



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2008106942/07, 24.10.2003**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.10.2003

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
25.10.2002 US 60/421,309
23.10.2003 US 10/693,429Номер и дата приоритета первоначальной заявки,
из которой данная заявка выделена:
2005115873 25.10.2003(43) Дата публикации заявки: **27.08.2009** Бюл. № 24(45) Опубликовано: **27.02.2013** Бюл. № 6(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **US6351499 B1, 26.02.2002. RU 2134489 C1,**
10.08.1999. WO 95/21501 A1, 10.08.1995. US
5239677 A, 24.08.1993. US 5422733 A,
06.06.1995.

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,
рег.№ 595

(72) Автор(ы):

УОЛТОН Джей Родни (US),
КЕТЧУМ Джон У. (US),
УОЛЛЭЙС Марк (US),
ГОВАРД Стивен Дж. (US)

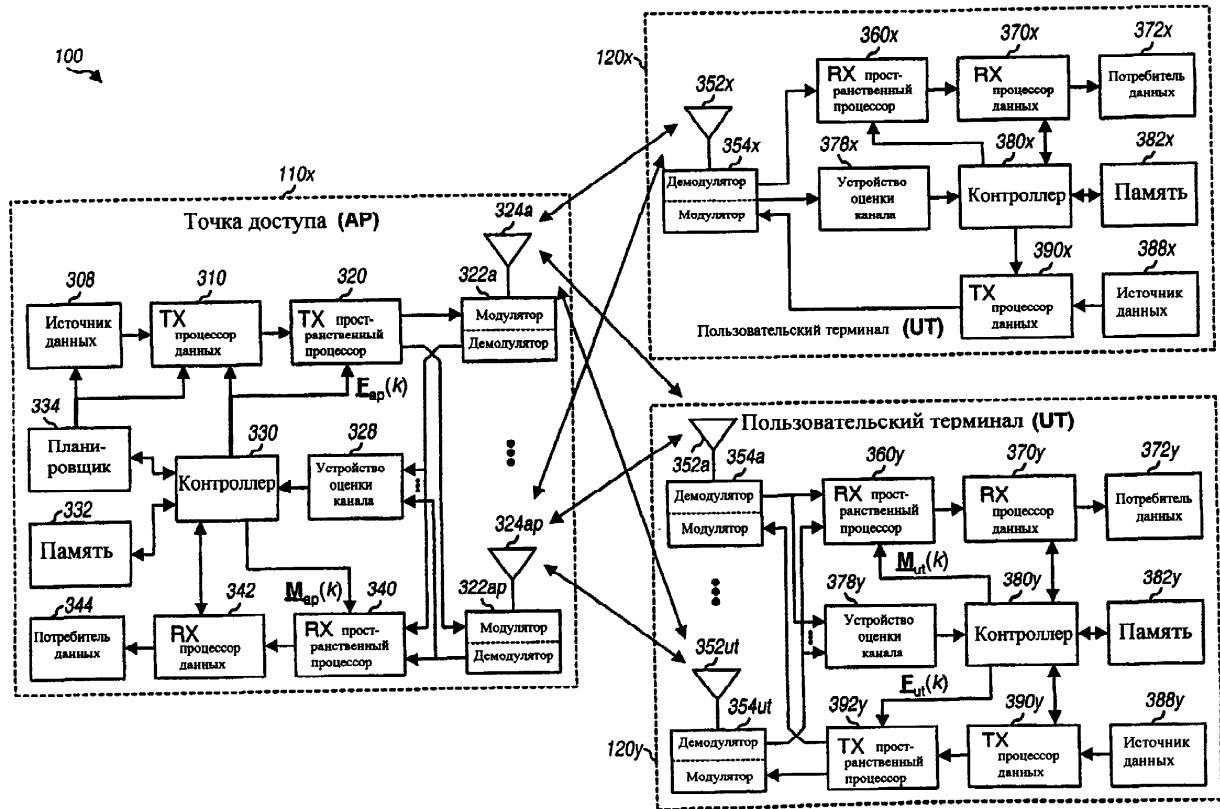
(73) Патентообладатель(и):

КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)**(54) СИСТЕМА С МНОЖЕСТВОМ ВХОДОВ И МНОЖЕСТВОМ ВЫХОДОВ (MIMO) С
МНОЖЕСТВОМ РЕЖИМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике связи и может использоваться в системах с множеством входов и множеством выходов (MIMO). Технический результат состоит в повышении пропускной способности каналов передачи. Для этого система поддерживает множество режимов пространственного мультиплексирования для улучшения производительности и большей гибкости. Такие режимы могут включать в себя однопользовательский направленный режим, в котором передают множество потоков данных через ортогональные пространственные каналы в один приемник,

однопользовательский ненаправленный режим, при котором передают множество потоков данных через множество антенн в один приемник без пространственной обработки в передатчике, многопользовательский направленный режим, в котором передают множество потоков данных одновременно в множество приемников с пространственной обработкой в передатчике, и многопользовательский направленный режим, в котором передают множество потоков данных через множество антенн, совместно расположенных или не совместно расположенных без пространственной обработки в передатчиках в приемники,



Фиг.3

RU 2 4 7 7 0 0 1 C 2

RU 2 4 7 7 0 0 1 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H04L 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2008106942/07, 24.10.2003

(24) Effective date for property rights:
24.10.2003

Priority:

(30) Convention priority:
25.10.2002 US 60/421,309
23.10.2003 US 10/693,429

Number and date of priority of the initial application,
from which the given application is allocated:
2005115873 25.10.2003

(43) Application published: 27.08.2009 Bull. 24

(45) Date of publication: 27.02.2013 Bull. 6

Mail address:

129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):

**UOLTON Dzhej Rodni (US),
KETChUM Dzhon U. (US),
UOLLEhJS Mark (US),
GOVARD Stiven Dzh. (US)**

(73) Proprietor(s):

KVEhLKOMM INKORPOREJTED (US)

RU 2 4 7 7 0 0 1 C 2

(54) **MULTIPLE-INPUT AND MULTIPLE-OUTPUT (MIMO) SYSTEM WITH MULTIPLE SPATIAL MULTIPLEXING MODES**

(57) Abstract:

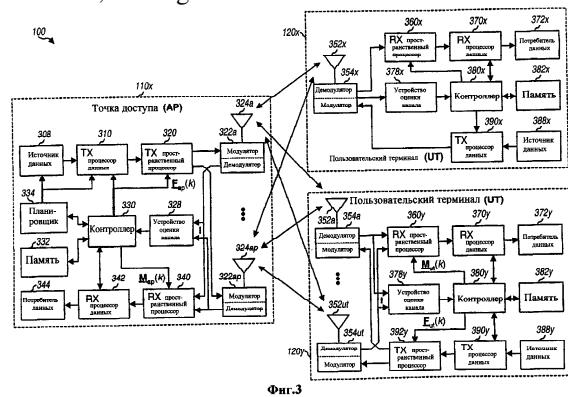
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: system supports multiple spatial multiplexing modes for improved performance and greater flexibility. These modes may include a single-user steered mode which transmits multiple data streams over orthogonal spatial channels to a single receiver, a single-user non-steered mode which transmits multiple data streams through multiple antennae to a single receiver without spatial processing in the transmitter, a multi-user steered mode which transmits multiple data streams simultaneously to multiple receivers with spatial processing in the transmitter, and a multi-user steered mode which transmits multiple data streams through multiple antennae, co-located or non co-

located, without spatial processing in the transmitters to receivers having multiple antennae.

EFFECT: high transmission channel capacity.

29 cl, 14 dwg



RU 2 4 7 7 0 0 1 C 2

Притязание на приоритет по §119 U.S.C 35

Настоящая заявка на патент притязает на приоритет предварительной заявки на патент США № 60/421309, называемой "MIMO WLAN System", поданной 25 октября 2002 г., право на которую передано правопреемнику настоящего изобретения и которая включена в настоящее описание во всей своей полноте в качестве ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение в общем случае относится к связи, более конкретно к коммуникационной системе с множеством входов и множеством выходов (MIMO).

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

MIMO система как правило использует для передачи данных несколько (N_T) передающих антенн и несколько (N_R) приемных антенн и обозначается как система (N_T, N_R). MIMO канал, сформированный N_T передающими и N_R приемными антеннами, может быть разложен на N_S пространственных каналов, где $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$. Для достижения большей общей пропускной способности, для передачи N_S независимых потоков данных могут использоваться N_S пространственных каналов. В общем случае, для одновременной передачи и восстановления нескольких потоков данных, пространственная обработка обычно выполняется в приемнике и может выполняться или не выполняться в передатчике.

Известная MIMO система обычно использует определенную схему передачи для одновременной передачи нескольких потоков данных. Эта схема передачи может быть выбрана на основе компромисса между различными факторами, такими как требования к системе, объем обратной связи из приемника в передатчик, возможности передатчика и приемника, и т.д. Передатчик, приемник и система, к тому же, разработаны с возможностью поддержки выбранной схемы передачи и функционирования в соответствии с нею. Указанная схема передачи обычно имеет предпочтительные признаки, а также неблагоприятные признаки, которые могут влиять на производительность системы.

Таким образом, в данной области техники существует потребность в MIMO системе, выполненной с возможностью достижения повышенной эффективности.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Описана MIMO система, которая поддерживает несколько режимов пространственного мультиплексирования (SM) для повышения производительности и большей гибкости. Пространственное мультиплексирование относится к одновременной передаче нескольких потоков данных через несколько пространственных каналов MIMO-канала. Несколько режимов пространственного мультиплексирования могут включать в себя (1) однопользовательский направленный режим, при котором осуществляется передача нескольких потоков данных по ортогональным пространственным каналам в один приемник, (2) однопользовательский ненаправленный режим, при котором осуществляется передача нескольких потоков данных через несколько антенн в один приемник без пространственной обработки в передатчике, (3) многопользовательский направленный режим, при котором осуществляется одновременная передача нескольких потоков данных в множество приемников с пространственной обработкой в передатчике, и (4) многопользовательский ненаправленный режим, при котором осуществляется передача нескольких потоков данных через несколько антенн (совместно расположенных или отдельно расположенных) без пространственной обработки в передатчике (передатчиках) в приемник (приемники), имеющий несколько антенн.

Для передачи данных по нисходящей и/или восходящей линии выбирают набор по меньшей мере из одного пользовательского терминала. Выбирают режим пространственного мультиплексирования для набора пользовательских терминалов из множества режимов пространственного мультиплексирования, поддерживаемых системой. Также выбирают множество скоростей для множества потоков данных, предназначенных для передачи через множество пространственных каналов канала ММО набору пользовательских терминалов. Набор пользовательских терминалов планируют для передачи данных по нисходящей и/или восходящей линии с выбранными скоростями и выбранным режимом пространственного мультиплексирования. После этого множество потоков данных обрабатывают (например, выполняют кодирование, перемежение и модуляцию) в соответствии с выбранными скоростями и дополнительно подвергают пространственной обработке в соответствии с выбранным режимом пространственного мультиплексирования для передачи через множество пространственных каналов.

Ниже более подробно описаны различные аспекты, варианты осуществления и отличительные признаки изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На Фиг.1 показана ММО система с множественным доступом.

На Фиг.2 показана структура кадра и канала для ММО системы.

На Фиг.3 показана точка доступа и два пользовательских терминала в ММО системе.

На Фиг.4 показан передающий (ТХ) процессор данных в точке доступа.

На Фиг.5 показан ТХ пространственный процессор и модуляторы в точке доступа.

На Фиг.6 показаны демодуляторы и приемный (RX) пространственный процессор в многоантенном пользовательском терминале.

На Фиг.7 показан RX процессор данных в многоантенном пользовательском терминале.

На Фиг.8 показан RX пространственный процессор и RX процессор данных реализующие способ последовательного удаления помех (SIC).

На Фиг.9 показаны приемная/передающие цепи в точке доступа и пользовательском терминале.

На Фиг.10 показан механизм управления скоростью передачи с замкнутым контуром управления.

На Фиг.11 показан контроллер и планировщик для планирования пользовательских терминалов.

На Фиг.12 показан процесс планирования пользовательских терминалов для передачи данных.

На Фиг.13 показан процесс передачи данных по нисходящей линии.

На Фиг.14 показан процесс приема данных по восходящей линии.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Слово “иллюстративный” используется в настоящем описании как означающее “служащий в качестве примера, иллюстрации”. Любой вариант осуществления, изложенный в настоящем описании как “иллюстративный”, не следует с необходимостью рассматривать как предпочтительный или преимущественный перед другими вариантами осуществления.

ММО Система может использовать одну несущую или множество несущих для передачи данных. Множество несущих может применяться в мультиплексировании с ортогональным делением частот (OFDM), в других способах модуляции с множеством

несущих или в других системах. OFDM эффективно разделяет полосу частот системы на множество (N_F) ортогональных поддиапазонов, которые обычно называются тонами, бинами, несущими и частотными каналами. В случае OFDM каждый поддиапазон связан с соответствующей несущей, которая может быть модулирована данными. Нижеследующее описание дано для MIMO системы, использующей OFDM. Однако концепции, изложенные в настоящем описании равным образом, применимы к MIMO системе с одной несущей.

MIMO система поддерживает множество режимов пространственного мультиплексирования для увеличения производительности и большей гибкости. В Таблице 1 перечислены поддерживаемые режимы пространственного мультиплексирования и даны их краткие описания.

Таблица 1	
Режим пространственного мультиплексирования	Описание
однопользовательский направленный	Множество потоков данных передают по ортогональным пространственным каналам в один приемник
однопользовательский ненаправленный	Множество потоков данных передают через множество антенн в один приемник без пространственной обработки в передатчике
многopользовательский направленный	Множество потоков данных передают одновременно (1) из одного передатчика во множество приемников или (2) из множества передатчиков в один приемник, в обоих случаях с пространственной обработкой в передатчике (передатчиках)
многopользовательский ненаправленный	Множество потоков данных передают одновременно (1) из множества передатчиков в один приемник или (2) из одного передатчика во множество приемников, в обоих случаях без пространственной обработки в передатчике (передатчиках)

MIMO система также может поддерживать другие и/или различные режимы пространственного мультиплексирования, и это находится в пределах объема настоящего изобретения.

Каждый режим пространственного мультиплексирования имеет различные калибровки и требования. Режимы направленного пространственного мультиплексирования как правило позволяют достичь лучшей производительности, но могут применяться только если передатчик имеет достаточную информацию о состоянии канала для ортогонализации пространственных каналов при помощи разложения или какого-либо другого способа, как описано ниже. В случае режимов ненаправленного пространственного мультиплексирования требуется очень мало информации для одновременной передачи множества потоков данных, но производительность может быть не такой высокой, как в случае режимов направленного пространственного мультиплексирования. Подходящий режим пространственного мультиплексирования может быть выбран для использования в зависимости от доступной информации о состоянии канала, от возможностей передатчика и приемника, системных требований и т.д. Каждый из режимов пространственного мультиплексирования описан ниже.

1. Однопользовательский режим направленного пространственного мультиплексирования

Частотно-селективный MIMO канал, сформированный N_T передающими антеннами и N_R приемными антеннами, может быть охарактеризован N_F матрицами откликов канала в частотном домене, $\mathbf{H}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, каждая из которых имеет размерность $N_R \times N_T$. Матрица откликов канала для каждого поддиапазона может быть выражена как:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \dots & h_{1,N_r}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \dots & h_{2,N_r}(k) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ h_{N_r,1}(k) & h_{N_r,2}(k) & \dots & h_{N_r,N_r}(k) \end{bmatrix}, \text{ уравнение (1)}$$

где элемент $h_{i,j}(k)$ для $i=1 \dots N_R, j=1 \dots N_T$ и $k=1 \dots N_F$ представляет собой связь (т.е. комплексное усиление) между передающей антенной j и приемной антенной i для поддиапазона k .

Матрица $\underline{\mathbf{H}}(k)$ отклика канала для каждого поддиапазона может быть “диагонализирована” для получения N_S собственных мод для этого поддиапазона.

Такая диагонализация может быть произведена путем выполнения либо разложения по сингулярным значениям матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$ отклика канала или разложения по собственным векторам корреляционной матрицы для матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$, которая представляет собой $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)$, где “ H ” обозначает транспонирование с комплексным сопряжением.

Разложение по сингулярным значениям матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$ откликов канала для каждого поддиапазона может быть выражено как:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{U}}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{\mathbf{V}}^H(k), \text{ уравнение (2)}$$

где $\underline{\mathbf{U}}(k)$ представляет собой $(N_R \times N_R)$ унитарную матрицу левых собственных векторов для $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

$\underline{\Sigma}(k)$ представляет собой $(N_R \times N_T)$ диагональную матрицу сингулярных значений для $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

$\underline{\mathbf{V}}(k)$ представляет собой $(N_T \times N_T)$ унитарную матрицу правых собственных векторов для $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

Унитарность матрицы $\underline{\mathbf{M}}$ характеризуется свойством $\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$, где $\underline{\mathbf{I}}$ представляет собой единичную матрицу.

Разложение по собственным векторам корреляционной матрицы $\underline{\mathbf{R}}(k)$ для каждого поддиапазона может быть выражено как:

$$\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\Delta}(k)\underline{\mathbf{V}}^H(k), \text{ уравнение (3)}$$

где $\underline{\Delta}(k)$ представляет собой $(N_T \times N_T)$ диагональную матрицу собственных векторов для $\underline{\mathbf{R}}(k)$. Как показано в уравнениях (2) и (3), столбцы $\underline{\mathbf{V}}(k)$ являются собственными векторами для $\underline{\mathbf{R}}(k)$, а также правыми собственными векторами для $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

Разложение по сингулярным значениям и разложение по собственным векторам описано Gilbert Strang в книге озаглавленной “Linear Algebra and Its Applications”, второе издание, Academic Press, 1980. Однопользовательский режим направленного пространственного мультиплексирования реализован либо посредством разложения по сингулярным значениям, либо посредством разложения по собственным векторам. Для простоты в нижеследующем описании используется разложение по сингулярным значениям.

Правые собственные вектора для $\underline{\mathbf{H}}(k)$ также называются “направляющими” векторами и могут быть использованы передатчиком для пространственной обработки при передаче данных по N_S собственным модам для $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Левые собственные вектора для $\underline{\mathbf{H}}(k)$ могут быть использованы для пространственной

обработки в приемнике для восстановления данных, переданных по N_S собственным модам. Собственные моды можно рассматривать как ортогональные пространственные каналы, получаемые в результате разложения. Диагональная матрица $\underline{\Sigma}(k)$ содержит неотрицательное вещественное значение по диагонали и нули в других позициях. Указанные диагональные элементы называются сингулярными значениями для $\underline{\mathbf{H}}(k)$ и представляют усиления канала для N_S собственных мод $\underline{\mathbf{H}}(k)$. Сингулярные значения для $\underline{\mathbf{H}}(k)$, $\{\sigma_1(k) \sigma_2(k) \dots \sigma_{N_S}(k)\}$, также представляют собой корень квадратный из собственных значений для $\underline{\mathbf{R}}(k)$, $\{\lambda_1(k) \lambda_2(k) \dots \lambda_{N_S}(k)\}$, где $\sigma_i(k) = \sqrt{\lambda_i(k)}$. Декомпозиция по сингулярным значениям может выполняться для матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$ отклика канала независимо для каждого из N_F поддиапазонов для определения N_S собственных мод для этого поддиапазона.

Для каждого поддиапазона сингулярные значения в матрице $\underline{\Sigma}(k)$ могут быть упорядочены от больших к меньшим и собственные вектора в матрицах $\underline{\mathbf{V}}(k)$ и $\underline{\mathbf{U}}(k)$ могут быть упорядочены соответствующим образом. “Широкополосная” собственная мода может быть определена как набор собственных мод для всех N_F поддиапазонов, имеющих выполнения пространственной обработки в приемнике одинаковый порядковый номер после упорядочения (т.е. широкополосная собственная мода m включает в себя собственные моды m всех поддиапазонов). В общем случае, для передачи могут использоваться все N_F поддиапазонов или меньшее количество, причем неиспользуемые поддиапазоны заполняются сигналами с нулевым значением. Для простоты в нижеследующем описании предполагается, что все N_F поддиапазоны используются для передачи.

В однопользовательском режиме направленного пространственного мультиплексирования (или просто “однопользовательский направленный режим”) передают N_S потоков символов данных по N_S собственным модам ММО канала. Это требует пространственной обработки как в передатчике, так и в приемнике.

Пространственная обработка в передатчике для каждого поддиапазона в случае однопользовательского направленного режима может быть выражена как:

$$\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) \quad , \text{ уравнение (4)}$$

где $\underline{\mathbf{s}}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор с N_S ненулевыми элементами для N_S символов данных, предназначенных для передачи по N_S собственным модам поддиапазона k ; и

$\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор с N_T элементами для N_T символов передачи, предназначенных для передачи через N_T передающих антенн в поддиапазоне k .

N_S элементов $\underline{\mathbf{s}}(k)$ могут представлять N_S потоков символов данных, а оставшиеся элементы $\underline{\mathbf{s}}(k)$, если они есть заполняют нулями.

Принятые символы, полученные приемником для каждого поддиапазона, могут быть выражены как:

$$\underline{\mathbf{r}}_{su-s} = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{x}}_{su-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{V}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad , \text{ уравнение (5)}$$

где $\underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ представляет собой $(N_R \times 1)$ вектор с N_R элементами для N_R принятых символов, полученных через N_R приемных антенн для поддиапазона k ;

$\underline{\mathbf{n}}(k)$ представляет собой вектор шума для поддиапазона k .

Пространственная обработка в приемнике для восстановления вектора $\underline{\mathbf{s}}(k)$ для каждого поддиапазона может быть выражена как:

$$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k), \quad \text{уравнение (6)}$$

$$\begin{aligned} &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\ &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k), \end{aligned}$$

$$\text{или } \tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k) \text{ и } \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k) \tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k),$$

где $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор с N_S детектированными символами данных для поддиапазона k ;

$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор с N_S восстановленными символами данных для поддиапазона k ;

$\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ представляет собой вектор шума после обработки для поддиапазона k .

$\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ представляет собой ненормированную оценку вектора $\underline{\mathbf{s}}(k)$ данных, а вектор

$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{su-s}(k)$ представляет собой нормированную оценку $\underline{\mathbf{s}}(k)$.

Умножение на $\underline{\Sigma}^{-1}(k)$ в уравнении (6) учитывает (возможно, различные) усиления N_S пространственных каналов и нормирует результат пространственной обработки в приемнике таким образом, что в последующий блок обработки предоставляются восстановленные символы данных, имеющие подходящую величину.

Для однопользовательского направленного режима матрица $\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k)$

направляющих векторов, используемая в передатчике для каждого поддиапазона, может быть выражена как:

$$\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \quad \text{уравнение (7)}$$

Матрица пространственной фильтрации, используемая в приемнике для каждого поддиапазона, может быть выражена как:

$$\underline{\mathbf{M}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \quad \text{уравнение (8)}$$

Однопользовательский направленный режим может быть использован, если передатчик имеет информацию о состоянии канала либо в виде матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$ отклика канала, либо матрицы $\underline{\mathbf{V}}(k)$ правых собственных векторов для $\underline{\mathbf{H}}(k)$, для $k=1 \dots N_F$. Передатчик может оценить $\underline{\mathbf{H}}(k)$ или $\underline{\mathbf{V}}(k)$ для каждого поддиапазона, основываясь на пилот-сигнале, передаваемом приемником, как описано ниже, или может получить эту информацию от приемника по каналу обратной связи. Как правило, приемник может получить $\underline{\mathbf{H}}(k)$ или $\underline{\mathbf{U}}^H(k)$ для каждого поддиапазона, основываясь на пилот-сигнале, передаваемом передатчиком. Из уравнения (6) видно, что N_S потоков $\underline{\mathbf{s}}(k)$ символов данных, искаженных только шумом $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ канала после обработки, могут быть получены в случае однопользовательского направленного режима посредством подходящей пространственной обработки как в передатчик, так и в приемнике.

Отношение сигнал/шум-и-помехи (ОСШ) для однопользовательского направленного режима может быть выражено как:

$$\gamma_{su-s,m}(k) = \frac{P_m(k) \lambda_m(k)}{\sigma^2}, \quad m=1 \dots N_S, \quad \text{уравнение (9)}$$

где $P_m(k)$ представляет собой мощность передачи, используемую для символа данных, переданного в поддиапазоне k широкополосной собственной моды m ;

$\lambda_m(k)$ представляет собой собственное значение для поддиапазона k широкополосной собственной моды m , которое является m -м диагональным элементом для $\underline{\Lambda}(k)$;

$\gamma_{su-s,m}(k)$ представляет собой ОСШ для поддиапазона k широкополосной собственной моды m .

2. Однопользовательский режим ненаправленного пространственного

мультиплексирования

Однопользовательский режим ненаправленного пространственного мультиплексирования (или просто “однопользовательский ненаправленный режим”) может быть использован, если передатчик не имеет достаточно информации о состоянии канала, или однопользовательский направленный режим не поддерживается по каким-либо другим причинам. В случае однопользовательского ненаправленного режима передают N_S потоков символов данных через N_T передающих антенн без какой-либо пространственной обработки в передатчике.

В случае однопользовательского ненаправленного режима матрица $\mathbf{F}_{ns}(k)$ направляющих векторов, используемая передатчиком для каждого поддиапазона, может быть выражена как:

$$\mathbf{F}_{ns}(k) = \mathbf{I} \quad \text{уравнение (10)}$$

Пространственная обработка в передатчике для каждого поддиапазона может быть выражена как:

$$\mathbf{x}_{ns}(k) = \mathbf{s}(k) \quad , \quad \text{уравнение (11)}$$

где $\mathbf{x}_{ns}(k)$ представляет собой вектор символов передачи для однопользовательского ненаправленного режима.

“Широкополосный” пространственный канал для этого режима может быть определен как пространственный канал, соответствующий данной передающей антенне (т.е. широкополосный пространственный канал m для однопользовательского ненаправленного режима включает в себя все поддиапазоны передающей антенны m).

Принятые символы, полученные приемником для каждого поддиапазона могут быть выражены как:

$$\mathbf{r}_{ns}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{x}_{ns}(k) + \mathbf{n}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad \text{уравнение (12)}$$

Приемник может восстановить вектор $\mathbf{s}(k)$ данных, используя различные способы обработки, такие как способ инверсии корреляционной матрицы канала (ССМИ) (который также известен как способ “обращения в нуль незначущих коэффициентов”), способ минимальной средней квадратичной ошибки (MMSE), корректор с решающей обратной связью (DFE) и способ последовательного удаления помех (SIC) и т.д.

А. Пространственная обработка ССМИ

Приемник может использовать способ ССМИ для выделения потоков символов данных. ССМИ приемник использует пространственный фильтр, имеющий отклик $\mathbf{M}_{ccmi}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, который может быть выражен как:

$$\mathbf{M}_{ccmi}(k) = [\mathbf{H}^H(k)\mathbf{H}(k)]^{-1}\mathbf{H}^H(k) = \mathbf{R}^{-1}(k)\mathbf{H}(k) \quad \text{уравнение (13)}$$

Пространственная обработка в ССМИ приемнике в случае однопользовательского ненаправленного режима может быть выражена как:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(k) &= \mathbf{M}_{ccmi}(k)\mathbf{r}_{ns}(k) \quad , \quad \text{уравнение (14)} \\ &= \mathbf{R}^{-1}(k)\mathbf{H}^H(k)(\mathbf{H}(k)\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k)) \quad , \\ &= \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}_{ccmi}(k) \quad , \end{aligned}$$

где $\hat{\mathbf{s}}_{ccmi}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор с N_S восстановленными символами данных для поддиапазона k ;

$\mathbf{n}_{ccmi}(k) = \mathbf{M}_{ccmi}(k)\mathbf{n}(k)$ представляет собой шум после ССМИ фильтрации для поддиапазона k .

Автоковариационная матрица $\mathbf{\varphi}_{ccmi}(k)$ шума после ССМИ фильтрации для каждого поддиапазона может быть выражена как

$$\begin{aligned}\underline{\varphi}_{ccmi}(k) &= E[\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k)\underline{\mathbf{n}}_{ccvi}^H(k)], \quad \text{уравнение (15)} \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)\underline{\varphi}_{nn}(k)\underline{\mathbf{M}}_{ccvi}^H(k), \\ &= \sigma^2 \underline{\mathbf{R}}^{-1}(k),\end{aligned}$$

где $E[x]$ представляет собой математическое ожидание для x . В последнем равенстве уравнения (15) предполагается, что шум $\underline{\mathbf{n}}(k)$ представляет собой аддитивный белый гауссовский шум (AWGN) с нулевым средним, дисперсией σ^2 и автоковариационной матрицей $\underline{\varphi}_{ccmi}(k) = E[\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}(k)\underline{\mathbf{n}}_{ccmi}^H(k)] = \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}$. В этом случае ОСШ для ССМІ приемника может быть выражено как:

$$\gamma_{ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}(k)\sigma^2}, \quad m=1 \dots N_S, \quad \text{уравнение (16)}$$

где $P_m(k)$ представляет собой мощность передачи, используемую для символа данных, переданного в поддиапазоне k широкополосного пространственного канала m ;

$r_{mm}(k)$ представляет собой m -й диагональный элемент $\underline{\mathbf{R}}(k)$ для поддиапазона k ;

$\gamma_{ccmi,m}(k)$ представляет собой ОСШ для поддиапазона k широкополосного пространственного канала m .

Из-за структуры $\underline{\mathbf{R}}(k)$ способ ССМІ может усиливать шум.

В. Пространственная обработка MMSE

Приемник может использовать MMSE для подавления перекрестных помех между потоками символов данных и максимизировать ОСШ восстановленных потоков символов данных. MMSE приемник использует пространственный фильтр, имеющий отклик матрицы $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, которую выводят таким образом, что среднеквадратичная ошибка между оцененным вектором данных из пространственного фильтра и вектором $\underline{\mathbf{s}}(k)$ данных минимизирована. MMSE критерий может быть выражен как:

$$\min_{\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)} E[(\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) - \underline{\mathbf{s}}(k))^H (\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k) - \underline{\mathbf{s}}(k))] \quad \text{уравнение (17)}$$

Решение задачи оптимизации, описанной уравнением (17), может быть получено различными способами. В одном из иллюстративных способов матрица

$\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$ MMSE пространственного фильтра для каждого поддиапазона может быть выражена как:

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k) &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)[\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k) + \underline{\varphi}_{nn}(k)]^{-1}, \quad \text{уравнение (18)} \\ &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)[\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{H}}^H(k) + \sigma^2 \underline{\mathbf{I}}]^{-1}.\end{aligned}$$

Во втором равенстве уравнения (18) предполагается, что вектор $\underline{\mathbf{n}}(k)$ шума представляет собой AWGN с нулевым средним и дисперсией σ^2 .

Пространственная обработка в MMSE приемнике в случае однопользовательского ненаправленного режима состоит из двух этапов. На первом этапе MMSE приемник умножает вектор $\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k)$ для N_R потоков принятых символов на матрицу $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$ MMSE пространственного фильтра для получения вектора $\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{mmse}(k)$ для N_S потоков детектированных символов следующим образом:

$$\begin{aligned}\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{mmse}(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{r}}_{ns}(k), \quad \text{уравнение (19)} \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)(\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\ &= \underline{\mathcal{Q}}(k)\underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{mmse}(k),\end{aligned}$$

где $\underline{\mathbf{n}}_{mmse}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{n}}(k)$ представляет собой шум после MMSE фильтрации и

$\underline{\mathbf{Q}}(k) = \underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)$. N_S потоков детектированных символов представляют собой ненормированные оценки N_S потоков символов данных.

На втором этапе MMSE приемник умножает вектор $\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(k)$ на масштабирующую матрицу $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$ для получения вектора $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(k)$ для N_S потоков восстановленных символов данных следующим образом:

$$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(k) = \underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)\tilde{\underline{\mathbf{s}}}_{mmse}(k), \text{ уравнение (20)}$$

где $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k)$ представляет собой диагональную матрицу, чьи диагональные элементы являются диагональными элементами $\underline{\mathbf{Q}}(k)$, т.е., $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}(k) = \text{diag}[\underline{\mathbf{Q}}(k)]$. N_S потоков восстановленных символов данных представляет собой нормированные оценки N_S потоков символов данных.

Используя определение обратной матрицы, матрица $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{Q}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\Phi}_{nn}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}(k)[\underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\Phi}_{nn}^{-1}(k)\underline{\mathbf{H}}(k) + \underline{\mathbf{I}}]^{-1}, \text{ уравнение (21)} \\ &= \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)[\underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k) + \sigma^2\underline{\mathbf{I}}]^{-1}. \end{aligned}$$

Во втором равенстве уравнения (21) предполагается, что шум представляет собой AWGN с нулевым средним и дисперсией σ^2 .

ОСШ для MMSE приемника может быть выражено как:

$$\gamma_{mmse,m}(k) = \frac{q_{mm}(k)}{1 - q_{mm}(k)} P_m(k), \quad m=1 \dots N_S, \text{ уравнение (22)}$$

где $q_{mm}(k)$ представляет собой m -й диагональный элемент $\underline{\mathbf{Q}}(k)$ для поддиапазона k , и

$\gamma_{mmse,m}(k)$ представляет собой ОСШ для поддиапазона k для широкополосного пространственного канала m .

30 С. Обработка в приемнике при последовательном удалении помех

Приемник может обрабатывать N_R потоков принятых символов, используя способ SIC для восстановления N_S потоков символов данных. В случае способа SIC приемник сначала выполняет пространственную обработку N_R потоков принятых символов (например, используя ССМІ, MMSE или какой-либо другой способ) и получает один поток восстановленных символов данных. Приемник выполняет дополнительную обработку (например, выполняет демодуляцию, обратное перемежение и декодирование) потока восстановленных символов данных для получения потока декодированных данных. Затем приемник оценивает помеху, которую этот поток создает для других N_S-1 потоков символов данных и удаляет оцененную помеху из N_R потоков принятых символов для получения N_R потоков модифицированных символов. Затем приемник повторяет такую же обработку для N_R потоков модифицированных символов для восстановления другого потока символов данных.

Для SIC приемника потоки входных (т.е., принятых или модифицированных) символов для этапа ℓ , где $\ell = 1 \dots N_S$, могут быть выражены как:

$$\underline{\mathbf{r}}'_{sc}(k) = \underline{\mathbf{H}}'(k)\underline{\mathbf{x}}'_{ns}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{H}}'(k)\underline{\mathbf{s}}'(k) + \underline{\mathbf{n}}(k), \text{ уравнение (23)}$$

где $\underline{\mathbf{r}}'_{sc}(k)$ представляет собой вектор N_R модифицированных символов для поддиапазона k на этапе ℓ , и

$\underline{\mathbf{r}}'_{sc}(k) = \underline{\mathbf{r}}_{ns}(k)$ для первого этапа;

$\underline{\mathbf{s}}'(k)$ представляет собой вектор $(N_T - \ell + 1)$ символов данных, еще не восстановленных,

для поддиапазона k на этапе ℓ ; и

$\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ представляет собой $N_R \times (N_T - \ell + 1)$ редуцированную матрицу отклика канала для поддиапазона k на этапе ℓ .

5 В уравнении (23) предполагается, что потоки символов данных, восстановленные на предшествующих $(\ell - 1)$ этапах, удалены. Размерность матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$ отклика канала последовательно редуцируется на один столбец для каждого при восстановлении и удалении потока символов данных. Для этапа ℓ редуцированная матрица $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ отклика канала получается путем удаления $(\ell - 1)$ из исходной матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$, соответствующих $(\ell - 1)$ потокам предварительно восстановленных символов данных, т.е., $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k) = [\underline{\mathbf{h}}_{j_\ell}(k) \ \underline{\mathbf{h}}_{j_{\ell+1}}(k) \ \dots \ \underline{\mathbf{h}}_{j_{N_T}}(k)]$, где $\underline{\mathbf{h}}_{j_n}(k)$ представляет собой $N_R \times 1$ вектор отклика канала между передающей антенной j_n и N_R приемными антеннами. Для этапа ℓ , $(\ell - 1)$ потокам символов данных, восстановленных на предыдущих этапах, присваивают индексы $\{j_1 \ j_2 \ \dots \ j_{\ell-1}\}$ и $(N_T - \ell + 1)$ потокам символов данных, еще не восстановленных, присваивают индексы $\{j_\ell \ j_{\ell+1} \ \dots \ j_{N_T}\}$.

Для этапа ℓ SIC приемник выводит матрицу $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ пространственной фильтрации, для $k=1 \dots N_F$, основываясь на редуцированной матрице $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ отклика канала (вместо исходной матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$), используя способ ССМІ, как показано в уравнении (13), способ ММSE, как показано в уравнении (18), или какой-либо другой способ. Матрица $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ имеет размерность $(N_T - \ell + 1) \times N_R$. Поскольку $\underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$ является 25 разной для каждого этапа, матрица $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ пространственной фильтрации также является разной для каждого этапа.

SIC приемник умножает вектор $\underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k)$ для N_R потоков модифицированных символов на матрицу $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$ пространственной фильтрации для получения вектора $\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{sic}^\ell(k)$ для $(N_T - \ell + 1)$ потоков детектированных символов следующим образом:

$$\begin{aligned} \underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{sic}^\ell(k) &= \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{r}}_{sic}^\ell(k), && \text{уравнение (24)} \\ &= \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) (\underline{\mathbf{H}}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}^\ell(k)), \\ &= \underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{n}}^\ell(k), \end{aligned}$$

35 где $\underline{\mathbf{n}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{n}}^\ell(k)$ представляет собой шум после фильтрации для поддиапазона k на этапе ℓ , $\underline{\mathbf{n}}^\ell(k)$ представляет собой редуцированный вектор $\underline{\mathbf{n}}(k)$, и $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k) \underline{\mathbf{H}}^\ell(k)$. Затем SIC приемник выбирает один из потоков

40 детектированных символов для восстановления. Поскольку на каждом этапе восстанавливают только один поток символов данных, SIC приемник может просто вывести один $(1 \times N_R)$ вектор-строку $\underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k)$ пространственной фильтрации для потока $\{s_{j_\ell}\}$ символов данных, предназначенных для восстановления на этапе ℓ . Вектор-строка $\underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k)$ представляет собой одну строку матрицы $\underline{\mathbf{M}}_{sic}^\ell(k)$. В этом случае пространственная обработка для этапа ℓ для восстановления потока $\{s_{j_\ell}\}$ символов данных может быть выражена как:

$$\underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{j_\ell}^\ell(k) = \underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\tilde{\mathbf{s}}}_{sic}^\ell(k) = \underline{\mathbf{q}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\mathbf{s}}^\ell(k) + \underline{\mathbf{m}}_{j_\ell}^\ell(k) \underline{\mathbf{n}}^\ell(k), \text{ уравнение (25)}$$

50 где $\underline{\mathbf{q}}_{j_\ell}^\ell(k)$ представляет собой строку $\underline{\mathbf{Q}}_{sic}^\ell(k)$, соответствующую потоку $\{s_{j_\ell}\}$ символов данных.

В любом случае приемник выполняет масштабирование потока $\{\tilde{s}_{j_\ell}\}$

детектированных символов для получения потока $\{\hat{s}_{j_\ell}\}$ восстановленных

символов данных и выполняет дополнительную обработку (например, выполняет демодуляцию, обратное перемежение и декодирование) потока $\{\hat{s}_{j_\ell}\}$ для получения

потока $\{\hat{a}_{j_\ell}\}$ декодированных данных. Приемник также формирует оценку помехи,

которую этот поток создает для других потоков символов данных, еще не

восстановленных. Для оценки помехи приемник выполняет повторное кодирование, перемежение и отображение символов потока $\{\hat{a}_{j_\ell}\}$ декодированных данных таким же

способом, который выполняется в передатчике и получает поток $\{\tilde{s}_{j_\ell}\}$ “повторно

модулированных” символов, который представляет собой оценку только что

восстановленного потока символов данных. Затем приемник выполняет свертку потока повторно модулированных символов с каждым из N_R элементов в векторе

$\mathbf{h}_{j_\ell}(k)$ отклика канала для потока $\{s_{j_\ell}\}$ для получения N_R компонентов $\mathbf{i}_{j_\ell}(k)$ помехи,

создаваемой этим потоком. Затем N_R компонентов помехи вычитают из N_R потоков

$\mathbf{r}_{sic}^\ell(k)$ модифицированных символов для этапа ℓ для получения N_R потоков $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k)$ для следующего этапа $\ell + 1$, т.е., $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k) = \mathbf{r}_{sic}^\ell(k) - \mathbf{i}_{j_\ell}(k)$. Потоки $\mathbf{r}_{sic}^{\ell+1}(k)$ модифицированных

символов представляют потоки, которые были бы приняты, если бы поток $\{s_{j_\ell}\}$

символов данных не передавался (т.е. предполагается, что удаление помехи было выполнено эффективно).

SIC приемник обрабатывает N_R потоков принятых символов на N_S

последовательных этапах. Для каждого этапа SIC приемник (1) выполняет

пространственную обработку либо N_R потоков принятых символов, либо N_R потоков модифицированных символов из предшествующего этапа для получения одного

потока восстановленных символов данных, (2) декодирует этот поток

восстановленных символов данных для получения соответствующего потока

декодированных данных, (3) выполняет оценку и удаляет помеху, связанную с этим

потоком, и (4) получает N_R потоков модифицированных символов для следующего

этапа. В случае если помеха, связанная с каждым потоком данных, может быть точно оценена и удалена, то позже восстановленные потоки данных в меньшей степени подвержены влиянию помех и могут иметь более высокое ОСШ.

В случае способа SIC ОСШ каждого потока восстановленных символов данных

зависит от (1) способа пространственной обработки (например, ССМІ или MMSE)

используемого на каждом этапе, (2) конкретного этапа, на котором восстанавливают данный поток символов данных, и (3) величины помехи, связанной с потоками

символов данных, восстановленных на более ранних этапах. ОСШ для SIC приемника с ССМІ может быть выражено как:

$$\gamma_{sic-ccmi,m}(k) = \frac{P_m(k)}{r_{mm}^\ell(k)\sigma^2}, \quad m=1 \dots N_S, \text{ уравнение (26)}$$

где $r_{mm}^\ell(k)$ представляет собой m -й диагональный элемент $[\mathbf{R}^\ell(k)]^{-1}$ для поддиагона k , где $\mathbf{R}^\ell(k) = [\mathbf{H}^\ell(k)]^H \mathbf{H}^\ell(k)$.

ОСШ для SIC приемника с MMSE может быть выражено как:

$$y_{\text{sic-ccm},m}^{\ell}(k) = \frac{q_{mm}^{\ell}(k)}{1 - q_{mm}^{\ell}(k)} P_m^{\ell}(k), \quad m=1 \dots N_S, \text{ уравнение (27)}$$

где $q_{mm}^{\ell}(k)$ представляет собой m -й диагональный элемент $\underline{\mathbf{Q}}_{\text{sic}}^{\ell}(k)$ для поддиапазона k , где $\underline{\mathbf{Q}}_{\text{sic}}^{\ell}(k)$, как показано в уравнении (21), но основываясь на редуцированной матрице $\underline{\mathbf{H}}^{\ell}(k)$ отклика канала вместо исходной матрицы $\underline{\mathbf{H}}(k)$.

В общем случае, ОСШ прогрессивно улучшается для потоков символов данных, восстановленных на поздних этапах, поскольку удаляются помехи от потоков символов данных, восстановленных на предшествующих этапах. Это позволяет использовать более высокие скорости передачи данных для потоков символов данных, восстановленных позднее.

3. Многопользовательский режим направленного пространственного мультиплексирования

Многопользовательский режим направленного пространственного мультиплексирования (или просто, “многопользовательский направленный режим”) поддерживает одновременную передачу данных от одного передатчика ко множеству приемников, основываясь на “пространственных сигнатурах” приемников.

Пространственная сигнатура для приемника дается вектором отклика канала (для каждого поддиапазона) между N_T передающими антеннами и каждой приемной антенной в приемнике. Передатчик может получить пространственные сигнатуры для приемников, как это описано ниже. Затем передатчик может (1) выбрать набор приемников для одновременной передачи данных и (2) вывести направляющие вектора для потоков символов данных, предназначенных для передачи в выбранные приемники таким образом, что перекрестные помехи для передаваемых потоков адекватно подавляются в приемниках.

Направляющие вектора в случае многопользовательского направленного режима могут быть выведены различными способами. Ниже описаны две иллюстративные схемы. Для простоты приведенное ниже описание дано для одного поддиапазона и предполагается, что каждый приемник оборудован одной антенной.

В схеме инверсии канала передатчик получает направляющие вектора для множества приемников, используя инверсию канала. Сначала передатчик выбирает N_T одноантенных приемников для одновременной передачи. Передатчик получает $1 \times N_T$ вектор-строку $\underline{\mathbf{h}}_1(k)$ отклика канала для каждого выбранного приемника и формирует $N_T \times N_T$ матрицу $\underline{\mathbf{H}}_{m1-s}(k)$ отклика канала с N_T векторами-строками для N_T приемников. Затем передатчик использует инверсию канала для получения матрицы $\underline{\mathbf{F}}_{m1-s}(k)$ из N_T направляющих векторов для N_T выбранных приемников следующим образом:

$$\underline{\mathbf{F}}_{m1-s}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{m1-s}^{-1}(k). \text{ уравнение (28)}$$

Пространственная обработка в передатчике для каждого поддиапазона для многопользовательского направленного режима может быть выражена как:

$$\underline{\mathbf{x}}_{m1-s}(k) = \underline{\mathbf{F}}_{m1-s}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) \quad . \text{ уравнение (29)}$$

где $\underline{\mathbf{x}}_{m1-s}(k)$ представляет собой вектор символов передачи для многопользовательского направленного режима.

Принятые символы в N_T выбранных приемниках для каждого поддиапазона могут быть выражены как:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{m1-s}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{m1-s}(k) \underline{\mathbf{x}}_{m1-s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad , \quad \text{уравнение (30)} \\ &= \underline{\mathbf{H}}_{m1-s}(k) \underline{\mathbf{F}}_{m1-s}(k) \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad , \\ &= \underline{\mathbf{s}}(k) + \underline{\mathbf{i}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \quad , \end{aligned}$$

где $\mathbf{r}_{m-s}(k)$ представляет собой $(N_T \times 1)$ вектор принятых символов для поддиапазона k и N_T выбранных приемников, и $\mathbf{i}(k)$ представляет перекрестную помеху вследствие неидеальности оценки $\mathbf{F}_{m-s}(k)$ в передатчике. Каждый выбранный приемник должен был бы получить только один элемент вектора $\mathbf{r}_{m-s}(k)$ для каждой приемной антенны. Если пространственная обработка в передатчике является эффективной, то мощность, содержащаяся в $\mathbf{i}(k)$, является малой, и каждый поток восстановленных символов данных подвержен малому влиянию перекрестных помех от (N_T-1) других потоков символов данных, передаваемых в другие приемники.

Передатчик также может передавать направленный пилот-сигнал в каждый выбранный приемник, как описано ниже. Затем каждый приемник может обрабатывать свой направленный пилот-сигнал для оценки усиления и фазы канала и выполняет когерентную демодуляцию принятых символов от своей одной антенны с оценками усиления и фазы для получения потоков восстановленных данных.

ОСШ, достижимые для многопользовательского направленного режима, представляют собой ковариационную функцию матрицы $\mathbf{H}_{m-s}(k)$ отклика канала. Более высокие ОСШ могут быть достигнуты при выборе “совместимых” пользовательских терминалов. Могут оцениваться различные наборы и/или комбинации пользовательских терминалов и для передачи данных может выбираться набор/комбинация с наивысшими ОСШ.

Хотя схема инверсии канала является привлекательной в силу своей простоты, в общем случае, она обеспечивает низкую производительность вследствие того, что предварительная обработка потоков символов данных с обращенной матрицей отклика канала в уравнении (29) вынуждает передатчик направлять основную долю его мощности в наихудшие собственные моды ММО канала. Также в некоторых каналах, главным образом, в имеющих высокую корреляцию между элементами $\mathbf{H}_{m-s}(k)$, матрица отклика канала имеет неполный ранг, и вычисление обратной к ней не является возможным.

В схеме предварительного кодирования передатчик выполняет предварительное кодирование N_T потоков символов данных, предназначенных для передачи в N_T выбранных приемниках таким образом, что эти потоки символов данных испытывают в приемниках малые перекрестные помехи. Передатчик может формировать матрицу $\mathbf{H}_{m-s}(k)$ отклика канала для N_T выбранных приемников. Затем передатчик выполняет QR факторизацию для $\mathbf{H}_{m-s}(k)$ таким образом, что $\mathbf{H}_{m-s}(k) = \mathbf{F}_{m-s}(k)\mathbf{Q}_{m-s}(k)$, где $\mathbf{F}_{m-s}(k)$ представляет собой нижнюю левую треугольную матрицу, а $\mathbf{Q}_{m-s}(k)$ представляет собой унитарную матрицу.

Передатчик выполняет операцию предварительного кодирования вектора символа данных, предназначенного для передачи, $\mathbf{s}(k) = [s_1(k) \ s_2(k) \ \dots \ s_{N_T}(k)]^T$, для получения вектора предварительно закодированных символов $\mathbf{a}(k) = [a_1(k) \ a_2(k) \ \dots \ a_{N_T}(k)]^T$

следующим образом:

$$a_\ell(k) = \frac{1}{f_M(k)} \left(s_\ell(k) - \sum_{i=1}^{\ell-1} f_{i\ell}(k) a_i(k) \right) \bmod (M/2), \text{ для } \ell = 1 \dots N_T, \text{ уравнение (31)}$$

где M представляет собой количество уровней, разделенных единичными интервалами, в синфазной или квадратурной размерности квадрата сигнального созвездия QAM; и

$f_{i\ell}(k)$ представляет собой элемент $\mathbf{F}_{m-s}(k)$ в строке i и столбце j .

Операция (mod) добавляет достаточное количество целых сомножителей M в

аргумент таким образом, что результат удовлетворяет $a_i(k) \in [-M/2, M/2]$. $\underline{\mathbf{a}}(k) \underline{\mathbf{Q}}_{m_i}(k) \underline{\mathbf{x}}_{m_i-pc}(k) = \underline{\mathbf{Q}}_{m_i}(k) \underline{\mathbf{a}}(k)$.

Вектор принятых символов для схемы предварительного кодирования может быть
5 выражен как:

$$\underline{\mathbf{r}}_{m_i-pc}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{m_i}(k) \underline{\mathbf{Q}}_{m_i}^H(k) \underline{\mathbf{a}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) = \underline{\mathbf{F}}_{m_i}(k) \underline{\mathbf{a}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k) \text{ уравнение (32)}$$

Можно показать, что $\underline{\mathbf{F}}_{m_i}(k) \underline{\mathbf{a}}(k) \bmod(M/2) = \underline{\mathbf{s}}(k)$. Таким образом вектор символов
данных может быть оценен как $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{m_i-pc}(k) = \underline{\mathbf{r}}_{m_i-pc}(k) \bmod(M/2)$. Каждый из N_T
10 выбранных приемников получает только один из N_T элементов $\underline{\mathbf{r}}_{m_i-pc}(k)$ и может
оценить символы данных, переданные ему посредством выполнения операции
 $\bmod(M/2)$ для его принятых символов.

В многопользовательском направленном режиме передатчик также может
15 передавать множество потоков символов данных в многоантенный приемник.
Матрица $\underline{\mathbf{H}}_{m_i}(k)$ отклика канала при этом включает в себя один вектор-строку для
каждой приемной антенны многоантенного приемника.

Многопользовательский направленный режим также поддерживает передачу
данных от множества многоантенных передатчиков в один приемник. Каждый
20 многоантенный передатчик выполняет пространственную обработку своего потока
символов данных для ориентации потока в направлении приемника. Каждый
передатчик также передает в приемник направленный пилот-сигнал. Для приемника
каждый передатчик выглядит как единичная передача. Приемник выполняет
25 пространственную обработку (например, SCMI, MMSE и т.д.) для восстановления
направленных потоков символов данных для всех передатчиков.

4. Многопользовательский режим ненаправленного пространственного мультиплексирования

Многопользовательский режим ненаправленного пространственного
30 мультиплексирования (или просто, “многопользовательский ненаправленный режим”)
поддерживает одновременную передачу данных (1) одним передатчиком во
множество приемников (например, для нисходящей линии) и (2) множеством
передатчиков в один приемник (например, для восходящей линии).

При ненаправленной передаче от одного передатчика во множество приемников
35 передатчик передает один поток символов данных через каждую передающую
антенну для принимающего приемника. Для каждого принимающего приемника
могут передаваться один или несколько потоков символов данных. Каждый
принимающий приемник включает в себя, по меньшей мере, N_T и может выполнять
40 пространственную обработку для изоляции и восстановления его потока (потоков)
символов данных. Каждый приемник, требующий передачу данных, оценивает ОСШ
для каждой из N_T передающих антенн и посылает N_T оценок ОСШ в передатчик.
Передатчик выбирает набор приемников для передачи данных, основываясь на
45 оценках ОСШ от всех приемников, требующих передачу данных (например,
максимизируя общую пропускную способность).

При ненаправленной передаче от множества передатчиков в один приемник
передатчики передают потоки символов данных через их антенны (т.е. без
пространственной обработки) таким образом, что эти потоки прибывают в приемник
50 приблизительно выровненные по времени. Приемник может оценить матрицу отклика
канала для всех передатчиков, как если бы они были одним передатчиком. Передатчик
может восстановить множество потоков символов данных, используя любой из
способов, описанных выше для однопользовательского ненаправленного режима

(например, способы CCMI, MMSE и SIC).

5. Пространственная обработка

В таблице 2 сведены способы пространственной обработки в передатчике и приемнике для четырех режимов пространственного мультиплексирования, описанных выше. Для ненаправленных режимов также могут быть использованы способы обработки в приемнике, отличные от CCMI и MMSE. Последний столбец в таблице 2 указывает, может ли применяться в приемнике способ SIC.

Таблица 2				
Режим пространственного мультиплексирования	Передача $\underline{\mathbf{F}}(k)$	Прием $\underline{\mathbf{M}}(k)$	Масштабирование	SIC
однопользовательский направленный	$\underline{\mathbf{V}}(k)$	$\underline{\mathbf{U}}^H(k)$	$\underline{\Sigma}^{-1}(k)$	нет
однопользовательский ненаправленный	$\underline{\mathbf{I}}$	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$ $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$	$\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$	да
многопользовательский направленный (один передатчик во множество приемников)	$\underline{\mathbf{H}}_{ms}^{-1}(k)$	-	-	нет
многопользовательский ненаправленный (множество передатчиков в один приемник)	$\underline{\mathbf{I}}$	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$ $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$	$\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$	да

Для простоты пространственная обработка для многопользовательского направленного режима от множества передатчиков в один приемник и многопользовательского ненаправленного режима от одного передатчика в множество приемников в таблице 2 не показана.

В нижеследующем описании широкополосный пространственный канал может соответствовать (1) широкополосной собственной моде для режима направленного пространственного мультиплексирования (2) передающей антенне для режима ненаправленного пространственного мультиплексирования или (3) комбинации одного или нескольких пространственных каналов для одного или нескольких поддиапазонов. Широкополосный пространственный канал может быть использован для передачи одного независимого потока данных.

6. MIMO система

На Фиг.1 показана MIMO система 100 множественного доступа с несколькими точками 110 доступа (AP), которые поддерживают обмен данными с несколькими пользовательскими терминалами (UT) 120. Для простоты на Фиг.1 показаны только две точки 110a и 110b доступа. Точка доступа в общем случае представляет собой неподвижную станцию, которая используется для связи с пользовательскими терминалами и также может называться базовой станцией или каким-либо другим термином. Пользовательский терминал может быть фиксированным или мобильным и также может называться мобильной станцией, беспроводным устройством или каким-либо другим термином. Контроллер 130 системы соединен с точками 110 доступа и обеспечивает их координацию и управление для них.

MIMO система 100 может представлять собой систему дуплексной передачи с временным разделением каналов (TDD) или систему дуплексной передачи с частотным разделением каналов (FDD). Прямая и обратная линия (1) для системы TDD связи совместно используют один диапазон частот и (2) используют разные диапазоны

частот для системы FDD. В нижеследующем описании предполагается, что MIMO система 100 представляет собой систему TDD.

MIMO система 100 использует набор транспортных каналов для передачи различных типов данных. Транспортные каналы могут быть реализованы различными способами.

На Фиг.2 показана иллюстративная структура 200 кадра и канала, которая может использоваться в MIMO системе 100. Передача данных происходит в кадрах TDD. Каждый TDD кадр длится заданный промежуток времени, например, 2 мсек, и разделен на фазу нисходящей линии и фазу восходящей линии. Каждая фаза дополнительно разделена на множество сегментов, 210, 220, 230, 240 и 250 для множества транспортных каналов.

В фазе нисходящей линии широковещательный канал (BSCH) несет маяк пилот-сигнала 214, MIMO пилот-сигнала 216 и BSCH сообщение 218. Маяк пилот-сигнала используют для получения таймирования и частоты. MIMO пилот-сигнала используют для оценки канала. BSCH сообщение содержит системные параметры для пользовательских терминалов. Прямой управляющий канал (FCSCH) несет информацию планировщика для назначения ресурсов нисходящей линии и восходящей линии и другую сигнализацию для пользовательских терминалов. Прямой канал (FCH) несет FCH блоки данных протокола (PDU) для нисходящей линии. FCH PDU 232a включает в себя пилот-сигнал 234a и пакет 236a данных, а FCH PDU 232b включает в себя только пакет 236b данных. В фазе восходящей линии обратный канал (RCH) несет RCH PDU для восходящей линии. RCH PDU 242a включает в себя только пакет 246a данных, и RCH PDU 242b включает в себя пилот-сигнал 244b и пакет 246b данных. Канал произвольного доступа (RACH) используется пользовательскими терминалами для получения доступа в систему и для отправки коротких сообщений по восходящей линии. RACH PDU 252, передаваемый по RACH, включает в себя пилот-сигнал 254 и сообщение 256.

На Фиг.2 показана блок-схема в точке 110x доступа и двух пользовательских терминалов 120x и 120y в MIMO системе 100. Точка 110x доступа является одной из точек доступа по Фиг.1 и оборудована множеством (N_{ap}) антенн 324a-324ap. Пользовательский терминал 120x оборудован одной антенной 352x, а пользовательский терминал 120y оборудован множеством (N_{ut}) антенн 352a-352ut.

В случае нисходящей линии в точке 110x доступа TX процессор 310 данных принимает данные трафика для одного или нескольких пользовательских терминалов из источника 308 данных, управляющие данные из контроллера 330 и, возможно, другие данные из планировщика 334. Различные типы данных могут передаваться по различным транспортным каналам. TX процессор 310 данных выполняет обработку (например, выполняет кодирование, перемежение и отображение символов) различных типов данных, основываясь на одной или нескольких схемах кодирования и модуляции для получения N_S потоков символов данных. Как используется в настоящем описании “символ данных” относится к символу модуляции для данных, а “пилотный символ” относится к символу модуляции для пилот-сигнала. TX пространственный процессор 320 принимает N_S потоков символов данных от TX процессора 310 данных, выполняет пространственную обработку символов данных с матрицами $\mathbf{F}_{ap}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, дополнительно мультиплексирует пилотные символы и предоставляет N_{ap} потоков символов передачи для N_{ap} антенн. Матрицы $\mathbf{F}_{ap}(k)$

выводят в соответствии с режимом пространственного мультиплексирования, выбранного для использования. Обработка в TX процессоре 310 данных и TX

пространственном процессоре 320 описана ниже.

Каждый модулятор (MOD) 322 принимает и обрабатывает соответствующий поток символов передачи для получения потока OFDM символов, и выполняет дополнительную обработку (например, усиливает, фильтрует и повышает частоту) потока OFDM символов для генерации сигнала нисходящей линии. N_{ap} модуляторов 322а-322ар предоставляют N_{ap} сигналов нисходящей линии для передачи через N_{ap} антенн 324а-324ар, соответственно, в пользовательские терминалы.

В каждом пользовательском терминале 120 одна или несколько антенн 352 принимают N_{ap} сигналов нисходящей линии и каждая антенна предоставляет принятый сигнал в соответствующий демодулятор (DEMOD) 354. Каждый демодулятор 354 выполняет обработку, комплиментарную выполняемой модулятором 322, и предоставляет поток принятых символов. Для одноантенного пользовательского терминала 120х RX пространственный процессор 360х выполняет когерентную демодуляцию потока принятых символов из единственного демодулятора 354х и предоставляет один поток восстановленных символов данных. Для многоантенного пользовательского терминала 120у RX пространственный процессор 360у выполняет пространственную обработку N_{ut} потоков принятых символов от N_{ut} демодуляторов 354 с матрицами $\underline{\mathbf{M}}_{ut}(k)$ пространственной фильтрации, для $k=1 \dots N_F$, и предоставляет N_{ut} потоков восстановленных символов данных. В любом случае каждый поток $\{\hat{s}_m\}$ восстановленных символов данных представляет собой оценку потока $\{s_m\}$ символов данных, переданных точкой 110х

доступа в данный пользовательский терминал 120. RX процессор 370 данных принимает и демультимплексирует восстановленные символы данных в соответствующие транспортные каналы. Затем восстановленные символы данных для каждого транспортного канала обрабатывают (например, выполняют обратное отображение, обратное перемежение и декодирование) для получения декодированных данных для данного транспортного канала. Декодированные данные для каждого транспортного канала могут включать в себя восстановленные данные трафика, управляющие данные и т.д., которые могут быть направлены в потребитель 372 данных для сохранения и/или в контроллер 380 для дальнейшей обработки.

В каждом пользовательском терминале 120 устройство 378 оценки канала оценивает отклик нисходящего канала и предоставляет оценки канала, которые могут включать в себя оценки усиления канала, оценки ОСШ и т.д. Контроллер 380 принимает оценки канала, выводит вектора и/или коэффициенты, используемые при пространственной обработке в передающей и приемной цепях, и определяет подходящую скорость для каждого потока символов данных нисходящей линии. Например, контроллер 380у в многоантенном пользовательском терминале 120у может выводить матрицы $\underline{\mathbf{M}}_{ut}(k)$ пространственной фильтрации для нисходящей линии и матрицы $\underline{\mathbf{F}}_{ut}(k)$ направляющих векторов для восходящей линии, основываясь на матрицах $\underline{\mathbf{H}}_{dm}(k)$ отклика нисходящего канала, для $k=1 \dots N_F$. Контроллер 380 также может принимать статус каждого пакета/кадра, принятого по нисходящей линии, и компоновать информацию обратной связи для точки 110х доступа. Информация обратной связи и данные восходящей линии обрабатываются в TX процессоре 390 данных, подвергаются пространственной обработке в TX пространственном процессоре 392 (если он присутствует в пользовательском терминале 120), дополнительно мультимплексируются с пилотными символами,

дополнительно обрабатываются в одном или нескольких модуляторах 354 и передаются через одну или несколько антенн 352 в точку 110х доступа.

В точке 110х доступа переданные сигналы восходящей линии принимаются антеннами 324, демодулируются демодуляторами 322 и обрабатываются в RX пространственном процессоре 340 и RX процессоре 342 данных способом, комплиментарным выполняемому в пользовательских терминалах 120.

Восстановленная информация обратной связи предоставляется в контроллер 330 и планировщик 334. Планировщик 334 может использовать информацию обратной связи для выполнения функций, таких как (1) планирование набора пользовательских терминалов для передачи данных по нисходящей линии и восходящей линии и (2) назначение доступных ресурсов нисходящей линии и восходящей линии запланированным терминалам.

Контроллеры 330 и 380 управляют работой различных блоков обработки в точке 110х доступа и пользовательском терминале 120 соответственно. Например, контроллер 380 может определять наивысшие скорости, поддерживаемые пространственными каналами нисходящей линии для пользовательского терминала 120. Контроллер 330 может выбирать скорость, размер полезной нагрузки и размер OFDM символа для каждого пространственного канала каждого запланированного пользовательского терминала.

Обработка в точке 110х доступа и пользовательских терминалов 120х и 120у для восходящей линии может быть такой же, как обработка для нисходящей линии, или отличной от нее. Для простоты ниже подробно описана обработка для нисходящей линии.

На Фиг.4 показана блок-схема варианта осуществления TX процессора 310 данных в точке 110х доступа. Для этого варианта осуществления TX процессор 310 данных включает в себя один набор из кодера 412, канального перемежителя 414 и блока 416 отображения символов для каждого из N_S потоков данных. Для каждого потока $\{d_m\}$

данных, где $m=1 \dots N_S$, кодер 412 принимает и кодирует поток данных, основываясь на схеме кодирования, выбранной для этого потока, и предоставляет кодированные биты. Схема кодирования может включать в себя CRC кодирование, сверточное кодирование, турбокодирование, кодирование с низкой плотностью проверок на четность (LDPC), блочное кодирование и другие виды кодирования или их комбинации. Канальный перемежитель 414 выполняет перемежение (т.е. меняет порядок следования) кодированных битов, основываясь на схеме перемежения. Блок 416 отображения символов отображает подвергнутые перемежению биты, основываясь на схеме модуляции, выбранной для этого потока, и предоставляет поток $\{s_m\}$ символов данных. Блок 416 группирует каждый набор из B подвергнутых перемежению битов для формирования B -битного двоичного значения, где $B \geq 1$, и далее отображает каждое B -битное двоичное значение на определенный символ данных, основываясь на выбранной схеме модуляции (например, QPSK, M-PSK или M-QAM, где $M=2^B$). Кодирование и модуляцию для каждого потока данных выполняют в соответствии с сигналами управления кодированием и модуляцией, предоставляемыми контроллером 330.

На Фиг.5 показана блок-схема варианта осуществления TX пространственного процессора 320 и модуляторов 322а-322ар в точке 110х доступа. Для этого варианта осуществления TX пространственный процессор 320 включает в себя N_S демультимплексоров (Demux) 510а-510s, N_F TX пространственных процессоров 520а-520f

поддиапазонов и N_{ap} мультиплексов (MUX) 530a-530ap. Каждый демультиплексор 510 принимает соответствующий поток $\{s_m\}$ символов данных от TX пространственного процессора 320, демультиплексирует поток на N_F подпотоков символов данных для N_F поддиапазонов и предоставляет N_F подпотоков в N_F пространственных процессоров 520a-520f. Каждый пространственный процессор 520 принимает N_S подпотоков символов данных для его поддиапазона от N_S демультиплексов 510a-510s, выполняет пространственную обработку в передатчике для этих подпотоков и предоставляет N_{ap} подпотоков символов передачи для N_{ap} антенн в точке доступа. Каждый пространственный процессор 520 умножает вектор $\underline{s}_{dn}(k)$ данных на матрицу $\underline{F}_{ap}(k)$ для получения вектора $\underline{x}_{dn}(k)$ передачи. Матрица $\underline{F}_{ap}(k)$ соответствует (1) матрице $\underline{V}_{dn}(k)$ правых собственных векторов для $\underline{H}_{dn}(k)$ для однопользовательского направленного режима, (2) матрице $\underline{F}_{mu}(k)$ для многопользовательского направленного режима или (3) единичной матрице \underline{I} для однопользовательского ненаправленного режима.

Каждый мультиплексор 530 принимает N_F подпотоков символов передачи для его передающей антенны от N_F пространственных процессоров 520a-520f,

мультиплексирует эти подпотоки и пилотные символы и предоставляет поток $\{x_j\}$

символов передачи для его передающей антенны. Пилотные символы могут быть мультиплексированы по частоте (т.е. в некоторые поддиапазоны), по времени (т.е. в некоторые периоды символов) и/или в кодовом пространстве (т.е. с ортогональными кодами). N_{ap} мультиплексов 530a-530ap предоставляют N_{ap} потоков $\{x_j\}$ символов передачи, для $j=1 \dots N_{ap}$, для N_{ap} антенн 324a-324ap.

Для варианта осуществления, показанного на Фиг.5, каждый модулятор 322 включает в себя блок 542 обратного быстрого преобразования Фурье (IFFT), генератор 544 циклического префикса и блок TX RF. Блок 542 IFFT и генератор 544 циклического префикса образуют OFDM модулятор. Каждый модулятор 322 принимает соответствующий поток $\{x_j\}$ символов передачи из TX пространственного процессора 320 и группирует каждый набор из N_F символов передачи для N_F поддиапазонов. Блок 542 IFFT преобразует каждый набор N_F символов передачи во временной домен, используя N_F точечное обратное быстрое преобразование Фурье, и предоставляет соответствующий преобразованный символ, который содержит N_F элементарных сигналов. Генератор 544 циклического префикса повторяет часть каждого преобразованного символа для получения соответствующего OFDM символа, который содержит N_F+N_{cp} элементарных сигналов. Повторяемая часть (т.е. циклический префикс) гарантирует, что OFDM символ сохранит свои ортогональные свойства в присутствии многолучевого разброса задержек, вызванного частотно-селективным замиранием. Блок 546 TX RF принимает и дополнительно обрабатывает поток OFDM символов из генератора 544 для генерации модулированного сигнала нисходящей линии. N_{ap} модулированных сигналов нисходящей линии передают через N_{ap} антенн 354a-354ap соответственно.

На Фиг.6 показана блок-схема варианта осуществления демодуляторов 354a-354ut и RX пространственного процессора 360у для многоантенного пользовательского терминала 120у. В пользовательском терминале 120у N_{ut} антенн 354a-354ut принимают N_{ap} модулированных сигналов, переданных точкой 110х доступа, и предоставляют N_{ut} принятых сигналов в N_{ut} демодуляторов 354a-354ut соответственно. Каждый демодулятор 354 включает в себя блок 612 RX RF, блок 614 удаления циклического

префикса и блок 616 быстрого преобразования Фурье (FFT). Блоки 614 и 616 образуют OFDM демодулятор. В каждом демодуляторе 354 блок 612 RX RF принимает, обрабатывает и оцифровывает соответствующий принятый сигнал и предоставляет поток элементарных сигналов. Блок 614 удаления циклического префикса удаляет циклический префикс в каждом принятом OFDM символе для получения принятого преобразованного символа. Затем блок 616 FFT преобразует каждый принятый преобразованный символ в частотный домен при помощи N_F точечного быстрого преобразования Фурье для получения N_F принятых символов для N_F поддиапазонов. Блок 616 FFT предоставляет поток принятых символов в RX пространственный процессор 360у и поток принятых пилотных символов в устройство 378у оценки канала.

Для варианта осуществления, показанного на Фиг.6, RX пространственный процессор 360у включает в себя N_{ut} демультимплексоров 630а-630ut для N_{ut} антенн в пользовательском терминале 120у, N_F RX пространственных процессоров 640а-640f поддиапазонов и N_F устройств 642а-642f масштабирования для N_F поддиапазонов, N_S мультиплексоров 650а-650s для N_S потоков данных. RX пространственный процессор 360у получает N_{ut} потоков $\{r_i\}$ принятых символов, для $i=1 \dots N_{ut}$, из демодуляторов 354а-354ut. Каждый демультимплексор 630 принимает соответствующий поток $\{r_i\}$ принятых символов, демультимплексирует поток на N_F подпотоков принятых символов для N_F поддиапазонов и предоставляет N_F подпотоков в N_F пространственных процессоров 640а-640f. Каждый пространственный процессор 640 получает N_{ut} подпотоков принятых символов для его поддиапазона из N_{ut} демультимплексоров 630а-630ut, выполняет пространственную обработку в приемнике для этих подпотоков и предоставляет N_S подпотоков детектированных символов для его поддиапазона. Каждый пространственный процессор 640 умножает принятый вектор $\mathbf{r}_{dn}(k)$ на матрицу $\mathbf{M}_{ut}(k)$ для получения вектора $\tilde{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ детектированных символов. Матрица $\mathbf{M}_{ut}(k)$ соответствует (1) матрице $\mathbf{U}_{dn}^H(k)$ левых собственных векторов для $\mathbf{H}_{dn}(k)$ в случае однопользовательского направленного режима или (2) матрице $\mathbf{M}_{сстм}(k)$, $\mathbf{M}_{мше}(k)$ или какой-либо другой матрице в случае однопользовательского ненаправленного режима.

Каждый блок 642 масштабирования принимает N_S подпотоков детектированных символов для своего поддиапазона, масштабирует эти подпотоки и предоставляет N_S подпотоков восстановленных символов данных для своего поддиапазона. Каждый блок 642 масштабирования выполняет масштабирование сигнала для вектора $\tilde{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ детектированных символов с помощью диагональной матрицы $\mathbf{D}_{ut}^{-1}(k)$ и предоставляет вектор $\hat{\mathbf{s}}_{dn}(k)$ восстановленных символов данных. Каждый мультиплексор 650 принимает и мультиплексирует N_F подпотоков восстановленных символов данных для его потока данных из N_F блоков 642а-642f масштабирования и предоставляет поток восстановленных символов данных. N_S мультиплексоров 650а-650s предоставляют N_S потоков $\{\hat{\mathbf{s}}_m\}$ восстановленных символов данных, для $m=1 \dots N_S$.

На Фиг.7 показана блок-схема варианта осуществления RX процессора 370у данных в пользовательском терминале 120у. RX процессор 370у данных включает в себя один набор из блока 712 обратного отображения символов, обратного перемежителя 714 канала и декодера 716 для каждого из N_S потоков данных. Для каждого потока $\{\hat{\mathbf{s}}_m\}$ восстановленных символов данных, где $m=1 \dots N_S$, блок 712

обратного отображения символов выполняет демодуляцию восстановленных символов данных в соответствии со схемой модуляции, используемой для этого потока, и предоставляет демодулированные данные. Обратный перемежитель 714 канала выполняет обратное перемежение демодулированных данных способом комплиментарным перемежению, выполняемому для этого потока в точке 110х доступа. Затем декодер 716 декодирует подвергнутые обратному перемежению данные способом, комплиментарным кодированию, выполняемому для этого потока в точке 110х доступа. Например, в качестве декодера 716 могут использоваться турбодекодер или декодер Витерби, если в точке 110х доступа выполняется турбокодирование или сверточное кодирование, соответственно. Декодер 716 предоставляет декодированный пакет для каждого пакета принятых данных. Декодер 716 дополнительно выполняет проверку каждого декодированного пакета для определения, был ли пакет декодирован верно или с ошибкой, и предоставляет статус декодированного пакета. Демодуляция и декодирование для каждого потока восстановленных символов данных выполняют в соответствии с сигналами управления демодуляцией и декодированием, предоставляемыми контроллером 380у.

На Фиг.8 показана блок-схема RX пространственного процессора 360z и RX процессора 370z данных, которые реализуют способ SIC. RX пространственный процессор 360z и RX процессор 370z данных реализуют N_S последовательных (т.е. каскадированных) этапов (каскадов) обработки в приемнике для N_S потоков символов данных. Каждый из этапов (каскадов) с 1 по N_S-1 включает в себя пространственный процессор 810, устройство 820 удаления помехи, RX процессор 830 потока данных и TX процессор 840 потока данных. Последний этап включает в себя только пространственный процессор 810s и RX процессор 830s потока данных. Каждый RX 830 потока данных включает в себя блок 712 обратного отображения символов, обратный перемежитель 714 канала и декодер 716, как показано на Фиг.7. Каждый TX процессор 840 потока данных включает в себя кодер 412, перемежитель 414 канала и блок 416 отображения символов, как показано на Фиг.4.

На этапе 1 пространственный процессор 810a выполняет пространственную обработку в приемнике N_{ut} потоков принятых символов и предоставляет один поток $\{\hat{s}_{j_1}\}$ восстановленных символов данных, где подстрочный индекс j_1 обозначает антенну в точке доступа, используемую для передачи потока $\{s_{j_1}\}$ символов данных. RX процессор 830a потока данных выполняет демодуляцию, обратное перемежение и декодирование потока $\{\hat{s}_{j_1}\}$ восстановленных символов данных и предоставляет соответствующий поток $\{\hat{d}_{j_1}\}$ декодированных данных. TX процессор 840a потока данных выполняет кодирование, перемежение и модуляцию потока $\{\hat{d}_{j_1}\}$

декодированных данных тем же способом, который выполняется в точке 110х доступа для этого потока и предоставляет $\{\tilde{s}_{j_1}\}$ повторно модулированных символов. Устройство 820a удаления помехи выполняет пространственную обработку потока $\{\tilde{s}_{j_1}\}$ повторно модулированных символов тем же способом (если он выполняется), который выполняется в точке 110х доступа и дополнительно обрабатывает результат при помощи матрицы $\underline{H}_{dn}(k)$ отклика канала для получения N_{ut} компонентов помехи, связанной с потоком $\{s_{j_1}\}$ символов. N_{ut} компонентов помехи вычитают из N_{ut} потоков принятых символов для получения N_{ut} потоков модифицированных символов, которые предоставляются на этап 2.

Каждый из этапов с 2 по N_S-1 выполняет ту же самую обработку, что и этап 1, за

исключением того, что получают N_{ut} потоков модифицированных символов из предшествующего этапа вместо N_{ut} потоков принятых символов. Последний этап выполняет пространственную обработку и декодирование N_{ut} потоков модифицированных символов из этапа N_S-1 и не выполняет оценки и удаления помехи.

Пространственные процессоры 810a-810s каждый могут реализовывать способы ССМІ, MMSE или какой-либо другой способ обработки в приемнике. Каждый пространственный процессор 810 умножает вектор $\mathbf{r}_{dn}^{\ell}(k)$ входных (принятых или модифицированных) символов на матрицу $\mathbf{M}_{ut}^{\ell}(k)$ для получения вектора $\tilde{\mathbf{s}}_{dn}^{\ell}(k)$ детектированных символов, выбирает и масштабирует один из потоков детектированных символов и предоставляет поток масштабированных символов в качестве потока восстановленных символов данных для этого этапа. Матрицу $\mathbf{M}_{ut}^{\ell}(k)$ выводят, основываясь на редуцированной матрице $\mathbf{H}_{dn}^{\ell}(k)$ отклика канала для этого этапа.

Блоки обработки в точке 110x доступа и пользовательском терминале 120y для восходящей линии могут быть реализованы, как описано выше для нисходящей линии. TX процессор 390y данных и TX пространственный процессор 392y могут быть реализованы в виде TX процессора 310 данных по Фиг.4 и TX пространственного процессора 320 по Фиг.5 соответственно. RX пространственный процессор 340 может быть реализован в виде RX пространственного процессора 360y или 360z и RX процессор 342 данных может быть реализован в виде процессора 370y или 370z.

Для одноантенного пользовательского терминала 120x RX пространственный процессор 360x выполняет когерентную демодуляцию одного потока принятых символов с оценками канала для получения потока восстановленных символов данных.

А. Оценка канала

Отклик канала для нисходящей линии и восходящей линии может быть оценен различными способами, например при помощи MIMO пилот-сигнала или направленного пилот-сигнала. Для TDD MIMO системы для упрощения оценки канала могут использоваться определенные способы.

В случае нисходящей линии точка 110x доступа может передавать MIMO пилот-сигнал пользовательским терминалам 120. MIMO пилот-сигнал содержит N_{ap} передач пилот-сигнала от N_{ap} антенн точек доступа, причем передача пилот-сигнала через каждую антенну “покрыта” различными ортогональными последовательностями (например, последовательностями Уолша). Покрытие представляет собой процесс, посредством которого данный символ модуляции (или набор из L символов модуляции с одинаковым значением), предназначенный для передачи, умножают на L элементарных сигналов L -сигнальной ортогональной последовательности для получения L покрытых символов, которые затем передаются. При покрытии достигается ортогональность для N_{ap} передач пилот-сигнала, отправленных через N_{ap} антенн точки доступа, что позволяет пользовательским терминалам различать передачу пилот-сигнала от каждой антенны.

В каждом пользовательском терминале 120 устройство 378 оценки канала “снимает покрытие” принятых пилотных символов для каждой антенны i пользовательского терминала при помощи таких же N_{ap} ортогональных последовательностей, которые использовались в точке 110x доступа для N_{ap} антенн, для получения оценок комплексного усиления канала между антенной i пользовательского терминала и каждой из N_{ap} антенн в точке доступа. Снятие покрытия является комплементарным к

покрытию и представляет собой процесс, посредством которого принятые (пилотные) символы умножают на L элементарных сигналов L -сигнальной ортогональной последовательности для получения L символов со снятым покрытием, которые затем суммируют для получения оценки переданного (пилотного) символа. Устройство 378 оценки канала выполняет такую же обработку пилот-сигнала для каждого поддиапазона, используемого для передачи пилот-сигнала. Если пилотные символы передают только в подмножестве N_F поддиапазонов, то устройство 378 оценки канала может выполнить интерполяцию оценок отклика канала для поддиапазонов с передачей пилот-сигнала для получения оценок отклика канала для поддиапазонов без передачи пилот-сигнала. Для одноантенного пользовательского терминала 120х устройство 378х оценки канала предоставляет вектора $\hat{\mathbf{h}}_{\text{dn}}(k)$ оценок откликов нисходящего канала, для $k=1 \dots N_F$, для одной антенны 352. Для многоантенного пользовательского терминала 120у устройство 378у оценки канала выполняет такую же обработку пилот-сигнала для всех N_{ut} антенн 352а-352ут и предоставляет матрицы $\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$ оценок откликов нисходящего канала, для $k=1 \dots N_F$. Каждый пользовательский терминал 120 также может оценивать дисперсию шума для нисходящей линии, основываясь на принятых пилотных символах, и предоставляет оценку шума нисходящей линии, $\hat{\sigma}_{\text{dn}}^2$.

В случае восходящей линии многоантенный пользовательский терминал 120у может передавать MIMO пилот-сигнал, который может быть использован в точке 110х доступа для оценки отклика $\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$ восходящего канала для пользовательского терминала 120у. Одноантенный пользовательский терминал 120х может передавать пилот-сигнал через свою единственную антенну. Множество одноантенных пользовательских терминалов 120 могут передавать ортогональные пилот-сигналы одновременно по восходящей линии, причем ортогональность может достигаться по времени и/или частоте. Временная ортогональность может быть получена при помощи покрытия каждым пользовательским терминалом своего пилот-сигнала восходящей линии различными ортогональными последовательностями, связанными с данным пользовательским терминалом. Частотная ортогональность может быть получена при передаче каждым пользовательским терминалом своего пилот-сигнала восходящей линии в различном наборе поддиапазонов. Одновременные передачи пилот-сигналов по восходящей линии от множества пользовательских терминалов должны быть приблизительно выровнены по времени в точке 110х доступа (например, выровнены по времени в пределах циклического префикса).

Для TDD MIMO системы обычно присутствует высокая степень корреляции между откликами канала для нисходящей линии и восходящей линии, поскольку эти линии совместно используют один и тот же диапазон частот. Однако отклики передающих/приемных цепей в точке доступа, как правило, не совпадают с откликами передающих/приемных цепей в пользовательском терминале. Если указанное различие определяют и учитывают при помощи калибровки, то общие отклики нисходящей линии и восходящей линии могут рассматриваться как взаимобратные (т.е. транспонированные) по отношению друг к другу.

На Фиг.9 показаны приемные/передающие цепи точки 110х доступа и пользовательском терминале 120у. В точке 110х доступа передающий тракт моделируется $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$ матрицей $\mathbf{I}_{\text{ap}}(k)$, и приемный тракт моделируется $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$ матрицей $\mathbf{R}_{\text{ap}}(k)$. В пользовательском терминале 120у приемный тракт моделируется

$N_{ut} \times N_{ut}$ матрицей $\underline{\mathbf{R}}_{ut}(k)$, и передающий тракт моделируется $N_{ut} \times N_{ut}$ матрицей $\underline{\mathbf{T}}_{ut}(k)$. Вектор принятых символов для нисходящей линии и восходящей линии для каждого поддиапазона может быть выражен как:

$$\underline{\mathbf{r}}_{dn}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{T}}_{ap}(k) \underline{\mathbf{x}}_{dn}(k), \text{ и уравнение (33)}$$

$$\underline{\mathbf{r}}_{up}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{ap}(k) \underline{\mathbf{H}}^T(k) \underline{\mathbf{T}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{x}}_{up}(k),$$

где “T” обозначает транспонирование. В уравнении (34) допускается, что нисходящая линия и восходящая линия являются транспонированными по отношению друг к другу. “Эффективные” отклики нисходящего и восходящего каналов, $\underline{\mathbf{H}}_{edn}(k)$ и $\underline{\mathbf{H}}_{eup}(k)$ для каждого поддиапазона включают в себя отклики передающей и приемной цепей и могут быть выражены как:

$$\underline{\mathbf{H}}_{edn}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{T}}_{ap}(k) \text{ и } \underline{\mathbf{H}}_{eup}(k) = \underline{\mathbf{R}}_{ap}(k) \underline{\mathbf{H}}^T(k) \underline{\mathbf{T}}_{ut}(k). \text{ уравнение (34)}$$

Эффективные отклики нисходящего и восходящего каналов не являются взаимнообратными по отношению друг к другу (т.е., $\underline{\mathbf{H}}_{edn}(k) \neq \underline{\mathbf{H}}_{eup}(k)$), если отклики передающих/приемных цепей нисходящей линии и восходящей линии не равны друг другу.

Точка 110х доступа и пользовательский терминал 120у могут выполнить калибровку для получения поправочных матриц $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ и $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ для каждого поддиапазона, которые могут быть выражены как:

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{ap}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{ap}(k) \text{ и } \underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{ut}^{-1}(k) \underline{\mathbf{R}}_{ut}(k). \text{ уравнение (35)}$$

Поправочные матрицы могут быть получены при помощи передачи MIMO пилот-сигналов как по нисходящей линии, так и по восходящей линии, и вывода поправочных матриц, используя критерий MMSE или какие-либо другие способы. Поправочные матрицы $\underline{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ и $\underline{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ используют в точке 110х доступа и пользовательском терминале 120у соответственно, как показано на Фиг.9. Отклики “калиброванных” нисходящего и восходящего каналов, $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ и $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$, при этом являются взаимнообратными по отношению друг к другу и могут быть выражены как:

$$\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{up}(k) \underline{\mathbf{K}}_{ut}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{dn}(k) \underline{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T = \underline{\mathbf{H}}_{cdn}^T(k) \text{ уравнение (36)}$$

Разложение по сингулярным значениям матриц откликов восходящего и нисходящего каналов, $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ и $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$, для каждого поддиапазона может быть выражено как:

$$\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{up}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}_{ut}^H(k), \text{ и уравнение (37)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{U}}_{ap}^H(k).$$

Как показано в системе уравнений (37), матрицы $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k)$ и $\underline{\mathbf{U}}_{ap}^*(k)$ левых и правых собственных векторов для $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$ являются комплексно сопряженными матрицам в $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ и $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ правых и левых собственных векторов $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$. Матрица $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ может быть использована в точке 110х доступа для пространственной обработки как при передаче, так и при приеме. Матрица $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ может быть использована в пользовательском терминале 120у для пространственной обработки как при передаче, так и при приеме.

Вследствие взаимнообратной природы MIMO канала для TDD MIMO системы и после выполнения калибровки для учета различий в передающих/приемных цепях разложение по сингулярным значениям должно быть выполнено только либо в пользовательском терминале 120у, либо в точке 110х доступа. В случае выполнения в

пользовательском терминале 120у матрицы $\underline{V}_{ut}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, используются для пространственной обработки в пользовательском терминале, а матрица $\underline{U}_{ap}(k)$, для $k=1 \dots N_F$, может быть предоставлена в точку доступа, либо непосредственно (т.е. путем передачи элементов матрицы $\underline{U}_{ap}(k)$), либо в косвенной форме (например, при помощи направленного пилот-сигнала). Реально пользовательский терминал 120у может получить только $\hat{\underline{H}}_{can}(k)$, что является оценкой $\underline{H}_{can}(k)$, и может вывести только $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$, $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ и $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$, которые представляют собой оценки $\underline{V}_{ut}(k)$, $\underline{\Sigma}(k)$ и $\underline{U}_{ap}(k)$ соответственно. Для простоты в приведенном ниже описании делается допущение, что оценка канала выполнена без ошибок.

Направленный пилот-сигнал восходящей линии, передаваемый пользовательским терминалом 120у, может быть выражен как:

$$\underline{x}_{up,m}(k) = \underline{K}_{ut}(k) \underline{v}_{ut,m}(k) p(k), \text{ уравнение (38)}$$

где $\underline{v}_{up,m}(k)$ представляет собой m -й столбец $\underline{V}_{ut}(k)$ и $p(k)$ представляет собой пилотный символ. Принятый направленный пилот-сигнал восходящей линии в точке 110х доступа может быть выражен как:

$$\underline{r}_{up,m}(k) = \underline{u}_{ap,m}(k) \sigma_m p(k) + \underline{n}_{up}(k) \text{ уравнение (39)}$$

Из уравнения (39) следует, что точка 110х доступа может получить матрицу $\underline{U}_{ap}(k)$, один вектор одновременно, основываясь на направленном пилот-сигнале восходящей линии от пользовательского терминала 120у.

Также может быть выполнен комплиментарный процесс, при котором пользовательский терминал 120у передает ММО пилот-сигнал по восходящей линии, а точка 110х доступа выполняет разложение по сингулярным значениям и передает направленный пилот-сигнал по нисходящей линии. Оценки канала для нисходящей линии и восходящей линии также могут быть выполнены другими способами.

В каждом пользовательском терминале 120 устройство 378 оценки канала может выполнить оценку отклика нисходящего канала (например, основываясь на ММО пилот-сигнале или направленном пилот-сигнале, передаваемом точкой 110х доступа) и предоставить оценки нисходящего канала в контроллер 380. Для одноантенного пользовательского терминала 120х контроллер 380х может вывести комплексные усиления канала, используемые для когерентной демодуляции. Для многоантенного пользовательского терминала 120у контроллер 380у может вывести матрицу $\underline{M}_{ut}(k)$, используемую для пространственной обработки при приеме, и матрицу $\underline{F}_{ut}(k)$, используемую для пространственной обработки при передаче, основываясь на оценках нисходящего канала. В точке 110х доступа устройство 328 оценки канала может выполнить оценку отклика восходящего канала (например, основываясь на направленном пилот-сигнале или ММО пилот-сигнале, передаваемым пользовательским терминалом 120) и предоставить оценки восходящего канала в контроллер 380. Контроллер 380 может вывести матрицу $\underline{F}_{ap}(k)$, используемую для пространственной обработки при передаче, и матрицу $\underline{M}_{ap}(k)$, используемую для пространственной обработки при приеме, основываясь на оценках восходящего канала.

На Фиг.10 показана пространственная обработка в точке 110х доступа и пользовательском терминале 120у для нисходящей линии и восходящей линии для одного поддиапазона k . В случае нисходящей линии в ТХ пространственном процессоре 320 в точке 110х доступа вектор $\underline{s}_{dn}(k)$ данных сначала умножают на

матрицу $\underline{\mathbf{F}}_{\text{ap}}(k)$ в блоке 910 и далее умножают на поправочную матрицу $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ в блоке 912 для получения вектора $\underline{\mathbf{x}}_{\text{an}}(k)$ передачи. Вектор $\underline{\mathbf{x}}_{\text{an}}(k)$ обрабатывается передающей цепью 914 в модуляторах 322 и передается по ММО каналу в пользовательский терминал 120у. Блоки 910 и 912 выполняют пространственную обработку при передаче для нисходящей линии и могут быть реализованы в ТХ пространственном процессоре 520 поддиапазона по Фиг.5.

В пользовательском терминале 120у сигналы нисходящей линии обрабатываются приемной цепью 954 в демодуляторах 354 для получения принятого вектора $\underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$. В RX пространственном процессоре 360у принятый вектор $\underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$ сначала умножают на матрицу $\underline{\mathbf{M}}_{\text{ut}}(k)$ в блоке 956 и затем масштабируют при помощи обратной диагональной матрицы $\underline{\mathbf{D}}_{\text{ut}}^{-1}(k)$ в блоке 958 для получения вектора $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k)$, который представляет собой оценку вектора $\underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$ данных. Блоки 956 и 958 выполняют пространственную обработку при приеме для нисходящей линии и могут быть реализованы в RX пространственном процессоре 640 поддиапазона по Фиг.6.

В случае восходящей линии в ТХ пространственном процессоре 392у в пользовательском терминале 120у вектор $\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ данных сначала умножают на матрицу $\underline{\mathbf{F}}_{\text{ut}}(k)$ в блоке 960 и далее умножают на поправочную матрицу $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ в блоке 962 для получения вектора $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$ передачи. Вектор $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$ обрабатывается в передающей цепи 964 в модуляторах 354 и передается по ММО каналу в точку 110х доступа. Блоки 960 и 962 выполняют пространственную обработку при передаче для восходящей линии.

В точке 110х доступа сигналы восходящей линии обрабатываются приемной цепью 924 в демодуляторах 322 для получения принятого вектора $\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$. В RX пространственном процессоре 340 принятый вектор $\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$ сначала умножают на матрицу $\underline{\mathbf{M}}_{\text{ap}}(k)$ в блоке 926 и затем масштабируют при помощи обратной диагональной матрицы $\underline{\mathbf{D}}_{\text{ap}}^{-1}(k)$ в блоке 928 для получения вектора $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k)$, который представляет собой оценку вектора $\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ данных. Блоки 926 и 928 выполняют пространственную обработку при приеме для восходящей линии.

В. Пространственная обработка для TDD ММО системы

В таблице 3 сведены иллюстративные варианты передачи пилот-сигнала и пространственной обработки, выполняемой в точке доступа и пользовательских терминалах при передаче данных по нисходящей линии и восходящей линии для различных режимов пространственного мультиплексирования в TDD ММО системе. Для однопользовательского направленного режима точка доступа передает ММО пилот-сигнал, давая возможность пользовательскому терминалу оценить отклик нисходящего канала. Пользовательский терминал передает направленный пилот-сигнал, давая возможность точке доступа оценить отклик восходящего канала. Точка доступа выполняет пространственную обработку при передаче и приеме с помощью $\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$. Пользовательский терминал выполняет пространственную обработку при передаче и приеме с помощью $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{ut}}(k)$.

Для однопользовательского ненаправленного режима для передачи данных по нисходящей линии точка доступа передает ММО пилот-сигнал через все антенны и поток символов данных через каждую антенну. Пользовательский терминал оценивает отклик нисходящего канала при помощи ММО пилот-сигнала и выполняет пространственную обработку при приеме, используя оценки нисходящего канала. Для

передачи данных по восходящей линии выполняется комплиментарная обработка.

Таблица 3		
Режим пространственного мультиплексирования	Передача данных по нисходящей линии	Передача данных по восходящей линии
5 однопользовательский направленный	AP передает MIMO пилот-сигнал UT передает направленный пилот-сигнал AP передает данные с $\underline{U}_{ap}(k)$ UT принимает данные с $\underline{V}_{ut}(k)$	AP передает MIMO пилот-сигнал UT передает направленный пилот-сигнал UT передает данные с $\underline{V}_{ut}(k)$ AP принимает данные с $\underline{U}_{ap}(k)$
10 однопользовательский ненаправленный	AP передает MIMO пилот-сигнал AP передает данные через каждую антенну UT использует CCMI, MMSE и т.д.	UT передает MIMO пилот-сигнал UT передает данные через каждую антенну AP использует CCMI, MMSE и т.д.
15 многопользовательский направленный	UT передают ортогональный пилот-сигнал AP передает направленные данные AP передает направленный пилот-сигнал UT принимают с помощью направленного пилот-сигнала	AP передает MIMO пилот-сигнал UT передает направленный пилот-сигнал UT передает направленные данные AP использует CCMI, MMSE и т.д.
20 многопользовательский ненаправленный	AP передает MIMO пилот-сигнал UT передают скорость для каждой AP антенны AP передает данные через каждую антенну UT используют CCMI, MMSE и т.д.	UT передают ортогональный пилот-сигнал AP выбирают совместимые UT UT передают данные через каждую антенну AP использует CCMI, MMSE и т.д.

Для многопользовательского направленного режима для передачи данных по нисходящей линии в одноантенные и/или многоантенные пользовательские терминалы пользовательские терминалы передают ортогональные пилот-сигналы по восходящей линии, давая возможность точке доступа оценить отклик нисходящего канала. Одноантенный пользовательский терминал передает ненаправленный пилот-сигнал, а многоантенный пользовательский терминал передает направленный пилот-сигнал. Точка доступа выводит направляющие вектора нисходящей линии, основываясь на ортогональных пилот-сигналах восходящей линии, и использует направляющие вектора для передачи направленных пилот-сигналов и направленных потоков символов данных в выбранные пользовательские терминалы. Каждый пользовательский терминал использует направленный пилот-сигнал для приема направленного потока символов данных, переданного в данный пользовательский терминал. Для передачи данных по восходящей линии от многоантенных пользовательских терминалов точка доступа передает MIMO пилот-сигнал. Каждый многоантенный пользовательский терминал передает направленный пилот-сигнал и направленный поток символов данных по восходящей линии. Точка доступа выполняет пространственную обработку в приемнике (например, CCMI, MMSE и т.д.) для восстановления потоков символов данных.

Для многопользовательского ненаправленного режима для передачи данных по нисходящей линии в многоантенные пользовательские терминалы точка доступа передает MIMO пилот-сигнал по нисходящей линии. Каждый пользовательский терминал определяет и отправляет обратно скорость, с которой он может вести прием от каждой антенны в точке доступа. Точка доступа выбирает набор пользовательских терминалов и передает потоки символов данных для выбранных пользовательских терминалов через антенны точки доступа. Каждый многоантенный пользовательский терминал выполняет пространственную обработку в приемнике (например, CCMI, MMSE и т.д.) для восстановления своего потока символов данных. Для передачи данных по восходящей линии от одноантенных и/или многоантенных пользовательских терминалов пользовательские терминалы передают ортогональные (ненаправленные) пилот сигналы по восходящей линии. Точка доступа оценивает

отклик восходящего канала, основываясь на пилот-сигналах восходящей линии, и выбирает набор совместимых пользовательских терминалов. Каждый выбранный пользовательский терминал передает поток символов данных через антенну пользовательского терминала. Точка доступа выполняет пространственную
 5 обработку в приемнике (например, ССМІ, MMSE и т.д.) для восстановления потоков символов данных.

С. Выбор скорости

Каждый поток данных для нисходящей линии и восходящей линии передают по
 10 широкополосному пространственному каналу m , используя один из режимов пространственного мультиплексирования. Каждый поток данных также передают на скорости, которую выбирают таким образом, что для данного потока может быть достигнут целевой уровень производительности (например, 1 процент пакетных ошибок (PER)). Скорость для каждого потока данных может быть определена,
 15 основываясь на ОСШ, достижимом в приемнике для этого потока (т.е. ОСШ при приеме), где ОСШ зависит от пространственной обработки, выполняемой в передатчике и приемнике, как описано выше.

В иллюстративной схеме выбора скорости для определения скорости для
 20 широкополосного пространственного канала m , сначала получают оценку ОСШ, $\gamma_m(k)$, (например, в единицах дБ) для каждого поддиапазона k широкополосного пространственного канала, как описано выше. Затем вычисляют среднее ОСШ, γ_{avg} , для широкополосного пространственного канала m следующим образом:

$$25 \quad \gamma_{avg,m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k) \quad \text{уравнение (40)}$$

Дисперсию оценок ОСШ, $\sigma_{\gamma_m}^2$, также вычисляют следующим образом:

$$30 \quad \sigma_{\gamma_m}^2 = \frac{1}{N_F - 1} \sum_{k=1}^{N_F} (\gamma_m(k) - \gamma_{avg,m})^2 \quad \text{уравнение (41)}$$

Фактор запаса для ОСШ, $\gamma_{bo,m}$, определяют, основываясь на функции $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2)$
 среднего ОСШ и дисперсии ОСШ. Например, может быть использована
 функция $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2) = K_b \cdot \sigma_{\gamma_m}^2$, где K_b представляет собой масштабирующий фактор,
 35 который может быть выбран, основываясь на одной или нескольких характеристиках ММО системы, таких как перемежение, размер пакета и/или схема кодирования, используемые для данного потока данных. Фактор запаса ОСШ учитывает изменения ОСШ в широкополосном пространственном канале. Затем
 40 вычисляют рабочее ОСШ, $\gamma_{op,m}$, для широкополосного канала m следующим образом:

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - \gamma_{bo,m} \quad \text{уравнение (42)}$$

Затем, основываясь на рабочем ОСШ, определяют скорость для данного потока данных. Например, в таблице просмотра (LUT) может храниться набор скоростей,
 45 поддерживаемых ММО системой, и требуемые для них ОСШ. Требуемое ОСШ для каждой скорости может быть определено при помощи компьютерного моделирования, эмпирических измерений и т.д. и основывается на допущении того, что канал является каналом AWGN. Наивысшая скорость в таблице просмотра с
 50 требуемым ОСШ, который равен или меньше рабочего ОСШ, выбирают в качестве скорости для потока данных, передаваемого по широкополосному пространственному каналу m .

Также могут быть использованы другие схемы выбора скорости.

D. Управление скоростью с замкнутым контуром управления

Управление скоростью с замкнутым контуром управления может быть использовано для каждого потока данных, передаваемого по множеству широкополосных пространственных каналов. Управление скоростью с замкнутым контуром управления может быть выполнено при помощи одного или множества контуров.

На Фиг.10 показана блок-схема варианта осуществления механизма 1000 управления скоростью с замкнутым контуром управления, который содержит внутренний контур 1010, который работает совместно с внешним контуром 1020. Внутренний контур 1010 выполняет оценку состояния канала и определяет скорость, поддерживаемую каждым широкополосным пространственным каналом. Внешний контур 1020 выполняет оценку качества передачи данных, принятых по каждому широкополосному пространственному каналу, и соответственно настраивает работу внутреннего контура. Для простоты работа контуров 1010 и 1020 показана на Фиг.10 и описана ниже для одного нисходящего широкополосного пространственного канала m .

Для внешнего контура 1010 устройство 378 оценки канала в пользовательском терминале 120 выполняет оценку широкополосного пространственного канала m и предоставляет оценки канала (например, оценки усиления канала и оценку дисперсии шума). Устройство 1030 выбора скорости в контроллере 380 определяет скорость, поддерживаемую широкополосным пространственным каналом m , основываясь на (1) оценках канала из устройства 378 оценки канала, (2) фактора запаса ОСШ и/или настройки скорости для широкополосного пространственного канала m из устройства 1032 оценки качества и (3) таблицы просмотра (LUT) 1036 скоростей, поддерживаемых MIMO системой, и ОСШ, требуемых для них. Поддерживаемые скорости для широкополосного пространственного канала m отправляются контроллером 380 в точку 110 доступа. В точке 110 доступа контроллер 330 принимает поддерживаемую скорость для широкополосного пространственного канала m и определяет сигналы управления скоростью передачи данных, кодированием и модуляцией для потока данных, предназначенного для передачи по этому пространственному каналу. Затем поток данных обрабатывают в соответствии с этими сигналами управления в TX процессоре 310 данных, подвергают пространственной обработке и мультиплексируют с пилотными символами в TX пространственном процессоре 320, обрабатываются в модуляторе 322 и передаются в пользовательский терминал 120.

Внешний контур 1020 выполняет оценку качества потока декодированных данных, принятых по широкополосному пространственному каналу m , и настраивает работу внутреннего контура 1010. Принятые символы для широкополосного пространственного канала m подвергаются пространственной обработке в RX пространственном процессоре 360 и далее обрабатываются RX процессором 370 данных. RX процессор 370 данных предоставляет статус каждого пакета, принятого по широкополосному пространственному каналу m и/или метрику декодера в устройство 1032 оценки качества. Внешний контур 1020 может обеспечивать различные типы информации (например, фактор запаса ОСШ, настройка скорости и т.д.), используемые для управления работой внутреннего контура 1010.

Управление скоростью замкнутым контуром управления, описанное выше, может таким образом выполняться независимо для каждого нисходящего и восходящего широкополосного пространственного канала, который может соответствовать (1)

широкополосной собственной моде для однопользовательского направленного режима или (2) передающей антенне для однопользовательского и многопользовательского ненаправленных режимов.

Е. Планирование пользовательских терминалов

5 На Фиг.11 показана блок-схема варианта осуществления контроллера 330 и планировщика 334 для планирования пользовательских терминалов для передачи данных по нисходящей линии и восходящей линии. В контроллере 330 процессор 1110 запросов получает запросы на доступ, передаваемые пользовательским
10 терминалом 120 по RACH, и, возможно, запросы на доступ от других источников. Такие запросы на доступ предназначены для передачи данных по нисходящей линии и/или восходящей линии. Процессор 1110 запроса обрабатывает полученные запросы на доступ и предоставляет идентификаторы (ID) и статусы всех запрашивающих
15 пользовательских терминалов. Статус для пользовательского терминала может указывать количество антенн доступных в данном терминале, откалиброван ли данный терминал, и т.д.

Селектор 1120 скорости принимает оценки каналов от устройства оценки каналов 328 и определяет скорости, поддерживаемые широкополосными
20 пространственными каналами восходящей линии и/или нисходящей линии для запрашивающих пользовательских терминалов, как описано выше. Для нисходящей линии каждый пользовательский терминал 120 может определить скорость, поддерживаемую каждым его широкополосным пространственным каналом, как описано выше. Поддерживаемая скорость является максимальной скоростью, которая
25 может быть использована для передачи данных по широкополосному пространственному каналу для достижения целевого уровня выполнения. Каждый пользовательский терминал 120 может посылать поддерживаемые скорости для всех своих широкополосных пространственных каналов нисходящей линии в точку 110
30 доступа, например, через RACH. В качестве альтернативы, точка 110 доступа может определять поддерживаемые скорости для широкополосных пространственных каналов нисходящей линии, если (1) нисходящая линия и восходящая линия являются взаимнообратными и (2) точке 110 доступа предоставляется дисперсия шума или
35 уровень шума в пользовательском терминале 120. Для восходящей линии точка 110 доступа может определять поддерживаемую скорость для каждого широкополосного пространственного канала для каждого запрашивающего пользовательского терминала 120.

Селектор 1140 пользователя выбирает различные наборы из одного или нескольких
40 терминалов из всех запрашивающих терминалов для возможной передачи данных по нисходящей линии и/или восходящей линии. Пользовательские терминалы могут быть выбраны, исходя из различных критериев, таких как требования системы, возможности пользовательских терминалов и поддерживаемые скорости, приоритет
45 пользователя, количество данных, предназначенных для отправки, и т.д. Для многопользовательских режимов пространственного мультиплексирования пользовательские терминалы для каждого набора также могут выбираться, основываясь на их векторах откликов каналов.

Селектор 1130 режима выбирает конкретный режим пространственного мультиплексирования для использования для каждого набора пользовательских
50 терминалов, исходя из рабочего состояния и возможностей пользовательских терминалов в наборе и, возможно, других факторов. Например, однопользовательский направленный режим может быть использован для

“калиброванного” многоантенного пользовательского терминала, который выполнил калибровку таким образом, что отклик канала для одной линии (например, нисходящей линии) может быть оценен, основываясь на (например, направленном) пилот-сигнале, полученном по другой линии (например, восходящей линии).

Однопользовательский ненаправленный режим может быть использован для “некалиброванного” многоантенного пользовательского терминала, который не выполнил калибровку или не может поддерживать однопользовательский направленный режим по какой-либо причине. Многопользовательский направленный режим может быть использован для передачи по нисходящей линии во множество пользовательских терминалов, каждый из которых оборудован одной или несколькими антеннами. Многопользовательский ненаправленный режим может быть использован для передачи по восходящей линии множеством пользовательских терминалов.

Планировщик 334 принимает наборы пользовательских терминалов из селектора 1140 пользователя, выбранный режим пространственного мультиплексирования для каждого набора пользовательских терминалов из селектора 1130 режима и выбранные скорости для каждого набора пользовательских терминалов из селектора 1120 скорости. Планировщик 334 планирует пользовательские терминалы для передачи данных по нисходящей линии и/или восходящей линии. Планировщик 334 выбирает один или несколько наборов пользовательских терминалов для передачи данных по нисходящей линии и один или несколько наборов пользовательских терминалов для передачи данных по восходящей линии для каждого TDD кадра. Каждый набор включает в себя один или несколько пользовательских терминалов и планируется для передачи данных параллельно в назначенном интервале передачи в TDD кадре.

Планировщик 334 формирует элемент информации (IE) для каждого пользовательского терминала, запланированного для передачи данных по нисходящей линии и/или восходящей линии. Каждый элемент информации включает в себя (1) режим пространственного мультиплексирования для использования для передачи данных, (2) скорость для использования для потока данных, посылаемого по каждому широкополосному пространственному каналу, (3) начало и длительность передачи данных, и (4) возможно, другую информацию (например, тип пилот-сигнала, предназначенного для передачи совместно с передачей данных). Планировщик 334 посылает элементы информации для всех запланированных пользовательских терминалов через FSSN. Каждый пользовательский терминал обрабатывает FSSN для восстановления своего элемента информации и затем принимает передачу по нисходящей линии и/или посылает передачу по восходящей линии в соответствии с полученной информацией планировщика.

На Фиг.11 показан вариант осуществления планирования пользовательских терминалов для передачи данных, если поддерживаются режимы пространственного мультиплексирования. Планирование может выполняться другими способами, и это находится в пределах объема настоящего изобретения.

На Фиг.12 показана блок-схема последовательности операций процесса 1200 планирования пользовательских терминалов для передачи данных в MIMO системе 100. Набор, по меньшей мере, из одного пользовательского терминала выбирают для передачи данных по нисходящей линии и/или восходящей линии (блок 1212). Для набора пользовательских терминалов выбирают режим пространственного мультиплексирования из множества режимов пространственного

мультиплексирования, поддерживаемых данной системой (блок 1214). Также для набора пользовательских терминалов выбирают множество скоростей для множества потоков данных, предназначенных для передачи через множество пространственных каналов (блок 1216). Набор пользовательских терминалов планируют для передачи 5 данных по нисходящей линии и/или восходящей линии с выбранными скоростями и выбранным режимом пространственного мультиплексирования (блок 1218).

На Фиг.13 показана блок-схема последовательности операций процесса 1300 передачи данных по нисходящей линии в ММО системе 100. Процесс 1300 может 10 выполняться точкой 110х доступа. Первое множество потоков данных кодируют и модулируют в соответствии с первым набором скоростей для получения первого множества потоков символов данных (блок 1312). В случае однопользовательского направленного режима для первого множества потоков символов данных выполняют пространственную обработку при помощи первого множества направляющих 15 векторов для получения первого множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн в первый пользовательский терминал в первом интервале передачи (блок 1314). Первый набор направляющих векторов выводят таким образом, что первое множество потоков данных передают по ортогональным 20 пространственным каналам в первый пользовательский терминал. Второе множество потоков данных кодируют и модулируют в соответствии со вторым множеством скоростей для получения второго множества потоков символов данных (блок 1316). Для однопользовательского ненаправленного режима второе множество потоков символов данных предоставляют в качестве второго множества потоков символов 25 передачи для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал во втором интервале передачи (блок 1318). Третье множество потоков данных кодируют и модулируют для получения третьего множества потоков символов данных (блок 1320). В случае многопользовательского направленного режима для 30 третьего множества потоков символов данных выполняют пространственную обработку при помощи второго множества направляющих векторов для получения третьего множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн во множество пользовательских терминалов в третьем интервале передачи (блок 1322). Второе множество направляющих векторов выводят таким образом, что 35 третье множество потоков символов данных во множестве пользовательских терминалов принимают с подавленными перекрестными помехами.

На Фиг.14 показана блок-схема последовательности операций процесса 1400 приема данных по восходящей линии в ММО системе 100. Процесс 1400 также может 40 выполняться точкой 110х доступа. Пространственную обработку в приемнике выполняют для первого множества потоков принятых символов в соответствии с первым режимом пространственного мультиплексирования (например, однопользовательским направленным режимом) для получения первого множества потоков восстановленных символов данных (блок 1412). Первое множество потоков 45 восстановленных символов данных демодулируют и декодируют в соответствии с первым множеством скоростей для получения первого множества потоков декодированных данных (блок 1414). Пространственную обработку в приемнике выполняют для второго множества потоков принятых символов в соответствии со 50 вторым режимом пространственного мультиплексирования (например, ненаправленным режимом) для получения второго множества потоков восстановленных символов данных (блок 1416). Второе множество потоков восстановленных символов данных демодулируют и декодируют в соответствии со

вторым множеством скоростей для получения второго множества потоков декодированных данных, которые представляют собой оценки потоков данных, передаваемых одним или множеством пользовательских терминалов (блок 1418).

Каждый пользовательский терминал выполняет соответствующие операции при передаче данных по одному или нескольким восходящим широкополосным пространственным каналам и при приеме данных по одному или нескольким нисходящим широкополосным пространственным каналам.

Передача данных с использованием нескольких режимов пространственного мультиплексирования, изложенная в настоящем описании, может быть реализована при помощи различных средств. Например, обработка может быть реализована в виде аппаратных средств, программных средств или их комбинации. В случае реализации в виде аппаратных средств элементы, используемые для выполнения обработки данных, пространственной обработки и планирования в точке доступа, могут быть реализованы в одной или нескольких ориентированных на приложение интегральных схемах (ASIC), цифровых сигнальных процессорах (DSP), цифровых сигнальных процессорных устройствах (DSPD), программируемых логических устройствах (PLD), внутрисхемно программируемых вентильных матрицах (FPGA), процессорах, контроллерах, микроконтроллерах, других электронных блоках, выполненных с возможностью выполнения функций, изложенных в настоящем описании или их комбинации. Блоки обработки в пользовательском терминале также могут быть реализованы в одной или нескольких ASIC, DSP и т.д.

В случае осуществления в виде программных средств обработка в точке доступа и пользовательском терминале при передаче данных с использованием нескольких режимов пространственного мультиплексирования, может быть реализована при помощи модулей (например, процедур, функций и т.д.), которые выполняют функции, изложенные в настоящем описании. Программные коды могут храниться в запоминающем устройстве (например, запоминающем устройстве, 332 и 382 по Фиг.8) и исполняться процессором (например, контроллерами 330 и 380). Запоминающее устройство может быть выполнено в процессоре или как внешнее по отношению к процессору.

Заголовки включены в настоящее описание для ссылки и для помощи в поиске определенных разделов. Указанные заголовки не следует рассматривать как ограничивающие объем концепций в озаглавленных ими разделах, и эти концепции могут применяться в других разделах по всему описанию.

Приведенное выше описание раскрытых вариантов осуществления представлено для того, чтобы дать возможность любому специалисту в данной области техники использовать настоящее изобретение. Различные модификации в отношении указанных вариантов осуществления должны быть очевидны для специалистов в данной области техники, и общие принципы, изложенные в настоящем описании, применимы к другим вариантам осуществления без отступления от сущности и объема настоящего изобретения, таким образом, настоящее изобретение не следует ограничивать вариантами осуществления, раскрытыми в настоящем описании, но напротив, соответствует самому широкому объему, совместимому с принципами и новыми отличительными особенностями, раскрытыми в настоящем описании.

Формула изобретения

1. Способ передачи данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (MIMO),

содержащий этапы на которых: выбирают первый пользовательский терминал для передачи данных в первом интервале передачи; выбирают первый режим пространственного мультиплексирования для использования для первого пользовательского терминала; выбирают второй пользовательский терминал для передачи данных во втором интервале передачи; выбирают второй режим пространственного мультиплексирования для использования для второго пользовательского терминала; причем по меньшей мере один из первого и второго режимов пространственного мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования; планируют первый пользовательский терминал для передачи данных в первом интервале передачи с первым режимом пространственного мультиплексирования; и планируют второй пользовательский терминал для передачи данных во втором интервале передачи со вторым режимом пространственного мультиплексирования.

2. Способ по п.1, в котором первый режим пространственного мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования, второй режим пространственного мультиплексирования представляет собой режим ненаправленного пространственного мультиплексирования.

3. Способ по п.2, дополнительно содержащий этапы, на которых: выполняют пространственную обработку первого множества потоков данных с множеством направляющих векторов для передачи первого множества потоков данных по ортогональным пространственным каналам канала ММО для первого пользовательского терминала; и обеспечивают второе множество потоков данных для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал.

4. Способ по п.2, дополнительно содержащий этапы, на которых: выполняют пространственную обработку в приемнике в отношении первого множества потоков принятых символов с множеством собственных векторов для получения оценок первого множества потоков данных, переданных первым пользовательским терминалом; и выполняют пространственную обработку в приемнике в отношении второго множества потоков принятых символов в соответствии с пространственным фильтром для получения оценок второго множества потоков данных, переданных вторым пользовательским терминалом.

5. Способ по п.2, дополнительно содержащий этапы, на которых: выбирают первое множество скоростей для первого множества потоков данных, предназначенных для передачи через первое множество пространственных каналов первого канала ММО для первого пользовательского терминала; и выбирают второе множество скоростей для второго множества потоков данных, предназначенных для передачи через второе множество пространственных каналов второго канала ММО для второго пользовательского терминала; причем первый пользовательский терминал дополнительно планируют с первым множеством скоростей, а второй пользовательский терминал планируют со вторым множеством скоростей.

6. Устройство для передачи данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (ММО), содержащее: пользовательское устройство выбора, выполненное с возможностью выбора первого пользовательского терминала для передачи данных в первом интервале передачи и выбора второго пользовательского терминала для передачи данных во втором интервале передачи; устройство выбора режима, выполненное с возможностью выбора первого режима пространственного мультиплексирования для

использования для первого пользовательского терминала и выбора второго режима пространственного мультиплексирования для использования для второго пользовательского терминала, причем по меньшей мере один из первого и второго режимов пространственного мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования; и планировщик, выполненный с возможностью планирования первого пользовательского терминала для передачи данных в первом интервале передачи с первым режимом пространственного мультиплексирования и планирования второго пользовательского терминала для передачи данных во втором интервале передачи со вторым режимом пространственного мультиплексирования.

7. Устройство по п.6, в котором первый режим пространственного мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования, и второй режим пространственного мультиплексирования представляет собой режим ненаправленного пространственного мультиплексирования.

8. Устройство по п.7, дополнительно содержащее: процессор пространственной передачи, выполненный с возможностью пространственной обработки первого множества потоков данных с множеством направляющих векторов для передачи первого множества потоков данных по ортогональным пространственным каналам канала MIMO для первого пользовательского терминала; и обеспечения второго множества потоков данных для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал.

9. Устройство по п.7, дополнительно содержащее: процессор пространственного приема, выполненный с возможностью выполнения пространственной обработки в приемнике в отношении первого множества потоков принятых символов с множеством собственных векторов для получения оценок первого множества потоков данных, переданных первым пользовательским терминалом; и выполнения пространственной обработки в приемнике в отношении второго множества потоков принятых символов в соответствии с пространственным фильтром для получения оценок второго множества потоков данных, переданных вторым пользовательским терминалом.

10. Устройство для передачи данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (MIMO), содержащее: средство выбора первого пользовательского терминала для передачи данных в первом интервале передачи; средство выбора первого режима пространственного мультиплексирования для использования для первого пользовательского терминала; средство выбора второго пользовательского терминала для передачи данных во втором интервале передачи; средство выбора второго режима пространственного мультиплексирования для использования для второго пользовательского терминала, причем по меньшей мере один из первого и второго режимов пространственного мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования; средство планирования первого пользовательского терминала для передачи данных в первом интервале передачи с первым режимом пространственного мультиплексирования; и средство планирования второго пользовательского терминала для передачи данных во втором интервале передачи со вторым режимом пространственного мультиплексирования.

11. Устройство по п.10, в котором первый режим пространственного

мультиплексирования представляет собой режим направленного пространственного мультиплексирования, и второй режим пространственного мультиплексирования представляет собой режим ненаправленного пространственного мультиплексирования.

5 12. Устройство по п.11, дополнительно содержащее: средство для пространственной обработки первого множества потоков данных с множеством направляющих векторов для передачи первого множества потоков данных по ортогональным пространственным каналам канала ММО для первого пользовательского терминала; 10 и средство для обеспечения второго множества потоков данных для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал.

13. Устройство по п.11, дополнительно содержащее: средство для выполнения пространственной обработки в приемнике в отношении первого множества потоков принятых символов с множеством собственных векторов для получения оценок 15 первого множества потоков данных, переданных первым пользовательским терминалом; и средство для выполнения пространственной обработки в приемнике в отношении второго множества потоков принятых символов в соответствии с пространственным фильтром для получения оценок второго множества потоков 20 данных, переданных вторым пользовательским терминалом.

14. Способ передачи данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (ММО), содержащий этапы на которых: кодируют и модулируют первое множество потоков 25 данных для получения первого множества потоков символов данных; выполняют пространственную обработку первого множества потоков символов данных с первым множеством направляющих векторов для получения первого множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн в первый пользовательский терминал в первом интервале передачи; кодируют и модулируют второе множество 30 потоков данных для получения второго множества потоков символов данных; и обеспечивают второе множество потоков символов данных в качестве второго множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал во втором интервале передачи.

15. Способ по п.14, дополнительно содержащий этап, на котором: выводят первое 35 множество направляющих векторов таким образом, что первое множество потоков данных передают по множеству ортогональных пространственных каналов первого ММО канала для первого пользовательского терминала.

16. Способ по п.14, дополнительно содержащий этапы, на которых: кодируют и 40 модулируют третье множество потоков данных для получения третьего множества потоков символов данных; и выполняют пространственную обработку третьего множества потоков символов данных со вторым множеством направляющих векторов для получения третьего множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн во множество пользовательских терминалов в третьем 45 интервале передачи.

17. Способ по п.16, дополнительно содержащий этап, на котором выводят второе 50 множество направляющих векторов таким образом, что третье множество потоков данных принимают во множестве пользовательских терминалов с подавленными перекрестными помехами.

18. Устройство для передачи данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (ММО), содержащее: процессор передачи данных, выполненный с возможностью кодирования

и модулирования первого множества потоков данных для получения первого множества потоков символов данных, и кодирования и модулирования второго множества потоков данных для получения второго множества потоков символов данных; и процессор пространственной передачи, выполненный с возможностью выполнения пространственной обработки первого множества потоков символов данных с первым множеством направляющих векторов для получения первого множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн в первый пользовательский терминал в первом интервале передачи, и обеспечения второго множества потоков символов данных в качестве второго множества потоков символов передачи для передачи через множество антенн во второй пользовательский терминал во втором интервале передачи.

19. Устройство по п.18, в котором процессор пространственной передачи выполнен с возможностью вывода первого множества направляющих векторов таким образом, что первое множество потоков данных передают по множеству ортогональных пространственных каналов первого ММО канала для первого пользовательского терминала.

20. Способ приема данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (ММО), содержащий этапы на которых: принимают информацию, указывающую режим направленного пространственного мультиплексирования и по меньшей мере одну скорость для использования для передачи данных, причем режим направленного пространственного мультиплексирования выбирают из множества режимов пространственного мультиплексирования, поддерживаемых системой, при этом каждую из упомянутой по меньшей мере одной скорости выбирают из набора скоростей, поддерживаемого данной системой; выполняют пространственную обработку по меньшей мере одного потока принятых символов в соответствии с режимом направленного пространственного мультиплексирования для получения по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных; и демодулируют и декодируют по меньшей мере один поток восстановленных символов данных в соответствии с упомянутой по меньшей мере одной скоростью для получения по меньшей мере одного потока декодированных данных.

21. Способ по п.20, в котором выполняют пространственную обработку множества потоков принятых символов с множеством собственных векторов для множества пространственных каналов ММО канала для получения множества потоков восстановленных символов данных.

22. Способ по п.20, в котором упомянутый по меньшей мере один из множества режимов пространственного мультиплексирования представляет собой режим ненаправленного пространственного мультиплексирования.

23. Способ по п.22, в котором для получения множества потоков восстановленных символов данных выполняют пространственную обработку множества потоков принятых символов, основываясь на способе инверсии корреляционной матрицы канала (CCMI), способе минимальной средней квадратичной ошибки (MMSE) или способе последовательного удаления помех (SIC).

24. Способ по п.22, в котором по меньшей мере один поток принятых символов обрабатывают с оценками усиления канала для получения по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных.

25. Устройство для приема данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (ММО),

содержащее: контроллер, выполненный с возможностью приема информации, указывающей режим направленного пространственного мультиплексирования и по меньшей мере одну скорость для использования для передачи данных, причем режим направленного пространственного мультиплексирования выбирают из множества режимов пространственного мультиплексирования, поддерживаемых системой, и при этом каждую из упомянутой по меньшей мере одной скорости выбирают из набора скоростей, поддерживаемого данной системой; процессор пространственного приема, выполненный с возможностью выполнения пространственной обработки по меньшей мере одного потока принятых символов в соответствии с режимом направленного пространственного мультиплексирования для получения по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных; и процессор данных приема, выполненный с возможностью демодулирования и декодирования упомянутого по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных в соответствии с упомянутой по меньшей мере одной скоростью для получения по меньшей мере одного потока декодированных данных.

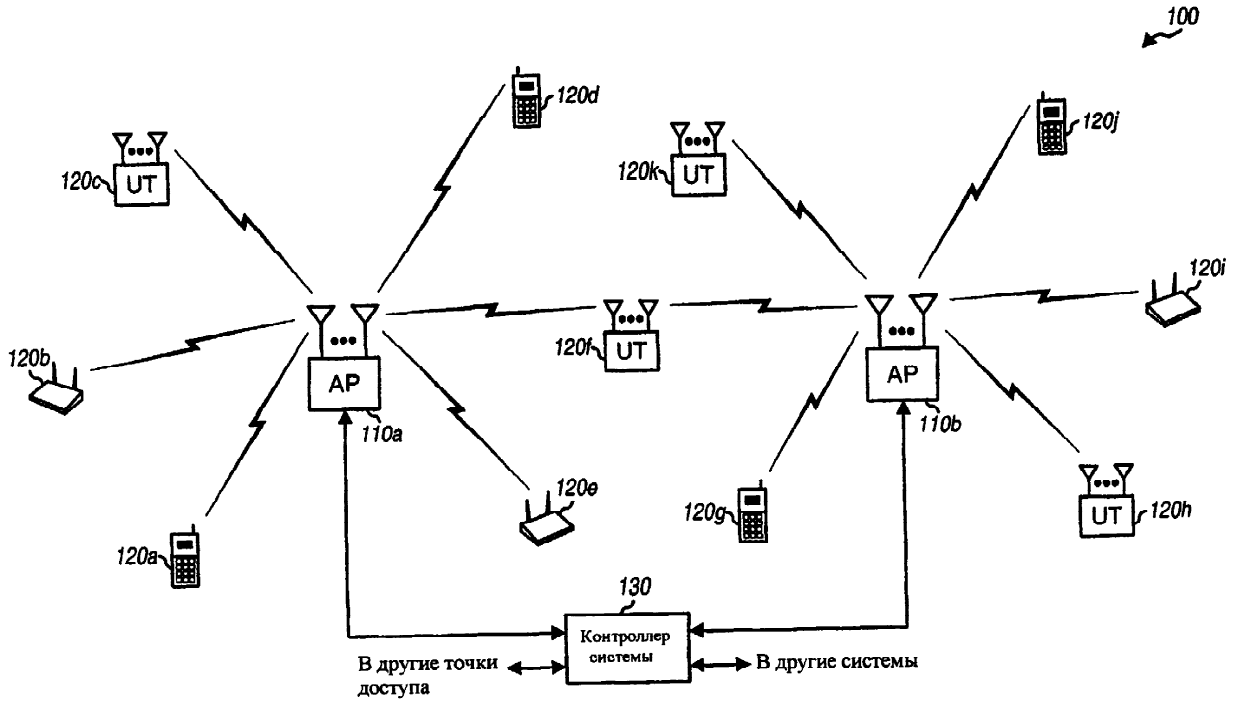
26. Устройство для приема данных в беспроводной коммуникационной системе с множественным доступом с множеством входов и множеством выходов (MIMO), содержащее: средство приема информации, указывающее режим направленного пространственного мультиплексирования и по меньшей мере одну скорость для использования для передачи данных, причем режим направленного пространственного мультиплексирования выбирают из множества режимов пространственного мультиплексирования, поддерживаемых системой, и причем каждую из упомянутой по меньшей мере одной скорости выбирают из набора скоростей, поддерживаемых данной системой, средство для выполнения пространственной обработки по меньшей мере одного потока принятых символов в соответствии с режимом направленного пространственного мультиплексирования для получения по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных; и средство для выполнения демодулирования и декодирования по меньшей мере одного потока восстановленных символов данных в соответствии с по меньшей мере одной скоростью для получения по меньшей мере одного потока декодированных данных.

27. Устройство по п.26, в котором по меньшей мере один из множества режимов пространственного мультиплексирования представляет собой режим ненаправленного пространственного мультиплексирования.

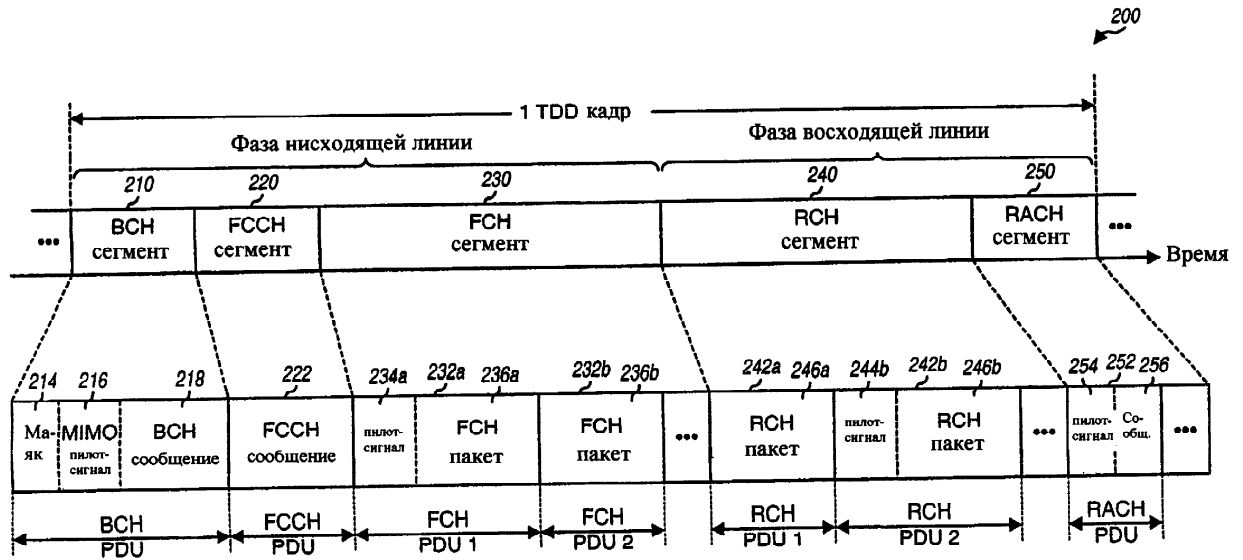
28. Устройство по п.27, в котором средство для выполнения пространственной обработки содержит средство для выполнения пространственной обработки, основываясь на способе инверсии корреляционной матрицы канала (CCMI), способе минимальной средней квадратичной ошибки (MMSE) или способе последовательного удаления помех (SIC) для получения множества потоков восстановленных символов данных.

29. Устройство по п.26, в котором средство для выполнения демодулирования и декодирования содержит средство для выполнения обработки по меньшей мере одного потока принятых символов с оценками усиления канала для получения одного потока восстановленных символов данных.

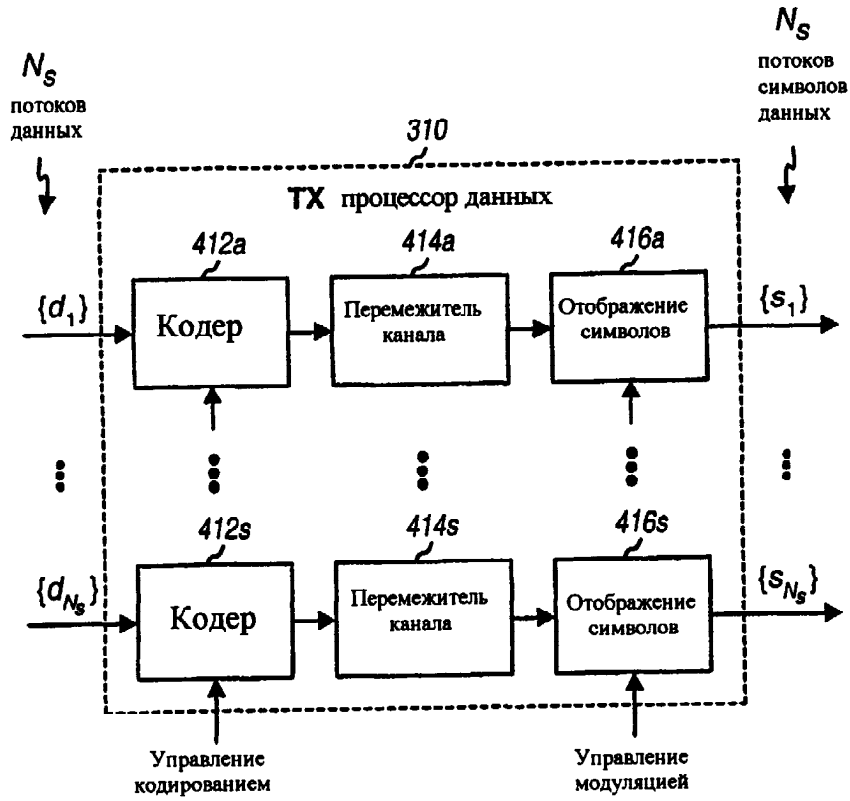
50



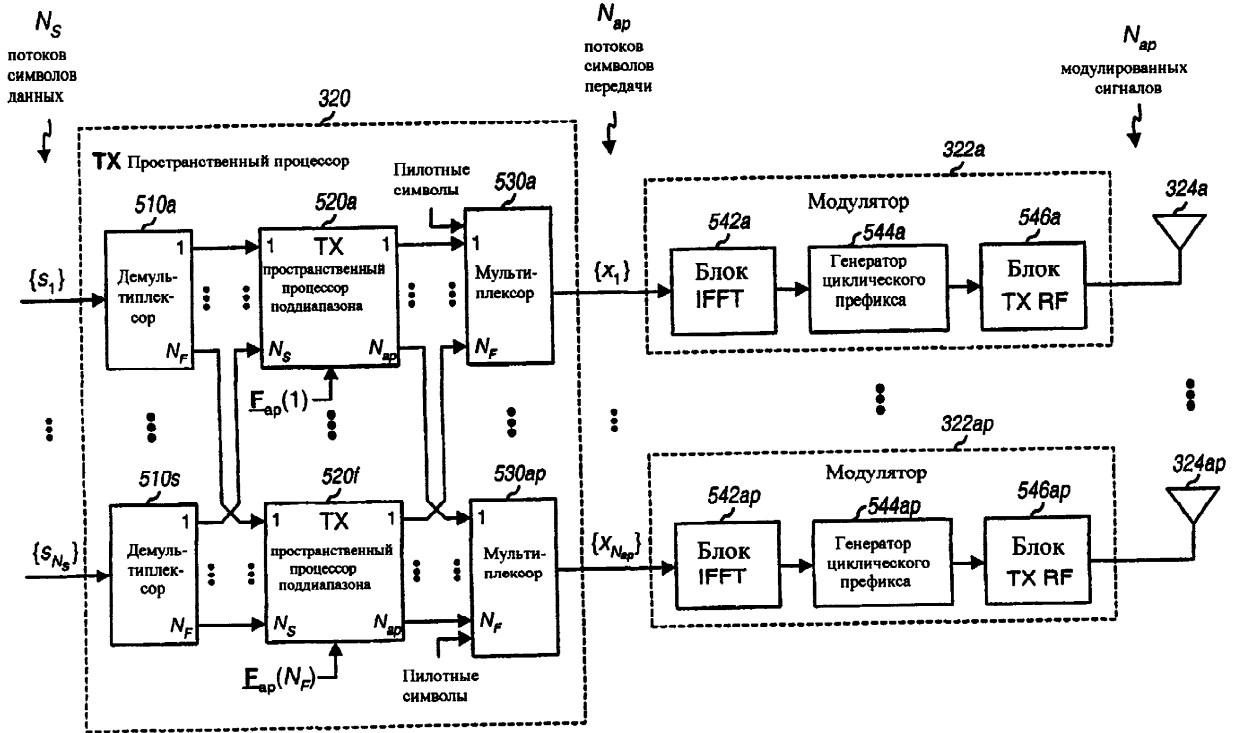
Фиг.1



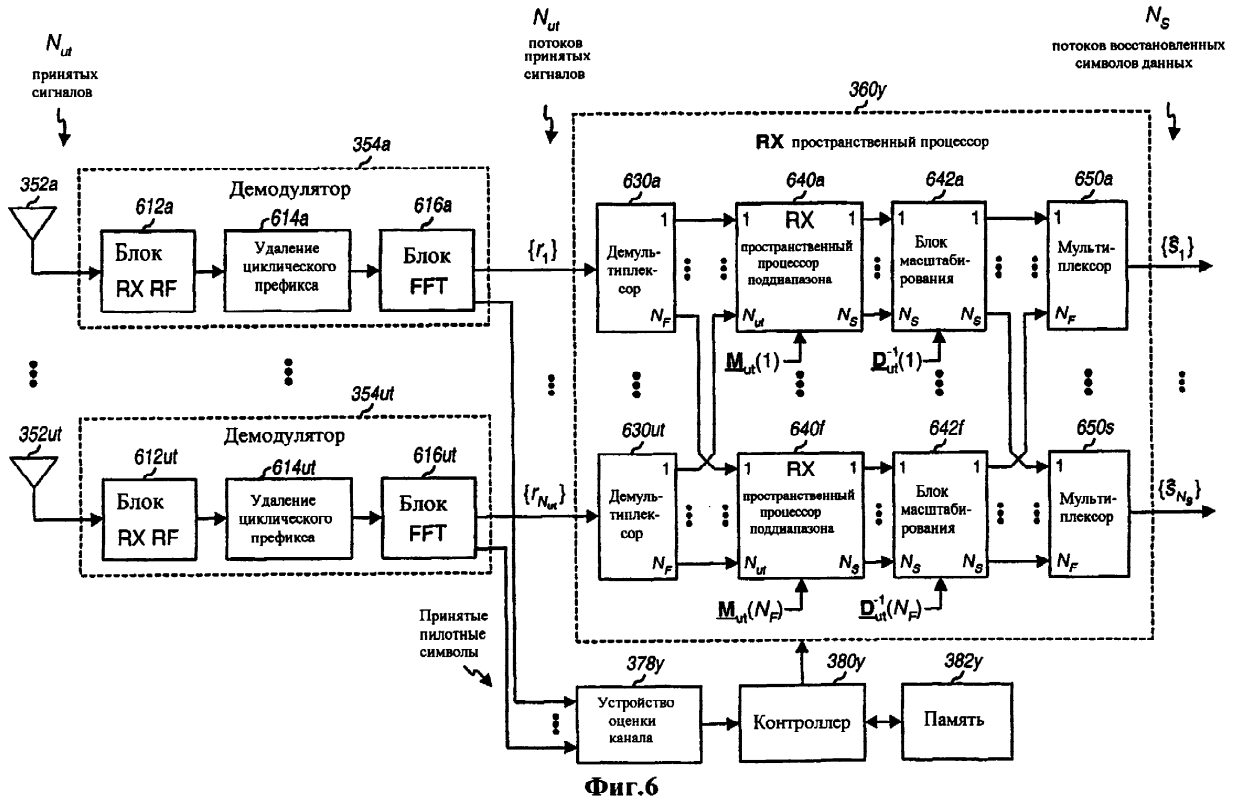
Фиг.2



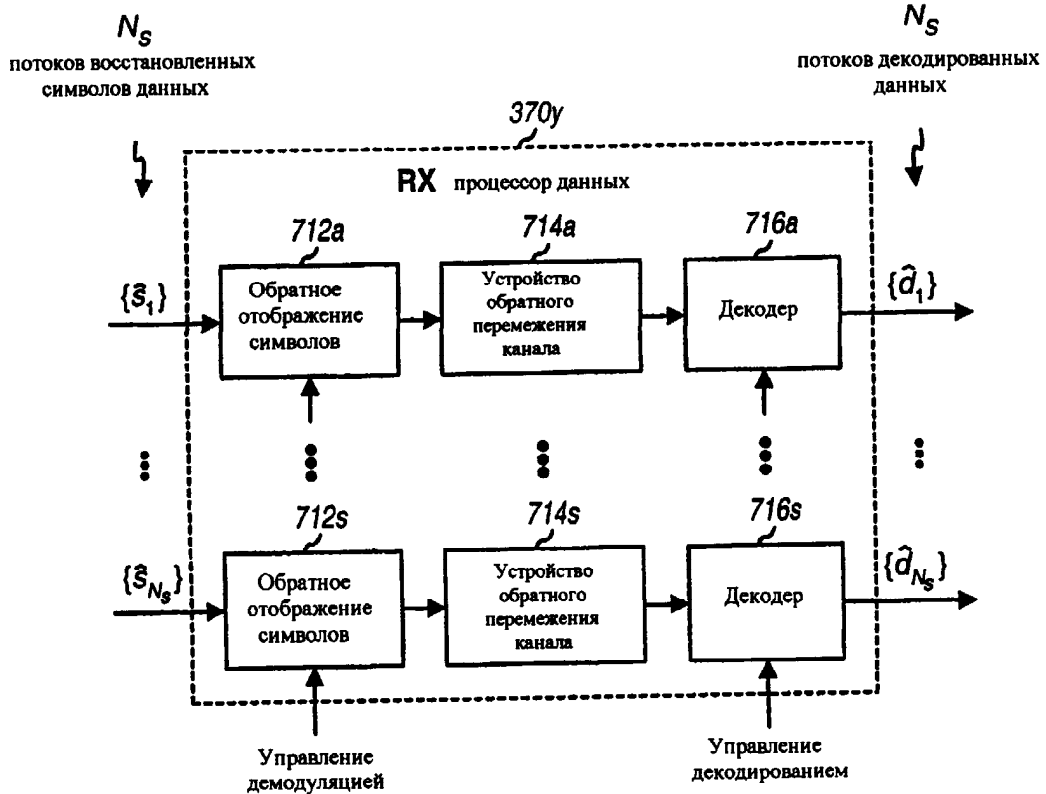
Фиг.4



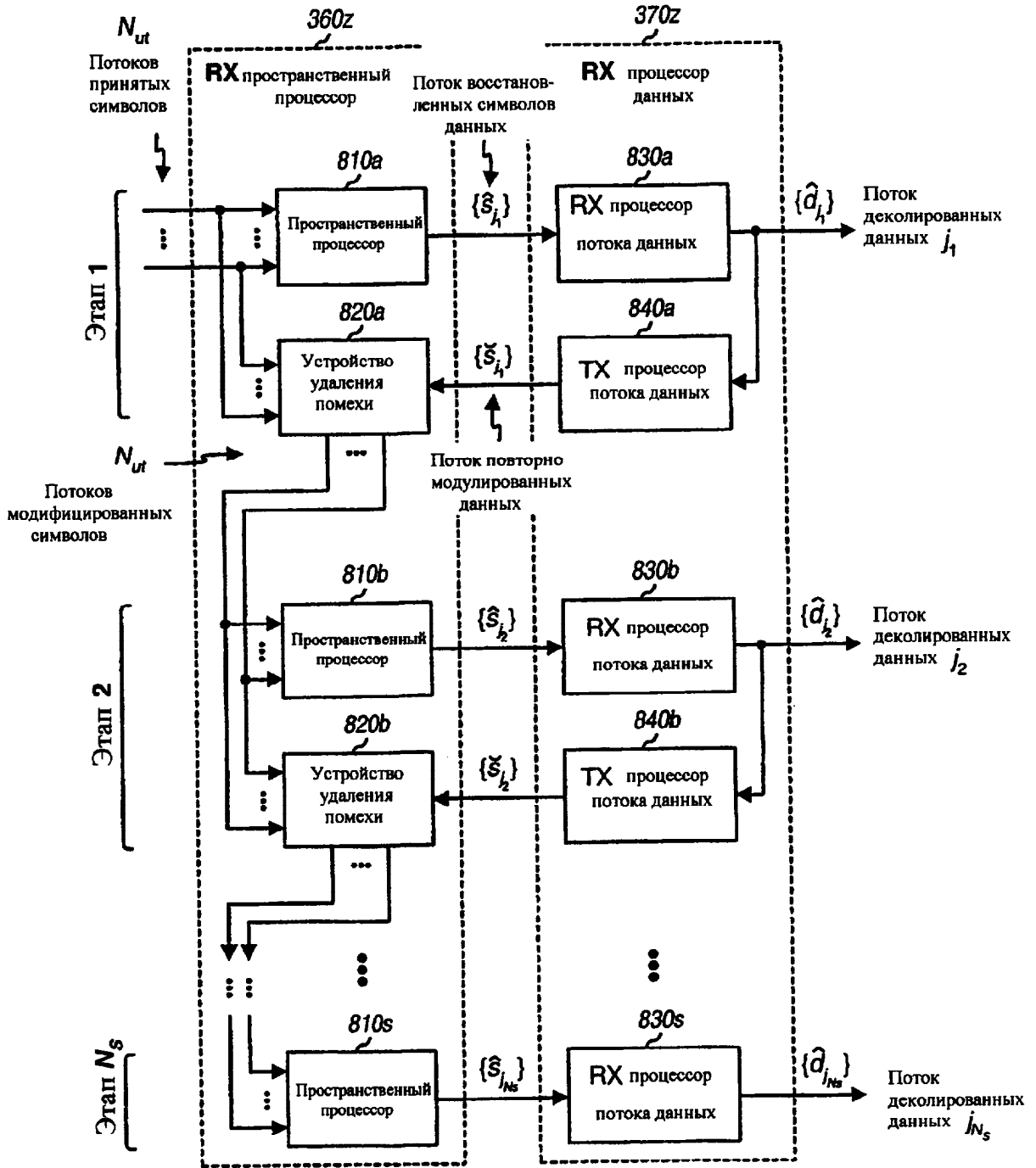
Фиг.5



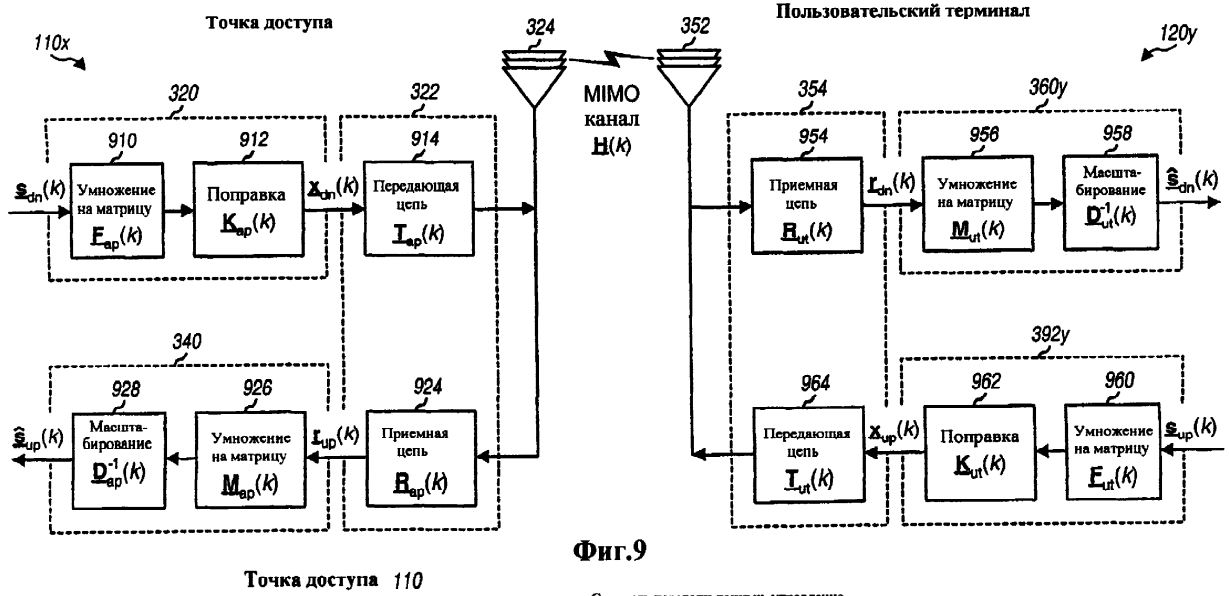
Фиг.6



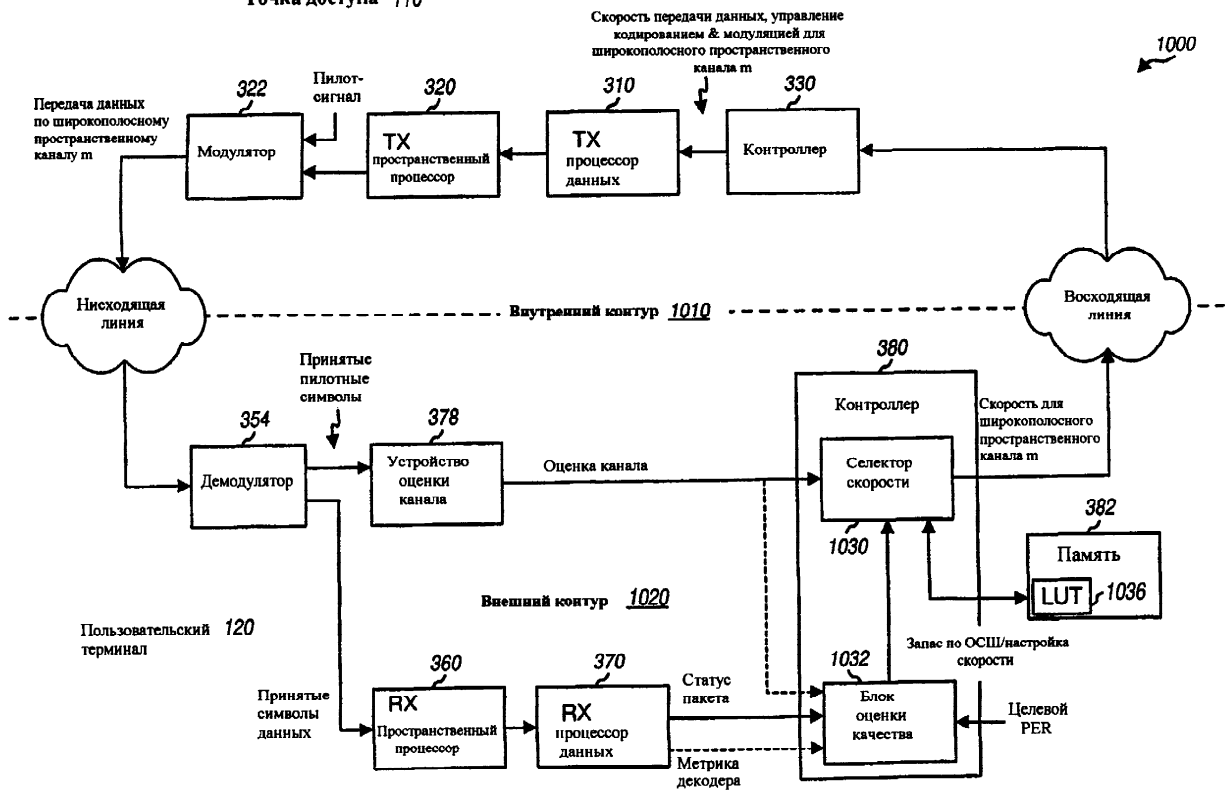
Фиг.7



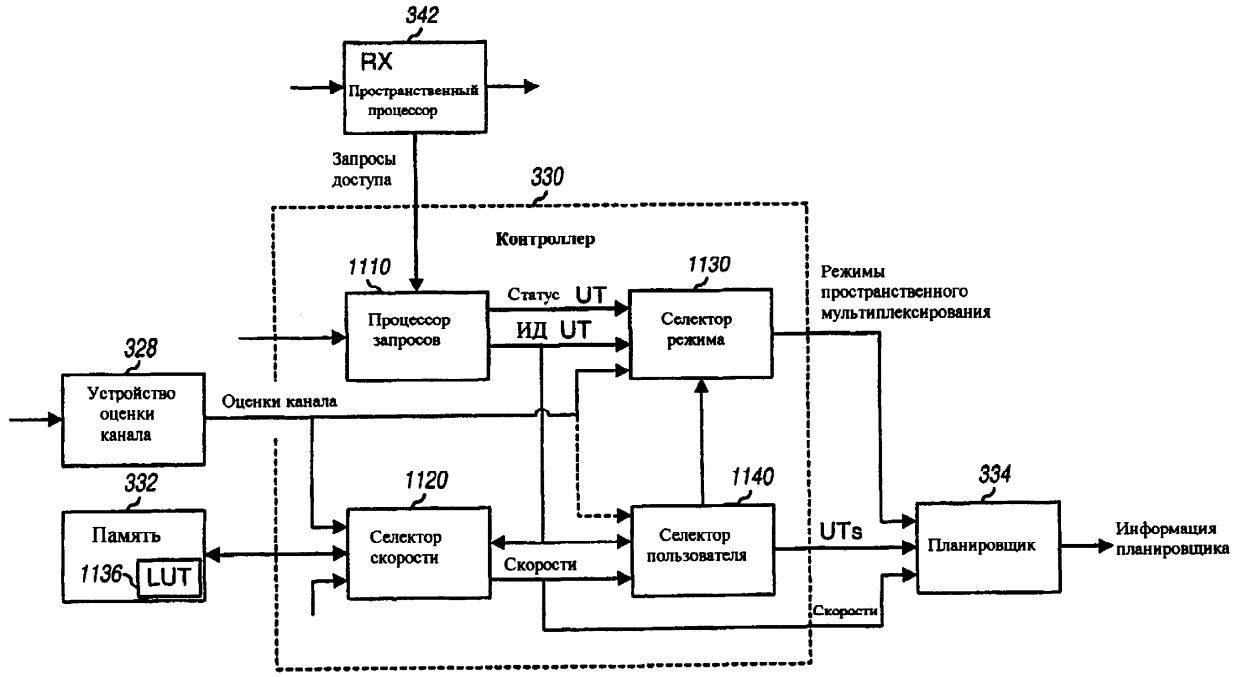
Фиг.8



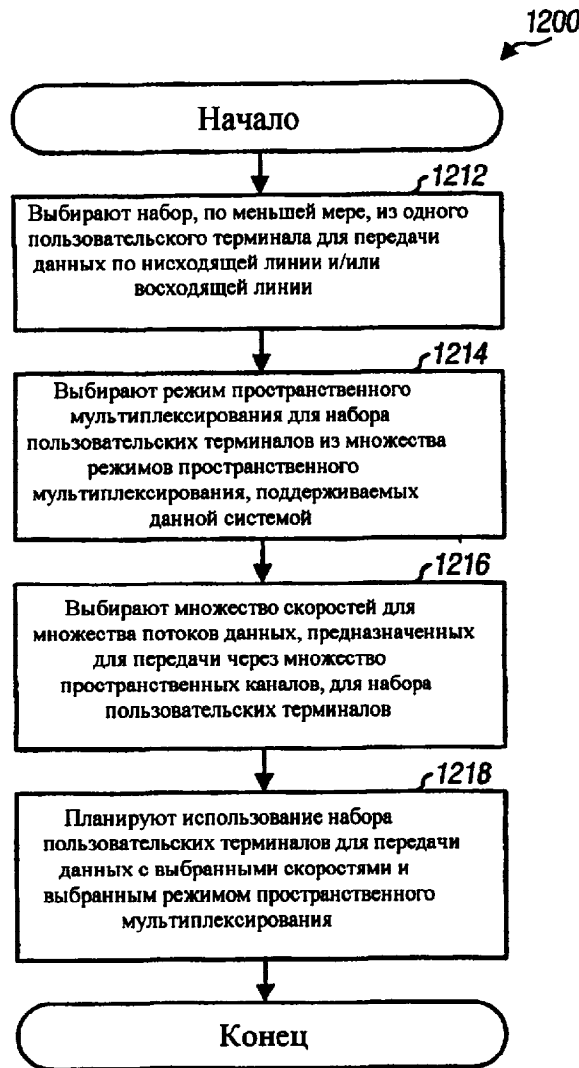
Фиг.9



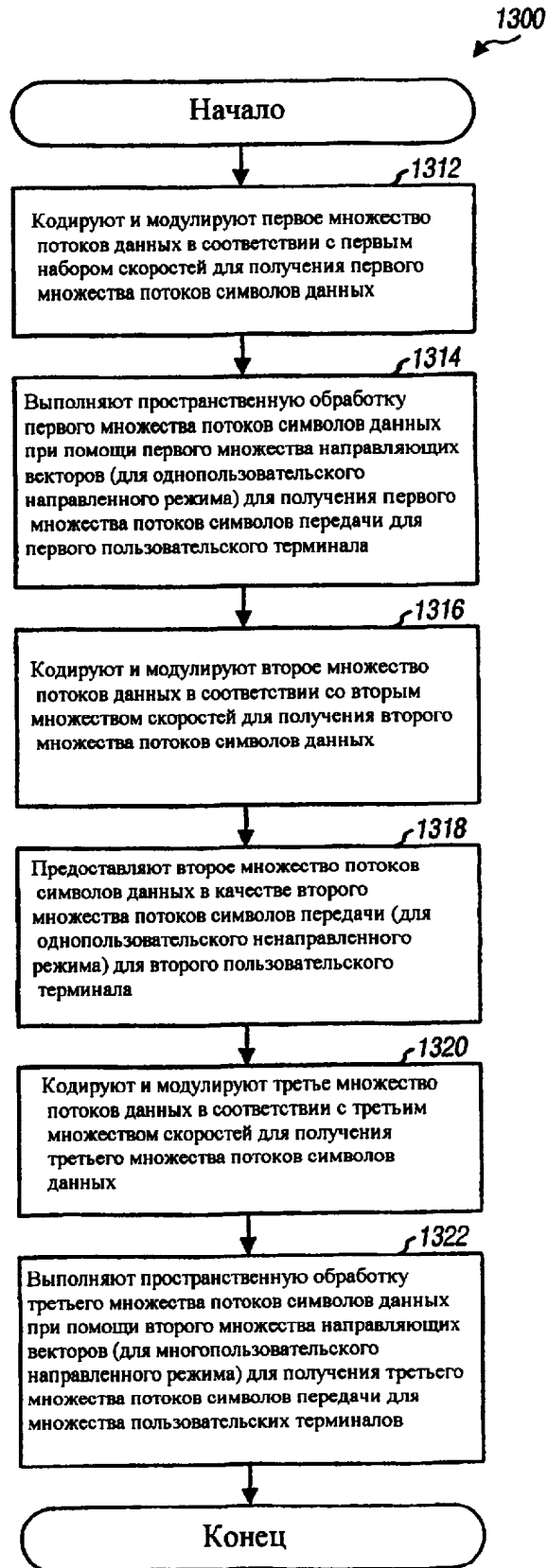
Фиг.10



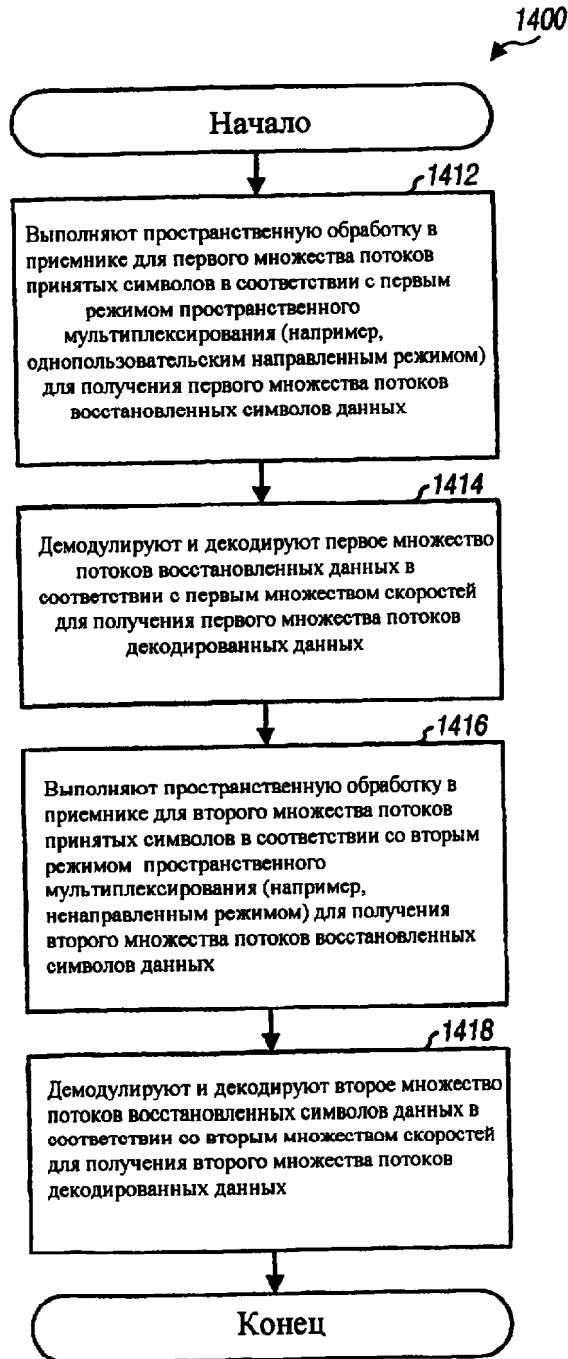
Фиг.11



Фиг.12



Фиг.13



Фиг.14