РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 481 712** (13) **C2**

(51) МПК
H04J 99/00 (2009.01)
H04B 7/04 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010135412/07, 30.01.2009**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.01.2009

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
04.02.2008 JP 2008-024355
10.12.2008 JP 2008-315035

(43) Дата публикации заявки: **20.03.2012** Бюл. № 8

(45) Опубликовано: **10.05.2013** Бюл. № **13**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **JP 2006-222743 A, 24.08.2006. RU 2292116 C2, 20.01.2007. WO 2004/054191 A1, 24.06.2004.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **06.09.2010**

(86) Заявка PCT:
JP 2009/051626 (30.01.2009)

(87) Публикация заявки PCT:
WO 2009/099013 (13.08.2009)

Адрес для переписки:
197101, Санкт-Петербург, а/я 128, "АРС-ПАТЕНТ", пат. пов. М.В. Хмаре, рег.№ 771

(72) Автор(ы):
ХИГУТИ Кэнъити (JP)

(73) Патентообладатель(и):
НТТ ДоСоМо, Инк. (JP)

RU 2481712 C2

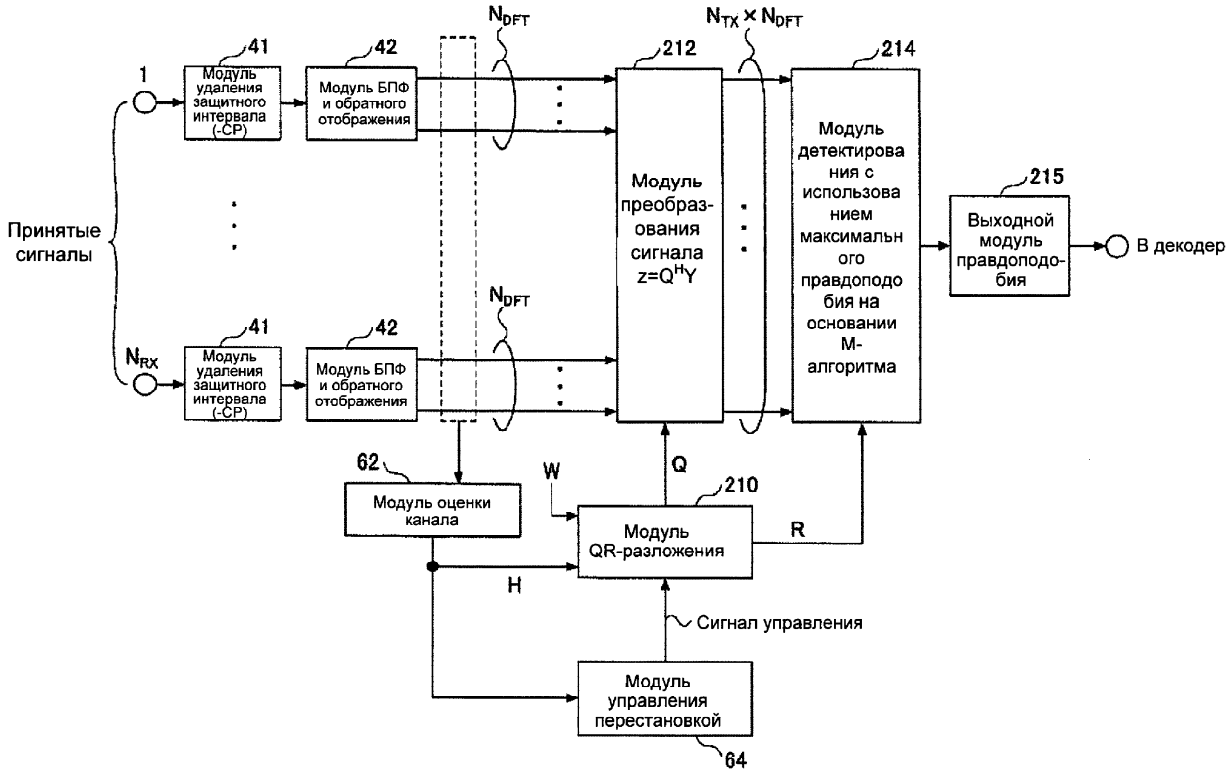
RU 2481712 C2

(54) СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ, ПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к мобильной связи. Передающее устройство подвергает преобразованию Фурье символы в передаваемой символьной последовательности, отображает подвергнутые преобразованию Фурье символы на поднесущие, подвергает обратному преобразованию Фурье отображенные символы и передает подвергнутые обратному преобразованию Фурье символы из множества передающих антенн. Приемное устройство подвергает принятые сигналы преобразованию Фурье, извлекает компоненты сигналов, отображенные на поднесущие, и оценивает символы, переданные посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов. Приемное устройство получает единичную матрицу Q^H, такую что произведение единичной матрицы Q^H, весовой матрицы W, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими, и матрицы H каналов, равно треугольной матрице R, и оценивает потенциальные символы, переданные из передающих антенн, на основании единичной матрицы Q^H и

треугольной матрицы R. Техническим результатом является повышение точности детектирования сигнала в приемном устройстве в системе мобильной связи, в которой используется схема MIMO с одной несущей и схема множественного доступа с частотным разделением на одной несущей (SC-FDMA). 3 н. и 5 з.п. ф-лы, 7 ил.



ФИГ.6

RU 2481712 C2

RU 2481712 C2

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 481 712** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
H04J 99/00 (2009.01)
H04B 7/04 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010135412/07, 30.01.2009**

(24) Effective date for property rights:
30.01.2009

Priority:
(30) Convention priority:
04.02.2008 JP 2008-024355
10.12.2008 JP 2008-315035

(43) Application published: **20.03.2012** Bull. 8

(45) Date of publication: **10.05.2013 Bull. 13**

(85) Commencement of national phase: **06.09.2010**

(86) PCT application:
JP 2009/051626 (30.01.2009)

(87) PCT publication:
WO 2009/099013 (13.08.2009)

Mail address:
197101, Sankt-Peterburg, a/ja 128, "ARS-PATENT", pat. pov. M.V. Khmare, reg.№ 771

(72) Inventor(s):
KhIGUTI Kehn"iti (JP)

(73) Proprietor(s):
NTT DoSoMo, Ink. (JP)

RU 2481712 C2

(54) MOBILE COMMUNICATION SYSTEM, RECEIVING DEVICE AND SIGNAL TRANSMISSION METHOD

(57) Abstract:

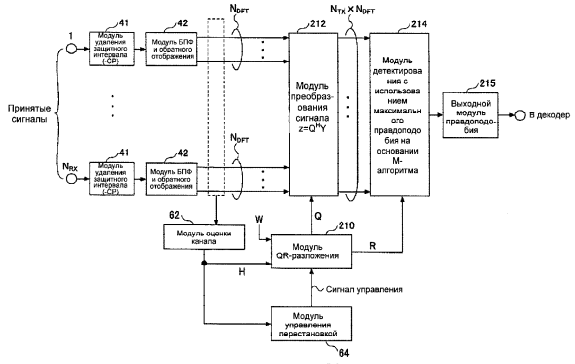
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: transmitting device Fourier-transforms symbols in a transmission symbol sequence, maps the Fourier-transformed symbols to subcarriers, inverse-Fourier-transforms the mapped symbols and transmits the inverse-Fourier-transformed symbols from multiple transmitting antennae. A receiving device Fourier-transforms received signals, extracts signal components mapped to the subcarriers, and estimates the symbols transmitted via the subcarriers by applying a QR decomposition algorithm to the extracted signal components. The receiving device obtains a unitary matrix QH such that the product of the unitary matrix QH, a weight matrix W determining a correspondence between the transmission symbol sequence and the subcarriers, and a channel matrix H equals a triangular matrix R, and estimates potential symbols transmitted from the transmitting antennae based on the unitary matrix QH and the triangular matrix R.

EFFECT: high accuracy of signal detection in a receiving device in a mobile communication system using a MIMO scheme with one carrier and an FDMA on one carrier.

8 cl

RU 2481712 C2



ФИГ.6

RU 2481712 C2

RU 2481712 C2

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к технологиям мобильной связи. Более конкретно, настоящее изобретение относится к системе мобильной связи, приемному устройству и способу осуществления связи, выполненным с возможностью передачи сигнала по схеме со многими входами и многими выходами (MIMO, multiple input multiple output) с одной несущей.

Уровень техники

В схемах передачи с множеством несущих диапазон частот разделяется на множество узких диапазонов частот (поднесущих), и с использованием этих поднесущих передаются отдельные сигналы. Например, в схеме множественного доступа с ортогональным частотным разделением (OFDMA, orthogonal frequency division multiple access) для повышения эффективности использования частотного ресурса и обеспечения высокоскоростной связи с передачей данных большого объема поднесущие расположены так, чтобы они были ортогональны друг к другу. Схема OFDMA позволяет эффективно уменьшить помехи, создаваемые друг другу поднесущими. Это, в свою очередь, позволяет одновременно предавать сигналы с использованием поднесущих и увеличить длину символа. Схема OFDMA также позволяет уменьшить помехи многолучевого распространения путем использования относительно длинного защитного интервала.

Однако в схемах передачи с множеством несущих для передачи требуется довольно большая мгновенная пиковая мощность, так как сигналы, отображенные на поднесущие, перекрываются друг с другом во временной области. Другими словами, в схемах передачи со множеством несущих отношение пиковой мощности к средней мощности (PAPR, peak-to-average power ratio) может быть довольно большим. Это является недостатком, в частности, для мобильных станций.

Схемы передачи с одной несущей в целом имеют преимущество, заключающееся в уменьшении отношения пиковой мощности к средней мощности (PAPR). В частности, схемы передачи с одной несущей, такие как схема множественного доступа с частотным разделением на одной несущей (SC-FDMA, single-carrier frequency division multiple access) и схема OFDM с расширением спектра с использованием дискретного преобразования Фурье (DFT, discrete Fourier transform), также позволяют эффективно использовать широкий диапазон частот. В схеме SC-FDMA передаваемый сигнал подвергается преобразованию Фурье и отображается на поднесущие, после чего отображенный сигнал подвергается обратному преобразованию Фурье и радиопередаче. В приемном устройстве принятый сигнал подвергается преобразованию Фурье, извлекаются компоненты сигнала, отображенные на поднесущие, и оцениваются передаваемые символы. Такие схемы передачи с одной несущей предпочтительны с точки зрения эффективного использования диапазона частот и уменьшения отношения пиковой мощности к средней мощности (PAPR).

Однако в схемах передачи с одной несущей, в которых используются поднесущие с относительно широкой полосой частот, возникают помехи многолучевого распространения. Помехи многолучевого распространения увеличиваются по мере увеличения скорости передачи. Например, помехи многолучевого распространения становятся особенно заметны при большой глубине модуляции данных или при использовании схемы мультиплексирования MIMO. Увеличение помех многолучевого распространения, в свою очередь, уменьшает точность детектирования сигналов в приемном устройстве.

Предположим, что количество передающих антенн равно N, глубина модуляции

данных равна B (например, когда используется 16 QAM, B=4), ожидаемое количество лучей распространения равно P и для детектирования сигнала используется способ детектирования с использованием максимального правдоподобия (MLD, maximum likelihood detection) (описание способа QRM-MLD см., например, в K.J.Kim, et al., "Joint channel estimation and data detection algorithm for MIMO-OFDM systems", Proc.36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Nov.2002). Как описано выше, схема OFDMA позволяет эффективно уменьшать помехи, создаваемые друг другу поднесущими, и в достаточной мере уменьшать помехи многолучевого распространения в пределах защитного интервала. Поэтому при использовании схемы OFDMA общее количество потенциальных символов, которые необходимо рассмотреть в приемном устройстве, представлено следующей формулой:

$2^{N\times B}$

При этом в схеме передачи с одной несущей, в которой нельзя избежать помех многолучевого распространения, общее количество потенциальных символов, которые необходимо рассмотреть, представлено следующей формулой:

$2^{N\times B\times P}$

Таким образом, при использовании схемы передачи с одной несущей количество потенциальных символов увеличивается экспоненциально в соответствии с количеством лучей распространения и в результате увеличивается сложность вычислений для детектирования сигнала. Это, в свою очередь, усложняет использование вместе со схемой передачи MIMO с одной несущей способа MLD, который обеспечивает высокую точность детектирования, но приводит к большой сложности вычислений. Такие способы детектирования сигнала, как способ детектирования с использованием обращения в нуль (ZF, zero forcing) и способ детектирования с использованием минимальной среднеквадратичной ошибки (MMSE, minimum mean squared error), не приводят к большой сложности вычислений, но могут уменьшить точность детектирования сигнала. Для достижения требуемого качества сигнала (требуемого отношения уровня сигнала к уровню помех и шумов, SINR) при малой точности детектирования сигнала в приемном устройстве необходимо увеличить мощность передачи сигналов. Однако, так как одной из целей использования схемы передачи с одной несущей является уменьшение отношения пиковой мощности к средней мощности (PAPR) и экономия тем самым заряда батареи, увеличивать мощности передачи нежелательно.

Одной из целей настоящего изобретения является повышение точности детектирования сигнала в приемном устройстве в системе мобильной связи, в которой используется схема MIMO с одной несущей и схема SC-FDMA.

Раскрытие изобретения

В аспекте настоящего изобретения предлагается система мобильной связи, в которой используется схема передачи MIMO с одной несущей и которая включает передающее устройство и приемное устройство.

Передающее устройство включает модуль отображения, выполненный с возможностью отображения подвергнутых преобразованию Фурье и взвешенных символов в передаваемой символьной последовательности на поднесущие, модуль обратного преобразования Фурье, выполненный с возможностью осуществления обратного преобразования Фурье над отображенными символами, и модуль передачи, выполненный с возможностью передачи сигнала, включающего подвергнутые обратному преобразованию Фурье символы, из множества передающих антенн.

Приемное устройство включает модуль извлечения, выполненный с возможностью

осуществления преобразования Фурье над сигналами, принятыми множеством приемных антенн, и извлечения из сигналов компонентов сигналов, отображенных на поднесущие, и модуль детектирования сигнала, выполненный с возможностью оценки символов, переданных посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов.

Модуль детектирования сигнала включает модуль разложения, выполненный с возможностью получения единичной матрицы, такой что произведение единичной матрицы (весовой матрицы, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими) и матрицы каналов, указывающей на состояния каналов радиосвязи между передающими антеннами и приемными антеннами, равно треугольной матрице, и модуль оценки, выполненный с возможностью оценки потенциальных символов, передаваемых из передающих антенн, на основании треугольной матрицы и вектора, полученного путем умножения на единичную матрицу принятого вектора, который включает компоненты сигнала, принятые приемными антеннами.

Аспект настоящего изобретения позволяет повысить точность детектирования сигнала в приемном устройстве в системе мобильной связи, в которой используется схема MIMO с одной несущей и схема SC-FDMA.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 представляет собой схему, на которой показана система мобильной связи в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

Фиг.2 представляет собой неполную функциональную схему передающего устройства.

Фиг.3 представляет собой схему, на которой показаны вычисления, выполняемые модулем 21 дискретного преобразования Фурье;

Фиг.4 представляет собой неполную функциональную схему приемного устройства.

Фиг.5 представляет собой схему, на которой показан пример конструкции модуля детектирования сигнала.

Фиг.6 представляет собой функциональную схему приемного устройства.

Фиг.7 представляет собой схему, на которой показано, что уровень сложности при определении комбинаций символов изменяется в зависимости от степени корреляционной связи затухания.

Перечень обозначений:

50 - сота;

100 - терминал пользователя (UE);

200 - базовая станция (eNB);

300 - шлюз доступа;

400 - базовая сеть;

21 - модуль дискретного преобразования Фурье (ДПФ, DFT);

22 - модуль отображения частотной области;

23 - модуль обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ, IFFT);

24 - модуль добавления защитного интервала;

41 - модуль удаления защитного интервала (-CP);

42 - модуль быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT);

43 - модуль обратного отображения частотной области;

44 - модуль детектирования сигнала;

62 - модуль оценки канала;

64 - модуль управления перестановкой;

210 - модуль QR-разложения;
212 - модуль преобразования сигнала;
214 - модуль детектирования с использованием максимального правдоподобия;
215 - выходной модуль правдоподобия;
216-1 - 261-4 - модуль определения.

Осуществление изобретения

В аспекте настоящего изобретения предлагается приемное устройство для системы мобильной связи, в которой используется схема передачи MIMO с одной несущей и схема SC-FDMA. Приемное устройство включает модуль извлечения, выполненный с возможностью осуществления преобразования Фурье над сигналами, принятыми множеством приемных антенн, и извлечения из сигналов компонентов сигналов, отображенных на поднесущие, и модуль детектирования сигнала, выполненный с возможностью оценки символов, переданных посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов. Модуль детектирования сигнала включает модуль разложения, выполненный с возможностью получения единичной матрицы Q^H, такой, что произведение единичной матрицы Q^H, весовой матрицы W, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими, и матрицы H каналов, указывающей на состояния каналов радиосвязи между передающими антеннами и приемными антеннами, равно треугольной матрице R, и модуль оценки, выполненный с возможностью оценки потенциальных символов x, передаваемых из передающих антенн, на основании треугольной матрицы R и вектора, полученного путем умножения на единичную матрицу Q^H принятого вектора Y, который включает компоненты сигнала, принятые приемными антеннами.

Использование алгоритма QR-разложения в приемном устройстве в системе мобильной связи, в которой используется схема MIMO с одной несущей, позволяет уменьшить сложность вычислений при детектировании сигнала, а также повысить точность детектирования сигнала. Повышение точности детектирования сигнала, в свою очередь, позволяет уменьшить мощность передачи, необходимую для достижения требуемого качества связи. Этот подход особенно предпочтителен, когда передающим устройством является терминал пользователя. Использование алгоритма QR-разложения также позволяет эффективно осуществлять операцию выравнивания в частотной области и операцию разделения сигналов на основании, например, способа MLD.

Модуль детектирования сигнала может дополнительно включать модуль определения, выполненный с возможностью вычисления метрик (metrics) соответствующих потенциальных символов и уменьшения количества потенциальных символов на основании указанных метрик. Метрики могут указывать на квадратичные евклидовы расстояния между принятыми символами и потенциальными символами в пространстве символов. Таким образом, уменьшение сложности вычислений при детектировании сигнала позволяет использовать способ MLD вместе со схемой передачи MIMO с одной несущей. Это, в свою очередь, позволяет еще больше повысить точность детектирования сигнала.

Приемный модуль может дополнительно включать модуль управления перестановкой, выполненный с возможностью подачи сигнала управления на вход модуля разложения для перестановки строк и столбцов матричного произведения матрицы каналов и весовой матрицы. В этом случае модуль разложения может быть выполнен с возможностью получения треугольной матрицы и единичной матрицы,

таких, что произведение треугольной матрицы и единичной матрицы равно матричному произведению, строки и столбцы которого переставлены в соответствии с сигналом управления.

Модуль управления перестановкой может быть выполнен с возможностью формирования сигнала управления, такого что, когда модуль оценки оценивает символы в соответствии с M-алгоритмом, символы от одной из передающих антенн, соответствующей большей мощности приема, оцениваются перед символами из другой антенны из числа передающих антенн, соответствующей меньшей мощности приема.

В другом варианте модуль управления перестановкой может быть выполнен с возможностью формирования сигнала управления, такого, что модуль оценки оценивает первый компонент поднесущей из числа символов, переданных из первой из передающих антенн, и затем оценивает первый компонент поднесущей из числа символов, переданных из второй из передающих антенн.

Несмотря на то что в приведенном выше описании для облегчения понимания использованы конкретные значения, эти значения являются лишь примерами и также могут использоваться другие подходящие значения, если не указано иное.

Далее в качестве предпочтительных вариантов осуществления приведено описание следующих аспектов настоящего изобретения.

1. Система.
2. Передающее устройство.
3. Приемное устройство.
4. Работа.
5. Конструкция модуля детектирования сигнала.
6. Первый вариант.
7. Второй вариант.
8. Второй вариант, первый способ, второй способ.

Первый вариант осуществления

1. Система

На фиг.1 показана схема системы мобильной связи в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Как показано на фиг.1, система мобильной связи включает соту 50, терминалы 100_1, 100_2 и 100_3 пользователя (могут называться совместно терминалом 100 пользователя) в соте 50, базовую станцию 200, шлюз 300 доступа и базовую сеть 400. В этом варианте осуществления предполагается, что один или несколько терминалов 100_1, 100_2 и 100_3 пользователя осуществляют радиосвязь с базовой станцией 200 в соответствии со схемой MIMO. Терминал 100 пользователя обычно является мобильной станцией, но также может быть реализован как неподвижная станция. Также предполагается, что для восходящей линии связи в системе мобильной связи используется схема SC-FDMA (или схема OFDM с расширением спектра с использованием дискретного преобразования Фурье, DFT-spread OFDM). В другом варианте схема SC-FDMA может использоваться в системе мобильной связи для нисходящей линии связи.

2. Передающее устройство

На фиг.2 показано передающее устройство для системы мобильной связи в соответствии с этим вариантом осуществления. В этом варианте осуществления предполагается, что передающее устройство встроено в терминал 100 пользователя. В другом варианте передающее устройство может быть встроено в базовую станцию 200. Как показано на фиг.2, передающее устройство включает модуль 21 дискретного преобразования Фурье (ДПФ, DFT), модуль 22 отображения частотной

области, модуль 23 обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ, IFFT) и модуль 24 добавления защитного интервала (+CP).

Модуль 21 дискретного преобразования Фурье принимает символьную последовательность, подлежащую передаче, и одновременно подвергает дискретному преобразованию Фурье заданное количество символов. Как правило, символьная последовательность может в том числе являться рядом символов, кодированных с исправлением ошибок и модулированных данными. Модуль 21 дискретного преобразования Фурье подвергает дискретному преобразованию Фурье заданное количество (N_{DFT}) символов одновременно и тем самым преобразовывает символьную последовательность во временной области в сигнал в частотной области. Здесь N_{DFT} указывает на величину окна или величину блока для дискретного преобразования Фурье.

На фиг.3 показана схема, иллюстрирующая вычисления, выполняемые модулем 21 дискретного преобразования Фурье. На фиг.3 x_1 в левой части указывает на сигнал (символьную последовательность), подлежащий передаче из первой передающей антенны из числа N_{TX} передающих антенн. Сигналы x_2, x_3,…, x_{NTX}, подлежащие передаче из второй, третьей,…, N_{TX}-й передающих антенн, на фиг.3 опущены для краткости. При этом символьная последовательность x_1 указывает на N_{DFT} символов одновременно. Например, символьная последовательность x_1 включает N_{DFT} символов, связанных с точкой в пространстве символов. Дискретное преобразование Фурье эквивалентно взвешенному сложению N_{DFT} символов. Как показано на фиг.3, символьная последовательность x_1, включающая N_{DFT} символов (=x_{11}, x_{12}, …, x_{1NDFT}), преобразуется модулем последовательно-параллельного преобразования (S/P), каждый из N_{DFT} символов умножается на заданный весовой коэффициент w_{1j}, и умноженные символы складываются вместе для получения сигнала $w_1 \cdot x_1$ первой поднесущей. Так же получаются сигнал $w_2 \cdot x_1$ второй поднесущей и последующие сигналы поднесущих, подлежащие отображению на соответствующие поднесущие. Посредством указанных выше вычислений подготавливаются N_{DFT} компонентов поднесущих для всех поднесущих, подлежащих одновременной передаче из первой передающей антенны. Такие же вычисления также выполняются для сигналов с x_2 по x_{NTX}, подлежащих передаче из других передающих антенн.

Модуль 22 отображения частотной области, показанный на фиг.2, отображает подвергнутые дискретному преобразованию Фурье символы на соответствующие поднесущие. Например, когда для восходящей линии связи осуществляется частотное планирование, модуль 22 отображения частотной области отображает символы на доступные элементы ресурсов. Доступные элементы ресурсов указаны, например, информацией планирования, включенной в информацию управления, принятую передающим устройством. Для отображения символов на поднесущие может использоваться любой подходящий способ. Простейшим способом может быть отображение подвергнутых дискретному преобразованию Фурье N_{DFT} символов на N_{DFT} поднесущих в направлении от низких частот к высоким частотам.

Модуль 23 обратного быстрого преобразованию Фурье подвергает символы, отображенные на поднесущие, обратному быстрому преобразованию Фурье для преобразования сигнала в частотной области в сигнал (передаваемые символы) во временной области.

Модуль 24 добавления защитного интервала прикрепляет защитные интервалы к передаваемым символам и подает передаваемые символы с защитными интервалами на вход модуля формирования передаваемого сигнала (не показан), который следует

далее. Защитные интервалы могут формироваться схемой циклического префикса (CP).

3. Приемное устройство

На фиг.4 показано приемное устройство для системы мобильной связи в соответствии с этим вариантом осуществления. Как показано на фиг.4, приемное устройство включает модуль 41 удаления защитного интервала (-CP), модуль 42 быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT), модуль 43 обратного отображения частотной области и модуль 44 детектирования сигнала.

Модуль 41 удаления защитного интервала удаляет защитные интервалы из принятого сигнала основной полосы частот.

Модуль 42 быстрого преобразования Фурье подвергает принятый сигнал быстрому преобразованию Фурье и тем самым преобразовывает принятый сигнал во временной области в сигнал в частотной области.

Модуль 43 обратного отображения частотной области выполняет над сигналом в частотной области операцию, комплементарную операции, выполняемой модулем 22 отображения частотной области передающего устройства, и тем самым извлекает компоненты сигнала, отображенные на поднесущие.

Модуль 44 детектирования сигнала уменьшает количество потенциальных передаваемых символов на основании компонентов сигналов, отображенных на поднесущие, и идентифицирует передаваемые символы.

4. Работа

Работа модуля 44 детектирования сигнала описана ниже. В последующем описании предполагается, что передаваемая символьная последовательность, подлежащая подаче на вход модуля 21 дискретного преобразования Фурье и передаче из n-й передающей антенны передающего устройства, показанного на фиг.2, обозначена как x_n. Передаваемая символьная последовательность x_n включает N_{DFT} символов. Здесь N_{DFT} указывает на величину окна (или величину блока) для дискретного преобразования Фурье.

$$x_n=[x_{n1}\ x_{n2}\ldots x_{nNDFT}]^T$$

В этой формуле «T» указывает на транспозицию, n указывает на натуральное число, меньшее или равное N_{TX}, а N_{TX} указывает на количество передающих антенн.

Весовые коэффициенты w_i, подлежащие использованию для i-й поднесущей (i указывает на натуральное число, меньшее или равное N_{DFT}), представлены следующей формулой:

$$w_i=[w_{i1}\ w_{i2}\ \cdots\ w_{iNDFT}]^T$$

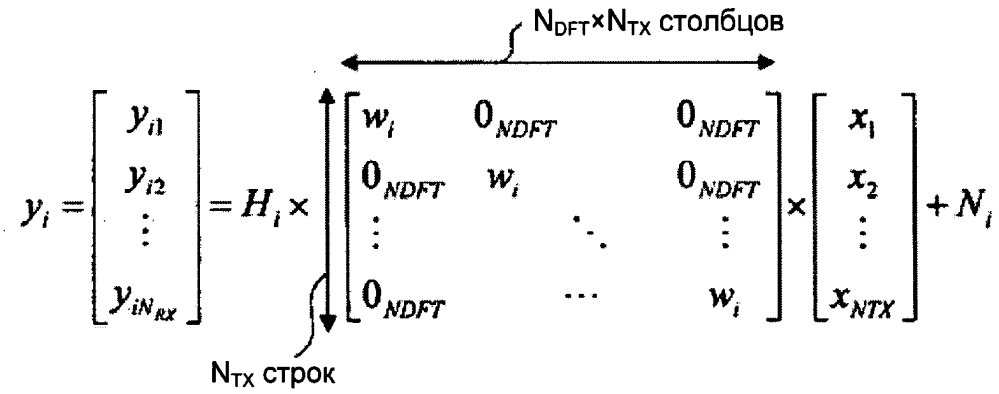
Все сигналы, принятые в данный момент времени посредством N_{RX} приемных антенн приемного устройства, показанного на фиг.3, определены следующей формулой:

$$Y=[y_1\ y_2\ \cdots\ y_{NDFT}]^T$$

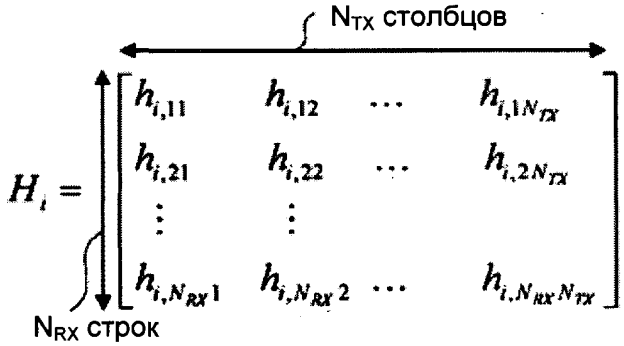
В этой формуле y_i указывает на сигналы i-й поднесущей, принятой соответствующими N_{RX} приемными антеннами, и определяется следующей формулой:

$$y_i=[y_{i1}\ y_{i2}\ \cdots\ y_{iNRX}]^T$$

Принятые сигналы y_i i-й поднесущей также могут быть представлены следующей формулой:



В указанной выше формуле H_i указывает на матрицу каналов, указывающую на состояния каналов радиосвязи для i-й поднесущей. Матрица H_i каналов может быть представлена следующей формулой:



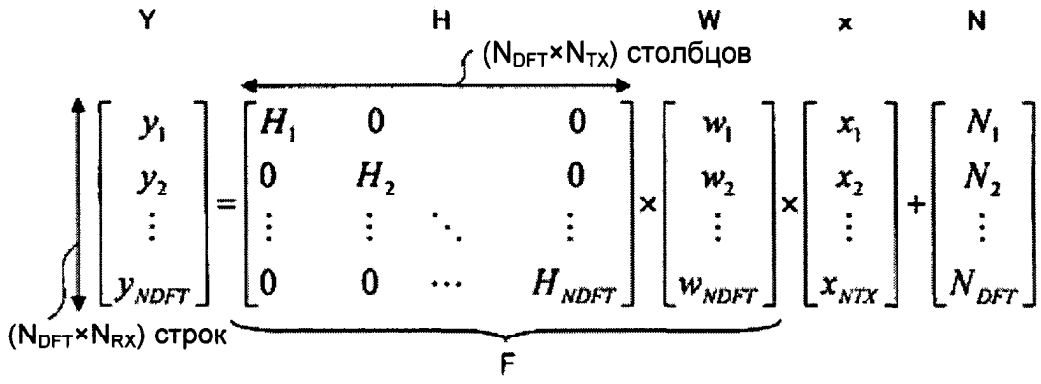
Матрица H_i каналов имеет размерность N_{RX} строк на N_{TX} столбцов. N_{RX} указывает на общее количество приемных антенн, а N_{TX} указывает на количество передающих антенн. Матричный элемент $h_{i,pq}$ матрицы H_i каналов указывает на одно из состояний каналов (передаточных функций), которое соответствует i-й поднесущей, между p-й приемной антенной и q-й передающей антенной. Матричные элементы матрицы H_i каналов могут быть получены, например, на основании условий приема пилотного сигнала.

В приведенной выше формуле w_i является вектором, представляющим весовые коэффициенты, описанные выше, а 0_{NDFT} является нулевым вектором, имеющим N_{DFT} элементов.

Также x_n указывает на сигнал, переданный из n-й передающей антенны.

Кроме того, N_i указывает на компонент помех для i-й поднесущей.

Все наборы из N_{DFT} компонентов поднесущих, принятых N_{RX} приемными антеннами, представлены следующей формулой:



$$Y = H \times W \times x + N \ldots (1)$$

Сигналы, представленные формулой (1), подаются на вход модуля 44 детектирования сигнала, показанного на фиг.4.

Сначала получаются единичная матрица Q и верхняя треугольная матрица R, такие, что произведение матрицы H каналов и весовой матрицы W выражается произведением единичной матрицы Q и верхней треугольной матрицы R (HW=QR).

$$H \times W = Q \times R \ldots (2)$$

Верхняя треугольная матрица R является квадратной матрицей из M строк и M столбцов ($M=N_{DFT} \times N_{TX}$), в которой все матричные элементы $r_{ij}(i>j)$ равны нулю.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1M} \\ 0 & r_{22} & \cdots & r_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ 0 & 0 & \cdots & r_{MM} \end{bmatrix} \left(M = N_{DFT} \times N_{TX}\right)$$

В настоящей заявке, если матрица A является единичной, матрица A удовлетворяет условию $A^H A = AA^H = 1$. Соответственно, матрица A не обязательно квадратная. Также в настоящей заявке прописная «H» указывает на матрицу каналов, а надстрочная «H» указывает на сопряженную транспозицию.

При умножении слева обеих частей формулы (1) на Q^H левая часть может быть выражена следующим образом:

$z=Q^H Y$

При этом правая часть может быть выражена следующим образом:

$$Q^H \times (H \times W \times x + N) = Q^H \times (Q \times R \times x + N) = R \times x + Q^H N \ldots (3)$$

Поэтому, если не учитывать помехи, умноженные на единичную матрицу, принятые сигналы z могут быть выражены через R×x.

$$z = R \times x \ldots (4)$$

Так как R является верхней треугольной матрицей, то M-й компонент сигнала ($M=N_{DFT} \times N_{TX}$) может быть выражен следующим образом:

$$z_M = r_{MM} \times x_M \ldots (5)$$

Это указывает на то, что M-й компонент x_M сигнала может быть оценен довольно просто без учета помех от сигналов других поднесущих и/или других передающих антенн.

На первом этапе операции оценки передаваемых символов количество потенциальных передаваемых символов компонента x_M сигнала уменьшается по формуле (5). При этом компонент сигнала x_M соответствует точке сигнала в пространстве символов. Например, при использовании QPSK существует четыре возможности (или потенциальных символа), а при использовании 64 QAM существует 64 возможности (или потенциальных символа). Для каждого из всех возможных потенциальных символов в качестве метрик отбора вычисляется квадратичное евклидово расстояние между умноженным на единичную матрицу принятым сигналом z_M и $r_{MM} \times$ (потенциальный символ $x_M=s_M(x)$).

$$el(x) = |z_M - r_{MM} \times s_M(x)|^2 \ldots (6)$$

Из числа полученных метрик отбора выбираются наименьшие S1 ($S1 \leq C$) потенциальные символы, а другие потенциальные символы отбрасываются. При этом C указывает на общее количество точек сигналов (общее количество возможных

потенциальных символов) в пространстве символов.

На втором этапе операции оценки передаваемых символов используется следующая формула, полученная из формулы (4):

$$z_{M-1} = r_{M-1M-1} \times x_{M-1} + r_{M-1M} \times x_M \quad \ldots (7)$$

S1 потенциальных символов, полученных на первом этапе, заменены на x_M. Также существует всего C потенциальных символов для x_{M-1}. Поэтому метрики отбора вычисляются как на первом этапе для всех комбинаций (S1×C) из x_M и x_{M-1}.

$$e2(s_M(x), s_{M-1}(x)) = | z_{M-1} - (r_{M-1M-1} \times s_{M-1}(x) + r_{M-1M} \times s_M(x)) |^2 + e1(x) \ldots (8)$$

Второй член в правой части выражения (8) указывает на метрики отбора, полученные на первом этапе. Из числа метрик $e2(s_M(x),s_{M-1}(x))$ отбора выбираются наименьшие потенциальные символы S2 (S2≤S1C), а другие потенциальные символы отбрасываются.

Подобные этапы повторяются, и количество метрик отбора увеличивается от этапа к этапу. Затем на последнем этапе комбинация передаваемых символов, соответствующих наименьшей метрике, оценивается как фактически передаваемые символы.

5. Конструкция модуля детектирования сигнала

На фиг.5 показана конструкция модуля 44 детектирования сигнала, показанного на фиг.4, который главным образом выполняет операцию, описанную в пункте «4. Работа». Модуль 44 детектирования сигнала включает модуль 210 QR-разложения, модуль 212 преобразования сигнала, модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия и выходной модуль 215 максимального правдоподобия. Модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия включает четыре модуля 216-1, 216-2, 216-3 и 216-4 определения. Для простоты на фиг.5 показаны только четыре модуля определения. Однако в зависимости от количества передаваемых сигналов может быть выполнено любое количество модулей определения. Модули 216-1, 216-2, 216-3 и 216-4 определения включают, по существу, одинаковые функциональные блоки, поэтому для дальнейшего описания в качестве примера выбран модуль 216-4 определения. Модуль 216-4 определения включает модуль 218-4 формирования опорного символа, модуль 220-4 вычисления квадратичного евклидового расстояния и модуль 222-4 выбора отобранных потенциальных символов.

Каждый функциональный элемент, показанный на фиг.5 и других фигурах, может быть выполнен с использованием аппаратных средств, программных средств или их комбинации.

Модуль 210 QR-разложения получает единичную матрицу Q и верхнюю треугольную матрицу R, такие, что произведение матрицы H каналов и весовой матрицы W выражается произведением единичной матрицы Q и верхней треугольной матрицы R (HW=QR).

Модуль 212 преобразования сигнала умножает вектор Y, включающий в качестве элементов множество принятых сигналов, на сопряженную транспонированную матрицу Q^H единичной матрицы Q для преобразования принятых сигналов. Если не учитывать помехи, умноженные на единичную матрицу, принятые сигналы могут быть выражены как произведение верхней треугольной матрицы R и последовательности передаваемых символов x.

z=Rx

Модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия

уменьшает количество потенциальных символов передаваемых сигналов с помощью способа детектирования с использованием максимального правдоподобия.

Модуль 218-4 формирования опорного символа модуля 216-4 определения формирует потенциальные символы передаваемого сигнала, соответствующие принятому сигналу, путем использования матричных элементов x_4 верхней треугольной матрицы R. Количество потенциальных символов определяется C.

Модуль 220-4 вычисления квадратичного евклидового расстояния вычисляет квадратичное евклидово расстояние между умноженным на единичную матрицу принятым сигналом z_i и C потенциальными символами. Квадратичное евклидово расстояние представляет метрики отбора, используемые для вычисления правдоподобия.

Модуль 222-4 выбора отобранных потенциальных символов выбирает S1 ($\leq$C) потенциальных символов на основании квадратичных евклидовых расстояний и получает на выходе выбранные потенциальные символы в качестве отобранных потенциальных символов.

Выходной 215 модуль правдоподобия вычисляет правдоподобие потенциальных символов, полученных с выхода модуля выбора отобранных потенциальных символов последней ступени. Правдоподобие выражается, например, логарифмическим отношением правдоподобия (LLR). Выход из выходного модуля 215 правдоподобия указывает на результаты разделения сигналов и подается в модуль демодуляции (например, модуль турбокодирования), который описан далее.

6. Первый вариант

В приведенном выше варианте осуществления выражение F=H×W подвергается QR-разложению. Однако настоящее изобретение не ограничивается приведенным выше вариантом осуществления. Например, QR-разложению может подвергаться матрица G в соответствии со следующей формулой:

$$G = \begin{bmatrix} F \\ \sqrt{N_0} I \end{bmatrix}$$

В приведенной выше формуле No указывает на среднюю измеренную мощность помех в приемном устройстве, а I указывает на единичную матрицу из N_{TX} строк и N_{TX} столбцов. В этом случае единичная матрица Q имеет размерность $N_{DFT}(N_{TX}+N_{RX})$ строк на $(N_{DFT}\times N_{TX})$ столбцов. Верхняя треугольная матрица R является квадратной матрицей из $(N_{DFT}\times N_{TX})$ строк и $(N_{DFT}\times N_{TX})$ столбцов, то есть имеет ту же размерность, что и в приведенном выше варианте осуществления.

В приведенном выше варианте осуществления Y представляется вектором из $(N_{DFT}\times N_{RX})$ строк и одного столбца. При этом в настоящем варианте принятые сигналы Y' представлены вектором из $(N_{DFT}\times(N_{TX}+N_{RX}))$ строк и одного столбца, в котором $N_{DFT}+N_{TX}$ компонентов являются нулями.

$$Y' = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{NDFT} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \updownarrow N_{DFT} \times N_{RX} \\ \\ \\ \\ \updownarrow N_{DFT} \times N_{TX} \\ \\ \end{matrix}$$

Использование модифицированного вектора Y' принятого сигнала и матрицы G предпочтительно при выполнении MMSE QR-разложения или ZF QR-разложения.

7. Второй вариант

Как описано в разделе «4. Работа», при передаче символов с использованием N_{DFT} поднесущих из N_{TX} передающих антенн, принятые сигналы Y выражаются следующим образом без учета помех:

$$Y = H \times W \times x = F \times x \ldots (9)$$

В формуле (9) H указывает на матрицу каналов, W указывает на весовую матрицу, представляющую взвешивание в направлении оси частот, выполняемое модулем 21 дискретного преобразования Фурье, F указывает на матричное произведение матрицы H каналов и весовой матрицы W, и x указывает на передаваемые символы. В приведенном выше описании работы матричное произведение F подвергается QR-разложению, и передаваемые символы оцениваются последовательно в соответствии с M-алгоритмом. Количество этапов в M-алгоритме равно $N_{TX} \times N_{DFT}$. Принятые символы Y умножаются на единичную матрицу Q^H, и символы оцениваются последовательно, начиная с наименьшего символа.

$$Q^H Y = Q^H \times (H \times W \times x) = Q^H \times (Q \times R \times x) = R \times x \ldots (10)$$

В формуле (10) R указывает на верхнюю треугольную матрицу, имеющую $N_{DFT} \times N_{TX}$ строк и $N_{DFT} \times N_{TX}$ столбцов.

При этом произведение матрицы A и вектор-столбца s равно произведению матрицы A', полученной путем перестановки столбцов в матрице A, и вектор-столбца s', полученного путем перестановки элементов в вектор-столбце s соответствующим образом.

$$A \times s = A' \times s'$$

Например, когда матрица A имеет две строки и два столбца, а вектор-столбец s имеет две строки и один столбец ($s=(s1\ s2)^T$), выполняется следующее равенство:

$$As = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} as_1 + bs_2 \\ cs_1 + ds_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} bs_2 + as_1 \\ ds_2 + cs_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & a \\ d & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_2 \\ s_1 \end{bmatrix} = A's'$$

В этой зависимости также находятся матрицы большей размерности. Перестановка столбцов в матрице может выполняться любым образом при условии, что элементы вектор-столбца переставляются соответствующим образом. Во втором варианте описанное выше QR-разложение выполняется на основании следующего свойства.

$$Y = H \times W \times x = F \times x = F' \times x' \ldots (9)$$

Матрица F' получается путем перестановки столбцов в матрице F(=H×W) с помощью заданного способа. Вектор-столбец x' получается путем перестановки элементов вектор-столбца x с помощью способа, соответствующего способу перестановки для матрицы F.

На этапах M-алгоритма выбор потенциальных опорных символов выполняется для символов в порядке возрастания их позиций в векторе передаваемых символов. Порядок оценки символов сильно влияет на точность выбора отобранных потенциальных опорных символов. Во втором варианте столбцы матрицы F переставляются для повышения точности выбора отобранных потенциальных опорных символов и повышения тем самым точности оценки символов.

Строки и столбцы матрицы относительны. Поэтому, когда передаваемые символы определены вектор-строкой, в матрице F могут переставляться строки. Другими словами, несмотря на то что в приведенных выше примерах передаваемые символы определены вектор-строкой, общий характер настоящего изобретения сохраняется.

На фиг.6 показана конструкция приемного устройства, показанного на фиг.4. Как показано на фиг.6, приемное устройство включает модуль(и) 41 удаления защитного интервала, модуль(и) 42 быстрого преобразования Фурье (БПФ) (модуль(и) БПФ и обратного отображения), модуль 210 QR-разложения, модуль 212 преобразования сигнала, модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия, выходной 215 модуль правдоподобия, модуль 62 оценки канала и модуль 64 управления перестановкой.

Модуль 41 удаления защитного интервала удаляет защитные интервалы из принятого сигнала основной полосы частот.

Модуль 42 быстрого преобразования Фурье (модуль БПФ и обратного отображения) подвергает принятый сигнал быстрому преобразованию Фурье и тем самым преобразовывает принятый сигнал во временной области в сигнал в частотной области. При этом для упрощения описания предполагается, что модуль 42 быстрого преобразования Фурье (модуль БПФ и обратного отображения) выполняет как быстрое преобразование Фурье, так и обратное отображение. В другом варианте модуль быстрого преобразования Фурье и модуль обратного отображения могут быть выполнены раздельно.

Модуль 62 оценки канала оценивает состояния каналов радиосвязи для соответствующих поднесущих и получает матрицу H каналов для каждой поднесущей. Соответственно, матрицы H состояния каналов всех поднесущих образуют матрицу из $N_{RX} \times N_{DFT}$ строк и $N_{TX} \times N_{DFT}$ столбцов. Матричные элементы матрицы H каналов могут быть получены, например, на основании условий приема пилотного сигнала.

Модуль 210 QR-разложения получает единичную матрицу Q и верхнюю треугольную матрицу R на основании матрицы H каналов, весовой матрицы W и сигнала управления из модуля 64 управления перестановкой. Более конкретно, модуль 210 QR-разложения получает матрицу F' путем перестановки столбцов матричного произведения F матрицы H каналов и весовой матрицы W в соответствии с сигналом управления. Затем модуль 210 QR-разложения получает единичную матрицу Q и верхнюю треугольную матрицу R, такие что матрица F' выражается произведением единичной матрицы Q и верхней треугольной матрицы R(F'=QR).

Модуль 212 преобразования сигнала умножает вектор Y, включающий в качестве элементов множество принятых сигналов, на сопряженную транспонированную матрицу Q^H единичной матрицы Q для преобразования принятых сигналов. Если не учитывать помехи, умноженные на единичную матрицу принятые сигналы могут быть

выражены как произведение верхней треугольной матрицы R и передаваемой символьной последовательности x.

$z=Q^{H}Y=Rx$

Модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия уменьшает количество потенциальных символов передаваемых сигналов с помощью способа детектирования с использованием максимального правдоподобия. Модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия вычисляет метрики ветви для принятых сигналов, умноженных на единичную матрицу $Q^{H}(Q^{H}Y(=Rx))$, последовательно, начиная с меньших символов. Метрики ветви представляются квадратичными евклидовыми расстояниями между принятыми сигналами и потенциальными символами. Модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия выбирает в качестве отобранных потенциальных символов заданное количество (M) потенциальных символов в порядке возрастания суммарных метрик ветви и переходит на следующий этап. На каждом из $N_{TX}\times N_{DFT}$ этапов модуль 214 детектирования с использованием максимального правдоподобия вычисляет метрики ветви и выбирает отобранные потенциальные символы.

Выходной 215 модуль правдоподобия вычисляет правдоподобие потенциальных символов, полученных с выхода модуля выбора отобранных потенциальных символов последней ступени. Правдоподобие выражается, например, логарифмическим отношением правдоподобия (LLR). Выход из выходного модуля 215 правдоподобия указывает на результаты разделения сигналов и подается в модуль демодуляции, который описан далее.

Модуль 64 управления перестановкой подает на вход модуля 210 QR-разложения сигнал управления. Сигнал управления указывает на способ перестановки столбцов матричного произведения F матрицы H каналов и весовой матрицы W. Формула (9), описанная выше, используется независимо от способа перестановки. Не существует одного способа перестановки, подходящего для всех случаев. Поэтому подходящий способ перестановки определяется на основании определенного критерия. Как описано далее, столбцы матрицы F могут переставляться на основании мощности приема (в приемном устройстве) передаваемых символов (первый способ) и/или на основании поднесущих (второй способ).

8. Второй вариант, первый способ

Далее описан первый способ (перестановка в соответствии с передающими антеннами) второго варианта. В первом способе столбцы матричного произведения F переставляют на основании мощности приема передаваемых символов в приемном устройстве. На k-м этапе ($1\leq k\leq N_{TX}N_{SF}$) операции оценки символов в соответствии с M-алгоритмом используют символы, оцененные на этапах с первого по (k-1)-й и k-ую строку верхней треугольной матрицы R. Это указывает на то, что выбор отобранных потенциальных опорных символов для передаваемых символов с первого по k-й выполняют на основании суммы квадратов (мощности сигналов) элементов с $(N_{TX}N_{SF}-k+1)$-й стройки по $N_{TX}N_{SF}$-ую строку $(N_{TX}N_{SF}-k+1)$-го столбца в матрице R. Поэтому на ранних этапах (в частности, на первом этапе) операция оценки проще, но вероятность выбора неправильных потенциальных опорных символов также велика. В первом способе измеряют уровни мощности приема передаваемых символов из соответствующих передающих антенн, и большие приоритеты присваивают передаваемым символам с большими уровнями мощности приема. Это происходит потому, что вероятность выбора неправильных потенциальных опорных символов

уменьшается по мере увеличения мощности приема. Порядки столбцов матричного произведения F и компонентов (поднесущих) передаваемой символьной последовательности x определяют так, что достигаются указанные выше приоритеты.

В схеме мультиплексирования DFT-MIMO, в которой используют расширение частотной области в соответствии с этим способом, количество подвергнутых мультиплексированию с кодовым разделением передаваемых символьных последовательностей соответствует количеству передающих антенн. Компоненты передаваемой символьной последовательности, передаваемой из одной и той же передающей антенны, имеют одинаковую мощность приема. В этом способе определяют передающую антенну, обеспечивающую большую мощность приема, и символы, переданные из определенной передающей антенны предпочтительно оценивают перед символами из других передающих антенн. Для измерения уровней мощности приема символов из соответствующих передающих антенн можно использовать любой подходящий способ. Например, для этой цели можно использовать матричные элементы матрицы каналов. Как описано выше, матрица H_i каналов для i-й поднесущей имеет размерность N_{RX} строк на N_{TX} столбцов. N_{RX} указывает на общее количество приемных антенн, а N_{TX} указывает на количество передающих антенн. Матричный элемент $h_{i,pq}$ матрицы H_i каналов указывает на одно из состояний каналов (передаточных функций), которое соответствует i-й поднесущей, между p-й приемной антенной и q-й передающей антенной. Поэтому сумма $|h_{i,pq}|^2$ всех приемных антенн ($p=1\text{-}N_{RX}$) может использоваться для оценки мощности приема символа из q-й передающей антенны. Предположим, что $N_{TX}=N_{RX}=2$ и $N_{DFT}=3$. В этом случае для i-х поднесущих (i=1, 2, 3) справедливы следующие формулы:

$$r_{i1}=h_{i,11}x_1+h_{i,12}x_2$$

$$r_{i2}=h_{i,21}x_1+h_{i,22}x_2$$

Мощность приема символов из первой передающей антенны может быть оценена по следующей формуле:

$$P_{Tx1}=|h_{i,11}|^2+|h_{i,21}|^2$$

Мощность приема символов из второй передающей антенны также может быть оценена по следующей формуле:

$$P_{Tx2}=|h_{i,12}|^2+|h_{i,22}|^2$$

При этом предположим, что мощность приема символов из первой передающей антенны больше, чем мощность приема символов из второй передающей антенны ($P_{Tx1}>P_{Tx2}$). В соответствии с первым способом символы $x_1=(x_{11}\ x_{12}\ x_{13})^T$ из первой передающей антенны должны быть оценены перед символами $x_2=(x_{21}\ x_{22}\ x_{23})^T$ из второй передающей антенны. Для этой цели столбцы матричного произведения F' и компоненты передаваемой символьной последовательности x переставляют. Например, передаваемая символьная последовательность x' после перестановки представляется следующей формулой:

$$x'=(x_{21}\ x_{22}\ x_{23}\ x_{11}\ x_{12}\ x_{13})$$

В соответствии с приведенной выше формулой компоненты передаваемой символьной последовательности x_1 перемещают в нижние позиции в вектор-столбце, для того чтобы дать приоритет символам из первой передающей антенны. На этом этапе порядок, в котором оценивают компоненты x_{11}, x_{12} и x_{13} поднесущих в передаваемой символьной последовательности x_1, еще однозначно не определен. Например, компоненты x_{11}, x_{12} и x_{13} поднесущих можно оценивать в порядке возрастания номеров поднесущих. В этом случае передаваемая символьная

последовательность x' после перестановки представляется следующей формулой:

$$x'=(x_{23}\ x_{22}\ x_{21}\ x_{13}\ x_{12}\ x_{11})^T$$

Компоненты поднесущих также можно переставлять в любом другом порядке. В приведенных выше примерах номера антенн и номера поднесущих являются лишь примерами, и могут использоваться любые другие значения.

8. Второй вариант, второй способ

Далее описан второй способ второго варианта (перестановка в соответствии с поднесущими). При выборе отобранных потенциальных опорных символов с использованием M-алгоритма комбинация символов с большой корреляционной связью затухания создает значительную ошибку. Большая корреляционная связь затухания между символами указывает на то, что символы подвержены одинаковому уровню затухания. Маленькая корреляционная связь затухания между символами указывает на то, что символы подвержены разным уровням затухания. Например, корреляционная связь затухания представляется величиной, большей или равной 0 и меньшей или равной 1. Корреляционная связь затухания увеличивается по мере приближения величины к 1 и уменьшается по мере приближения величины к 0.

На фиг.7 показана схема, используемая для того, чтобы показать, что уровень сложности при определении комбинации символов изменяется в зависимости от степени корреляционной связи затухания. При этом предполагается, что количество передающих антенн N_{TX} и количество приемных антенн N_{RX} равно 2. Символ 1 (x_1) передают из первой передающей антенны. Символ 2 (x_2) передают из второй передающей антенны. Предполагается, что символы, передаваемые из передающих антенн, модулируют данными с использованием QPSK. В этом случае каждый сигнал является одной из четырех точек сигналов в пространстве сигналов. Другими словами, для каждого из символов 1 и 2 существует четыре потенциальных символа. Поэтому количество комбинаций равно 16. Символы 1 и 2 принимают в приемном устройстве как комбинированный сигнал (r_{i1}, r_{i2}). Как описано выше, передаваемые сигналы и принятые сигналы удовлетворяют следующим зависимостям:

$$r_{i1}=h_{i,11}\ x_1+h_{i,12}\ x_2$$

$$r_{i2}=h_{i,21}\ x_1+h_{i,22}\ x_2$$

Когда корреляционная связь затухания мала, символы подвержены разным уровням затухания. В этом случае, как показано в правой верхней части фиг.7, все 16 комбинаций символов для комбинированного принятого сигнала различимы. Поэтому точность выбора комбинации символов высока. При этом, когда корреляционная связь затухания высока, символы подвержены одному уровню затухания. В нижней части фиг.7 предполагается, что символы 1 и 2 подвержены одному уровню затухания. В этом случае, как показано в нижней правой части фиг.7, все 16 комбинаций символов для комбинированного принятого сигнала различимы лишь частично. В этом примере из-за перекрытия символов различимы только девять комбинаций. Вероятность перекрытия символов, указанных на фиг.7 надписями «два перекрывающихся символа» и «четыре перекрывающихся символа», не может быть определена из квадратичных евклидовых расстояний или фаз путем простого сравнения.

В схеме мультиплексирования DFT-MIMO, в которой используют расширение частотной области, подвергнутые мультиплексированию с кодовым разделением символы, передаваемые из одной антенны, подвергаются одному уровню затухания (корреляционная связь затухания становится большой).

Во втором способе по указанным выше причинам перестановку выполняют так,

что символы, подверженные одному уровню затухания, не оцениваются последовательно. Другими словами, порядок детектирования символов такой, что после оценки первого символа оценивается второй символ, подверженный другому уровню затухания, отличному от уровня затухания первого символа. Более конкретно, порядок детектирования символов задают так, что оценивают передаваемый символ из первой передающей антенны, а затем оценивают передаваемый символ из второй передающей антенны.

Степень корреляционной связи затухания может быть определена любым подходящим способом. Например, степень корреляционной связи затухания может быть определена на основании подобия амплитуд и фаз матричных элементов $h_{i,pq}$ матрицы каналов. Взяв i-ую поднесущую в качестве примера, при передаче пилотных сигналов размером 1 из a-й передающей антенны и b-й передающей антенны и приеме p-й приемной антенной, корреляционная связь затухания между двумя принятыми сигналами может быть оценена как $h_{i,pa}*h_{i,pb}$ (где «*» указывает на комплексное сопряжение). Очевидно, для определения степени корреляционной связи затухания может использоваться любой другой подходящий способ.

Когда порядок детектирования символов определен на основании корреляционной связи затухания, символы из передающих антенн могут быть оценены от одной поднесущей к другой. Как описано выше, сигналы, передаваемые из одной и той же антенны, подвержены одному уровню затухания и поэтому имеют большую корреляционную связь затухания. При этом сигналы, передаваемые из разных антенн, подвержены разным уровням затухания и поэтому имеют маленькую корреляционную связь затухания. По этим причинам, например, после оценки N_{TX} передаваемых символов (компонентов поднесущих), передаваемых с использованием i-й поднесущей, оцениваются следующие N_{TX} передаваемых символов, передаваемых с использованием i+1-й поднесущей. Подобные шаги повторяют, и символы с маленькой корреляционной связью затухания оценивают последовательно. Например, поднесущие выбирают последовательно в порядке возрастания номеров поднесущих, и для каждой выбранной поднесущей оценивают символы, передаваемые из всех передающих антенн.

Предположим, что $N_{TX}=N_{RX}=2$ и $N_{DFT}=3$. В этом случае передаваемая символьная последовательность x' после перестановки представляется следующей формулой:

$$x'=(x_{23}\ x_{13}\ x_{22}\ x_{12}\ x_{21}\ x_{11})^T$$

В указанной выше формуле компоненты поднесущих оценивают в порядке возрастания номеров поднесущих. Порядок оценки компонентов поднесущих не ограничивается порядком возрастания номеров поднесущих. Например, компоненты поднесущих могут оценивать в порядке убывания их уровней мощности приема. Предположим, что мощность приема второго компонента поднесущей больше, чем мощность приема третьего компонента поднесущей, и мощность приема третьего компонента поднесущей больше, чем мощность приема первого компонента поднесущей. Как описано в первом способе второго варианта, для повышения точности оценки предпочтительно располагать компоненты поднесущей в порядке убывания мощности приема. Поэтому передаваемая символьная последовательность x' после перестановки выражается следующим образом:

$$x'=(x_{21}\ x_{11}\ x_{23}\ x_{13}\ x_{22}\ x_{12})^T$$

В приведенных выше примерах номера антенн и номера поднесущих являются лишь примерами, и могут использоваться любые другие значения.

Настоящее изобретение не ограничивается конкретными изложенными вариантами

осуществления, и могут быть выполнены изменения и модификации без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Несмотря на то что в вышеприведенном описании для облегчения понимания использовались конкретные значения, эти значения являются лишь примерами и также могут использоваться другие значения, если не оговорено иное. Несмотря на то что в вышеприведенном описании для облегчения понимания использовались конкретные формулы, эти формулы являются лишь примерами и также могут использоваться другие формулы, если не оговорено иное. Различия между вариантами осуществления не существенны для настоящего изобретения, и варианты осуществления могут использоваться индивидуально или в комбинации. Объект, описанный в первом варианте осуществления, может быть применен к объекту, описанному в другом варианте осуществления, если они не противоречат друг другу. Несмотря на то что для описания устройств в приведенных выше вариантах осуществления использованы функциональные схемы, устройства могут быть выполнены с использованием аппаратных средств, программных средств или их комбинации.

По настоящей заявке испрашивается приоритет на основании заявки Японии №2008-24355, поданной 4 февраля 2008 г., все содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

По настоящей заявке испрашивается приоритет на основании заявки Японии №2008-315035, поданной 10 декабря 2008 г., все содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Формула изобретения

1. Приемное устройство для системы мобильной связи, в которой используется схема передачи MIMO с одной несущей и подвергнутые преобразованию Фурье взвешенные символы в передаваемой символьной последовательности отображаются на поднесущие, подвергаются обратному преобразованию Фурье и затем передаются из множества передающих антенн, содержащее:

модуль извлечения, выполненный с возможностью осуществления преобразования Фурье над сигналами, принятыми множеством приемных антенн, и извлечения из сигналов компонентов сигналов, отображенных на поднесущие; и

модуль детектирования сигнала, выполненный с возможностью оценки символов, переданных посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов;

причем модуль детектирования сигнала включает

модуль разложения, выполненный с возможностью получения единичной матрицы, такой что произведение единичной матрицы и треугольной матрицы равно произведению весовой матрицы, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими, и матрицы каналов, указывающей на состояния каналов радиосвязи между передающими антеннами и приемными антеннами; и

модуль оценки, выполненный с возможностью оценки потенциальных символов, переданных из передающих антенн, на основании треугольной матрицы и вектора, полученного путем умножения на единичную матрицу принятого вектора, который включает компоненты сигналов, принятых приемными антеннами.

2. Приемное устройство по п.1, отличающееся тем, что модуль детектирования сигнала дополнительно включает модуль определения, выполненный с возможностью вычисления метрик для соответствующих потенциальных символов и уменьшения

количества потенциальных символов на основании указанных метрик, причем метрики указывают на квадратичные евклидовы расстояния между принятыми символами и потенциальными символами в пространстве символов.

3. Приемное устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительно содержит модуль управления перестановкой, выполненный с возможностью подачи сигнала управления на вход модуля разложения для перестановки строк и столбцов матричного произведения матрицы каналов и весовой матрицы, причем модуль разложения выполнен с возможностью получения треугольной матрицы и единичной матрицы, таких что произведение треугольной матрицы и единичной матрицы равно матричному произведению, строки и столбцы которого переставлены в соответствии с сигналом управления.

4. Приемное устройство по п.3, отличающееся тем, что модуль управления перестановкой выполнен с возможностью формирования сигнала управления, такого что, когда модуль оценки оценивает символы в соответствии с M-алгоритмом, символы от одной из передающих антенн, соответствующей большей мощности приема, оцениваются перед символами из другой антенны из числа передающих антенн, соответствующей меньшей мощности приема.

5. Приемное устройство по п.3, отличающееся тем, что модуль управления перестановкой выполнен с возможностью формирования сигнала управления, такого что модуль оценки оценивает первый компонент поднесущей из числа символов, переданных из первой из передающих антенн, и затем оценивает первый компонент поднесущей из числа символов, переданных из второй из передающих антенн.

6. Система мобильной связи, в которой используется схема передачи MIMO с одной несущей, содержащая:

передающее устройство, включающее

модуль отображения, выполненный с возможностью отображения на поднесущие подвергнутых преобразованию Фурье и взвешенных символов в передаваемой символьной последовательности,

модуль обратного преобразования Фурье, выполненный с возможностью осуществления обратного преобразования Фурье над отображенными символами, и

модуль передачи, выполненный с возможностью передачи сигнала, включающего подвергнутые обратному преобразованию Фурье символы, из множества передающих антенн; и

приемное устройство, включающее

модуль извлечения, выполненный с возможностью осуществления преобразования Фурье над сигналами, принятыми множеством приемных антенн, и извлечения из сигналов компонентов сигналов, отображенных на поднесущие, и

модуль детектирования сигнала, выполненный с возможностью оценки символов, переданных посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов;

причем модуль детектирования сигнала включает

модуль разложения, выполненный с возможностью получения единичной матрицы, такой что произведение единичной матрицы и треугольной матрицы равно произведению весовой матрицы, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими, и матрицы каналов, указывающей на состояния каналов радиосвязи между передающими антеннами и приемными антеннами; и

модуль оценки, выполненный с возможностью оценки потенциальных символов,

переданных из передающих антенн, на основании треугольной матрицы и вектора, полученного путем умножения на единичную матрицу принятого вектора, который включает компоненты сигналов, принятых приемными антеннами.

7. Система по п.6, отличающаяся тем, что передающее устройство встроено в терминал пользователя, а приемное устройство встроено в базовую станцию.

8. Способ осуществления связи для системы мобильной связи, в которой используют схему передачи MIMO с одной несущей и которая включает передающее устройство и приемное устройство, включающий шаги, осуществляемые передающим устройством:

отображают на поднесущие подвергнутые преобразованию Фурье и взвешенные символы в передаваемой символьной последовательности,

осуществляют обратное преобразования Фурье над отображенными символами, и

передают сигнал, включающий подвергнутые обратному преобразованию Фурье символы, из множества передающих антенн; и

шаги, осуществляемые приемным устройством:

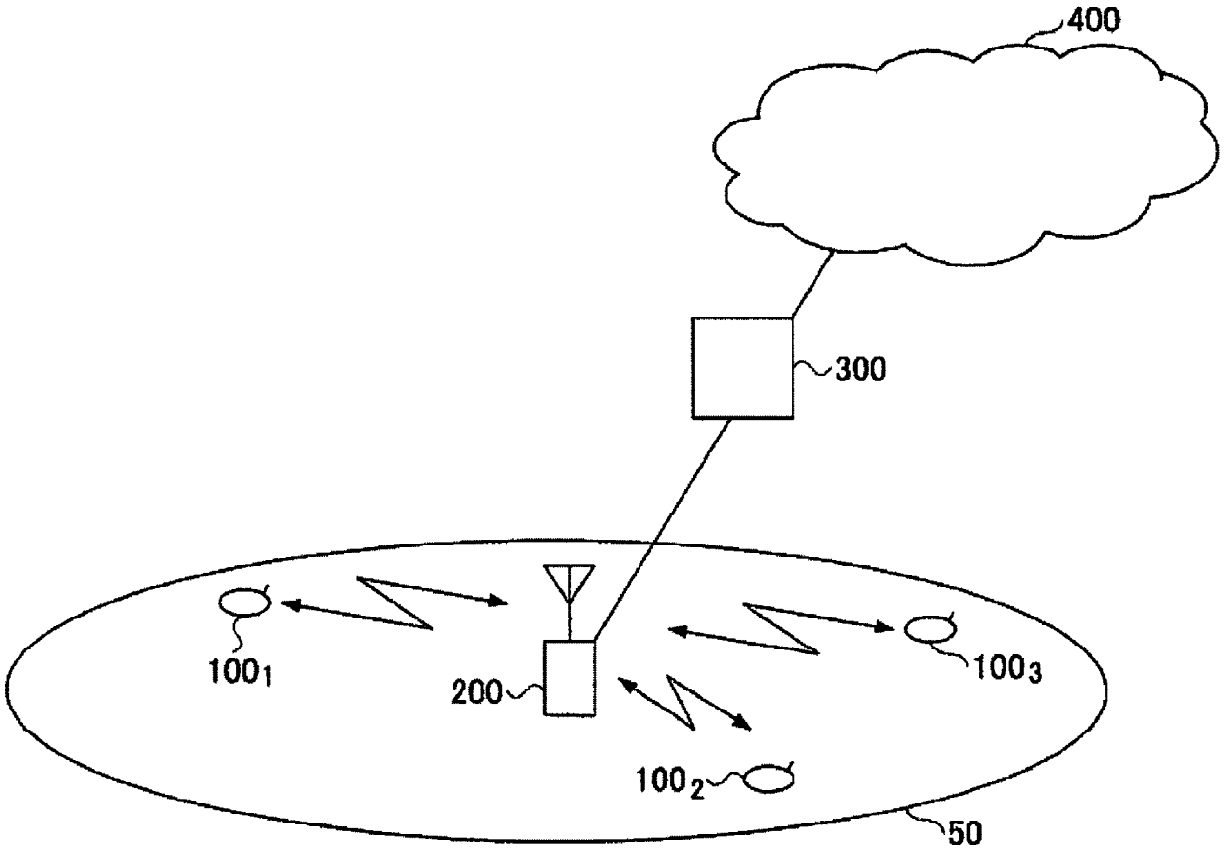
осуществляют преобразование Фурье над сигналами, принятыми множеством приемных антенн, и извлекают из сигналов компоненты сигналов, отображенные на поднесущие, и

оценивают символы, переданные посредством поднесущих, путем применения алгоритма QR-разложения для извлеченных компонентов сигналов,

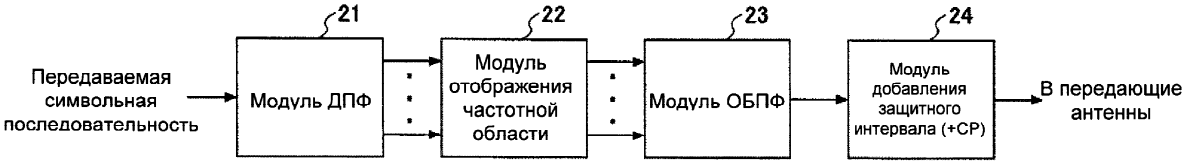
причем на шаге оценки

получают единичную матрицу, такую что произведение единичной матрицы и треугольной матрицы равно произведению весовой матрицы, определяющей соответствие между передаваемой символьной последовательностью и поднесущими, и матрицы каналов, указывающей на состояния каналов радиосвязи между передающими антеннами и приемными антеннами, и

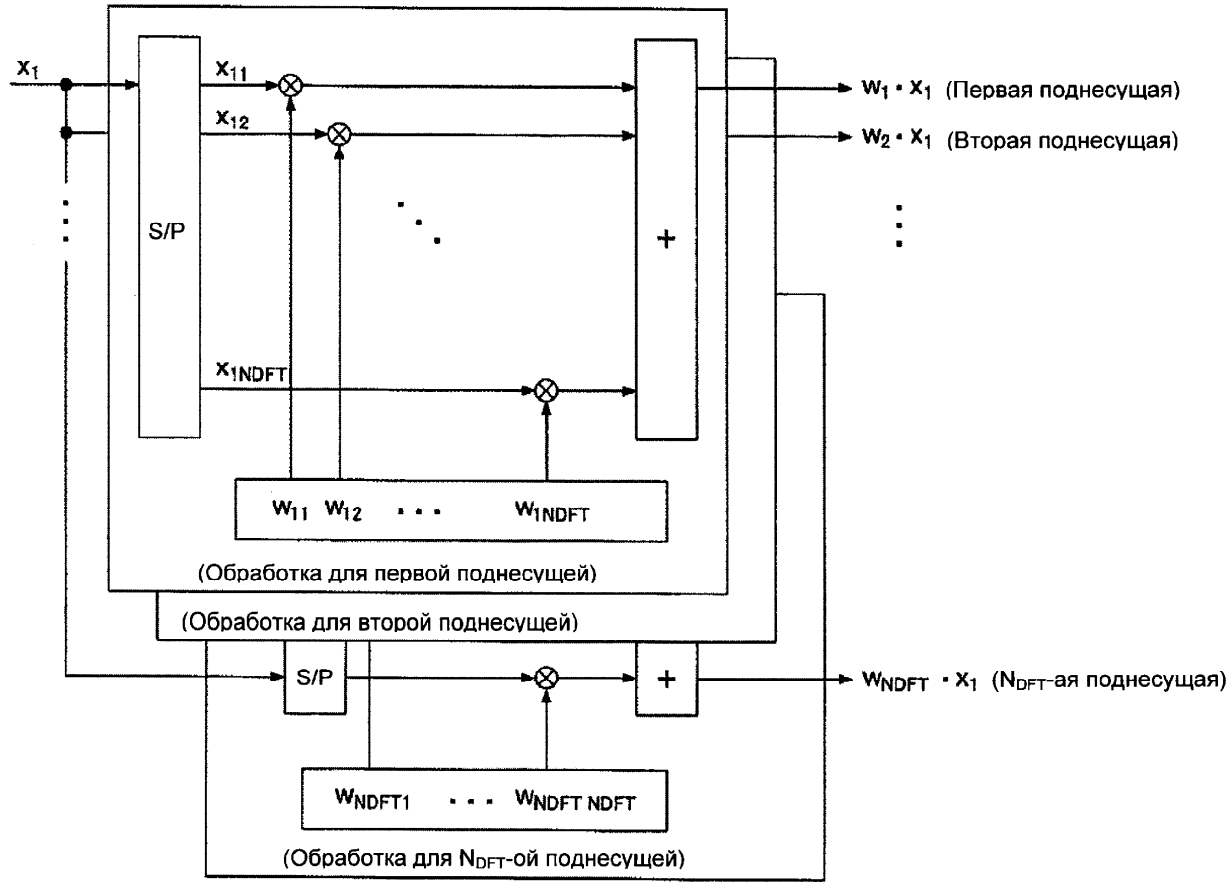
оценивают потенциальные символы, переданные из передающих антенн, на основании треугольной матрицы и вектора, полученного путем умножения на единичную матрицу принятого вектора, который включает компоненты сигналов, принятых приемными антеннами.


400
300
100_1
200
100_3
100_2
50

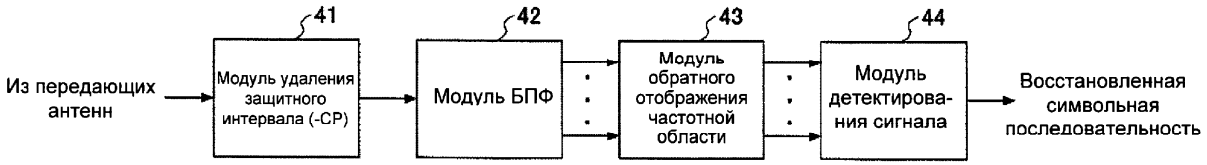
ФИГ.1


21
22
23
24
Передаваемая символьная последовательность
Модуль ДПФ
Модуль отображения частотной области
Модуль ОБПФ
Модуль добавления защитного интервала (+CP)
В передающие антенны

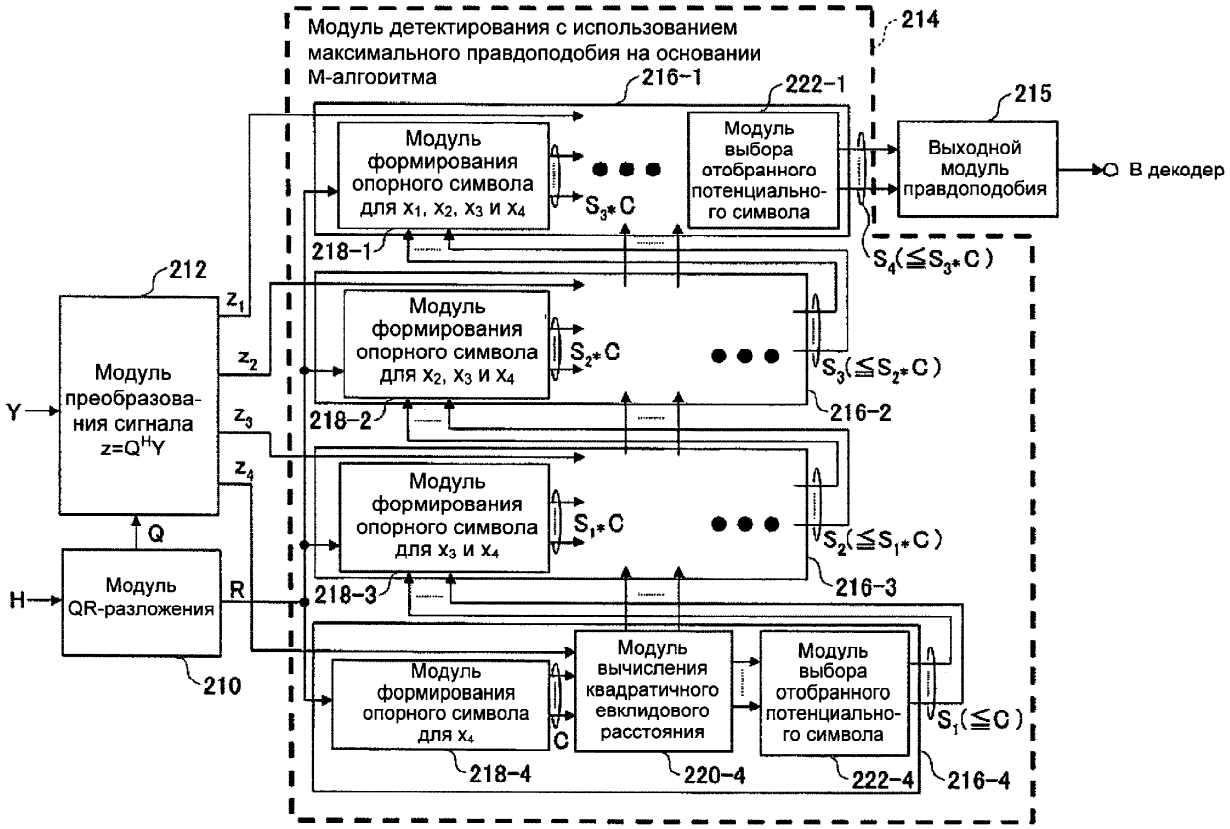
ФИГ.2


x1
x11
x12
x1NDFT
S/P
+
w1 · x1 (Первая поднесущая)
w2 · x1 (Вторая поднесущая)
w11 w12 · · · w1NDFT
(Обработка для первой поднесущей)
(Обработка для второй поднесущей)
S/P
+
wNDFT · x1 (NDFT-ая поднесущая)
wNDFT1 · · · wNDFT NDFT
(Обработка для NDFT-ой поднесущей)

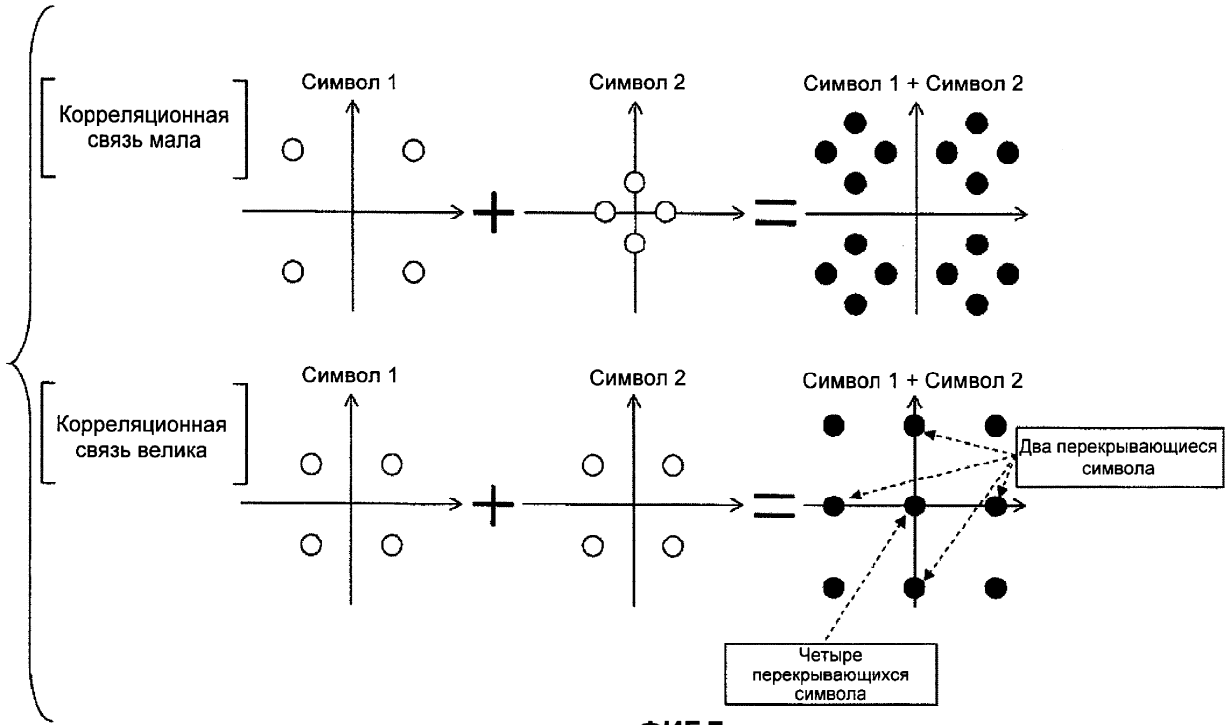
ФИГ.3


41
42
43
44
Из передающих антенн
Модуль удаления защитного интервала (-CP)
Модуль БПФ
Модуль обратного отображения частотной области
Модуль детектирования сигнала
Восстановленная символьная последовательность

ФИГ.4


Модуль детектирования с использованием максимального правдоподобия на основании М-алгоритма
214
216-1
222-1
215
Модуль формирования опорного символа для x1, x2, x3 и x4
Модуль выбора отобранного потенциально-го символа
Выходной модуль правдоподобия
В декодер
S3*C
S4(≦S3*C)
218-1
212
z1
z2
z3
z4
Модуль преобразова-ния сигнала z=QHY
Y
Модуль формирования опорного символа для x2, x3 и x4
S2*C
S3(≦S2*C)
216-2
218-2
Модуль формирования опорного символа для x3 и x4
S1*C
S2(≦S1*C)
216-3
218-3
Q
H
Модуль QR-разложения
R
210
Модуль формирования опорного символа для x4
C
Модуль вычисления квадратичного евклидового расстояния
Модуль выбора отобранного потенциально-го символа
S1(≦C)
218-4
220-4
222-4
216-4

ФИГ.5


Корреляционная связь мала
Символ 1
Символ 2
Символ 1 + Символ 2
Корреляционная связь велика
Символ 1
Символ 2
Символ 1 + Символ 2
Два перекрывающиеся символа
Четыре перекрывающихся символа

ФИГ.7