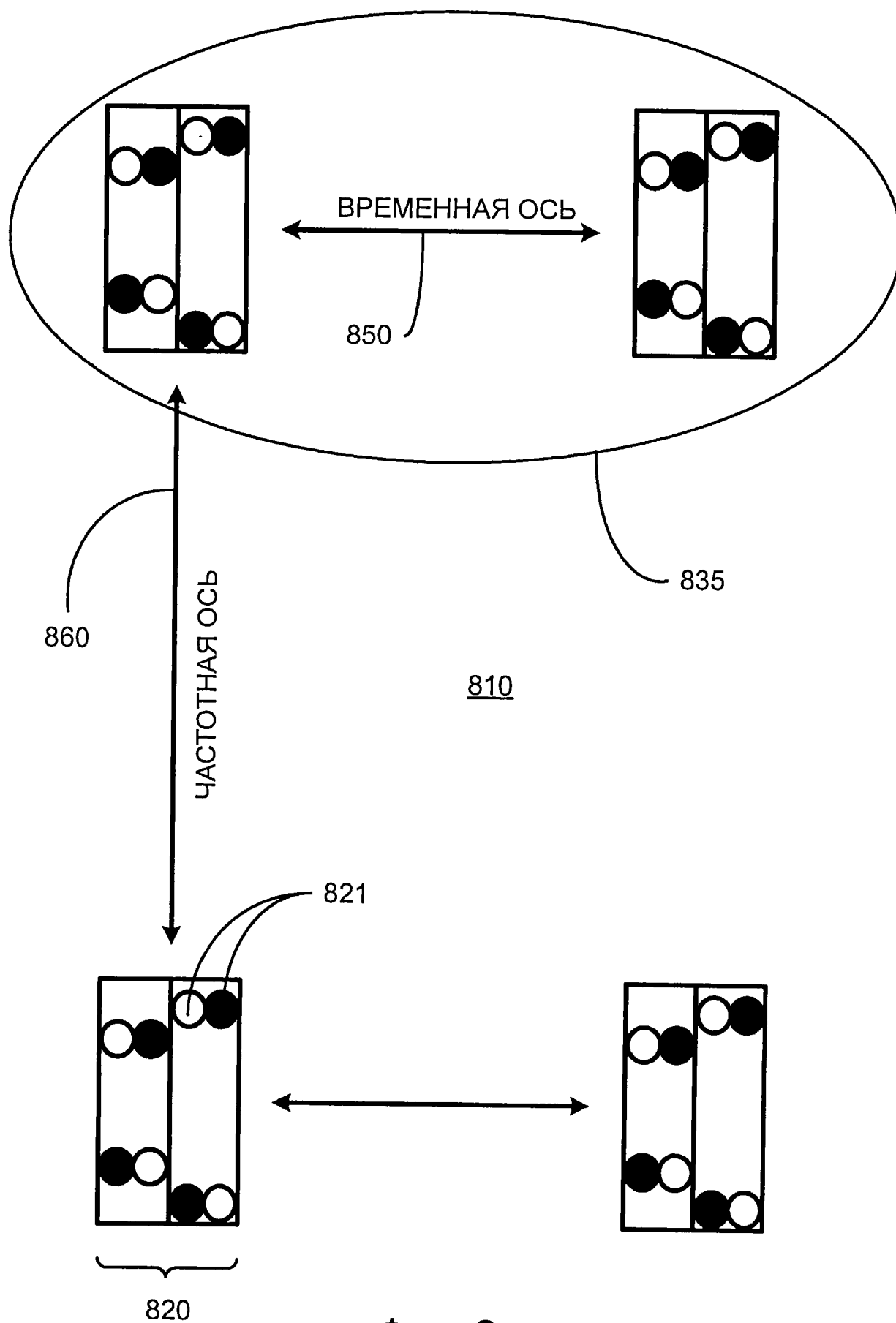




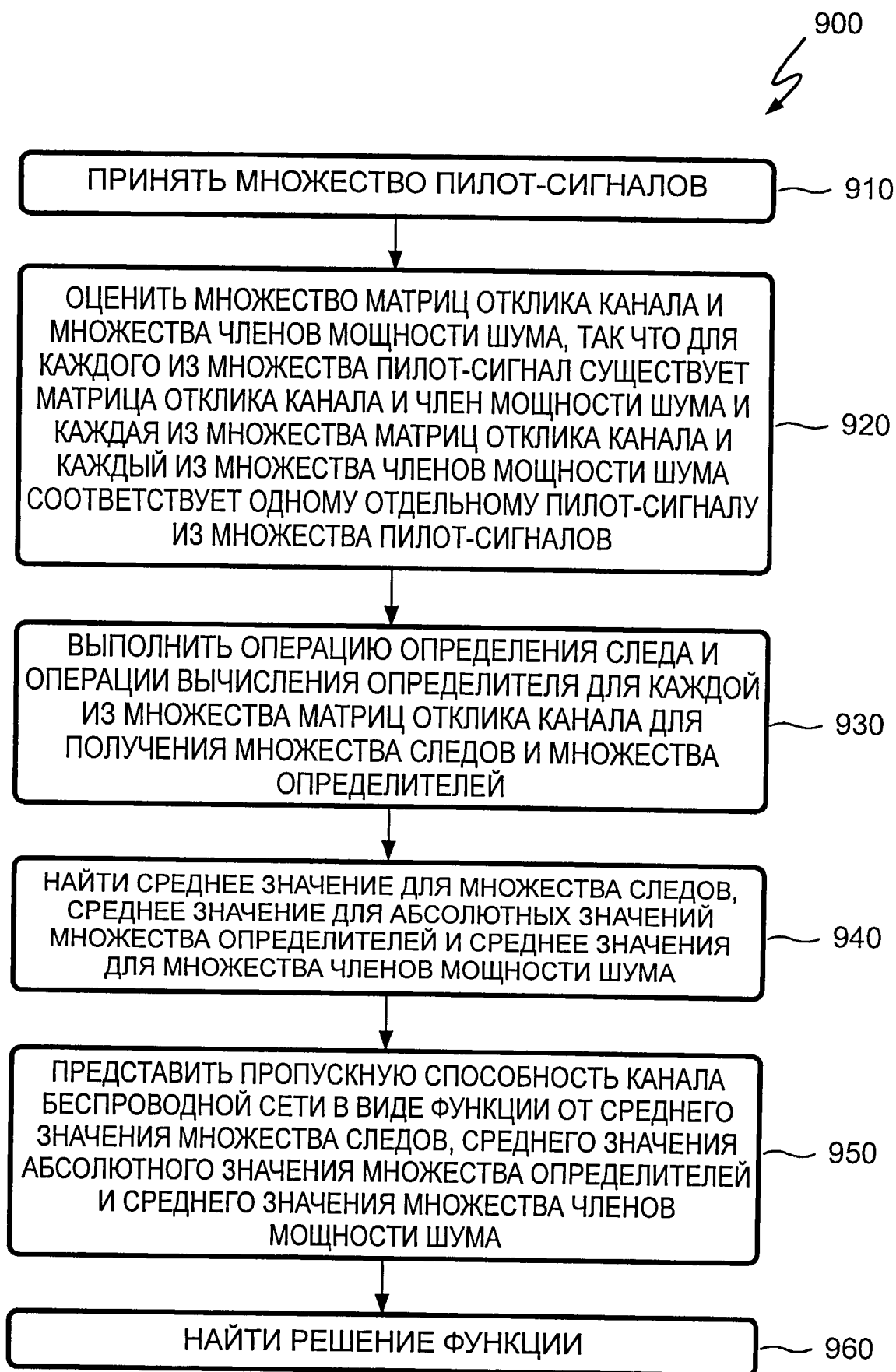
Фиг. 6



Фиг. 7



ФИГ. 8



Фиг. 9