



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0315536-6 B1

(22) Data do Depósito: 24/10/2003

(45) Data de Concessão: 23/05/2017



(54) Título: PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MIMO

(51) Int.Cl.: H04L 1/06; H04L 25/02

(30) Prioridade Unionista: 07/01/2003 US 60/438,601, 10/12/2002 US 60/432,617, 25/10/2002 US 60/421,462, 25/10/2002 US 60/421,309, 25/10/2002 US 60/421,428, 30/06/2003 US 10/610,446

(73) Titular(es): QUALCOMM INCORPORATED

(72) Inventor(es): MARK WALLACE; JAY R. WALTON; STEVEN J. HOWARD; JOHN W. KETCHUM

"PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MIMO"

Este pedido reivindica a prioridade do Pedido Provisório U.S. Nº de Série 60/421,309, intitulado "MIMO WLAN System", depositado em 25 de outubro de 2002, do
 5 Pedido Nº de Série 60/421,462, intitulado "Channel Calibration for a Time Division Duplexed Communication System", depositado em 25 de outubro de 2002, do Pedido Nº de Série 60/421,428, intitulado "Channel Estimation and Spatial Processing for TDD MIMO Systems", depositado em 25
 10 de outubro de 2002, e do Pedido Nº de Série 60/438,601, intitulado "Pilots for MIMO Communication Systems", depositado em 7 de janeiro de 2003, todos em nome da Requerente do presente pedido e aqui incorporados em sua totalidade por referência para todos os propósitos.

15

FUNDAMENTOS

I. Campo

A presente invenção está, de um modo geral, relacionada à comunicação de dados e, mais especificamente, a pilotos adequados para uso em sistemas de comunicação de
 20 múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO).

II. Fundamentos

Um sistema MIMO emprega múltiplas antenas de transmissão (N_T) e múltiplas antenas de recepção (N_R) para transmissão de dados. Um canal MIMO formado pelas N_T
 25 antenas de transmissão e pelas N_R antenas de recepção pode ser decomposto em N_S canais independentes, os quais são também referidos como automodos, onde $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$. Cada um dos N_S canais independentes corresponde a uma dimensão. O sistema MIMO pode prover melhor desempenho (por exemplo,
 30 maior capacidade de transmissão e/ou maior confiabilidade) caso as dimensionalidades adicionais criadas pelas múltiplas antenas de transmissão e de recepção sejam utilizadas.

Em um sistema de comunicação sem fio, os dados a serem transmitidos são primeiramente modulados para um sinal de portadora de radiofrequência (RF) para gerar um sinal modulado de RF que é mais adequado para transmissão

5 através de um canal sem fio. Para um sistema MIMO, até N_T sinais modulados de RF podem ser gerados e transmitidos simultaneamente a partir das N_T antenas de transmissão. Os sinais modulados de RF transmitidos podem chegar às N_R antenas de recepção através de vários percursos de

10 propagação no canal sem fio. As características dos percursos de propagação tipicamente variam ao longo do tempo devido a vários fatores tais como, por exemplo, desvanecimento, multipercurso e interferência externa. Consequentemente, os sinais modulados de RF transmitidos

15 podem experimentar diferentes condições de canal (por exemplo, diferentes efeitos de desvanecimento e multipercurso) e podem estar associados a diferentes ganhos complexos e relações sinal/ruído (SNRs).

Para obter alto desempenho, é amiúde necessário

20 caracterizar a resposta do canal sem fio. Por exemplo, a resposta de canal pode ser necessária para o transmissor para realizar processamento espacial (descrito abaixo) para transmissão de dados para o receptor. A resposta de canal pode também ser necessária para o receptor para realizar

25 processamento espacial nos sinais recebidos para recuperar os dados transmitidos.

Em vários sistemas de comunicação sem fio, um piloto é transmitido pelo transmissor para auxiliar o receptor na realização de várias funções. O piloto é

30 tipicamente gerado com base em símbolos conhecidos e processado de maneira conhecida. O piloto pode ser usado pelo receptor para estimativa de canal, aquisição de temporização e frequência, demodulação de dados e assim por diante.

Vários desafios são encontrados no projeto de uma estrutura de pilotos para um sistema MIMO. Como uma consideração, a estrutura de pilotos deve atender às dimensionalidades adicionais criadas pelas múltiplas antenas de transmissão e de recepção. Como outra consideração, uma vez que a transmissão do piloto representa overhead no sistema MIMO, é desejável minimizar a transmissão de pilotos na medida do possível. Além disso, caso o sistema MIMO seja um sistema de acesso múltiplo que suporta a comunicação com múltiplos usuários, então a estrutura de pilotos deve ser projetada de modo que os pilotos necessários para suportar os múltiplos usuários não consumam uma porção considerável dos recursos de sistema disponíveis.

Existe, portanto, uma demanda, na técnica, por pilotos para sistemas MIMO que atendam às considerações acima.

SUMÁRIO

São aqui providos pilotos adequados para uso em sistemas MIMO. Tais pilotos podem suportar várias funções que podem ser necessárias para a operação apropriada do sistema, tais como aquisição de temporização e frequência, estimação de canal, calibragem e assim por diante. Os pilotos podem ser considerados como sendo de diferentes tipos que são projetados e usados para diferentes funções.

Os vários tipos de piloto podem incluir: um piloto sinalizador, um piloto MIMO, uma referência direcionada ou um piloto direcionado e um piloto de portadora. O piloto sinalizador é transmitido a partir de todas as antenas de transmissão e pode ser usado para aquisição de temporização e frequência. O piloto MIMO é também transmitido a partir de todas as antenas de transmissão, porém é coberto com diferentes códigos ortogonais atribuídos para as antenas de transmissão. O piloto MIMO pode ser usado para estimação de canal. A

referência direcionada é transmitida em automodos específicos de um canal MIMO e é específica para terminal de usuário. A referência direcionada pode ser usada para estimação de canal e possivelmente para controle de taxa. O
5 piloto de portadora pode ser transmitido em certas sub-bandas/antenas designadas e pode ser usado para rastreamento de fase de um sinal de portadora.

Vários esquemas de transmissão de piloto podem ser desenvolvidos com base em diferentes combinações desses
10 vários tipos de piloto. Por exemplo, no *downlink*, um ponto de acesso pode transmitir um piloto sinalizador, um piloto MIMO e um piloto de portadora para todos os terminais de usuário dentro de sua área de cobertura e pode opcionalmente transmitir uma referência direcionada para
15 qualquer terminal de usuário ativo que esteja recebendo uma transmissão de *downlink* a partir do ponto de acesso. No *uplink*, um terminal de usuário pode transmitir um piloto MIMO para calibragem e pode transmitir uma referência direcionada e um piloto de portadora quando programado (por
20 exemplo, para transmissões de dados no *downlink* e/ou *uplink*). O processamento para transmissão e recepção destes vários tipos de piloto será descrito em maiores detalhes abaixo.

Vários aspectos e modalidades da invenção serão
25 também descritos em maiores detalhes mais adiante.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As características e a natureza da presente invenção ficarão mais claros a partir da descrição detalhada apresentada abaixo, quando tomada em conjunto com
30 os desenhos, nos quais referências numéricas similares identificam itens correspondentes e nos quais:

A Figura 1 mostra um sistema MIMO de acesso múltiplo;

A Figura 2 mostra uma estrutura de quadro exemplar para transmissão de dados em um sistema MIMO OFDM TDD;

5 A Figura 3 mostra transmissões de piloto de *downlink* e *uplink* para um esquema de transmissão de piloto exemplar;

A Figura 4 mostra um diagrama de blocos de um ponto de acesso e um terminal de usuário;

10 A Figura 5 mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX que pode gerar um piloto sinalizador;

A Figura 6A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX que pode gerar um piloto MIMO;

15 A Figura 6B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial RX que pode prover uma estimativa de resposta de canal baseada em um piloto MIMO recebido;

A Figura 7A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX que pode gerar uma referência direcionada; e

20 A Figura 7B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial RX que pode prover uma estimativa de resposta de canal baseada em uma referência direcionada recebida.

DESCRIÇÃO DETALHADA

25 O termo "exemplar" é aqui usado com o significado de "servindo como exemplo, caso, ou ilustração". Qualquer modalidade, ou projeto, aqui descrita como "exemplar" não deve ser necessariamente considerada como preferida ou vantajosa em relação a outras modalidades.

30 A Figura 1 mostra um sistema MIMO de múltiplo acesso 100 que suporta vários usuários e é capaz de implementar os pilotos aqui descritos. O sistema MIMO 100 inclui vários pontos de acesso (APs) 110 que suportam a comunicação para vários terminais de usuário (UTs) 120. Por
35 simplicidade, somente dois pontos de acesso 110a e 110b são

mostrados na Figura 1. Um ponto de acesso é, de um modo geral, uma estação fixa que é usada para comunicação com os terminais de usuário. Um ponto de acesso pode também ser referido como uma estação base ou usando alguma outra terminologia.

Os terminais de usuário 120 podem estar dispersados por todo o sistema. Cada terminal de usuário pode ser um terminal fixo ou móvel que pode se comunicar com o ponto de acesso. Um terminal de usuário pode também ser referido como um terminal de acesso, uma estação móvel, uma estação remota, um equipamento de usuário (UE), um dispositivo sem fio, ou alguma outra terminologia. Cada terminal de usuário pode se comunicar com um ou possivelmente múltiplos pontos de acesso no *downlink* e/ou *uplink* em qualquer dado momento. O *downlink* (isto é, o link direto) refere-se à transmissão do ponto de acesso para o terminal de usuário e o *uplink* (isto é, o link reverso) refere-se à transmissão do terminal de usuário para o ponto de acesso. Como é aqui utilizado, um terminal de usuário "ativo" é aquele que está recebendo uma transmissão de *downlink* a partir de um ponto de acesso e/ou transmitindo uma transmissão de *uplink* para o ponto de acesso.

Na Figura 1, o ponto de acesso 110a se comunica com terminais de usuário 120a a 120f e o ponto de acesso 110b se comunica com os terminais de usuário 120f a 120k. A atribuição de terminais de usuário a pontos de acesso é tipicamente baseada na intensidade do sinal recebido e não na distância. Em qualquer dado momento, um terminal de usuário pode receber transmissão de *downlink* proveniente de um ou múltiplos pontos de acesso. Um controlador do sistema 130 se acopla aos pontos de acesso 110 e pode ser projetado para realizar várias funções tais como (1) coordenação e controle para os pontos de acesso acoplados ao mesmo, (2) roteamento de dados entre tais pontos de acesso e (3)

acesso e controle da comunicação com os terminais de usuário servidos por tais pontos de acesso.

I. Pilotos

São aqui providos pilotos adequados para uso em sistemas MIMO, tais como aquele mostrado na Figura 1. Tais pilotos podem suportar várias funções que podem ser necessárias para operação apropriada do sistema, tais como aquisição de temporização e frequência, estimação de canal, calibragem e assim por diante. Os pilotos podem ser considerados como sendo de diferentes tipos, que são projetados e usados para diferentes funções. A Tabela 1 lista quatro tipos de piloto e uma curta descrição dos mesmos para um projeto de piloto exemplar. Podem também ser definidos menos tipos, tipos diferentes e/ou adicionais de piloto e isto se insere no escopo da invenção.

Tabela 1 - Tipos de Pilotos

Tipo de Piloto	Descrição
Piloto Sinalizador	Um piloto transmitido a partir de todas as antenas de transmissão e usado para aquisição de temporização e frequência.
Piloto MIMO	Um piloto transmitido a partir de todas as antenas de transmissão com diferentes códigos ortogonais e usado para estimação de canal.
Referência Direcionada ou Piloto Direcionado	Um piloto transmitido em automodos específicos de um canal MIMO para um terminal de usuário específico e usado para estimação de canal e possivelmente controle de taxa.
Piloto de Portadora	Um piloto usado para rastreamento de fase de um sinal de portadora.

Referência direcionada e piloto direcionado são termos sinônimos.

Vários esquemas de transmissão de piloto podem ser desenvolvidos com base em qualquer combinação desses vários tipos de piloto. Por exemplo, no *downlink*, um ponto

de acesso pode transmitir um piloto sinalizador, um piloto MIMO e um piloto de portadora para todos os terminais de usuário dentro de sua área de cobertura e pode opcionalmente transmitir uma referência direcionada para
5 qualquer terminal de usuário ativo que esteja recebendo uma transmissão de *downlink* a partir do ponto de acesso. No *uplink*, um terminal de usuário pode transmitir um piloto MIMO para calibragem e pode transmitir uma referência direcionada e um piloto de portadora quando programado (por
10 exemplo, para transmissões de dados de *downlink* e/ou *uplink*). O processamento para transmissão e recepção desses vários tipos de piloto será descrito em maiores detalhes abaixo.

Os pilotos aqui descritos podem ser usados para
15 vários tipos de sistemas MIMO. Por exemplo, os pilotos podem ser usados para (1) sistemas MIMO de portadora única, (2) sistemas MIMO multi-portadora que empregam multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) ou alguma outra técnica de modulação multi-portadora, (3)
20 sistemas MIMO que implementam técnicas de acesso múltiplo, tais como acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA), acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) e acesso múltiplo por divisão de código (CDMA), (4) sistemas MIMO que implementam multiplexação por divisão de frequência
25 (FDM), multiplexação por divisão de tempo (TDM) e/ou multiplexação por divisão de código (CDM) para transmissão de dados, (5) sistemas MIMO que implementam duplexação por divisão de tempo (TDD), duplexação por divisão de frequência (FDD) e/ou duplexação por divisão de código
30 (CDD) para os canais de *downlink* e *uplink* e (6) outros tipos de sistemas MIMO. Por clareza, os pilotos serão descritos abaixo primeiro para um sistema MIMO que implementa OFDM (isto é, um sistema MIMO OFDM) e a seguir para um sistema MIMO OFDM TDD.

A OFDM efetivamente particiona a largura de banda total do sistema em um número de (N_F) sub-bandas ortogonais, as quais são também designadas como tons, faixas de frequência ou subcanais de frequência. Com a
 5 OFDM, cada sub-banda é associada a uma respectiva subportadora na qual dados podem ser modulados. Para um sistema MIMO OFDM, cada sub-banda pode ser associada a vários automodos e cada automodo de cada sub-banda pode ser visto como um canal de transmissão independente.

10 Por clareza, uma estrutura de piloto específica será descrita abaixo para um sistema MIMO OFDM exemplar. Em tal sistema MIMO OFDM, a largura de banda do sistema é particionada em 64 sub-bandas ortogonais (isto é, $N_F = 64$), às quais são atribuídos índices de -32 a +31. Destas 64
 15 sub-bandas, 48 sub-bandas (por exemplo, com índices de $\pm\{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$) podem ser usadas para transmissão de dados, 4 sub-bandas (por exemplo, com índices de $\pm\{7, 21\}$) podem ser usadas para um piloto de portadora e possivelmente sinalização, a sub-banda DC (com
 20 índice 0) não é usada e as sub-bandas restantes também não são usadas e servem como sub-bandas de proteção ou de reserva. Dessa forma, das 64 sub-bandas totais, as 52 sub-bandas "usáveis" incluem as 48 sub-bandas de dados e 4 sub-bandas de piloto e as 12 sub-bandas restantes não são
 25 usadas. Tal estrutura de sub-banda OFDM está descrita em maiores detalhes no Pedido de Patente Provisório U.S. Nº de Série 60/421,309 acima mencionado. Diferentes números de sub-bandas e outras estruturas de sub-bandas OFDM podem também ser implementados para o sistema MIMO OFDM e isto se
 30 insere no escopo da invenção.

Para a OFDM, os dados a serem transmitidos em cada sub-banda usável são primeiro modulados (isto é, mapeados por símbolos) usando-se um esquema de modulação específico (por exemplo, BPSK, QPSK, ou M-QAM) selecionado
 35 para uso para tal sub-banda. Um símbolo de modulação pode

ser transmitido em cada sub-banda usável, em cada período de símbolo. Cada símbolo de modulação é um valor complexo para um ponto específico em uma constelação de sinais correspondente ao esquema de modulação selecionado. Valores de sinal zero podem ser enviados nas sub-bandas não usadas. Para cada período de símbolo OFDM, os símbolos de modulação para as sub-bandas usáveis e valores de sinal zero para as sub-bandas não usadas (isto é, os símbolos de modulação e zeros para todas as N_F sub-bandas) são transformados para o domínio de tempo usando-se uma transformada de Fourier rápida inversa (IFFT) para obter um símbolo transformado que compreende N_F amostras no domínio de tempo. Para combater a interferência entre símbolos (ISI), uma porção de cada símbolo transformado é amiúde repetida (o que é também referido como adição de um prefixo cíclico) para formar um símbolo OFDM correspondente, o qual é a seguir transmitido através do canal sem fio. Um período de símbolo OFDM, que é também aqui referido como um período de símbolo, corresponde à duração de um símbolo OFDM.

20 **1. Piloto Sinalizador**

O piloto sinalizador inclui um conjunto específico de símbolos de piloto que é transmitido a partir de cada uma das N_T antenas de transmissão. O mesmo conjunto de símbolos de piloto é transmitido para N_B períodos de símbolos designados para transmissão de piloto sinalizador. De um modo geral, N_B pode ser qualquer valor inteiro igual a um ou maior.

Em uma modalidade exemplar, o conjunto de símbolos de piloto para o piloto sinalizador é um conjunto de 12 símbolos de modulação BPSK para 12 sub-bandas específicas, o qual é referido como um símbolo OFDM "B". Os 12 símbolos de modulação BPSK para o símbolo OFDM B são dados na Tabela 2. Valores de sinal zero são transmitidos através das 52 sub-bandas restantes não utilizadas.

Tabela 2 - Símbolos de Piloto

Índice de Sub-banda	Piloto Sinalizador $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto Sinalizador $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto Sinalizador $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto Sinalizador $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$
$\vdots$	0	0	-13	0	$1-j$	1	0	$1-j$	15	0	$1+j$
-26	0	$-1-j$	-12	$-1-j$	$1-j$	2	0	$-1-j$	16	$1+j$	$-1+j$
-25	0	$-1+j$	-11	0	$-1-j$	3	0	$-1-j$	17	0	$-1+j$
-24	$1+j$	$-1+j$	-10	0	$-1-j$	4	$-1-j$	$-1-j$	18	0	$1-j$
-23	0	$-1+j$	-9	0	$1-j$	5	0	$-1+j$	19	0	$1+j$
-22	0	$1-j$	-8	$-1-j$	$-1-j$	6	0	$1+j$	20	$1+j$	$-1+j$
-21	0	$1-j$	-7	0	$1+j$	7	0	$-1-j$	21	0	$1+j$
-20	$-1-j$	$1+j$	-6	0	$-1+j$	8	$-1-j$	$-1+j$	22	0	$-1+j$
-19	0	$-1-j$	-5	0	$-1-j$	9	0	$-1-j$	23	0	$1+j$
-18	0	$-1+j$	-4	$1+j$	$-1+j$	10	0	$-1-j$	24	$1+j$	$-1+j$
-17	0	$1+j$	-3	0	$-1+j$	11	0	$1+j$	25	0	$1-j$
-16	$1+j$	$-1+j$	-2	0	$1-j$	12	$1+j$	$1-j$	26	0	$-1-j$
-15	0	$1-j$	-1	0	$-1+j$	13	0	$-1+j$	$\vdots$	0	0
-14	0	$1+j$	0	0	0	14	0	$-1-j$			

Para a modalidade exemplar, e como apresentado na Tabela 2, para o piloto sinalizador, o símbolo de modulação BPSK $(1 + j)$ é transmitido nas sub-bandas 24, -16, -4, 12, 16, 20 e 24, enquanto o símbolo de modulação BPSK $-(1 + j)$ é transmitido nas sub-bandas -20, -12, -8, 4 e 8. Valores de sinal zero são transmitidos nas 52 sub-bandas restantes para o piloto sinalizador.

O símbolo OFDM B é projetado para facilitar a aquisição de temporização e frequência do sistema pelos terminais de usuário. Para a modalidade exemplar do símbolo OFDM B acima descrita, somente 12 das 64 sub-bandas totais são usadas e tais sub-bandas são espaçadas por quatro sub-bandas. Tal espaçamento de quatro sub-bandas permite que o terminal de usuário tenha um erro de frequência inicial de até duas sub-bandas. O piloto sinalizador permite ao terminal de usuário corrigir seu erro de frequência

grosseiro inicial e corrigir sua frequência de modo que a variação de fase pela duração do piloto sinalizador seja pequena (por exemplo, menos de 45 graus pela duração do piloto sinalizador em uma taxa de amostra de 20 MHz). Caso
5 a duração do piloto sinalizador seja de 8 μ s, então os 45 graus (ou menos) de variação de fase durante 8 μ s são iguais a 360 graus durante 64 μ s, o que é aproximadamente 16 kHz.

O erro de frequência de 16 kHz é tipicamente
10 muito grande para operação. Uma correção de frequência adicional pode ser obtida usando-se o piloto MIMO e o piloto de portadora. Tais pilotos abrangem uma duração de tempo longa o suficiente para que a frequência do terminal de usuário possa ser corrigida para dentro da meta desejada
15 (por exemplo, 250 Hz). Por exemplo, caso um quadro TDD seja de 2 ms (tal como descrito abaixo) e caso a frequência do terminal de usuário seja precisa até 250 Hz, então ocorrerá menos que meio ciclo de mudança de fase durante um quadro TDD. A diferença de fase de quadro TDD para quadro TDD do
20 piloto sinalizador pode ser usada para travar a frequência do terminal de usuário ao relógio no ponto de acesso, desse modo, reduzindo efetivamente o erro de frequência para zero.

Em geral, o conjunto de símbolos de piloto usado
25 para o piloto sinalizador pode ser derivado usando-se qualquer esquema de modulação. Dessa forma, outros símbolos OFDM derivados usando-se BPSK ou algum outro esquema de modulação podem também ser usados para o piloto sinalizador e isto se insere no escopo da invenção.

30 Em um projeto exemplar, quatro antenas de transmissão estão disponíveis para a transmissão do piloto sinalizador. A Tabela 4 lista os símbolos OFDM a serem transmitidos a partir de cada uma das quatro antenas de

transmissão para uma transmissão de piloto sinalizador que abrange dois periodos de símbolos.

Tabela 3 - Piloto Sinalizador

Período de Símbolo	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
1	B	B	B	B
2	B	B	B	B

5

2. Piloto MIMO

O piloto MIMO inclui um conjunto específico de símbolos de piloto que é transmitido a partir de cada uma das N_T antenas de transmissão. Para cada antena de transmissão, o mesmo conjunto de símbolos de piloto é transmitido para N_P períodos de símbolo designados para transmissão do piloto MIMO. No entanto, o conjunto de símbolos de piloto para cada antena de transmissão é "coberto" com uma sequência ou código ortogonal exclusiva atribuída àquela antena. A cobertura é um processo pelo qual um dado símbolo de piloto ou dados (ou um conjunto de L símbolos de piloto/dados com o mesmo valor) a ser transmitido é multiplicado por todos os L chips de uma sequência ortogonal de L chips para obter L símbolos cobertos, os quais são então transmitidos. A descobertura é um processo complementar pelo qual símbolos recebidos são multiplicados pelos L chips da mesma sequência ortogonal de L chips para obter L símbolos descobertos, que são então acumulados para obter uma estimativa do símbolo de piloto ou dados transmitido. A cobertura propicia ortogonalidade entre as N_T transmissões de piloto a partir das N_T antenas de transmissão e permite a um receptor distinguir as antenas de transmissão individuais, como descrito abaixo. A duração da transmissão do piloto MIMO pode ser dependente de seu uso, como descrito abaixo. Em geral, N_P pode ser qualquer valor inteiro igual ou maior que um.

10

15

20

25

30

Um conjunto ou diferentes conjuntos de símbolos de piloto podem ser usados para as N_T antenas de transmissão. Em uma modalidade exemplar, um conjunto de símbolos de piloto é usado para todas as N_T antenas de
 5 transmissão para o piloto MIMO e tal conjunto inclui 52 símbolos de modulação QPSK para as 52 sub-bandas usáveis, o que é referido como um símbolo OFDM "P". Os 52 símbolos de modulação QPSK para o símbolo OFDM P são dados na Tabela 2. Valores de sinal zero são transmitidos através das 12 sub-
 10 bandas não usadas restantes.

Os 52 símbolos de modulação QPSK formam uma "palavra" exclusiva que é designada para facilitar a estimação de canal pelos terminais de usuário. Tal palavra exclusiva é selecionada de modo a possuir uma variação
 15 mínima de pico para média em uma forma de onda gerada com base em tais 52 símbolos de modulação.

É bem conhecido que a OFDM está geralmente associada à maior variação de pico para média na forma de onda transmitida do que algumas outras técnicas de
 20 modulação (por exemplo, CDMA). Como resultado, para evitar corte de circuitos (por exemplo, amplificador de potência) na cadeia de transmissão, os símbolos OFDM são tipicamente transmitidos em um nível de potência reduzido, isto é, que sofreu backoff em relação ao nível de potência de
 25 transmissão de pico. O backoff é usado para compensar variações na forma de onda para tais símbolos OFDM. Pela minimização da variação de pico para média na forma de onda para o símbolo OFDM P, o piloto MIMO pode ser transmitido em um nível de potência mais alto (isto é, um backoff menor
 30 pode ser aplicado para o piloto MIMO). A potência de transmissão mais alta para o piloto MIMO iria então resultar em melhor qualidade do sinal recebido para o piloto MIMO no receptor. A menor variação de pico para média pode também reduzir a quantidade de distorção e não
 35 linearidade gerada pelos circuitos nas cadeias de

transmissão e recepção. Esses vários fatores podem resultar em melhor precisão para uma estimativa de canal obtida com base no piloto MIMO.

Um símbolo OFDM com variação de pico para média
 5 mínima pode ser obtido de várias maneiras. Por exemplo, uma pesquisa aleatória pode ser efetuada na qual um grande número de conjuntos de símbolos de piloto são aleatoriamente formados e avaliados para encontrar o conjunto que possui a variação de pico para média mínima. O
 10 símbolo OFDM P mostrado na Tabela 2 representa um símbolo OFDM exemplar que pode ser usado para o piloto MIMO. Em geral, o conjunto de símbolos de piloto usado para o piloto MIMO pode ser derivado usando-se qualquer esquema de modulação. Dessa forma, vários outros símbolos OFDM
 15 derivados usando-se QPSK ou algum outro esquema de modulação podem também ser usados para o piloto MIMO e isto se insere no escopo da invenção.

Vários códigos ortogonais podem ser usados para realizar cobertura nos símbolos OFDM P enviados através das
 20 N_T antenas de transmissão. Exemplos de tais códigos ortogonais incluem códigos Walsh e códigos de fator de espalhamento variável ortogonal (OVSF). Códigos pseudo ortogonais e códigos quase ortogonais também podem ser usados para realizar cobertura nos símbolos OFDM P. Um
 25 exemplo de um código pseudo ortogonal é a sequência M que é bem conhecida pelos técnicos na área. Um exemplo de um código quase ortogonal é a função quase ortogonal (QOF) definida pelo IS-2000. Em geral, vários tipos de códigos podem ser usados para cobertura, alguns dos quais foram
 30 acima mencionados. Por simplicidade, o termo "código ortogonal" é aqui utilizado para fazer referência genericamente a qualquer tipo de código adequado para uso para cobertura de símbolos de piloto. O comprimento (L) do código ortogonal é selecionado de modo a ser maior ou igual
 35 ao número de antenas de transmissão (por exemplo, $L \geq N_T$) e

L códigos ortogonais estão disponíveis para uso. A cada antena de transmissão é atribuído um código ortogonal exclusivo. Os N_P símbolos OFDM P a serem enviados em N_P períodos de símbolos a partir de cada antena de transmissão
 5 são cobertos com o código ortogonal atribuído a tal antena de transmissão.

Em uma modalidade exemplar, quatro antenas de transmissão estão disponíveis e às quais são atribuídas seqüências Walsh de 4 chips de $W_1 = 1111$, $W_2 = 1010$, $W_3 =$
 10 1100 e $W_4 = 1001$ para o piloto MIMO. Para uma dada seqüência Walsh, um valor "1" indica que um símbolo OFDM P é transmitido e um valor "0" indica que um símbolo OFDM -P é transmitido. Para um símbolo OFDM -P, cada um dos 52 símbolos de modulação QPSK no símbolo OFDM P é invertido
 15 (isto é, multiplicado por -1). O resultado da cobertura para cada antena de transmissão é uma seqüência de símbolos OFDM P cobertos para tal antena de transmissão. A cobertura é, na realidade, efetuada separadamente para cada uma das sub-bandas para gerar uma seqüência de símbolos de piloto
 20 cobertos para tal sub-banda. As seqüências de símbolos de piloto cobertos para todas as sub-bandas formam a seqüência de símbolos OFDM P cobertos.

A Tabela 4 lista os símbolos OFDM a serem transmitidos a partir de cada uma das quatro antenas de
 25 transmissão para uma transmissão de piloto MIMO que abrange quatro períodos de símbolos.

Tabela 4 - Piloto MIMO

Período de Símbolo	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
1	+P	+P	+P	+P
2	+P	-P	+P	-P
3	+P	+P	-P	-P
4	+P	-P	-P	+P

Para tal conjunto de seqüências Walsh de 4 chips, a transmissão do piloto MIMO pode ocorrer em um múltiplo inteiro de quatro períodos de símbolos para assegurar ortogonalidade entre as quatro transmissões de piloto a partir das quatro antenas de transmissão. A seqüência Walsh é simplesmente repetida para uma transmissão de piloto MIMO que seja mais longa que o comprimento da seqüência Walsh.

O canal sem fio para o sistema MIMO OFDM pode ser caracterizado por um conjunto de matrizes de resposta de canal $\underline{H}(k)$, para o índice de sub-banda $k \in K$, onde $K = \pm\{1 \dots 26\}$ para a estrutura de sub-banda exemplar acima descrita. A matriz $\underline{H}(k)$ para cada sub-banda inclui $N_T N_R$ valores, $\{h_{i,j}(k)\}$, para $i \in \{1 \dots N_R\}$ e $j \in \{1 \dots N_T\}$, em que $h_{i,j}(k)$ representa o ganho de canal entre a j ésima antena de transmissão e a i ésima antena de recepção.

O piloto MIMO pode ser usado pelo receptor para estimar a resposta do canal sem fio. Em particular, para recuperar o piloto enviado a partir da antena j e recebido pela antena de recepção i , os símbolos OFDM recebidos na antena i são primeiro multiplicados pela seqüência Walsh atribuída à antena de transmissão j . Os símbolos OFDM "descobertos" para todos os N_P períodos de símbolos para o piloto MIMO são a seguir acumulados, onde a acumulação pode ser efetuada individualmente para cada uma das 52 sub-bandas usáveis. A acumulação pode também ser efetuada no domínio do tempo nos símbolos OFDM recebidos (após a remoção do prefixo cíclico em cada símbolo OFDM). A acumulação é efetuada em uma base de amostra a amostra por múltiplos símbolos OFDM recebidos, onde as amostras para cada símbolo OFDM correspondem a diferentes sub-bandas caso a acumulação seja efetuada após a FFT e para diferentes índices de tempo caso a acumulação seja efetuada antes da FFT. O resultado da acumulação é $\{\hat{h}_{i,j}(k)\}$ para $k \in K$, que são estimativas da resposta de canal da antena de

transmissão j para a antena de recepção i para as 52 sub-bandas usáveis. O mesmo processamento pode ser efetuado para estimar a resposta de canal de cada antena de transmissão para cada antena de recepção. O processamento
 5 do piloto provê $N_T N_R$ valores complexos para cada sub-banda, onde os valores complexos são elementos da matriz $\hat{\underline{H}}(k)$ para a estimativa de resposta de canal para tal sub-banda.

O processamento de piloto acima descrito pode ser efetuado pelo ponto de acesso para obter a estimativa de
 10 resposta de canal $\hat{\underline{H}}_{up}(k)$ para o *uplink* e pode também ser efetuado pelo terminal de usuário obter a estimativa de resposta de canal $\hat{\underline{H}}_{dn}(k)$ para o *downlink*.

3. Referência Direcionada ou Piloto Direcionado

Para um sistema MIMO OFDM, a matriz de resposta
 15 de canal $\underline{H}(k)$ para cada sub-banda pode ser "diagonalizada" para obter os N_s automodos para tal sub-banda, em que $N_s \leq \min\{N_T, N_R\}$. Isto pode ser conseguido efetuando-se ou a decomposição de valor singular na matriz de resposta de canal $\underline{H}(k)$ ou a decomposição de autovalor na matriz de
 20 correlação de $\underline{H}(k)$, a qual é $\underline{R}(k) = \underline{H}^H(k)\underline{H}(k)$. Por clareza, a decomposição de valor singular será usada para a descrição que se segue.

A decomposição de valor singular da matriz de resposta de canal $\underline{H}(k)$ pode ser expressa como:

$$\underline{H}(k) = \underline{U}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{V}^H(k) \text{ , para } k \in K, \quad \text{Eq (1)}$$

25 onde $\underline{U}(k)$ é uma matriz unitária ($N_R \times N_R$) de autovetores esquerdos de $\underline{H}(k)$;

$\underline{\Sigma}(k)$ é uma matriz diagonal ($N_R \times N_T$) de valores singulares de $\underline{H}(k)$;

30 $\underline{V}(k)$ é uma matriz unitária ($N_T \times N_T$) de autovetores direitos de $\underline{H}(k)$; e

" H " denota a transposição conjugada.

Uma matriz unitária $\underline{M}$ é caracterizada pela propriedade $\underline{M}^H \underline{M} = \underline{I}$, onde $\underline{I}$ é a matriz identidade.

A decomposição de valor singular está descrita em maiores detalhes por Gilbert Strang em um livro intitulado
 5 "Linear Algebra and its Applications", Segunda Edição, Academic Press, 1980. Um automodo normalmente se refere a uma construção teórica. O canal MIMO pode também ser visto como incluindo N_s canais espaciais que podem ser usados para transmissão de dados/piloto. Cada canal espacial pode
 10 ou não corresponder a um automodo, dependendo de se o processamento espacial no transmissor foi bem sucedido ou não na diagonalização do canal MIMO. Por exemplo, fluxos de dados são transmitidos em canais espaciais (e não automodos) de um canal MIMO caso o transmissor não tenha
 15 qualquer conhecimento ou uma estimativa imperfeita do canal MIMO. Por simplicidade, o termo "automodo" é também usado aqui para denotar o caso onde uma tentativa é feita para diagonalizar o canal MIMO, mesmo que ela possa não ser totalmente bem sucedida, devido, por exemplo, a uma
 20 estimativa de canal imperfeita.

A matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ para cada sub-banda contém valores reais não negativos ao longo da diagonal e zeros em todos os outros locais. Tais entradas diagonais são referidas como os valores singulares de $\underline{H}(k)$ e representam
 25 os ganhos para os canais independentes (ou automodos) do canal MIMO para a k ésima sub-banda.

A decomposição de autovalor pode ser efetuada independentemente para a matriz de resposta de canal $\underline{H}(k)$ para cada uma das 52 sub-bandas usáveis para determinar os
 30 N_s automodos para a sub-banda. Os valores singulares para cada matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ podem ser ordenados de modo que $\{\sigma_1(k) \geq \sigma_2(k) \geq \dots \geq \sigma_{N_s}(k)\}$, onde $\sigma_1(k)$ é o maior valor singular, $\sigma_2(k)$ é o segundo maior valor singular e assim por diante e $\sigma_{N_s}(k)$ é o menor valor singular para a k ésima

sub-banda. Quando os valores singulares para cada matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$ são ordenados, os autovetores (ou colunas) das matrizes associadas $\underline{U}(k)$ e $\underline{V}(k)$ são também, por conseguinte, ordenados. Após a ordenação, $\sigma_1(k)$ representa
 5 o valor singular para o melhor automodo para a sub-banda k , o qual é também amiúde referido como o automodo "principal".

Um automodo de "banda larga" pode ser definido como o conjunto de automodos de mesma ordem de todas as
 10 sub-bandas após a ordenação. Dessa forma, o $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga inclui o $m^{\text{ésimo}}$ automodo de todas as sub-bandas. Cada automodo de banda larga está associado a um respectivo conjunto de autovetores para todas as sub-bandas. O automodo de banda larga "principal" é aquele
 15 associado ao maior valor singular em cada matriz $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ de cada sub-banda após a ordenação.

A matriz $\underline{V}(k)$ inclui N_T autovetores que podem ser usados para o processamento espacial no transmissor, onde
 $\underline{V}(k) = [\underline{v}_1(k) \ \underline{v}_2(k) \ \dots \ \underline{v}_{N_T}(k)]$ e $\underline{v}_m(k)$ é a $m^{\text{ésima}}$ coluna de
 20 $\underline{V}(k)$, que é o autovetor para o $m^{\text{ésimo}}$ automodo. Para uma matriz unitária, os autovetores são ortogonais uns aos outros. Os autovetores são também referidos como vetores de "direcionamento".

Uma referência direcionada (isto é, um piloto
 25 direcionado) compreende um ou mais conjuntos de símbolos de piloto que são transmitidos a partir das N_T antenas de transmissão. Em uma modalidade, um conjunto de símbolos de piloto é transmitido em um conjunto de sub-bandas para um automodo de banda larga em um dado período de símbolo
 30 efetuando-se o processamento espacial com um conjunto de vetores de direcionamento para tal automodo de banda larga. Em outra modalidade, múltiplos conjuntos de símbolos de piloto são transmitidos em múltiplos conjuntos

desarticulados de sub-bandas para múltiplos automodos de banda larga em um dado período de símbolo efetuando-se o processamento espacial com múltiplos conjuntos de vetores de direcionamento para tais automodos de banda larga
 5 (usando-se multiplexação de sub-banda, o que será descrito mais adiante). Por clareza, a descrição que se segue presume que um conjunto de símbolos de piloto é transmitido em um automodo de banda larga em um dado período de símbolo (isto é, sem multiplexação de sub-banda).

10 Em uma modalidade, o conjunto de símbolos de piloto para a referência direcionada é o mesmo símbolo OFDM P usado para o piloto MIMO. No entanto, vários outros símbolos OFDM podem também ser usados para a referência direcionada e isto se insere no escopo da invenção.

15 Uma referência direcionada transmitida para o $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga (usando formação de feixe, o que será descrito mais adiante) pode ser expressa como:

$$\underline{x}_m(k) = \underline{v}_m(k) \cdot p(k) \text{ , para } k \in K, \quad \text{Eq (2)}$$

onde $\underline{x}_m(k)$ é um vetor de transmissão ($N_T \times 1$) para o
 20 $m^{\text{ésimo}}$ automodo da $k^{\text{ésima}}$ sub-banda;

$\underline{v}_m(k)$ é o vetor de direcionamento para o $m^{\text{ésimo}}$ automodo da $k^{\text{ésima}}$ sub-banda; e

$p(k)$ é o símbolo de piloto para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda (por exemplo, como dado na Tabela 2).

25 O vetor $\underline{x}_m(k)$ inclui N_T símbolos de transmissão a serem enviados a partir das N_T antenas de transmissão para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda.

A referência direcionada pode ser usada pelo receptor para estimar um vetor que pode ser usado para
 30 processamento espacial de ambas a recepção e a transmissão de dados, como descrito abaixo. O processamento para a referência direcionada é descrito em maiores detalhes abaixo.

Os valores "1" e "-1" na sequência de piloto $P_{c1}(n)$ podem ser mapeados por símbolos de piloto usando um esquema de modulação específico. Por exemplo, usando BPSK, um "1" pode ser mapeado para $1 + j$ e um "-1" pode ser mapeado para $-(1 + j)$. Caso existam mais do que 127 símbolos OFDM, então a sequência de piloto pode ser repetida de modo que $P_{c1}(n) = P_{c1}(n \bmod 127)$ para $n > 127$.

Em uma modalidade, as quatro sequências de piloto $P_{c1}(n)$, $P_{c2}(n)$, $P_{c3}(n)$ e $P_{c4}(n)$ são transmitidas através de quatro pares diferentes de sub-banda/antena. A Tabela 5 mostra uma atribuição exemplar das quatro sequências de piloto para as quatro sub-bandas de piloto e quatro antenas de transmissão.

Tabela 5 - Piloto de Portadora

Sub-banda	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
-21	$P_{c1}(n)$	-	-	-
-7	-	$P_{c2}(n)$	-	-
7	-	-	$P_{c3}(n)$	-
21	-	-	-	$P_{c4}(n)$

Como mostrado na Tabela 5, a sequência de piloto $P_{c1}(n)$ é transmitida na sub-banda -21 da antena 1, a sequência de piloto $P_{c2}(n)$ é transmitida na sub-banda -7 da antena 2, a sequência de piloto $P_{c3}(n)$ é transmitida na sub-banda 7 da antena 3 e a sequência de piloto $P_{c4}(n)$ é transmitida na sub-banda 21 da antena 4. Cada sequência de piloto é, portanto, transmitida em uma sub-banda exclusiva e uma antena exclusiva. Tal esquema de transmissão de piloto de portadora evita a interferência que iria resultar caso uma sequência de piloto fosse transmitida através de múltiplas antenas de transmissão em uma dada sub-banda.

Em outra modalidade, as quatro sequências de piloto são transmitidas no automodo principal de suas sub-bandas atribuídas. O processamento espacial para os

símbolos de piloto de portadora é similar ao processamento
 espacial para a referência direcionada, que foi descrito
 acima e mostrado na equação (2). Para transmitir o piloto
 de portadora no automodo principal, o vetor de
 5 direcionamento $\underline{v}_1(k)$ é usado para o processamento espacial.
 Dessa forma, a sequência de piloto $P_{c1}(n)$ é processada
 espacialmente com o vetor de direcionamento $\underline{v}_1(-26)$, a
 sequência de piloto $P_{c2}(n)$ é processada espacialmente com o
 vetor de direcionamento $\underline{v}_1(-7)$, a sequência de piloto $P_{c3}(n)$
 10 é processada espacialmente com o vetor de direcionamento
 $\underline{v}_1(7)$ e a sequência de piloto $P_{c4}(n)$ é processada
 espacialmente com o vetor de direcionamento $\underline{v}_1(26)$.

II. Pilotos para Sistemas MIMO de Portadora Única

Os pilotos aqui descritos podem também ser usados
 15 para sistemas MIMO de portadora única que não empregam
 OFDM. Em tal caso, muito da descrição acima ainda se
 aplica, porém sem o índice de sub-banda k . Para o piloto
 sinalizador, um símbolo de modulação de piloto específico b
 pode ser transmitido a partir de cada uma das N_T antenas de
 20 transmissão. Para o piloto MIMO, um símbolo de modulação de
 piloto específico p pode ser coberto com N_T seqüências
 ortogonais e transmitido a partir das N_T antenas de
 transmissão. O símbolo de piloto b pode ser o mesmo ou
 diferente do símbolo de piloto p . A referência direcionada
 25 pode ser transmitida como mostrado na equação (2). No
 entanto, o vetor de transmissão $\underline{x}_m$, o vetor de
 direcionamento $\underline{v}_m$ e o símbolo de piloto p não são funções
 do índice de sub-banda k . O piloto de portadora pode ser
 transmitido de uma maneira multiplexada por divisão de
 30 tempo ou pode simplesmente ser omitido.

Para um sistema MIMO OFDM, o prefixo cíclico é
 tipicamente usado para assegurar ortogonalidade através das
 sub-bandas na presença de espalhamento de retardo no
 sistema, e os códigos ortogonais permitem a identificação
 35 das antenas de transmissão individuais. Para um sistema

MIMO de portadora única, os códigos ortogonais são usados para ortogonalidade e identificação de antena. Dessa forma, os códigos ortogonais usados para realizar cobertura nos símbolos de piloto em um sistema MIMO de portadora única
 5 podem ser selecionados de modo a possuírem boas propriedades de correlação cruzada e de pico para lobo lateral (isto é, a correlação entre quaisquer duas seqüências ortogonais usadas para cobertura é pequena na presença de espalhamento de retardo no sistema). Um exemplo
 10 de tal código ortogonal com boas propriedades de correlação cruzada e de pico para lobo lateral é a seqüência M e suas versões deslocadas no tempo. No entanto, outros tipos de códigos podem também ser usados para realizar cobertura em símbolos de piloto para o sistema MIMO de portadora única.

15 Para um sistema MIMO de portadora única de banda larga, a referência direcionada pode ser transmitida de várias maneiras para compensar o desvanecimento seletivo de freqüência (isto é, uma resposta de freqüência que não é plana através da banda operacional). Vários esquemas para
 20 transmissão de uma referência direcionada em um sistema MIMO de portadora única de banda larga serão descritos abaixo. Em geral, um transmissor pode transmitir uma forma de onda de referência que é processada de maneira igual ou similar ao processamento usado para transmissão de dados de
 25 tráfego em automodos de banda larga específicos. O receptor pode então correlacionar, de alguma maneira, a forma de onda recebida contra uma cópia gerada localmente da forma de onda de referência transmitida e extrair informações a respeito do canal que permita que o receptor estime um
 30 filtro casado de canal.

Em um primeiro esquema, um transmissor inicialmente obtém um vetor de direcionamento $\underline{v}_m(k)$ para um automodo. O vetor de direcionamento $\underline{v}_m(k)$ pode ser obtido pela transmissão periódica de símbolos de piloto OFDM,
 35 efetuando-se análise no domínio da freqüência em um piloto

MIMO recebido que foi transmitido sem OFDM, ou por algum outro meio. Para cada valor de k , onde $1 \leq k \leq N_F$, $\underline{v}_m(k)$ é um vetor N_T com N_T entradas para N_T antenas de transmissão. O transmissor, a seguir, efetua uma transformada de Fourier

5 rápida inversa em cada uma das N_T posições de vetor do vetor de direcionamento $\underline{v}_m(k)$, com k sendo a variável de frequência na computação da IFFT, para obter um pulso correspondente no domínio do tempo para uma antena de transmissão associada. Cada posição de vetor do vetor $\underline{v}_m(k)$

10 inclui N_F valores para N_F sub-bandas de frequência, e o pulso no domínio do tempo correspondente é uma sequência de N_F valores no domínio do tempo. O terminal, a seguir, anexa um prefixo cíclico a tal pulso no domínio do tempo para obter um pulso de referência direcionada para a antena de

15 transmissão. Um conjunto de N_T pulsos de referência direcionada é gerado para cada automodo e pode ser transmitido no mesmo intervalo de tempo a partir de todas as N_T antenas de transmissão. Múltiplos conjuntos de pulsos podem ser gerados para múltiplos automodos e podem ser

20 transmitidos de uma maneira TDM.

Para o primeiro esquema, um receptor amostra o sinal recebido para obter um vetor recebido $\underline{r}_m(n)$, remove o prefixo cíclico e efetua uma transformada de Fourier rápida em cada posição de vetor do vetor recebido $\underline{r}_m(n)$ para obter

25 uma estimativa de uma entrada correspondente de $\underline{H}(k)\underline{v}_m(k)$. Cada posição de vetor do vetor recebido $\underline{r}_m(n)$ (após a remoção do prefixo cíclico) inclui N_F amostras no domínio do tempo. O receptor, a seguir, usa a estimativa de $\underline{H}(k)\underline{v}_m(k)$ para sintetizar um filtro casado no domínio do

30 tempo que possa ser usado para filtrar uma transmissão de dados recebida. O filtro casado no domínio do tempo inclui um pulso de filtro casado para cada uma das antenas de recepção. A síntese do filtro casado no domínio do tempo está descrita no Pedido de Patente U.S. Nº de Série

35 10/017,308, da Requerente, intitulado "Time-Domain Transmit

and Receive Processing with Channel Eigen-Mode Decomposition for MIMO Systems”, depositado em 7 de dezembro de 2001.

Para o primeiro esquema, o processamento no transmissor para a referência direcionada em um sistema MIMO de portadora única é similar ao processamento no transmissor para a referência direcionada em um sistema MIMO OFDM. No entanto, outras transmissões após a referência direcionada são transmitidas em uma forma de onda de portadora única, tal como aquela descrita no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 10/017,308 acima mencionado. Além disso, o receptor usa a referência direcionada para sintetizar filtros compatíveis no domínio do tempo, como acima descrito.

Em um segundo esquema, um transmissor isola uma única componente de multipercurso para o canal de banda larga. Isto pode ser conseguido, por exemplo, pesquisando-se um piloto MIMO recebido com um correlacionador móvel de maneira similar a que é freqüentemente efetuada em sistemas CDMA para pesquisar componentes de multipercurso. O transmissor, a seguir, trata tal componente de multipercurso como um canal de banda estreita e obtém um único vetor de direcionamento $\underline{v}_m$ para a componente de multipercurso para cada automodo. Novamente, múltiplos vetores de direcionamento podem ser gerados para múltiplos automodos para tal componente de multipercurso.

III. Estrutura de Piloto para um Sistema MIMO OFDM TDD.

Os pilotos aqui descritos podem ser usados para vários sistemas MIMO e MIMO OFDM. Tais pilotos podem ser usados para sistemas que usam bandas de frequência comum ou separadas para o *downlink* e o *uplink*. Por clareza, será abaixo descrita uma estrutura de piloto exemplar para um sistema MIMO OFDM exemplar. Para tal sistema MIMO OFDM, o

downlink e o *uplink* são duplexados por divisão de tempo (TDD) em uma única banda de frequência.

A Figura 2 mostra uma modalidade de uma estrutura de quadro 200 que pode ser usada para um sistema TDD MIMO OFDM. A transmissão de dados ocorre em unidades de quadros TDD, cada um dos quais abrange uma duração de tempo específica (por exemplo, 2 ms). Cada quadro TDD é particionado em uma fase de *downlink* e uma fase de *uplink*. A fase de *downlink* é adicionalmente particionada em múltiplos segmentos para múltiplos canais de transporte do *downlink*. Na modalidade mostrada na Figura 2, os canais de transporte de *downlink* incluem um canal de broadcast (BCH), um canal de controle direto (FCCH) e um canal direto (FCH). De forma similar, a fase de *uplink* é particionada em múltiplos segmentos para múltiplos canais de transporte de *uplink*. Na modalidade mostrada na Figura 2, os canais de transporte de *uplink* incluem um canal reverso (RCH) e um canal de acesso aleatório (RACH).

No *downlink*, um segmento BCH 210 é usado para transmitir uma unidade de dados de protocolo (PDU) BCH 212, a qual inclui uma porção 214 para um piloto sinalizador, uma porção 216 para um piloto MIMO e uma porção 218 para uma mensagem BCH. A mensagem BCH porta parâmetros de sistema para os terminais de usuário no sistema. Um segmento FCCH 220 é usado para transmitir uma PDU FCCH, que porta atribuições para recursos de *downlink* e *uplink* e outras sinalizações para os terminais de usuário. Um segmento FCH 230 é usado para transmitir uma ou mais PDUs FCH 232. Diferentes tipos de PDU FCH podem ser definidos. Por exemplo, uma PDU FCH 232a inclui uma porção 234a para um piloto e uma porção 236a para um pacote de dados. Uma PDU FCH 232b inclui uma única porção 236b para um pacote de dados. Uma PDU FCH 232c inclui uma única porção 234c para um piloto.

No *uplink*, um segmento RCH 240 é usado para transmitir uma ou mais PDUs RCH 242 no *uplink*. Diferentes tipos de PDU RCH também podem ser definidos. Por exemplo, uma PDU RCH 242a inclui uma única porção 246a para um pacote de dados. Uma PDU RCH 242b inclui uma porção 244b para um piloto e uma porção 246b para um pacote de dados. Uma PDU RCH 242c inclui uma única porção 244c para um piloto. Um segmento RACH 250 é usado pelos terminais de usuário para obter acesso ao sistema e enviar mensagens curtas no *uplink*. Uma PDU RACH 252 pode ser enviada dentro do segmento RACH 250 e inclui uma porção 254 para um piloto e uma porção 256 para uma mensagem.

Para a modalidade mostrada na Figura 2, os pilotos sinalizador e MIMO são enviados no *downlink* em cada quadro TDD no segmento BCH. Um piloto pode ou não ser enviado em qualquer dada PDU FCH ou RCH. Caso o piloto seja enviado, então ele pode abranger a totalidade ou apenas uma porção da PDU, como mostrado na Figura 2. Um piloto é enviado em uma PDU RACH para permitir que o ponto de acesso estime vetores pertinentes durante o acesso. A porção de piloto é também referida como um "preâmbulo". O piloto que é enviado em qualquer dada PDU FCH/RCH pode ser uma referência direcionada ou um piloto MIMO, dependendo do propósito para o qual o piloto é usado. O piloto enviado em uma PDU RACH é tipicamente uma referência direcionada, apesar de um piloto MIMO poder também ser enviado em seu lugar. O piloto de portadora é transmitido nas sub-bandas de piloto e nas porções que não são usadas para outras transmissões de piloto. O piloto de portadora não é mostrado na Figura 2 por simplicidade. As durações das várias porções na Figura 2 não estão em escala.

A estrutura de quadro e os canais de transporte mostrados na Figura 2 são descritos em detalhes no Pedido de Patente Provisório U.S. Nº de Série 60/421,309 acima mencionado.

1. Calibragem

Para um sistema TDD MIMO OFDM com uma banda de frequências compartilhada, as respostas de canal do *downlink* e *uplink* podem ser presumidas como recíprocas uma da outra. Isto é, se $\underline{H}(k)$ representa uma matriz de resposta de canal do arranjo de antena A para o arranjo de antena B para a sub-banda k , então um canal recíproco implica que o acoplamento do arranjo B para o arranjo A é dado por $\underline{H}^T(k)$, onde $\underline{H}^T$ denota a transposição de $\underline{H}$. Para o sistema TDD MIMO OFDM, as características de canal recíprocas podem ser exploradas para simplificar a estimação de canal e o processamento espacial no transmissor e no receptor.

No entanto, as respostas de frequência das cadeias de transmissão e recepção no ponto de acesso são tipicamente diferentes das respostas de frequência das cadeias de transmissão e recepção no terminal de usuário. Uma resposta de canal de *downlink* "efetiva", $\underline{H}_{dn}(k)$, e uma resposta de canal de *uplink* "efetiva", $\underline{H}_{up}(k)$, que incluem as respostas das cadeias de transmissão e recepção aplicáveis, podem ser expressas por:

$$\underline{H}_{dn}(k) = \underline{R}_{ut}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{ap}(k) \quad , \text{ para } k \in K, \text{ e} \quad \text{Eq (4)}$$

$$\underline{H}_{up}(k) = \underline{R}_{ap}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{ut}(k) \quad , \text{ para } k \in K,$$

onde $\underline{T}_{ap}(k)$ e $\underline{R}_{ap}(k)$ são matrizes diagonais $N_{ap} \times N_{ap}$ para as respostas de frequência da cadeia de transmissão e da cadeia de recepção, respectivamente, no ponto de acesso para a sub-banda k ;

$\underline{T}_{ut}(k)$ e $\underline{R}_{ut}(k)$ são matrizes diagonais $N_{ut} \times N_{ut}$ para as respostas de frequência da cadeia de transmissão e da cadeia de recepção, respectivamente, no terminal de usuário para a sub-banda k ;

N_{ap} é o número de antenas no ponto de acesso; e

N_{ut} é o número de antenas no terminal de usuário.

Combinando as equações no conjunto de equações (4), é obtido o seguinte:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = (\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k))^T, \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (5)}$$

onde $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k)$ e $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k) = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1}(k)\underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k)$. Como
 5 $\underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}(k)$, $\underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k)$, $\underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}(k)$ e $\underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}(k)$ são matrizes diagonais, $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ e $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$ são também matrizes diagonais.

A calibragem pode ser efetuada para obter estimativas, $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ e $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$, das matrizes diagonais reais, $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$ e $\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$, para $k \in K$. As matrizes $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ e $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$
 10 contêm fatores de correção que podem compensar diferenças nas respostas de frequência das cadeias de transmissão e recepção no ponto de acesso e no terminal de usuário. Uma resposta de canal de *downlink* "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$, observada pelo terminal de usuário, e uma resposta de canal
 15 de *uplink* "calibrada", $\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$, observada pelo ponto de acesso, podem então ser expressas como:

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k), \text{ para } k \in K, \text{ e} \quad \text{Eq (6a)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k), \text{ para } k \in K, \text{ onde} \quad \text{Eq (6b)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) \approx \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}^T(k), \text{ para } k \in K. \quad \text{Eq (6c)}$$

A precisão da relação na equação (6c) depende da precisão das matrizes de correção, $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$ e $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$, a qual
 20 por sua vez depende da qualidade das estimativas das respostas efetivas de canal de *downlink* e *uplink*, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}}(k)$ e $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{up}}(k)$, usadas para derivar tais matrizes de correção. Um vetor de correção $\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ut}}(k)$ pode ser definido como incluindo apenas os N_{ut} elementos diagonais de $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$ e um vetor de
 25 correção $\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap}}(k)$ pode ser definido como incluindo apenas os N_{ap} elementos diagonais de $\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$. A calibragem está

descrita em detalhes no Pedido de Patente Provisório U.S. Nº de Série 60/421,462 acima mencionado.

Os pilotos aqui descritos podem também ser usados para sistemas MIMO e MIMO OFDM que não efetuam calibragem. Por clareza, a descrição que se segue presume que a calibragem é efetuada e que as matrizes de correção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ e $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ são usadas nos percursos de transmissão no ponto de acesso e no terminal de usuário, respectivamente.

2. Pilotos Sinalizador e MIMO.

Como mostrado na Figura 2, o piloto sinalizador e o piloto MIMO são transmitidos no *downlink* no BCH para cada quadro TDD. O piloto sinalizador pode ser usado pelos terminais de usuário para aquisição de temporização e frequência. O piloto MIMO pode ser usado pelos terminais de usuário para (1) obter uma estimativa do canal MIMO de *downlink*, (2) derivar vetores de direcionamento para transmissão de *uplink* e (3) derivar um filtro casado para transmissão do *downlink*, como descrito abaixo.

Em um esquema exemplar de transmissão de piloto, o piloto sinalizador é transmitido para dois períodos de símbolo e o piloto MIMO é transmitido por oito períodos de símbolo no início do segmento BCH. A Tabela 6 mostra os pilotos sinalizador e MIMO para tal esquema exemplar.

Tabela 6 – Pilotos Sinalizador e MIMO para o BCH

Tipo de Piloto	Período de símbolo	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Piloto Sinalizador	1	B	B	B	B
	2	B	B	B	B
Piloto MIMO	3	+P	+P	+P	+P
	4	+P	-P	+P	-P
	5	+P	+P	-P	-P
	6	+P	-P	-P	+P
	7	+P	+P	+P	+P
	8	+P	-P	+P	-P
	9	+P	+P	-P	-P
	10	+P	-P	-P	+P

O piloto sinalizador transmitido no *downlink* pode ser expresso como:

$$\underline{x}_{dn,bp}(k) = \hat{\underline{k}}_{ap}(k)b(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (7)}$$

5 onde $\underline{x}_{dn,bp}(k)$ é um vetor de transmissão para a sub-banda k para o piloto sinalizador; e

$b(k)$ é o símbolo de piloto a ser transmitido na sub-banda k para o piloto sinalizador, que é dado na Tabela 2.

10 Como mostrado na equação (7), o piloto sinalizador é escalonado pelo vetor de correção $\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$, porém não é submetido a qualquer outro processamento espacial.

O piloto MIMO transmitido no *downlink* pode ser
15 expresso como:

$$\underline{x}_{dn,np,n}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \underline{w}_{dn,n} p(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (8)}$$

onde $\underline{x}_{dn,np,n}(k)$ é um vetor de transmissão ($N_{ap} \times 1$) para a sub-banda k no período de símbolo n para o piloto MIMO de *downlink*;

$\underline{w}_{dn,n}$ é um vetor ($N_{ap} \times 1$) com N_{ap} chips Walsh para as N_{ap} antenas de transmissão no ponto de acesso no período de símbolo n para o piloto MIMO de *downlink*; e

$p(k)$ é o símbolo de piloto a ser transmitido na sub-banda k para o piloto MIMO, que é dado na Tabela 2.

Como mostrado na equação (8), o piloto MIMO é coberto pelo vetor $\underline{w}_{dn,n}$ e também escalonado pela matriz de correção $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$, porém não é submetido a qualquer outro processamento espacial. O mesmo vetor Walsh $\underline{w}_{dn,n}$ é usado para todas as sub-bandas e, portanto, $\underline{w}_{dn,n}$ não é uma função do índice de sub-banda k . No entanto, uma vez que cada seqüência Walsh é uma seqüência exclusiva de 4 chips Walsh para 4 períodos de símbolo, $\underline{w}_{dn,n}$ é uma função do período de símbolo n . O vetor $\underline{w}_{dn,n}$, portanto, inclui N_{ap} chips Walsh a serem usados para as N_{ap} antenas de transmissão no ponto de acesso para o período de símbolo n . Para o esquema mostrado na Tabela 6, os quatro vetores $\underline{w}_{dn,n}$, para $n = \{3, 4, 5, 6\}$, para os primeiros quatro períodos de símbolo da transmissão do piloto MIMO no BCH são $\underline{w}_3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1]$, $\underline{w}_4 = [1 \ -1 \ 1 \ -1]$, $\underline{w}_5 = [1 \ 1 \ -1 \ -1]$, $\underline{w}_6 = [1 \ -1 \ -1 \ 1]$ e os quatro vetores $\underline{w}_{dn,n}$, para $n = \{7, 8, 9, 10\}$, para os próximos quatro períodos de símbolo são repetidos de tal forma que $\underline{w}_7 = \underline{w}_3$, $\underline{w}_8 = \underline{w}_4$, $\underline{w}_9 = \underline{w}_5$ e $\underline{w}_{10} = \underline{w}_6$.

O piloto MIMO transmitido no *uplink* pode ser expresso como:

$$\underline{x}_{up,mp,n}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \underline{w}_{up,n} p(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (9)}$$

onde $\underline{x}_{up,mp,n}(k)$ é um vetor de transmissão ($N_{ut} \times 1$) para a sub-banda k no período de símbolo n para o piloto MIMO de *uplink*. O vetor Walsh $\underline{w}_{up,n}$ usado para o piloto MIMO de *uplink* pode ser igual ou diferente do vetor Walsh $\underline{w}_{dn,n}$ usado para o piloto MIMO de *downlink*. Por exemplo, se um terminal de usuário for equipado com apenas duas antenas de transmissão, então $\underline{w}_{up,n}$ pode incluir duas seqüências Walsh com comprimento de 2 ou maior.

3. Processamento Espacial

Como acima descrito, a matriz de resposta de canal para cada sub-banda pode ser diagonalizada para obter os N_s automodos para tal sub-banda. A decomposição de valor singular da matriz de resposta de canal de *uplink* calibrada, $\underline{H}_{cup}(k)$, pode ser expressa como:

$$\underline{H}_{cup}(k) = \underline{U}_{ap}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{V}_{ut}^H(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (10)}$$

onde $\underline{U}_{ap}(k)$ é uma matriz unitária ($N_{ut} \times N_{ut}$) de autovetores esquerdos de $\underline{H}_{cup}(k)$;

10 $\underline{\Sigma}(k)$ é uma matriz diagonal ($N_{ut} \times N_{ap}$) de valores singulares de $\underline{H}_{cup}(k)$; e

$\underline{V}_{ut}(k)$ é uma matriz unitária ($N_{ap} \times N_{ap}$) de autovetores direitos de $\underline{H}_{cup}(k)$.

De forma similar, a decomposição de valor singular da matriz de resposta de canal de *downlink* calibrada, $\underline{H}_{cdn}(k)$, pode ser expressa como:

$$\underline{H}_{cdn}(k) = \underline{V}_{ut}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{U}_{ap}^T(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (11)}$$

onde as matrizes $\underline{V}_{ut}^*(k)$ e $\underline{U}_{ap}^*(k)$ são matrizes unitárias de vetores esquerdos e direitos, respectivamente, de $\underline{H}_{cdn}(k)$.

20 Como mostrado nas equações (10) e (11) e com base na descrição acima, as matrizes de autovetores esquerdos e direitos para um link são o conjugado complexo das matrizes de autovetores direitos e esquerdos, respectivamente, para o outro link. Por simplicidade, a referência às matrizes

25 $\underline{U}_{ap}(k)$ e $\underline{V}_{ut}(k)$ na descrição que se segue pode também se referir às suas várias outras formas (por exemplo, $\underline{V}_{ut}(k)$ pode se referir a $\underline{V}_{ut}(k)$, $\underline{V}_{ut}^*(k)$, $\underline{V}_{ut}^T(k)$ e $\underline{V}_{ut}^H(k)$). As matrizes $\underline{U}_{ap}(k)$ e $\underline{V}_{ut}(k)$ podem ser usadas pelo ponto de acesso e pelo terminal de usuário, respectivamente, para

30 processamento espacial e são denotadas como tal pelos seus subscritos.

Em uma modalidade, o terminal de usuário pode estimar a resposta de canal de *downlink* calibrada com base

em um piloto MIMO transmitido pelo ponto de acesso. O terminal de usuário pode, a seguir, efetuar a decomposição de valor singular da estimativa de resposta de canal de *downlink* calibrada $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$, para $k \in K$, para obter a matriz

5 diagonal $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ e a matriz $\hat{\underline{V}}_{\text{ut}}^*(k)$ de autovetores esquerdos de $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$ para cada sub-banda. Tal decomposição de valor singular pode ser dada por $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k) = \hat{\underline{V}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^T(k)$, em que o circunflexo ("^") acima de cada matriz indica que ela é uma estimativa da matriz real. De forma similar, o ponto

10 de acesso pode estimar a resposta de canal de *uplink* calibrada com base em um piloto MIMO transmitido pelo terminal de usuário. O ponto de acesso pode, a seguir, efetuar a decomposição de valor singular da estimativa de resposta de canal de *uplink* calibrada $\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$, para $k \in K$,

15 para obter a matriz diagonal $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ e a matriz $\hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k)$ de autovetores esquerdos de $\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$ para cada sub-banda. Tal decomposição de valor singular pode ser dada por $\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{V}}_{\text{ut}}^H(k)$. O ponto de acesso e o terminal de usuário podem também obter os autovetores requeridos com base em

20 uma referência direcionada, como descrito abaixo.

A transmissão de dados pode ocorrer em um ou múltiplos automodos de banda larga para cada link. O número específico de automodos de banda larga a ser usado para a transmissão de dados é tipicamente dependente das condições

25 de canal e pode ser selecionado de várias maneiras. Por exemplo, os automodos de banda larga podem ser selecionados pelo uso de um procedimento de enchimento de água (water-filling) que tenta maximizar a capacidade de transmissão total (1) selecionando o melhor conjunto de um ou mais

30 automodos de banda larga a ser usado e (2) distribuindo a potência de transmissão total entre os automodos de banda larga selecionados.

O sistema MIMO OFDM pode, portanto, ser projetado para suportar múltiplos modos operacionais, incluindo:

- Modo de multiplexação espacial - usado para transmissão de dados em múltiplos automodos de banda larga; e
- Modo de direcionamento de feixe - usado para transmissão de dados no automodo de banda larga principal (melhor).

A transmissão de dados em múltiplos automodos de banda larga pode ser obtida efetuando-se o processamento espacial com múltiplos conjuntos de autovetores nas matrizes $\underline{U}_{ap}(k)$ ou $\underline{V}_{ut}(k)$, para $k \in K$ (isto é, um conjunto de autovetores para cada automodo de banda larga). A Tabela 7 resume o processamento espacial no ponto de acesso e no terminal de usuário para transmissão e recepção de dados para o modo de multiplexação espacial.

Tabela 7 - Processamento Espacial para o Modo de Multiplexação Espacial

	<i>downlink</i>	<i>uplink</i>
Ponto de Acesso	Transmissão: $\underline{x}_{dn}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{s}_{dn}(k)$	Recepção: $\hat{\underline{s}}_{up}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^H(k) \underline{r}_{up}(k)$
Terminal de Usuário	Recepção: $\hat{\underline{s}}_{dn}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}^T(k) \underline{r}_{dn}(k)$	Transmissão: $\underline{x}_{up}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{V}}_{ut}(k) \underline{s}_{up}(k)$

Na Tabela 7, $\underline{s}(k)$ é m vetor de "dados" com até N_s entradas não-zero para os símbolos de modulação a serem transmitidos nos N_s automodos da sub-banda k , $\underline{x}(k)$ é um vetor de transmissão para a sub-banda k , $\underline{r}(k)$ é um vetor recebido para a sub-banda k e $\hat{\underline{s}}(k)$ é uma estimativa do vetor de dados transmitido $\underline{s}(k)$. Os subscritos "dn" e "up" para tais vetores denotam transmissões de *downlink* e *uplink*, respectivamente.

A transmissão de dados em um automodo pode ser obtida pelo uso de "formação de feixe" ou "direcionamento de feixe". Para a formação de feixe, os símbolos de modulação são espacialmente processados com um conjunto de autovetores $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ ou $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$, para $k \in K$, para o automodo de banda larga principal. Para direcionamento de feixe, os símbolos de modulação são processados espacialmente com um conjunto de autovetores "normalizados" (ou "saturados") $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ ou $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$, para $k \in K$, para o automodo de banda larga principal. Os autovetores normalizados $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ e $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ podem ser derivados como descrito abaixo.

O processamento espacial para os modos de multiplexação espacial e direcionamento de feixe é descrito em detalhes nos Pedidos de Patente Provisórios U.S. N^{os} de Série 60/421,309 e 60/421,428 acima mencionados. As referências direcionadas para os modos de multiplexação espacial e direcionamento de feixe serão descritas abaixo.

4. Referência Direcionada

Para um canal recíproco (por exemplo, após a calibragem ter sido efetuada para compensar diferenças nas cadeias de transmissão/recepção no ponto de acesso e no terminal de usuário), pode ser transmitida uma referência direcionada pelo terminal de usuário e usada pelo ponto de acesso para obter estimativas de $\hat{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ e $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$, sem a necessidade de estimar o canal MIMO ou efetuar a decomposição de valor singular. De forma similar, uma referência direcionada pode ser transmitida pelo ponto de acesso e usada pelo terminal de usuário para obter estimativas de $\hat{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ e $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$.

Em uma modalidade, a referência direcionada compreende um conjunto de símbolos de piloto (por exemplo, o símbolo OFDM P) que é transmitido em um automodo de banda

larga em um dado período de símbolo efetuando-se o processamento espacial com um conjunto de autovetores não normalizados ou normalizados para tal automodo de banda larga. Em uma modalidade alternativa, a referência

5 direcionada compreende múltiplos conjuntos de símbolos de piloto que são transmitidos em múltiplos automodos de banda larga no mesmo período de símbolo efetuando-se o processamento espacial com múltiplos conjuntos de autovetores não normalizados ou normalizados para tais

10 automodos de banda larga. Em qualquer dos casos, a referência direcionada é transmitida a partir de todas as N_{ap} antenas no ponto de acesso (para o *downlink*) e todas as N_{ut} antenas no terminal de usuário (para o *uplink*). Por clareza, a descrição que se segue presume que a referência

15 direcionada é transmitida para um automodo de banda larga em um dado período de símbolo.

A. Referência Direcionada de *downlink* - Modo de Multiplexação Espacial

Para o modo de multiplexação espacial, a referência direcionada de *downlink* transmitida no $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga pelo ponto de acesso pode ser expressa como:

$$\underline{x}_{dn, sr, m}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{u}}_{ap, m}^*(k) p(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (12)}$$

onde $\underline{x}_{dn, sr, m}(k)$ é o vetor de transmissão para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda do $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga;

$\hat{\underline{u}}_{ap, m}^*(k)$ é o autovetor para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda do $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga; e

$p(k)$ é o símbolo de piloto a ser transmitido na sub-banda k para a referência direcionada (por exemplo, como dado na Tabela 2).

O vetor de direcionamento $\hat{\underline{u}}_{ap, m}^*(k)$ é a $m^{\text{ésima}}$

coluna da matriz $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k)$, onde $\hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) = [\hat{\underline{u}}_{ap, 1}^*(k) \ \hat{\underline{u}}_{ap, 2}^*(k) \ \dots \ \hat{\underline{u}}_{ap, N_{ap}}^*(k)]$.

A referência direcionada de *downlink* recebida no terminal de usuário para o modo de multiplexação espacial pode ser expressa como:

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{r}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn},\text{sr},m}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \quad , \text{ para } k \in K, \\ &\approx \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},m}^*(k)\sigma_m(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k)\end{aligned}\quad \text{Eq (13)}$$

5 onde $\sigma_m(k)$ é o valor singular para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda do $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga.

B. Referência Direcionada de *downlink* - Modo de Direcionamento de Feixe

Para o modo de direcionamento de feixe, o
10 processamento espacial no transmissor é efetuado usando-se um conjunto de vetores “normalizados” para o automodo de banda larga principal. A função de transferência total com um autovetor normalizado $\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ é diferente da função de transferência total com um autovetor não normalizado
15 $\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{\text{ap},1}^*(k)$ (isto é, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{\text{ap},1}^*(k) \neq \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$). Uma referência direcionada gerada usando-se o conjunto de autovetores normalizados para o automodo de banda larga principal pode então ser enviada pelo transmissor e usada pelo receptor para derivar o filtro casado para o modo de
20 direcionamento de feixe.

Para o modo de direcionamento de feixe, a referência direcionada de *downlink* transmitida no automodo de banda larga principal pelo ponto de acesso pode ser expressa como:

$$\underline{\tilde{\mathbf{x}}}_{\text{dn},\text{sr}}(k) = \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)\underline{\tilde{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K, \quad \text{Eq (14)}$$

25 onde $\underline{\tilde{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ é o autovetor normalizado para a $k^{\text{ésima}}$ sub-banda do automodo de banda larga principal, o que pode ser expresso como:

$$\underline{\tilde{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k) = [Ae^{j\theta_{u1}(k)} \ Ae^{j\theta_{u2}(k)} \ \dots \ Ae^{j\theta_{uN_{\text{ap}}}(k)}]^T \quad , \quad \text{Eq (15)}$$

onde A é uma constante (por exemplo, $A = 1$); e

$\theta_{ui}(k)$ é a fase para a k ésima sub-banda da i ésima antena de transmissão que é dada por:

$$\theta_m(k) = \angle \hat{u}_{ap,1,i}^*(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)\}}{\text{Re}\{\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)\}} \right). \quad \text{Eq (16)}$$

5 Como mostrado na equação (15), os N_{ap} elementos do vetor $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ possuem iguais magnitudes, porém fases possivelmente diferentes. Como mostrado na equação (16), a fase de cada elemento no vetor $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ é obtida a partir do elemento correspondente do vetor $\hat{\mathbf{u}}_{ap,:}^*(k)$ (isto é, $\theta_{ui}(k)$ é obtida a partir de $\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)$, onde

$$\hat{\mathbf{u}}_{ap,:}^*(k) = [\hat{u}_{ap,1,1}^*(k) \ \hat{u}_{ap,1,2}^*(k) \ \dots \ \hat{u}_{ap,1,N_{ap}}^*(k)]^T.$$

A referência direcionada de *downlink* recebida no terminal de usuário para o modo de direcionamento de feixe pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{dn,sr}(k) &= \mathbf{H}_{dn}(k) \tilde{\mathbf{x}}_{dn,sr}(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \quad , \text{ para } k \in K. \\ &= \mathbf{H}_{cdn}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) p(k) + \mathbf{n}_{dn}(k) \end{aligned} \quad \text{Eq (17)}$$

15

C. Referência Direcionada de uplink - Modo de Multiplexação Espacial

Para o modo de multiplexação espacial, a referência direcionada de *uplink* transmitida no m ésimo automodo de banda larga pelo terminal de usuário pode ser expressa como:

$$\mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_m(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k) p(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Eq (18)}$$

O vetor $\hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k)$ é a m ésima coluna da matriz $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, onde $\hat{\mathbf{V}}_{ut}(k) = [\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k) \ \hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k) \ \dots \ \hat{\mathbf{v}}_{ut,N_{sr}}(k)]$.

25 A referência direcionada de *uplink* recebida no ponto de acesso para o modo de multiplexação espacial pode ser expressa como:

$$\mathbf{r}_{\text{up},sr,m}(k) = \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\mathbf{x}_{\text{up},sr,m}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Eq (19)}$$

$$\approx \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k)$$

D. Referência Direcionada de *uplink* – Modo de Direcionamento de Feixe

Para o modo de direcionamento de feixe, a
5 referência direcionada de *uplink* transmitida no automodo de banda larga principal pelo terminal de usuário pode ser expressa como:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up},sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Eq (20)}$$

O autovetor normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ para a k ésima sub-
10 banda para o automodo de banda larga principal pode ser expresso como:

$$\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k) = [Ae^{j\theta_{v_1}(k)} \quad Ae^{j\theta_{v_2}(k)} \quad \dots \quad Ae^{j\theta_{v_{N_{\text{ut}}}}(k)}]^T \quad , \quad \text{Eq (21)}$$

onde

$$\theta_{v_i}(k) = \angle \hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1,i}(k) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1,i}(k)\}} \right) \quad . \quad \text{Eq (22)}$$

Como mostrado na equação (22), a fase de cada elemento no vetor $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ é obtida a partir do elemento
15 correspondente do autovetor $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$.

A referência direcionada de *uplink* recebida no ponto de acesso para o modo de direcionamento de feixe pode ser expressa como:

$$\tilde{\mathbf{r}}_{\text{up},sr}(k) = \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up},sr}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \quad , \text{ para } k \in K. \quad \text{Eq (23)}$$

$$\approx \mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k)$$

20 A Tabela 8 resume o processamento espacial no ponto de acesso e no terminal de usuário para a referência direcionada para os modos de multiplexação espacial e de direcionamento de feixe.

Tabela 8 - Processamento Espacial para Referência Direcionada

	Modo de Multiplexação Espacial	Modo de Direcionamento de Feixe
Ponto de Acesso	$\underline{x}_{da, sr, m}(k) = \hat{\underline{K}}_{sp}(k) \hat{\underline{u}}_{sp, m}^*(k) p(k)$	$\tilde{\underline{x}}_{da, sr}(k) = \hat{\underline{K}}_{sp}(k) \tilde{\underline{u}}_{sp}(k) p(k)$
Terminal de Usuário	$\underline{x}_{up, sr, m}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{v}}_{ut, m}(k) p(k)$	$\tilde{\underline{x}}_{up, sr}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \tilde{\underline{v}}_{ut}(k) p(k)$

E. Transmissão de Referência Direcionada

Para a estrutura de quadro exemplar mostrada na Figura 2, a referência direcionada pode ser transmitida no preâmbulo ou na porção de piloto de uma PDU FCH (para o downlink) ou uma PDU RCH (para o uplink). A referência direcionada pode ser transmitida de várias maneiras.

Em uma modalidade, para o modo de multiplexação espacial, a referência direcionada é transmitida para um ou mais automodos de banda larga para cada quadro TDD. O número específico de automodos de banda larga a ser transmitido em cada quadro TDD pode depender da duração da referência direcionada. A Tabela 9 lista os automodos de banda larga usados para a referência direcionada no preâmbulo de uma PDU FCH/RCH para vários tamanhos de preâmbulo, para um projeto exemplar com quatro antenas de transmissão.

Tabela 9

Tamanho do Preâmbulo	Automodos de Banda Larga Usados
0 símbolo OFDM	Sem preâmbulo
1 símbolo OFDM	Automodo de banda larga m, onde m = contador de quadros mod 4
4 símbolos OFDM	Entrar em ciclo através de todos os 4 automodos de banda larga no preâmbulo
8 símbolos OFDM	Entrar em ciclo duas vezes através de todos os quatro automodos de banda larga no preâmbulo

Como mostrado na Tabela 9, a referência direcionada é transmitida para todos os quatro automodos de banda larga dentro do mesmo quadro TDD quando o tamanho do preâmbulo for de quatro ou oito períodos de símbolos. A
 5 referência direcionada transmitida no preâmbulo de uma PDU FCH pelo ponto de acesso para o $n^{\text{ésimo}}$ período de símbolo pode ser expressa como:

$$\underline{x}_{\text{dn},\text{sr},n}(k) = \hat{\underline{K}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{u}}_{\text{ap},[(n-1) \bmod 4]+1}^*(k) p(k), \text{ para } k \in K \text{ e } n \in \{1 \dots L\}, \text{ Eq (24)}$$

onde L é o tamanho do preâmbulo (por exemplo, L = 0, 1, 4,
 10 ou 8, para o projeto exemplar mostrado na Tabela 9).

A referência direcionada transmitida no preâmbulo de uma PDU RCH pelo terminal de usuário para o $n^{\text{ésimo}}$ período de símbolo pode ser expressa como:

$$\underline{x}_{\text{up},\text{sr},n}(k) = \hat{\underline{K}}_{\text{ut}}(k) \hat{\underline{y}}_{\text{ut},[(n-1) \bmod 4]+1}(k) p(k), \text{ para } k \in K \text{ e } n \in \{1 \dots L\}. \text{ Eq (25)}$$

15 Nas equações (24) e (25), os quatro automodos de banda larga entram em ciclo em cada período de 4 símbolos pela operação "mod" para o vetor de direcionamento. Tal esquema pode ser usado caso o canal mude mais rapidamente e/ou durante a parte inicial de uma sessão de comunicação
 20 quando uma boa estimativa de canal precisar ser obtida rapidamente para a operação apropriada do sistema.

Em outra modalidade, a referência direcionada é transmitida para um automodo de banda larga para cada quadro TDD. A referência direcionada para quatro automodos
 25 de banda larga pode entrar em ciclo em quatro quadros TDD. Por exemplo, os vetores de direcionamento $\hat{\underline{y}}_{\text{ut},1}(k)$, $\hat{\underline{y}}_{\text{ut},2}(k)$, $\hat{\underline{y}}_{\text{ut},3}(k)$ e $\hat{\underline{y}}_{\text{ut},4}(k)$ podem ser usados para quatro quadros TDD consecutivos pelo terminal de usuário. O vetor de direcionamento específico a ser usado para a referência
 30 direcionada em cada quadro TDD pode ser especificado por um contador de quadros, o qual pode ser enviado na mensagem do BCH. Tal esquema pode permitir que um preâmbulo mais curto seja usado para as PDU FCH e RCH. No entanto, um período de

tempo mais longo pode ser necessário para se obter uma boa estimativa do canal.

Para o modo de direcionamento de feixe, o vetor de direcionamento normalizado para o automodo de banda
5 larga principal é usado para a referência direcionada, como mostrado nas equações (14) e (20). A duração da referência direcionada pode ser selecionada, por exemplo, com base nas condições do canal.

Quando operando no modo de direcionamento de
10 feixe, o terminal de usuário pode transmitir múltiplos símbolos de referência direcionada, por exemplo, um ou mais símbolos usando o autovetor normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$, um ou mais símbolos usando o autovetor $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ para o automodo principal e possivelmente um ou mais símbolos usando os
15 autovetores para os outros automodos. Os símbolos de referência direcionada gerados com $\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$ podem ser usados pelo ponto de acesso para derivar um vetor de filtro casado de *uplink*. Tal vetor é usado pelo ponto de acesso para efetuar a filtragem casada da transmissão de dados de
20 *uplink* enviada pelo terminal de usuário usando direcionamento de feixe. Os símbolos de referência direcionados gerados com $\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$ podem ser usados para obter $\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$, que pode, a seguir, ser usado para derivar o autovetor normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$ que é usado para
25 direcionamento de feixe no *downlink*. Os símbolos de referência direcionada gerados com os autovetores $\hat{\mathbf{v}}_{ut,2}(k)$ a $\hat{\mathbf{v}}_{ut,N_s}(k)$ para os outros automodos podem ser usados pelo ponto de acesso para obter $\hat{\mathbf{u}}_{ap,2}(k)$ a $\hat{\mathbf{u}}_{ap,N_s}(k)$ e as estimativas de valor singular para esses outros automodos.
30 Tais informações podem, então, ser usadas pelo ponto de acesso para determinar se deve ser usado o modo de multiplexação espacial ou o modo de direcionamento de feixe para a transmissão de dados de *downlink*.

Para o *downlink*, o terminal de usuário pode derivar um vetor de filtro casado de *downlink* para o modo de direcionamento de feixe com base na estimativa de resposta de canal de *downlink* estimada $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$. Em particular, o terminal de usuário possui $\hat{\underline{u}}_{\text{ap},1}^*(k)$ proveniente da decomposição de valor singular de $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$ e pode, a seguir, derivar o autovetor normalizado $\hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$. O terminal de usuário pode, então, multiplicar $\hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$ por $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$ para obter $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k) \hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$ e pode, a seguir, derivar o vetor de filtro casado de *downlink* para o modo de direcionamento de feixe com base em $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k) \hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$. Alternativamente, uma referência direcionada pode ser enviada pelo ponto de acesso usando o autovetor normalizado $\hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$ e tal referência direcionada pode ser processada pelo terminal de usuário da maneira acima descrita para obter o vetor de filtro casado de *downlink* para o modo de direcionamento de feixe.

F. Multiplexação de Sub-banda para Referência Direcionada

Para os modos de multiplexação espacial e direcionamento de feixe, a referência direcionada pode também ser transmitida para múltiplos automodos de banda larga para um dado período de símbolo usando-se multiplexação de sub-banda. As sub-bandas usáveis podem ser particionadas em múltiplos conjuntos desarticulados de sub-bandas, um conjunto para cada automodo de banda larga selecionado para transmissão da referência direcionada. Cada conjunto de sub-bandas pode então ser usado para transmitir uma referência direcionada para o automodo de banda larga associado. Por simplicidade, o termo "automodo de banda larga" é aqui utilizado apesar de a referência direcionada ser enviada em somente um subconjunto de todas as sub-bandas usáveis.

Por exemplo, a referência direcionada pode ser transmitida em todos os quatro automodos de banda larga em um período de símbolo. Em tal caso, as 52 sub-bandas usáveis podem ser particionadas em quatro conjuntos desarticulados (por exemplo, rotulados como conjuntos 1, 2, 3 e 4), com cada conjunto incluindo 13 sub-bandas. As 13 sub-bandas em cada conjunto podem ser uniformemente distribuídas através das 52 sub-bandas usáveis. A referência direcionada para o automodo de banda larga principal pode então ser transmitida nas 13 sub-bandas no conjunto 1, a referência direcionada para o segundo automodo de banda larga pode ser transmitida nas 13 sub-bandas no conjunto 2, a referência direcionada para o terceiro automodo de banda larga pode ser transmitida nas 13 sub-bandas no conjunto 3 e a referência direcionada para o quarto automodo de banda larga pode ser transmitida nas 13 sub-bandas no conjunto 4.

Caso a referência direcionada seja enviada em apenas um subconjunto de todas as sub-bandas usáveis para um dado automodo de banda larga, então pode ser usada interpolação ou alguma outra técnica para obter estimativas para as sub-bandas não usadas para a transmissão da referência direcionada para tal automodo de banda larga.

Em geral, os múltiplos conjuntos de sub-bandas podem incluir o mesmo ou diferentes números de sub-bandas. Por exemplo, o número de sub-bandas a ser incluído em cada conjunto pode depender da SNR do automodo de banda larga associado ao conjunto (por exemplo, mais sub-bandas podem ser atribuídas a um conjunto associado a um automodo de banda larga de baixa qualidade). Além disso, as sub-bandas em cada conjunto podem ser distribuídas de modo uniforme ou não uniforme pelas sub-bandas usáveis. Os múltiplos conjuntos de sub-bandas podem também ser associados ao mesmo ou a diferentes conjuntos de símbolos de piloto.

A multiplexação de sub-banda pode ser usada para reduzir a quantidade de overhead necessário para transmitir a referência direcionada, o que pode melhorar a eficiência do sistema.

5 **G. Estimação de Canal com a Referência Direcionada**

Como mostrado na equação (13), no terminal de usuário, a referência direcionada de *downlink* recebida para o modo de multiplexação espacial (na ausência de ruído) é
 10 de aproximadamente $\hat{\mathbf{y}}_{ut,m}^*(k)\sigma_m(k)p(k)$. De forma similar, como mostrado na equação (19), no ponto de acesso, a referência direcionada de *uplink* recebida para o modo de multiplexação espacial (na ausência de ruído) é aproximadamente $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k)$. O ponto de acesso pode,
 15 portanto, obter uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ e $\sigma_m(k)$ com base em uma referência direcionada enviada pelo terminal de usuário e vice versa.

Várias técnicas podem ser usadas para processar uma referência direcionada. Por clareza, a descrição que se segue serve para o processamento de uma referência
 20 direcionada de *uplink*. O vetor recebido no ponto de acesso é dado pela equação (19), que é $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k) \approx \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)$.

Em uma modalidade, para obter uma estimativa de
 25 $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$, o vetor recebido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$ para a referência direcionada enviada no $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga é primeiramente multiplicado pelo conjugado complexo do símbolo de piloto, $p^*(k)$, que é usado para a referência direcionada. O resultado pode ser, então, integrado em
 30 múltiplos símbolos de referência direcionada recebidos para cada automodo de banda larga para obter uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)$, que é um autovetor esquerdo escalonado de $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ para o $m^{\text{ésimo}}$ automodo de banda larga. Cada uma das

N_{ap} entradas do vetor $\hat{\underline{u}}_{ap,m}(k)$ é obtida com base em uma entrada correspondente das N_{ap} entradas para o vetor $\underline{r}_{up,m}(k)$, em que as N_{ap} entradas de $\underline{r}_{up,m}(k)$ são os símbolos recebidos a partir das N_{ap} antenas no ponto de acesso. Dado
 5 que os autovetores possuem potência unitária, o valor singular $\sigma_m(k)$ pode ser estimado com base na potência recebida da referência direcionada, que pode ser medida para cada sub-banda de cada automodo de banda larga. A estimativa de valor singular $\hat{\sigma}_m(k)$ é então igual à raiz
 10 quadrada da potência recebida dividida pela magnitude do símbolo de piloto $p(k)$.

Em outra modalidade, é usada uma técnica de mínimo erro quadrático médio (MMSE) para obter uma estimativa do vetor $\hat{\underline{u}}_{ap,m}(k)$ com base no vetor recebido
 15 $\underline{r}_{up,sr,m}(k)$ para a referência direcionada. Uma vez que os símbolos de piloto $p(k)$ são conhecidos, o ponto de acesso pode derivar uma estimativa de $\hat{\underline{u}}_{ap,m}(k)$ de modo que o erro quadrático médio entre os símbolos de piloto recebidos (obtidos após efetuar a filtragem casada no vetor recebido
 20 $\underline{r}_{up,sr,m}(k)$) e os símbolos de piloto transmitidos seja minimizado. O uso da técnica MMSE para processamento espacial no receptor é descrito no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 09/993,087 da Requerente, intitulado "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication
 25 System", depositado em 6 de novembro de 2001.

A referência direcionada é enviada para um automodo de banda larga em qualquer período de símbolo dado (sem multiplexação de sub-banda) e pode, por sua vez, ser usada para obter uma estimativa de um autovetor para cada
 30 sub-banda de tal automodo de banda larga. Dessa forma, o receptor é capaz de obter uma estimativa de apenas um autovetor em uma matriz unitária para qualquer período de símbolo dado. Uma vez que as estimativas de múltiplos autovetores para a matriz unitária são obtidas durante

diferentes períodos de símbolos, e devido ao ruído e outras fontes de degradação no canal sem fio, os autovetores estimados para a matriz unitária (que são individualmente derivados) provavelmente não serão ortogonais uns aos
 5 outros. Os autovetores estimados podem ser, a seguir, usados para filtragem casada de uma transmissão de dados recebida no mesmo link e/ou processamento espacial de uma transmissão de dados enviada no outro link. Em tal caso, quaisquer erros de ortogonalidade entre tais autovetores
 10 estimados iria resultar em linha cruzada entre os fluxos de dados enviados nos automodos correspondentes aos autovetores. A linha cruzada pode degradar o desempenho.

Em uma modalidade, os autovetores estimados para cada matriz unitária são forçados a ficarem ortogonais uns
 15 aos outros. A ortogonalização dos autovetores pode ser obtida usando-se a técnica de Gram-Schmidt, que é descrita em detalhes na referência acima mencionada de Gilbert Strang, ou alguma outra técnica.

Outras técnicas para processar a referência
 20 direcionada também podem ser usadas, e isto se insere no escopo da invenção.

O ponto de acesso pode, portanto, estimar $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ e $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ com base na referência direcionada enviada pelo terminal de usuário, sem ter que estimar a resposta de
 25 canal de *uplink* ou efetuar a decomposição de valor singular de $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$.

O processamento no terminal de usuário para estimar as matrizes $\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$ e $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$, com base na referência direcionada do *downlink* pode ser efetuado de
 30 modo similar àquele acima descrito para a referência direcionada do *uplink*.

Para o modo de direcionamento de feixe, no *uplink*, o vetor recebido $\tilde{\underline{x}}_{up,sr,m}(k)$ para a referência

direcionada pode ser processado pelo ponto de acesso de maneira similar para obter uma estimativa de $\underline{H}_{\text{cup}}(k) \hat{\underline{v}}_{\text{ut}}(k)$. A transposição conjugada de tal estimativa é, portanto, o filtro casado para a transmissão de *uplink* no modo de direcionamento de feixe. No *downlink*, o vetor recebido $\hat{\underline{r}}_{\text{dn},\text{sr},\text{m}}(k)$ para a referência direcionada pode ser processado pelo terminal de usuário de maneira similar para obter uma estimativa de $\underline{H}_{\text{cdn}}(k) \hat{\underline{u}}_{\text{ap}}(k)$. A transposição conjugada de tal estimativa é, portanto, o filtro casado para a transmissão do *downlink* no modo de direcionamento de feixe.

5. Piloto de portadora

O piloto de portadora pode ser transmitido nas sub-bandas de piloto de várias maneiras para a estrutura de quadro TDD mostrada na Figura 2. Em uma modalidade, as quatro seqüências de piloto são reconfiguradas para cada canal de transporte. Dessa forma, no *downlink*, as seqüências de piloto são reconfiguradas para o primeiro símbolo OFDM da mensagem do BCH, novamente reconfiguradas para o primeiro símbolo OFDM da mensagem do FCCH e reconfiguradas para o primeiro símbolo OFDM enviado no FCH. Em outra modalidade, as seqüências de piloto são reconfiguradas no início de cada quadro TDD e repetidas sempre que necessário. Para tal modalidade, as seqüências de piloto podem ser sustadas durante as porções de preâmbulo do BCH e do FCH. O piloto de portadora pode também ser transmitido de outras maneiras e isto se insere no escopo da invenção.

6. Esquema de Transmissão de Piloto

Quatro tipos de piloto foram acima descritos e podem ser usados para sistemas MIMO e MIMO OFDM. Esses quatro tipos diferentes de piloto podem ser transmitidos de várias maneiras.

A Figura 3 mostra transmissões de piloto de *downlink* e *uplink* para um esquema de transmissão de piloto

exemplar. De um modo geral, o bloco 310 corresponde a uma fase de acesso ao sistema, o bloco 320 corresponde a uma fase de calibragem e o bloco 330 corresponde a uma fase de operação normal.

5 Um piloto sinalizador e um piloto MIMO são transmitidos no *downlink* pelo ponto de acesso em cada quadro TDD (bloco 312) para permitir que todos os terminais de usuário no sistema adquiram a frequência e temporização do sistema e estimem o canal de *downlink* (bloco 314). O
10 bloco 314 pode ser efetuado conforme necessário para acessar o sistema.

A calibragem pode ser efetuada antes da operação normal para calibrar a remoção de diferenças nas cadeias de transmissão/recepção no ponto de acesso e no terminal de
15 usuário. Para a calibragem, pilotos MIMO podem ser transmitidos pelo ponto de acesso e pelo terminal de usuário (blocos 322 e 326). O piloto MIMO de *uplink* pode ser usado pelo ponto de acesso para derivar uma estimativa do canal de *uplink* (bloco 324) e o piloto MIMO de *downlink*
20 pode ser usado pelo terminal de usuário para derivar ou atualizar uma estimativa do canal de *downlink* (bloco 328). As estimativas de canal de *downlink* e *uplink* são, a seguir, usadas para derivar os fatores de correção para o ponto de acesso e o terminal de usuário.

25 Durante a operação normal, uma referência direcionada pode ser transmitida no *uplink* pelo terminal de usuário (1) se e quando ele desejar uma transmissão de dados ou (2) se ele estiver programado para transmissão de dados (bloco 332). A referência direcionada de *uplink* pode
30 ser usada pelo ponto de acesso para estimar as matrizes unitária e diagonal pertinentes para o terminal de usuário (bloco 334). Uma referência direcionada pode ser opcionalmente transmitida pelo ponto de acesso para o terminal de usuário (como mostrado pelo bloco tracejado

336). O terminal de usuário pode atualizar continuamente sua estimativa do canal de *downlink* com base no piloto MIMO de *downlink* e atualizar as matrizes unitária e diagonal pertinentes com base na referência direcionada do *downlink* (caso transmitida) (bloco 338). Pilotos de portadora são transmitidos pelo ponto de acesso (bloco 340) e pelo terminal de usuário (bloco 344) nas sub-bandas de piloto durante as porções que não são usadas para outros pilotos. O piloto de portadora do *downlink* é usado pelo terminal de usuário para rastrear a fase do sinal de portadora de *downlink* (bloco 342) e o piloto de portadora de *uplink* é usado pelo ponto de acesso para rastrear a fase do sinal de portadora de *uplink* (bloco 346).

Para o esquema de transmissão de piloto mostrado na Figura 3, o terminal de usuário estima a resposta de canal do *downlink* com base no piloto MIMO de *downlink* e transmite uma referência direcionada no *uplink*, que é, a seguir, usada pelo ponto de acesso para estimar as matrizes unitária e diagonal pertinentes para o terminal de usuário. Em certos casos, o terminal de usuário pode ter obtido uma estimativa ruim da resposta de canal de *downlink*, caso este em que a referência direcionada de *uplink* pode ser igualmente ruim ou possivelmente pior. No pior caso, o vetor de direcionamento usado pelo terminal de usuário pode resultar em um feixe nulo sendo apontado no ponto de acesso. Caso isto ocorra, então o ponto de acesso não seria capaz de detectar a referência direcionada de *uplink*. Para evitar tal situação, o terminal de usuário pode perturbar as fases dos N_{ut} elementos do vetor de direcionamento que ele usa para a referência direcionada em situações em que ele detecte que o ponto de acesso não está recebendo a referência direcionada apropriadamente. Por exemplo, caso o terminal de usuário seja designado para transmitir uma referência direcionada de *uplink* como parte de um

procedimento de acesso ao sistema, e caso o acesso ao sistema não seja obtido após um certo número de tentativas de acesso, então o terminal de usuário pode começar a perturbar as fases dos elementos do vetor de
5 direcionamento.

Vários outros esquemas de transmissão de piloto podem também ser implementados para sistemas MIMO e MIMO OFDM, e isto se insere no escopo da invenção. Por exemplo, os pilotos sinalizador e de portadora podem ser combinados
10 em um único piloto que pode ser usado para aquisição de frequência e temporização e rastreamento de fase de portadora. Como outro exemplo, os terminais de usuário ativos podem transmitir pilotos MIMO, ao invés de referências direcionadas, no *uplink*.

15 **IV. Sistema MIMO OFDM**

A Figura 4 mostra um diagrama de blocos de uma modalidade de um ponto de acesso 110x e um terminal de usuário 120x no sistema MIMO OFDM 100. Por clareza, nesta modalidade, o ponto de acesso 110x é equipado com quatro
20 antena que podem ser usadas para transmissão e recepção de dados, e o terminal de usuário 120x é também equipado com quatro antenas para transmissão e recepção de dados. Em geral, o ponto de acesso e o terminal de usuário podem, cada um, ser equipados com qualquer número de antenas de
25 transmissão e qualquer número de antenas de recepção.

No *downlink*, no ponto de acesso 110x, um processador de dados de transmissão (TX) 414 recebe dados de tráfego a partir de uma fonte de dados 412 e sinalização e outros dados a partir de um controlador 430. O
30 processador de dados TX 414 formata, codifica, intercala e modula (isto é, mapeia por símbolos) os dados para prover símbolos de modulação. Um processador espacial TX 420 recebe e multiplexa os símbolos de modulação provenientes do processador de dados TX 414 com símbolos de piloto,
35 efetua o processamento espacial requerido e provê quatro

fluxos de símbolos de transmissão para as quatro antenas de transmissão.

Cada modulador (MOD) 422 recebe e processa um fluxo de símbolos de transmissão respectivo para prover um
5 sinal modulado de *downlink* correspondente. Os quatro sinais modulados de *downlink* provenientes dos moduladores 422a a 422d são, a seguir, transmitidos a partir das antenas 424a a 424d, respectivamente.

No terminal de usuário 120x, quatro antenas 452a
10 a 452d recebem os sinais modulados de *downlink* transmitidos e cada antena provê um sinal recebido para um demodulador (DEMOD) 454 respectivo. Cada demodulador 454 efetua o processamento complementar àquele efetuado no modulador 422 e provê símbolos recebidos. Um processador espacial de
15 recepção (RX) 460, a seguir, efetua o processamento espacial nos símbolos recebidos provenientes de todos os demoduladores 454a a 454d para prover símbolos recuperados, que são estimativas dos símbolos de modulação transmitidos pelo ponto de acesso. Um processador de dados RX 470
20 processa adicionalmente (por exemplo, demapeia os símbolos, deintercala e decodifica) os símbolos recuperados para prover dados decodificados, os quais podem ser providos para um depósito de dados 472 para armazenamento e/ou para um controlador 480 para processamento adicional.

25 O processamento para o *uplink* pode ser igual ou diferente do processamento para o *downlink*. Os dados e a sinalização são processados (por exemplo, codificados, intercalados e modulados) por um processador de dados TX 488, multiplexados com símbolos de piloto e adicionalmente
30 processados espacialmente por um processador espacial TX 490. Os símbolos de transmissão provenientes do processador espacial TX 490 são adicionalmente processados pelos moduladores 454a a 454d para gerar quatro sinais modulados

de *uplink*, que são, a seguir, transmitidos através das antenas 452a a 452d.

No ponto de acesso 410, os sinais modulados de *uplink* são recebidos pelas antenas 424a a 424d, demodulados
 5 pelos demoduladores 422a a 422d e processados por um processador espacial RX 440 e um processador de dados RX 442 de maneira complementar àquela efetuada no terminal de usuário. Os dados decodificados para o *uplink* podem ser providos para um depósito de dados 444 para armazenamento
 10 e/ou para o controlador 430 para processamento adicional.

Os controladores 430 e 480 controlam a operação de várias unidades de processamento no ponto de acesso e no terminal de usuário, respectivamente. As unidades de memória 432 e 482 armazenam dados e códigos de programa
 15 usados pelos controladores 430 e 480, respectivamente.

A Figura 5 mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX 420a que pode gerar um piloto sinalizador e que pode ser implementado no interior do processador espacial TX 420 na Figura 4. O processador 420a
 20 inclui um número de processadores de sub-banda de piloto sinalizador 510a a 510k, um para cada sub-banda usada para transmissão do piloto sinalizador. Cada processador de sub-banda 510 recebe um símbolo de piloto $b(k)$ para o piloto sinalizador e uma matriz de correção $\hat{K}_{ap}(k)$ para a sub-
 25 banda associada.

Dentro de cada processador de sub-banda 510, o símbolo de piloto $b(k)$ é escalonado por quatro multiplicadores 514a a 514d com quatro fatores de correção $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, provenientes da matriz
 30 $\hat{K}_{ap}(k)$. Cada multiplicador 514 efetua a multiplicação complexa do símbolo de piloto complexo por um fator de correção complexo respectivo. Os símbolos de piloto escalonados provenientes dos multiplicadores 514a a 514d são, a seguir, providos para quatro armazenadores

(buffers)/multiplexadores 520a a 520d, respectivamente, que também recebem os símbolos de piloto escalonados provenientes de outros processadores de sub-banda 510. Cada armazenador/multiplexador 520 multiplexa os símbolos de piloto escalonados para todas as sub-bandas usadas para transmissão do piloto sinalizador e valores de sinal zero para as sub-bandas não usadas e provê um fluxo de símbolos de transmissão para a antena de transmissão associada.

A Figura 6A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX 420b que pode gerar um piloto MIMO. O processador 420b pode ser implementado dentro do processador espacial TX 420 ou 490 na Figura 4, porém, por clareza, será descrito abaixo para uma implementação no processador espacial TX 420. O processador 420b inclui um número de processadores de sub-banda de piloto MIMO 610a a 610k, um para cada sub-banda usada para transmissão do piloto MIMO. Cada processador de sub-banda 610 recebe um símbolo de piloto $p(k)$ para o piloto MIMO e uma matriz de correção $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$ para a sub-banda associada. Cada processador de sub-banda 610 recebe também quatro seqüências Walsh, w_1 a w_4 , atribuídas às quatro antenas de transmissão no ponto de acesso.

Dentro de cada processador de sub-banda 610, o símbolo de piloto complexo $p(k)$ é coberto pelas quatro seqüências Walsh w_1 a w_4 por quatro multiplicadores complexos 612a a 612d, respectivamente. Os símbolos de piloto cobertos são adicionalmente escalonados por quatro multiplicadores complexos 614a a 614d com quatro fatores de correção complexos $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, provenientes da matriz $\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$. Os símbolos de piloto escalonados provenientes dos multiplicadores 614a a 614d são, então, providos a quatro armazenadores/multiplexadores 620a a 620d, respectivamente. O processamento subsequente é como acima descrito para a Figura 5.

Para uma implementação de processador 420b no processador espacial TX 490, o número de seqüências Walsh a ser usado depende do número de antenas de transmissão disponíveis no terminal de usuário. Além disso, o
 5 escalonamento é efetuado com os fatores de correção provenientes da matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$ para o terminal de usuário.

A Figura 6B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial RX 460b que pode prover uma estimativa de resposta de canal baseada em um piloto MIMO recebido. O
 10 processador 460b pode ser implementado dentro do processador espacial RX 440 ou 460 na Figura 4, porém por clareza será descrito abaixo para uma implementação no processador espacial RX 460. O processador 460b inclui um número de processadores de sub-banda de piloto MIMO 650a a
 15 650k, um para cada sub-banda usada para a transmissão do piloto MIMO. Cada processador de sub-banda de piloto MIMO 650 recebe um vetor $\underline{r}(k)$ e um símbolo de piloto conjugado $p^*(k)$ para a sub-banda associada. Cada processador de sub-banda 650 também recebe as quatro seqüências Walsh w_1 a w_4
 20 atribuídas às quatro antenas de transmissão no ponto de acesso.

Cada processador de sub-banda de piloto MIMO 650 inclui quatro processadores de sub-banda de piloto MIMO/antena 660a a 660d para as quatro antenas de recepção
 25 no terminal de usuário. Cada processador 660 recebe uma entrada $r_i(k)$ do vetor $\underline{r}(k)$. Dentro de cada processador 660, o símbolo recebido $r_i(k)$ é primeiro multiplicado com o símbolo de piloto conjugado $p^*(k)$ por um multiplicador complexo 662. A saída do multiplicador 662 é adicionalmente
 30 multiplicada com as quatro seqüências Walsh w_1 a w_4 por quatro multiplicadores complexos 664a a 664d, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 664a a 664d são, a seguir, acumuladas pelos acumuladores 666a a 666d, respectivamente, pela duração da transmissão do piloto

MIMO. Cada par de multiplicador 664 e acumulador 666 efetua a descobertura para uma antena de transmissão no ponto de acesso. A saída de cada acumulador 666 representa uma estimativa $\hat{h}_{ij}(k)$ do ganho de canal da antena de transmissão j para a antena de recepção i para a sub-banda k . A determinação da média das estimativas de resposta de canal $\hat{h}_{ij}(k)$ para $i = \{1, 2, 3, 4\}$ e $j = \{1, 2, 3, 4\}$ pode ser adicionalmente feita sobre múltiplas transmissões de piloto MIMO (não é mostrado na Figura 6B) para prover uma estimativa mais precisa da resposta de canal.

Como mostrado na Figura 6B, cada processador de sub-banda de piloto MIMO/antena 660 provê um vetor de linhas $\hat{\underline{h}}_{\text{cdn},i}(k) = [\hat{h}_{i,1}(k) \ \hat{h}_{i,2}(k) \ \hat{h}_{i,3}(k) \ \hat{h}_{i,4}(k)]$ para a antena de recepção associada i , onde $\hat{\underline{h}}_{\text{cdn},i}(k)$ é a i ésima linha da estimativa de resposta de canal calibrada $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$ para o *downlink* (presumindo-se que o ponto de acesso aplicou sua matriz de correção $\hat{\underline{K}}_{\text{ap}}(k)$). Os processadores 660a a 660d provêm coletivamente as quatro linhas da matriz de resposta de canal calibrada $\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$.

A Figura 7A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX 420c que pode gerar uma referência direcionada. O processador 420c pode também ser implementado dentro do processador espacial 420 ou 490 na Figura 4, porém por clareza será descrito abaixo para uma implementação no processador espacial TX 420. O processador 420c inclui um número de processadores de sub-banda de referência direcionada 710a a 710k, um para cada sub-banda usada para transmitir a referência direcionada. Para gerar a referência direcionada para o modo de multiplexação espacial, cada processador de sub-banda 710 recebe um símbolo de piloto $p(k)$, o vetor de direcionamento $\hat{\underline{u}}_{\text{ap},m}^*(k)$ para cada automodo de banda larga no qual a referência

direcionada deve ser transmitida e uma matriz de correção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ para a sub-banda associada.

Dentro de cada processador de sub-banda 710, o símbolo de piloto $p(k)$ é multiplicado pelos quatro elementos $\hat{u}_{ap,1,m}^*(k)$ a $\hat{u}_{ap,4,m}^*(k)$ do vetor de direcionamento $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k)$ para o *m*ésimo automodo de banda larga por quatro multiplicadores complexos 712a a 712d, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 712a a 712d são adicionalmente escalonadas por quatro multiplicadores complexos 714a a 714d com quatro fatores de correção $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, provenientes da matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. Os símbolos de piloto escalonados provenientes dos multiplicadores 714a a 714d são, a seguir, providos para quatro armazenadores/multiplexadores 720a a 720d, respectivamente. O processamento subsequente é como acima descrito.

Para gerar a referência direcionada no *downlink* para o modo de direcionamento de feixe, cada processador de sub-banda 710 receberia um vetor de direcionamento normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$, ao invés do vetor de direcionamento não normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k)$. Para uma implementação de processador 420c no processador espacial TX 490, cada processador de sub-banda 710 receberia ou (1) o vetor de direcionamento $\hat{\mathbf{u}}_{ut,m}(k)$ para cada automodo de banda larga usado para a referência direcionada, para o modo de multiplexação espacial, ou (2) o vetor de direcionamento $\tilde{\mathbf{u}}_{ut}(k)$ para o modo de direcionamento de feixe. Caso a multiplexação de sub-banda seja usada para a referência direcionada, então vetores de direcionamento para múltiplos automodos de banda larga podem ser usados para múltiplos conjuntos desarticulados de sub-bandas, como acima descrito.

A Figura 7B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial RX 460c que pode prover estimativas de vetores de direcionamento e valores singulares com base em uma referência direcionada recebida. O processador 460c

pode ser implementado dentro do processador espacial RX 440 ou 460 na Figura 4, porém por clareza será descrito abaixo para uma implementação no processador espacial RX 460. O processador 460c inclui um número de processadores de sub-banda de referência direcionada 750a a 750k, um para cada sub-banda usada para a transmissão da referência direcionada. Cada processador de sub-banda 750 recebe um vetor $\underline{r}(k)$ e um símbolo de piloto conjugado $p^*(k)$ para a sub-banda associada.

10 Dentro de cada processador de sub-banda 750, os quatro símbolos no vetor recebido $\underline{r}(k)$ são multiplicados com o símbolo de piloto conjugado $p^*(k)$ pelos multiplicadores complexos 762a a 762d, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 762a a 762d são, a seguir, acumuladas pela duração da transmissão da referência direcionada para cada automodo de banda larga pelos acumuladores 764a a 764d, respectivamente. Como mostrado na Tabela 9, a referência direcionada pode ser enviada para múltiplos automodos de banda larga dentro da mesma transmissão de referência direcionada, caso este em que a acumulação é efetuada separadamente para cada um de tais automodos de banda larga. No entanto, múltiplos símbolos de referência direcionada (que podem ser transmitidos em uma ou múltiplas transmissões de referência direcionada) para 20 qualquer automodo de banda larga dado podem ser acumulados para obtenção de uma estimativa de qualidade mais elevada. Os acumuladores 764a a 764d provêem quatro elementos que são a estimativa de $\hat{\underline{y}}_{ut,m}^*(k)\sigma_m(k)$, como mostrado na equação (13).

30 Uma vez que os autovetores possuem potência unitária, o valor singular $\sigma_m(k)$ para cada automodo de banda larga pode ser estimado com base na potência recebida da referência direcionada. Uma unidade de cálculo de potência 766 recebe as saídas dos multiplicadores 762a a

762d e computa a potência recebida da referência direcionada, $P_m(k)$, para cada automodo da sub-banda k . A estimativa do valor singular $\hat{\sigma}_m(k)$ é, portanto, igual à raiz quadrada da potência recebida computada da referência
 5 direcionada dividida pela magnitude do símbolo de piloto

(isto é, $\hat{\sigma}_m(k) = \sqrt{P_m(k)} / |p(k)|$), onde $P_m(k) = \sum_{i=1}^{N_R} |r_i(k)|^2$ e $r_i(k)$ é o símbolo recebido na sub-banda k da antena de recepção i .

As saídas dos acumuladores 766a a 766d são, a seguir, escalonadas pelo inverso da estimativa de valor
 10 singular, $\hat{\sigma}_m^{-1}(k)$, pelos multiplicadores 768a a 768d, respectivamente para prover uma estimativa do vetor de direcionamento para cada automodo

$$\hat{\underline{v}}_{ut,m}^*(k) = [\hat{v}_{ut,1,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,2,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,3,m}^*(k) \ \hat{v}_{ut,4,m}^*(k)].$$

O processamento para a referência direcionada
 15 para o direcionamento de feixe pode ser efetuado de maneira similar. O processamento para a referência direcionada no *uplink* pode também ser efetuado de maneira similar para obter uma estimativa do vetor de direcionamento para cada automodo,

$$\hat{\underline{u}}_{ap,m}(k) = [\hat{u}_{ap,1,m}(k) \ \hat{u}_{ap,2,m}(k) \ \hat{u}_{ap,3,m}(k) \ \hat{u}_{ap,4,m}(k)].$$

20 Os pilotos aqui descritos podem ser implementados por vários meios. Por exemplo, o processamento para os vários tipos de piloto no ponto de acesso e no terminal de usuário pode ser implementado em hardware, software, ou uma combinação de tais. Para uma implementação em hardware, os
 25 elementos usados para processar os pilotos para transmissão e/ou recepção podem ser implementados dentro de um ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), processadores de sinais digitais (DSPs), dispositivos de processamento de sinal digital (DSPDs), dispositivos
 30 lógicos programáveis (PLDs), arranjos de porta programáveis no campo (FPGAs), processadores, controladores, micro-controladores, microprocessadores, outras unidades

eletrônicas projetadas para efetuar as funções aqui descritas, ou uma combinação de tais.

Para uma implementação em software, parte do processamento para os vários tipos de piloto (por exemplo, 5 o processamento espacial para uma transmissão de piloto e/ou estimação de canal com base no piloto recebido) pode ser implementada com módulos (por exemplo, procedimentos, funções e assim por diante) que efetuem as funções aqui descritas. Os códigos de software podem ser armazenados em 10 uma unidade de memória (por exemplo, as unidades de memória 432 e 482 na Figura 4) e executados por um processador (por exemplo, os controladores 430 e 480). A unidade de memória pode ser implementada dentro do processador ou externa ao processador, caso este em que ela pode estar acoplada em 15 comunicação com o processador através de vários dispositivos, como é conhecido na técnica.

Os cabeçalhos são aqui incluídos por referência e para auxiliar na localização de certas seções. Tais cabeçalhos não se destinam a limitar o escopo dos conceitos 20 ali descritos e tais conceitos podem ter aplicabilidade em outras seções por todo o relatório descritivo.

A descrição acima das modalidades reveladas é provida para permitir que qualquer pessoa versada na técnica fabrique ou faça uso da presente invenção. As 25 várias modificações a essas modalidades ficarão prontamente claras para os versados na técnica e os princípios genéricos aqui definidos podem ser aplicados a outras modalidades sem se afastar do espírito ou do escopo da invenção. Dessa forma, a presente invenção não deve ser 30 limitada às modalidades aqui mostradas, devendo receber o escopo mais amplo, consistente com os princípios e características novas aqui revelados.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para gerar um piloto direcionado em um sistema de comunicação sem fio de múltiplas entradas e múltiplas saídas, MIMO, **caracterizado** pelo fato de que
5 compreende:

obter um primeiro símbolo de piloto a ser transmitido a partir de uma pluralidade de antenas;

obter um primeiro vetor de direcionamento para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO; e

10 processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vetor de direcionamento para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão, um símbolo de transmissão para cada uma da pluralidade de antenas, em que o primeiro grupo de símbolos de transmissão é para o piloto
15 direcionado para o primeiro canal espacial.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

obter um segundo símbolo de piloto a ser transmitido a partir da pluralidade de antenas;

20 obter um segundo vetor de direcionamento para um segundo canal espacial do canal MIMO; e

processar o segundo símbolo de piloto com o segundo vetor de direcionamento para obter um segundo grupo de símbolos de transmissão para o piloto direcionado para o
25 segundo canal espacial.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

transmitir o primeiro grupo de símbolos de transmissão a partir da pluralidade de antenas em um
30 primeiro período de símbolo; e

transmitir o segundo grupo de símbolos de transmissão a partir da pluralidade de antenas em um segundo período de símbolo.

4. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

transmitir o primeiro grupo de símbolos de transmissão a partir da pluralidade de antenas em uma
5 primeira sub-banda; e

transmitir o segundo grupo de símbolos de transmissão a partir da pluralidade de antenas em uma segunda sub-banda.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4,
10 **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo grupos de símbolos de transmissão são transmitidos em um período de símbolo.

6. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo
15 vetores de direcionamento estão associados a primeiro e segundo automodos, respectivamente, de uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO, e em que os primeiro e segundo canais espaciais correspondem aos primeiro e segundo automodos, respectivamente.

20 7. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo vetores de direcionamento são ortogonais um ao outro.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro vetor de
25 direcionamento é obtido com base em um autovetor em uma matriz unitária para uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO.

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro vetor de
30 direcionamento inclui uma pluralidade de elementos possuindo igual magnitude, um elemento para cada uma da pluralidade de antenas.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro vetor de

direcionamento está associado a um autovetor principal de uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

5 obter o primeiro símbolo de piloto a ser transmitido a partir de uma pluralidade de antenas compreende obter um primeiro conjunto de símbolos de piloto a ser transmitido a partir de uma pluralidade de antenas em um primeiro conjunto de sub-bandas;

10 obter o primeiro vetor de direcionamento para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO compreende obter um primeiro conjunto de vetores de direcionamento para um primeiro canal espacial do primeiro conjunto de sub-bandas; e

15 processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vetor de direcionamento para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão compreende processar o primeiro conjunto de símbolos de piloto com o primeiro conjunto de vetores de direcionamento para obter um
20 primeiro conjunto de vetores de símbolos, um vetor de símbolos no primeiro conjunto de vetores de símbolos para cada sub-banda no primeiro conjunto de sub-bandas, em que cada vetor de símbolos no primeiro conjunto de vetores de símbolos inclui uma pluralidade de símbolos de transmissão
25 para a pluralidade de antenas e corresponde ao piloto direcionado para o primeiro canal espacial da sub-banda associada ao vetor de símbolos.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

30 obter um segundo conjunto de vetores de direcionamento para um segundo canal espacial do primeiro conjunto de sub-bandas; e

 processar o primeiro conjunto de símbolos de piloto com o segundo conjunto de vetores de direcionamento

para obter um segundo conjunto de vetores de símbolos, em que cada vetor de símbolos no segundo conjunto de vetores de símbolos corresponde a um piloto direcionado para o segundo canal espacial da sub-banda associada ao vetor de
5 símbolos.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

transmitir o primeiro conjunto de vetores de símbolos a partir da pluralidade de antenas no primeiro
10 conjunto de sub-bandas em um primeiro período de símbolo; e
transmitir o segundo conjunto de vetores de símbolos a partir da pluralidade de antenas no primeiro conjunto de sub-bandas em um segundo período de símbolo.

14. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

obter um segundo conjunto de símbolos de piloto a ser transmitido a partir da pluralidade de antenas em um segundo conjunto de sub-bandas;

obter um segundo conjunto de vetores de
20 direcionamento para um primeiro canal espacial do segundo conjunto de sub-bandas; e

processar o segundo conjunto de símbolos de piloto com o segundo conjunto de vetores de direcionamento para obter um segundo conjunto de vetores de símbolos, um
25 vetor de símbolo no segundo conjunto de vetores de símbolo para cada sub-banda no segundo conjunto de sub-bandas, em que cada vetor de símbolos no segundo conjunto de vetores de símbolos corresponde a um piloto direcionado para o primeiro canal espacial da sub-banda associada ao vetor de
30 símbolos.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

transmitir o primeiro conjunto de vetores de símbolos a partir da pluralidade de antenas no primeiro conjunto de sub-bandas; e

5 transmitir o segundo conjunto de vetores de símbolos a partir da pluralidade de antenas no segundo conjunto de sub-bandas.

16. Método, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro conjunto de vetores de símbolos e o segundo conjunto de vetores de
10 símbolos são transmitidos em um período de símbolo.

17. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que os símbolos de piloto no primeiro conjunto são selecionados de modo a possuir pequena variação de pico para média em uma forma de onda
15 gerada com base nos símbolos de piloto.

18. Equipamento em um sistema de comunicação sem fio de múltiplas entradas e múltiplas saídas, MIMO, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

dispositivos para obter um primeiro símbolo de piloto a ser transmitido a partir de uma pluralidade de antenas;
20

dispositivos para obter um primeiro vetor de direcionamento para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO; e

25 dispositivos (710a) para processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vetor de direcionamento para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão, um símbolo de transmissão para cada uma da pluralidade de antenas, em que o primeiro grupo de símbolos de transmissão
30 é para um piloto direcionado para o primeiro canal espacial.

19. Equipamento, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

dispositivos para obter um segundo símbolo de piloto a ser transmitido a partir da pluralidade de antenas; e

dispositivos para obter um segundo vetor de
5 direcionamento para um segundo canal espacial do canal MIMO; e

dispositivos para processar o segundo símbolo de piloto com o segundo vetor de direcionamento para obter um segundo grupo de símbolos de transmissão para um piloto
10 direcionado para o segundo canal espacial.

20. Método para receber um piloto direcionado em um sistema de comunicação sem fio de múltiplas entradas e múltiplas saídas, MIMO, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

15 receber um primeiro grupo de símbolos a partir de uma pluralidade de antenas para um primeiro piloto direcionado recebido através de um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO, em que o primeiro piloto direcionado é gerado com base em um símbolo de piloto e um
20 primeiro vetor de direcionamento para o primeiro canal espacial;

processar o primeiro grupo de símbolos com o símbolo de piloto para obter um segundo grupo de símbolos;

determinar um primeiro fator de escalonamento com
25 base em uma potência estimada dos símbolos no primeiro grupo; e

escalonar os símbolos no segundo grupo com o primeiro fator de escalonamento para obter um segundo vetor de direcionamento para o primeiro canal espacial.

30 21. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro piloto direcionado é transmitido em uma pluralidade de períodos de símbolo, o método compreendendo adicionalmente:

acumular os símbolos no segundo grupo para a pluralidade de períodos de símbolo.

22. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

5 derivar um filtro casado para o primeiro canal espacial com base no segundo vetor de direcionamento.

23. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que o segundo vetor de direcionamento é usado para processamento espacial de uma
10 transmissão de dados enviada através do canal MIMO.

24. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

 derivar um filtro casado no domínio de tempo para o primeiro canal espacial com base no segundo vetor de
15 direcionamento para o primeiro canal espacial.

25. Método, de acordo com a reivindicação 24, **caracterizado** pelo fato de que o filtro casado no domínio de tempo compreende um pulso de filtro casado para cada uma da pluralidade de antenas.

20 26. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente:

 receber um terceiro grupo de símbolos a partir da pluralidade de antenas para um segundo piloto direcionado recebido através de um segundo canal espacial do canal
25 MIMO, em que o segundo piloto direcionado é gerado com base no símbolo de piloto e um primeiro vetor de direcionamento para o segundo canal espacial;

 processar o terceiro grupo de símbolos com o símbolo de piloto para obter um quarto grupo de símbolos;

30 determinar um segundo fator de escalonamento com base em uma potência estimada dos símbolos no terceiro grupo; e

escalonar os símbolos no quarto grupo com o segundo fator de escalonamento para obter um segundo vetor de direcionamento para o segundo canal espacial.

27. Ponto de acesso em um sistema de comunicação
5 sem fio de múltiplas entradas e múltiplas saídas, MIMO, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um processador espacial de transmissão operativo para gerar uma pluralidade de pilotos ortogonais para um piloto MIMO com base em um primeiro símbolo de piloto e uma
10 pluralidade de seqüências ortogonais para uma pluralidade de antenas, em que a pluralidade de pilotos ortogonais é designada para transmissão a partir da pluralidade de antenas em um *downlink* no sistema MIMO; e

um processador espacial de recepção operativo
15 para processar um piloto direcionado recebido a partir de um terminal através de um canal espacial em um *uplink* no sistema MIMO, em que o piloto direcionado é gerado pelo terminal com base em um segundo símbolo de piloto e um vetor de direcionamento para o canal espacial, e em que o
20 vetor de direcionamento é obtido pelo terminal com base no piloto MIMO recebido através do *downlink*.

28. Ponto de acesso, de acordo com a reivindicação 27, **caracterizado** pelo fato de que o processador espacial de transmissão é adicionalmente
25 operativo para gerar um piloto sinalizador com base em um terceiro símbolo de piloto, em que o piloto sinalizador compreende um piloto comum adequado para transmissão a partir de cada uma da pluralidade de antenas no *downlink*.

29. Ponto de acesso, de acordo com a reivindicação 27, **caracterizado** pelo fato de que a
30 pluralidade de seqüências ortogonais é de seqüências Walsh.

30. Ponto de acesso, de acordo com a reivindicação 27, **caracterizado** pelo fato de que o sistema MIMO utiliza multiplexação por divisão de frequência

ortogonal, OFDM, em que o piloto MIMO é gerado para um primeiro conjunto de sub-bandas, e em que o piloto direcionado é recebido em um segundo conjunto de sub-bandas.

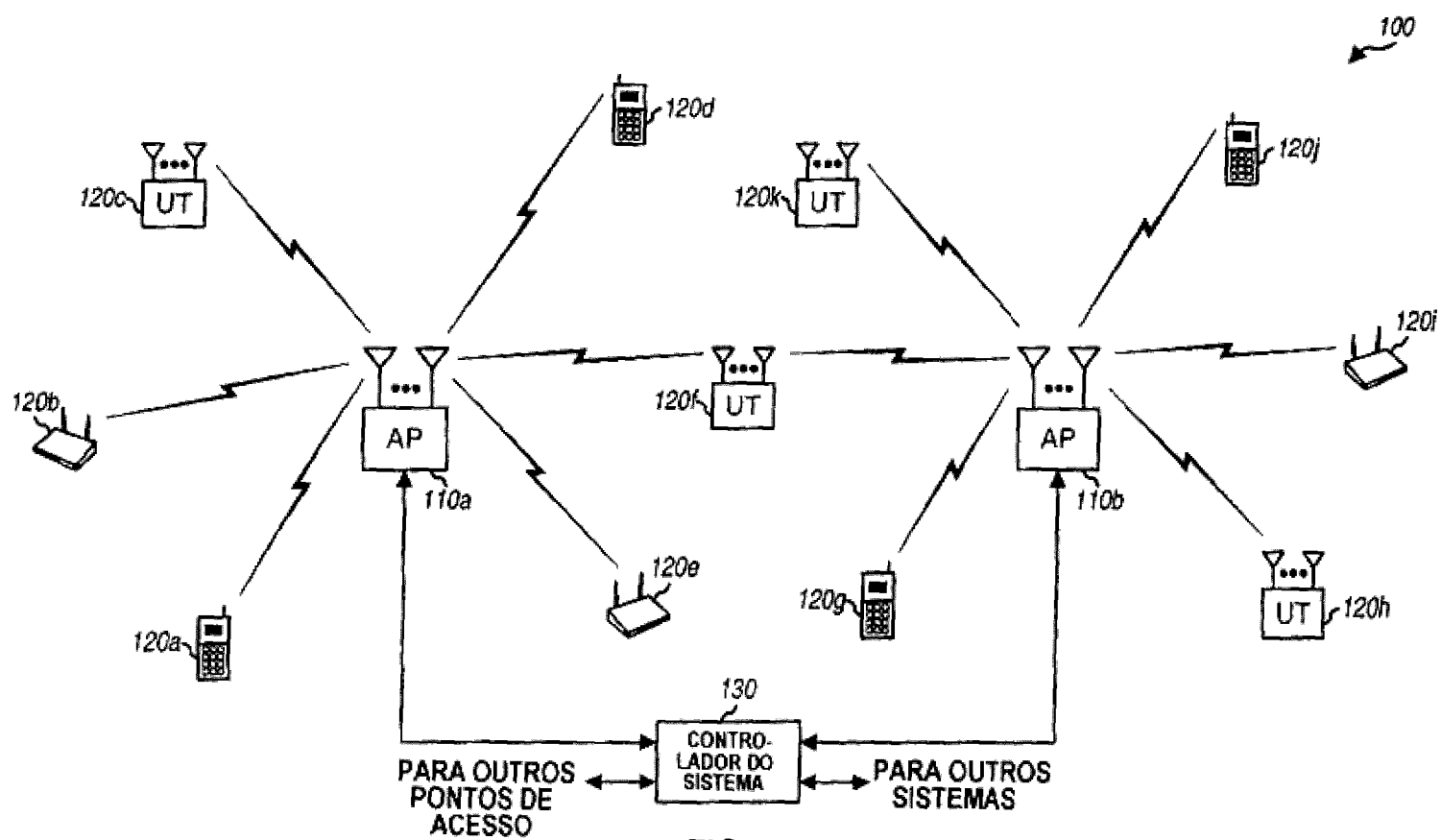


FIG. 1

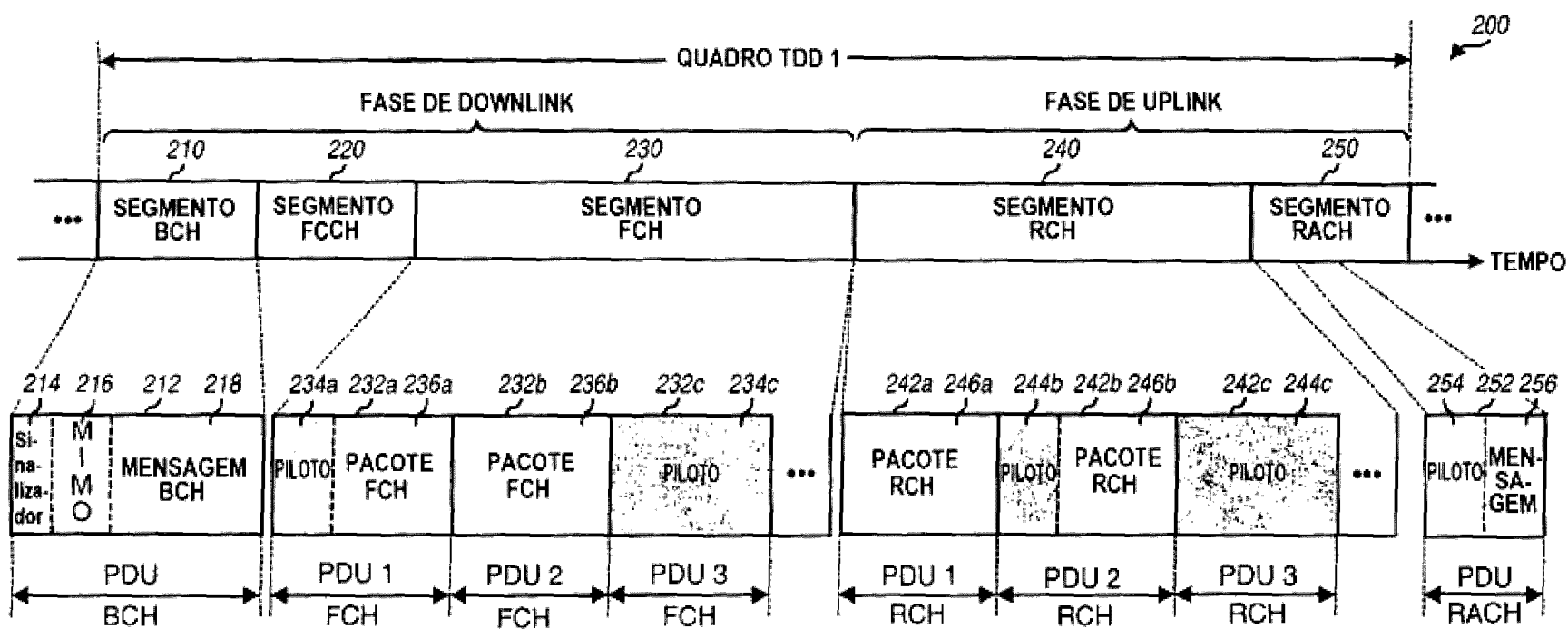


FIG. 2

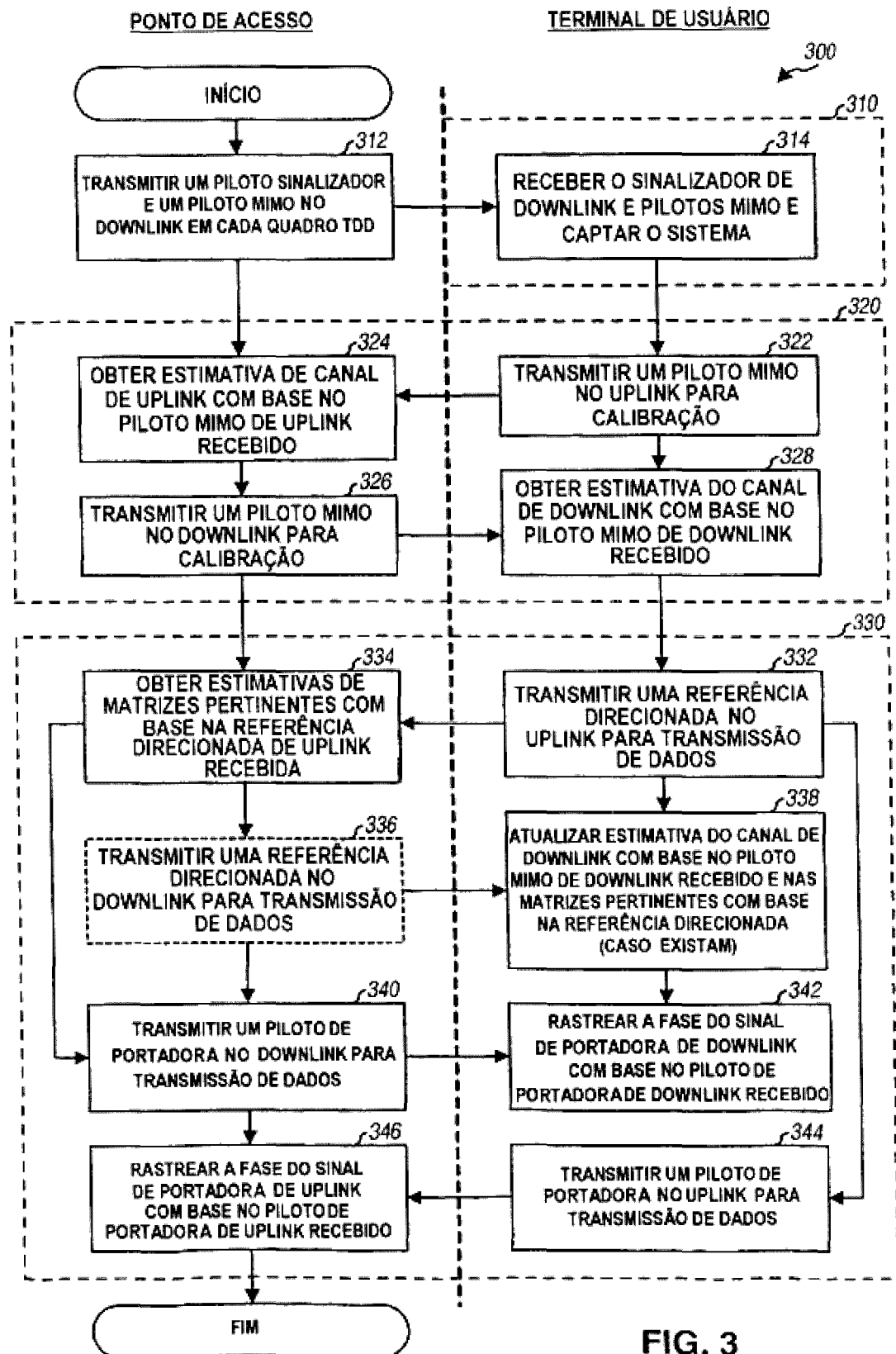


FIG. 3

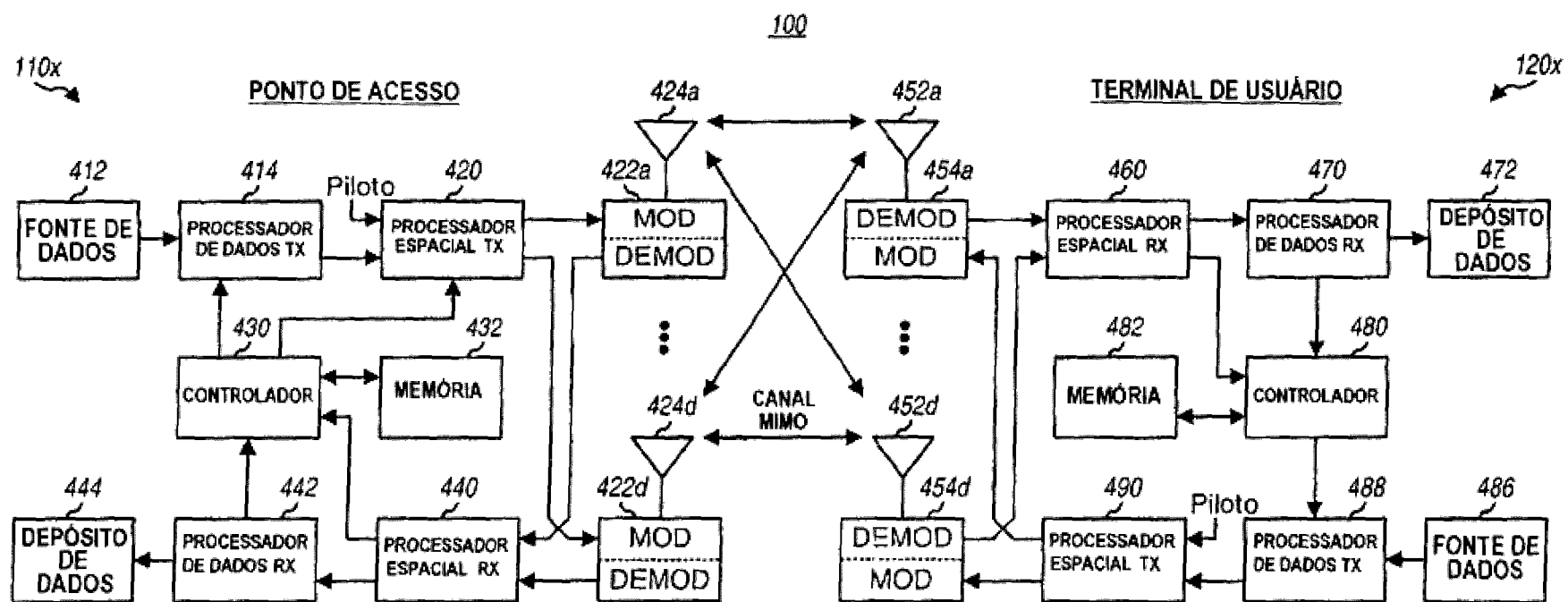


FIG. 4

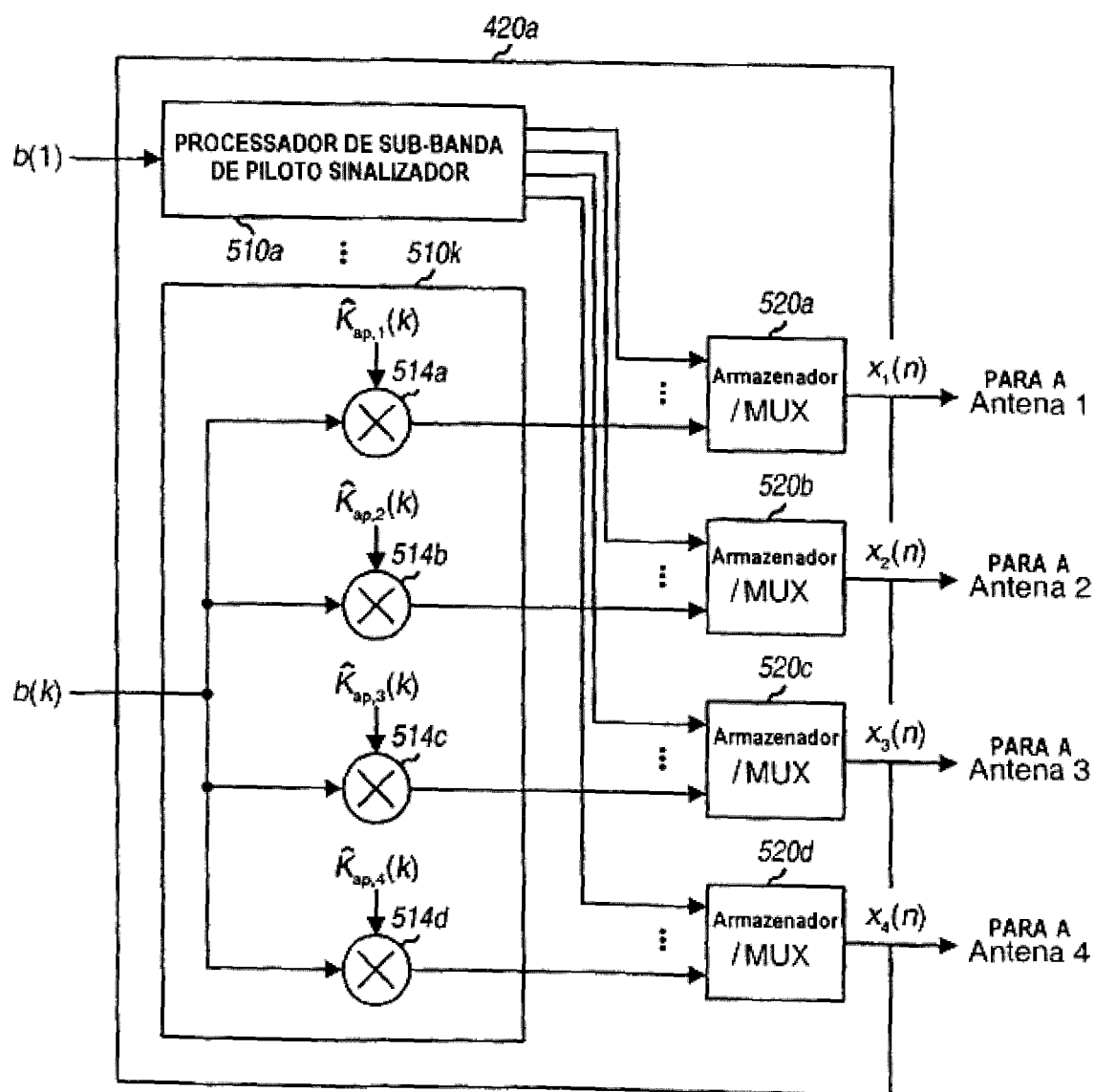


FIG. 5

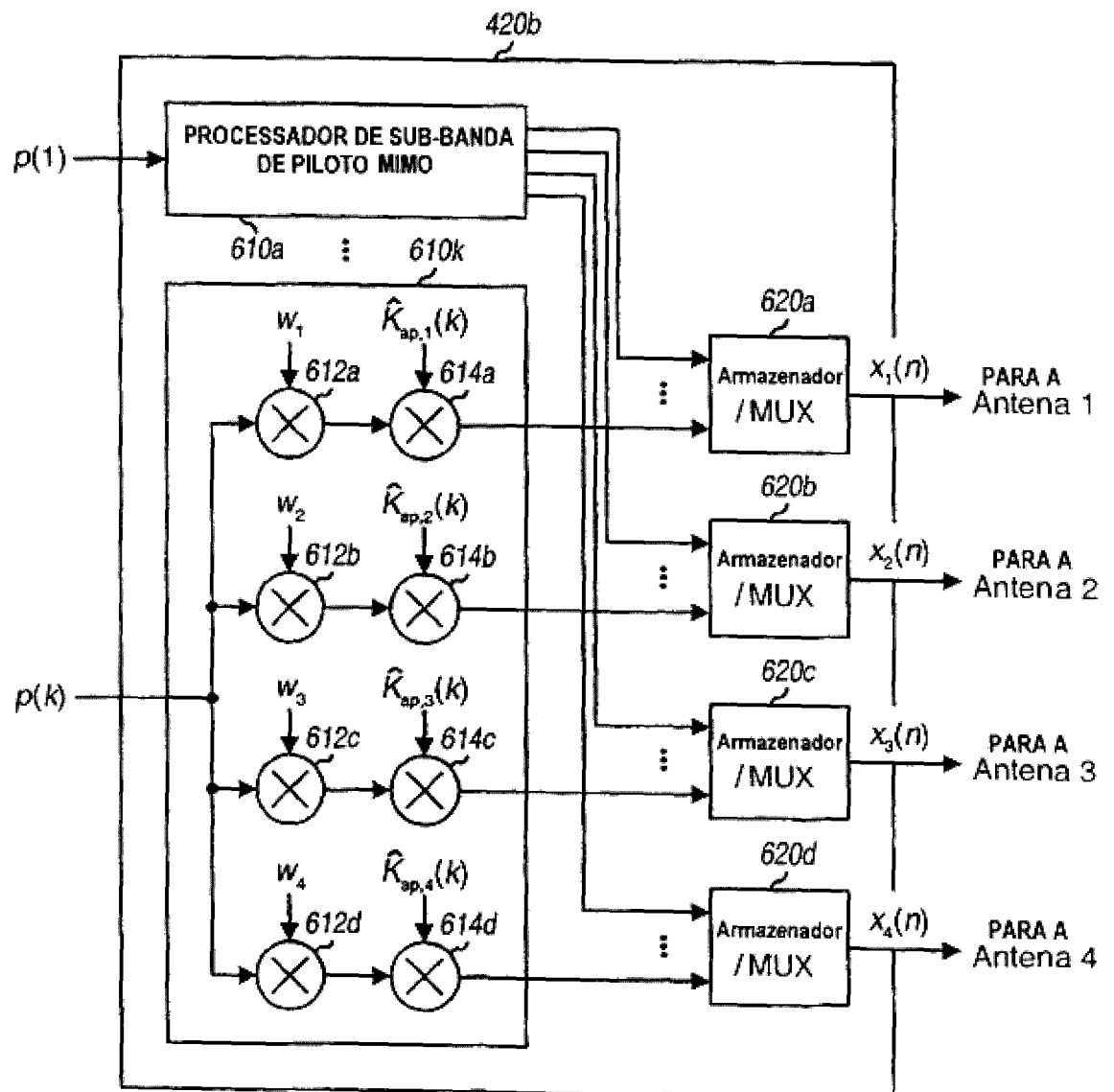


FIG. 6A

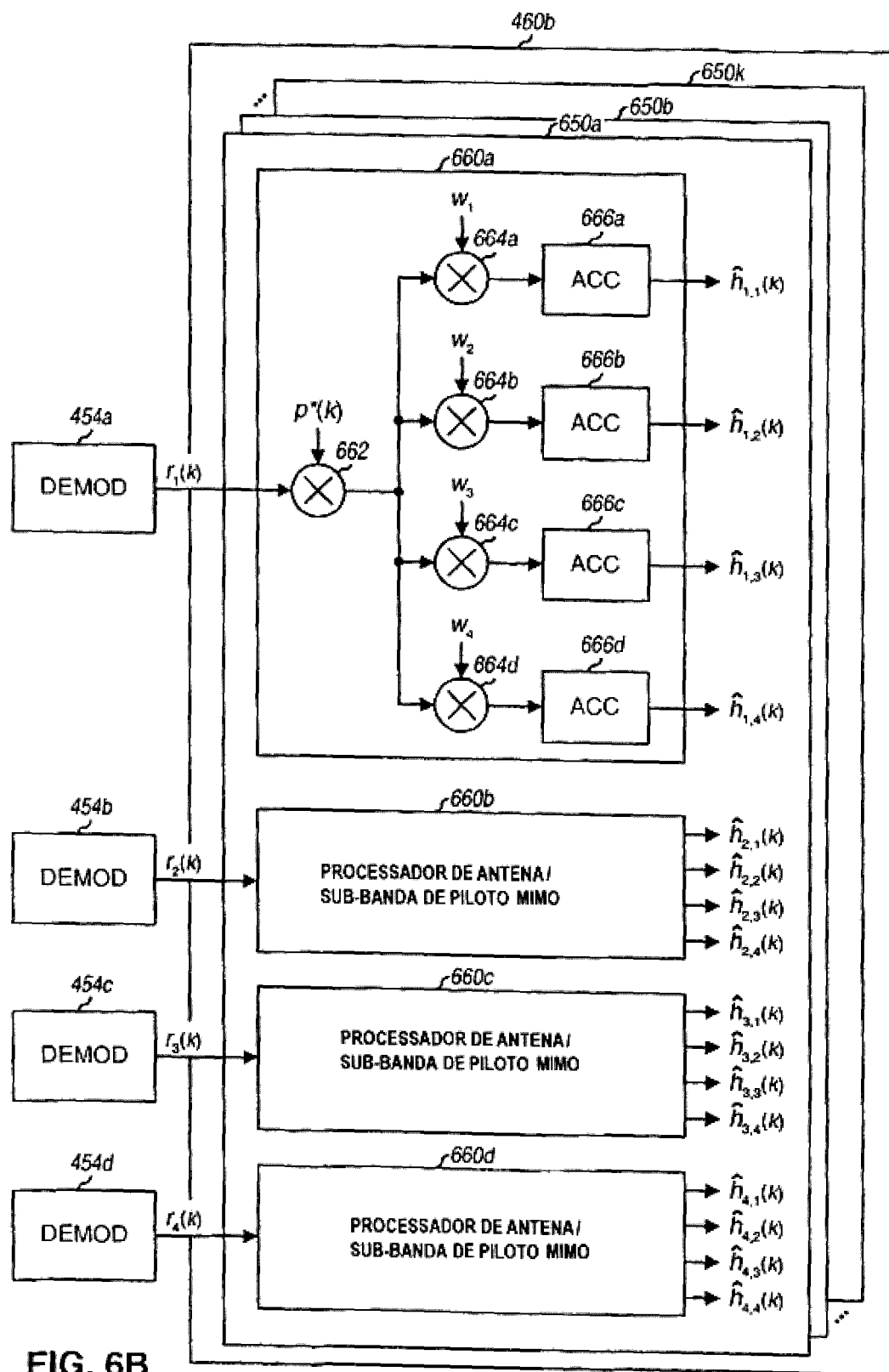


FIG. 6B

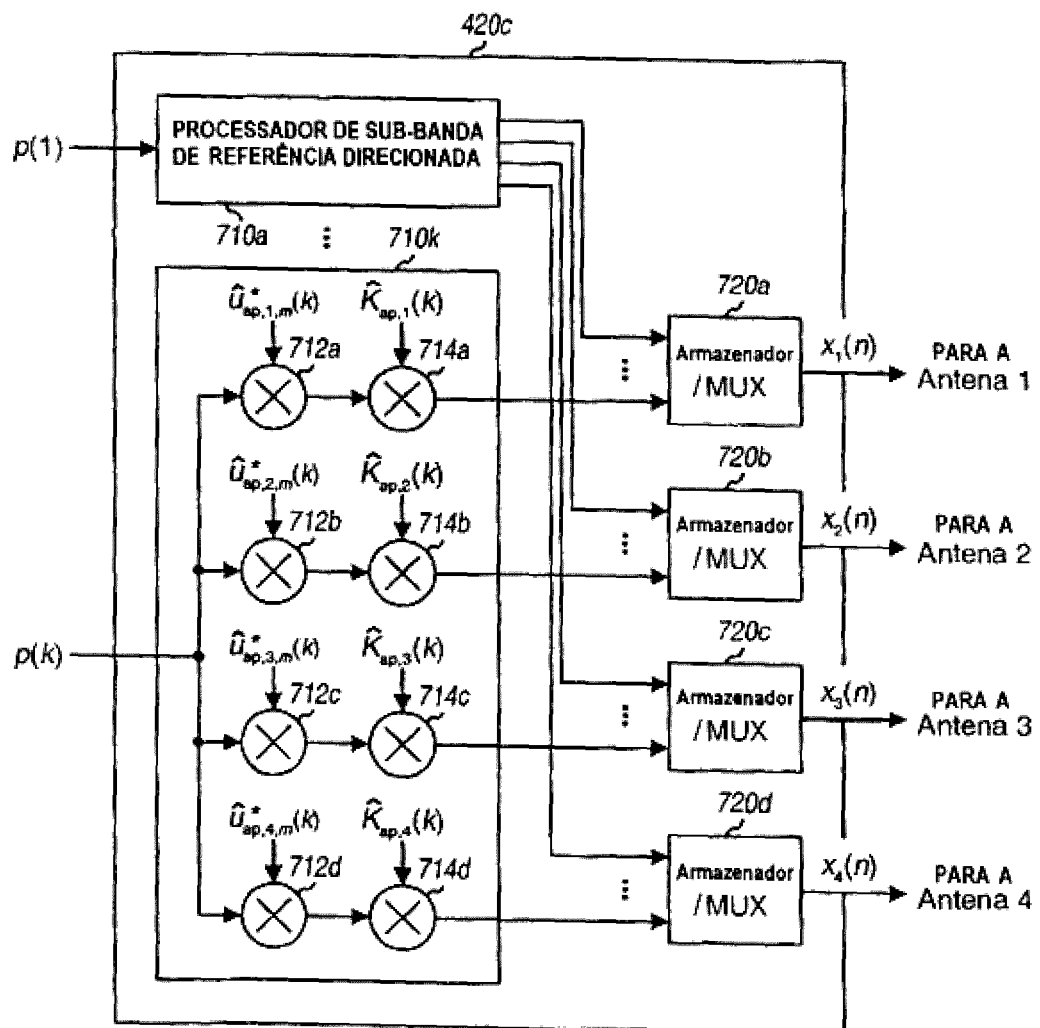


FIG. 7A

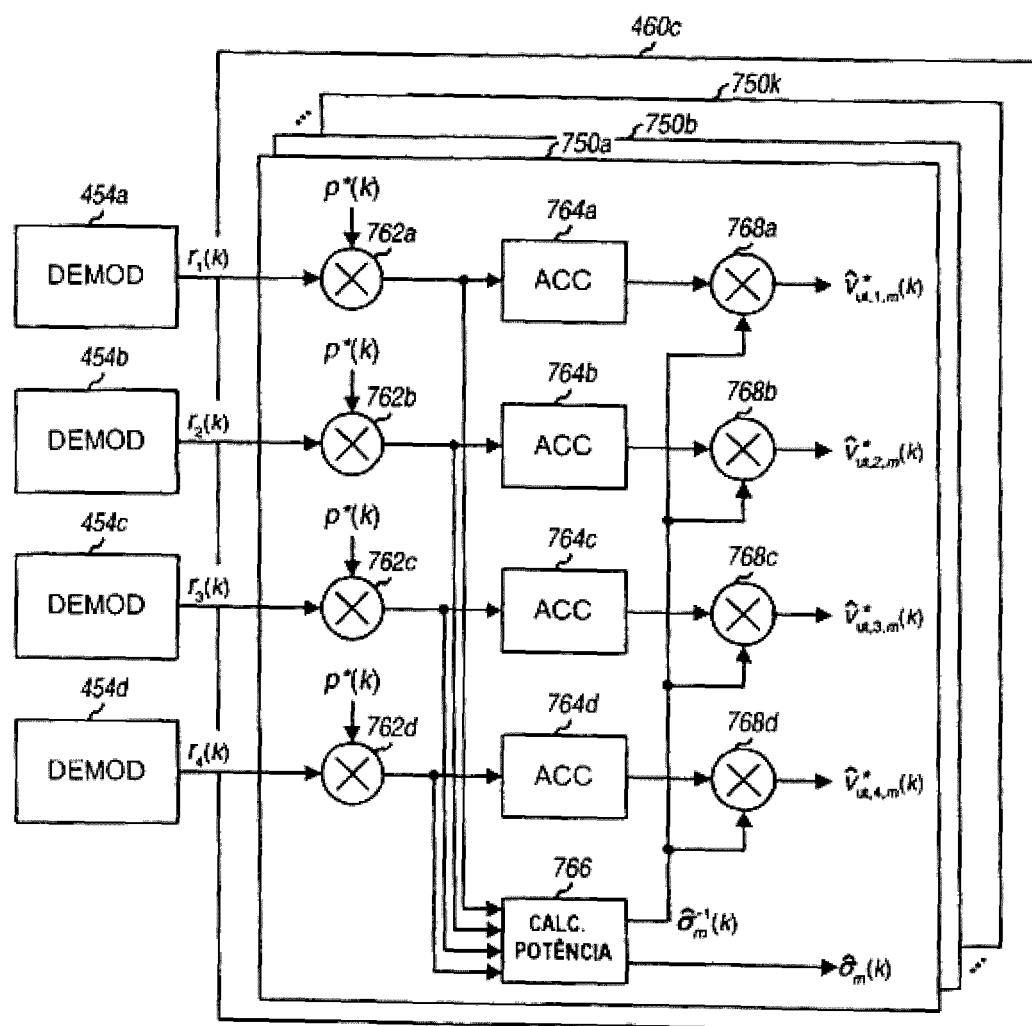


FIG. 7B