

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2003.10.24	(73) Titular(es): QUALCOMM, INCORPORATED 5775 MOREHOUSE DRIVE SAN DIEGO, CA 92121 US
(30) Prioridade(s): 2002.10.25 US 421309 P 2002.10.25 US 421428 P 2002.10.25 US 421462 P 2002.12.10 US 432617 P 2003.01.07 US 438601 P	(72) Inventor(es): JOHN W. KETCHUM US MARK WALLACE US RODNEY J. WALTON US STEVEN J. HOWARD US
(43) Data de publicação do pedido: 2005.07.27	
(45) Data e BPI da concessão: 2011.09.21 220/2011	(74) Mandatário: PEDRO DA SILVA ALVES MOREIRA RUA DO PATROCÍNIO, N.º 94 1399-019 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MIMO**

(57) Resumo:

DESCREVEM-SE PILOTOS APROPRIADOS PARA UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS MIMO E APTOS A SUPORTAR VÁRIAS FUNÇÕES. OS VÁRIOS TIPOS DE PILOTO INCLUEM UM PILOTO DE LOCALIZAÇÃO, UM PILOTO MIMO, UMA REFERÊNCIA ORIENTADA OU PILOTO ORIENTADO E UM PILOTO PORTADOR. O PILOTO DE LOCALIZAÇÃO É TRANSMITIDO DESDE TODAS AS ANTENAS DE TRANSMISSÃO E PODE SER UTILIZADO PARA AQUISIÇÃO DE FREQUÊNCIA E SINCRONISMO. O PILOTO MIMO É TRANSMITIDO DESDE TODAS AS ANTENAS DE TRANSMISSÃO, MAS É COBERTO COM DIFERENTES CÓDIGOS ORTOGONAIS ATRIBUÍDOS ÀS ANTENAS DE TRANSMISSÃO. O PILOTO MIMO PODE SER UTILIZADO PARA ESTIMATIVA DE CANAL. A REFERÊNCIA ORIENTADA É TRANSMITIDA EM MODOS PRÓPRIOS ESPECÍFICOS DE UM CANAL MIMO E É ESPECÍFICA DO TERMINAL DE UTILIZADOR. A REFERÊNCIA ORIENTADA PODE SER UTILIZADA PARA ESTIMATIVA DE CANAL. O PILOTO PORTADOR PODE SER TRANSMITIDO EM SUB-BANDAS/ANTENAS DESIGNADAS E PODE SER UTILIZADO PARA SEGUIMENTO DE FASE DE UM SINAL PORTADOR. PODEM CONCEBER-SE DIVERSOS ESQUEMAS DE TRANSMISSÃO DE PILOTOS COM BASE EM DIFERENTES COMBINAÇÕES DESTES DIVERSOS TIPOS DE PILOTO.

RESUMO

"PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MIMO"

Descrevem-se pilotos apropriados para utilização em sistemas MIMO e aptos a suportar várias funções. Os vários tipos de piloto incluem um piloto de localização, um piloto MIMO, uma referência orientada ou piloto orientado e um piloto portador. O piloto de localização é transmitido desde todas as antenas de transmissão e pode ser utilizado para aquisição de frequência e sincronismo. O piloto MIMO é transmitido desde todas as antenas de transmissão, mas é "coberto" com diferentes códigos ortogonais atribuídos às antenas de transmissão. O piloto MIMO pode ser utilizado para estimativa de canal. A referência orientada é transmitida em modos próprios específicos de um canal MIMO e é específica do terminal de utilizador. A referência orientada pode ser utilizada para estimativa de canal. O piloto portador pode ser transmitido em sub-bandas/antenas designadas e pode ser utilizado para seguimento de fase de um sinal portador. Podem conceber-se diversos esquemas de transmissão de pilotos com base em diferentes combinações destes diversos tipos de piloto.

DESCRIÇÃO

"PILOTOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MIMO"

ANTECEDENTES

I. Campo

A presente invenção refere-se, de um modo geral, à comunicação de dados e, mais especificamente, a pilotos apropriados para utilização em sistemas de comunicação (MIMO) com múltiplas saídas e múltiplas entradas.

II. Antecedentes

Um sistema MIMO emprega múltiplas (N_T) antenas de transmissão e múltiplas (N_R) antenas de recepção para transmissão de dados. Um canal MIMO formado pelas N_T antenas de transmissão e N_R de recepção pode ser decomposto em N_S canais independentes, que também são designados por modos próprios, em que $N_S \leq \min\{N_T, N_R\}$. Cada um dos N_S canais independentes corresponde a uma dimensão. O sistema MIMO pode melhorar o desempenho (e. g., aumento da capacidade de transmissão e/ou maior fiabilidade) se se utilizarem as dimensionalidades adicionais criadas pelas múltiplas antenas de transmissão e recepção.

Num sistema de comunicação sem fios, os dados a transmitir são, em primeiro lugar, modulados sobre um sinal portador de radiofrequência (RF) para gerar um sinal modulado RF que é mais

apropriado para transmissão através de um canal sem fios. No caso de um sistema MIMO, podem gerar-se e transmitir simultaneamente até N_T sinais modulados em RF a partir das N_T antenas de transmissão. Os sinais modulados em RF transmitidos podem chegar às N_R antenas de recepção através de vários caminhos de propagação no canal sem fios. As características dos caminhos de propagação variam, tipicamente, ao longo do tempo devido a vários factores, tais como, por exemplo, desvanecimento, trajectórias múltiplas e interferência externa. Consequentemente, os sinais modulados em RF transmitidos podem ser submetidos a condições de canal diferentes (e. g., desvanecimento diferente e efeitos de trajectórias múltiplas) e podem ser associados a ganhos complexos e relações sinal-ruído (SNR) diferentes.

Para alcançar elevada eficiência, é frequentemente necessário caracterizar a resposta do canal sem fios. Por exemplo, o transmissor pode precisar da resposta de canal para executar um processamento espacial (descrito abaixo) para transmissão de dados ao receptor. A resposta de canal também pode ser precisa pelo receptor para executar processamento espacial nos sinais recebidos para recuperar os dados transmitidos.

Em muitos sistemas de comunicação sem fios, um piloto é transmitido pelo transmissor para ajudar o receptor a executar várias funções. O piloto é gerado, tipicamente, com base em símbolos conhecidos e processado de um modo conhecido. O piloto pode ser utilizado pelo receptor para estimativa de canal, aquisição de sincronismo e frequência, desmodulação de dados, e por aí adiante

O documento WO 02/15433 (EP 1315311) refere-se a uma transmissão de dois pilotos P1 e P2 mutuamente ortogonais desde antenas respectivas e à estimativa de resposta ao impulso de canal numa estação móvel a partir dos pilotos recebidos.

O documento US 2002/0041635 divulga que um preâmbulo de dados é transmitido através de uma pluralidade de sub-portadoras utilizando, pelo menos, duas antenas. Cada sub-portadora é atribuída a uma antena de transmissão e modulada com um código de pseudo-ruído que é exclusivo dessa antena.

O documento WO 01/76110 refere-se à utilização de códigos Walsh para gerar sinais ortogonais representativos de sinais piloto e à utilização destes sinais para reduzir a interferência entre ligações vizinhas.

O documento WO 02/01732 refere-se à atribuição de códigos ortogonais diferentes a diferentes antenas de transmissão, de modo a que a estação remota que recebe os sinais transmitidos possa identificar, separadamente, os sinais das diferentes antenas.

O documento WO 01/97400 refere-se à transmissão de pilotos distintos em antenas de transmissão separadas, em que cada piloto é ortogonal ao outro devido à utilização de códigos Walsh.

O documento WO 02/060138 também descreve a transmissão de um sinal piloto desde uma antena, sendo o sinal piloto ortogonal a outros sinais piloto transmitidos desde as outras antenas.

O documento US 2002/0085620 descreve a transmissão de sinais de referência diferentes desde antenas diferentes utilizando sequências pseudoaleatórias respectivas, permitindo, assim, que um receptor separe os sinais utilizando as sequências pseudoaleatórias.

O documento US 2002/0044591 mostra a modulação de dois sinais piloto utilizando várias combinações de dois códigos ortogonais (e. g., códigos Walsh) e um código de encriptação e transmissão desde quatro antenas.

O documento US 2002/0098872 também se refere à transmissão de pilotos ortogonais desde antenas diferentes.

O documento EP 1175022 descreve a transmissão de sinais piloto ortogonais desde antenas respectivas utilizando técnicas de divisão no tempo, na frequência ou por código.

A concepção de uma estrutura de pilotos para um sistema MIMO depara-se com vários desafios. Num aspecto, a estrutura de pilotos tem que lidar com as dimensionalidades adicionais criadas pelas múltiplas antenas de transmissão e múltiplas antenas de recepção. Noutro aspecto, dado que a transmissão de pilotos representa uma informação complementar no sistema MIMO, é desejável minimizar a transmissão de pilotos tanto quanto possível. Além disso, se o sistema MIMO for um sistema de acesso múltiplo que suporta comunicação com múltiplos utilizadores, então, a estrutura de pilotos tem que ser concebida de modo a que os pilotos necessários para suportar os múltiplos utilizadores não consumam uma grande parte dos recursos de sistema disponíveis.

Na técnica há, por conseguinte, a necessidade de pilotos para sistemas MIMO que resolvam os aspectos acima.

SUMÁRIO

São aqui, proporcionados pilotos apropriados para utilização em sistemas MIMO. Estes pilotos podem suportar várias funções que podem ser necessárias para um funcionamento correcto do sistema, tal como aquisição de sincronismo e frequência, estimativa de canal, calibração, e por aí adiante.

De acordo com a invenção, gera-se um piloto orientado como definido pelas reivindicações anexas.

Em seguida, também se descrevem vários aspectos e formas de realização da invenção em mais detalhe.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As características e âmbito da presente invenção serão mais evidentes a partir da descrição pormenorizada indicada a seguir quando feita em associação com os desenhos, nos quais caracteres de referência iguais identificam elementos correspondentemente iguais ao longo dos desenhos e em que:

A FIG. 1 mostra um sistema MIMO de acesso múltiplo;

A FIG. 2 mostra uma estrutura de trama exemplificativa para transmissão de dados num sistema MIMO-OFDM TDD;

A FIG. 3 mostra transmissões de pilotos em ligações descendentes e ascendentes para um esquema de transmissão de pilotos exemplificativo;

A FIG. 4 mostra um diagrama de blocos de um ponto de acesso e de um terminal de utilizador;

A FIG. 5 mostra um diagrama de blocos de um processador espacial de TX que pode gerar um piloto de localização;

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

A FIG. 6B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial de RX que pode fornecer uma estimativa de resposta de canal com base num piloto de MIMO recebido;

A FIG. 7A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial de TX que pode gerar uma referência orientada; e

A FIG. 7B mostra um diagrama de blocos de um processador espacial de RX que pode fornecer uma estimativa de resposta de canal com base numa referência orientada recebida.

DESCRIÇÃO PORMENORIZADA

O significado da palavra “exemplificativo/a” neste documento é “servir como um exemplo, modelo ou ilustração”. Não se deve pensar que qualquer forma de realização ou concepção aqui descrita como “exemplificativa” é necessariamente preferida ou

vantajosa relativamente a outras formas de realização ou concepções.

A FIG. 1 mostra um sistema 100 MIMO de acesso múltiplo que suporta vários utilizadores e está apto a implementar os pilotos aqui descritos. O sistema 100 MIMO inclui vários pontos 110 de acesso (AP) que suportam uma comunicação para vários terminais 120 de utilizador (UT). Para simplificar, só se mostram dois pontos 110a e 110b de acesso na FIG. 1. Um ponto de acesso é, de um modo geral, uma estação fixa que é utilizada para comunicação com os terminais de utilizador. Um ponto de acesso também pode ser designado como uma estação base ou utilizando alguma outra terminologia.

Os terminais 120 de utilizador podem estar dispersos por todo o sistema. Cada terminal de utilizador pode ser um terminal fixo ou móvel que pode comunicar com o ponto de acesso. Um terminal de utilizador também pode ser designado como um terminal de acesso, uma estação móvel, uma estação remota, um equipamento de utilizador (UE), um dispositivo sem fios ou alguma outra terminologia. Cada terminal de utilizador pode comunicar-se com um ou, possivelmente, múltiplos pontos de acesso na ligação descendente e/ou ligação ascendente em qualquer dado momento. A ligação descendente (*i. e.*, ligação da estação base para a móvel) refere-se à transmissão do ponto de acesso para o terminal de utilizador e a ligação ascendente (*i. e.*, da estação móvel para a estação base) refere-se à transmissão do terminal de utilizador para o ponto de acesso. Como utilizado no presente documento, um terminal de utilizador "activo" é o que está a receber uma transmissão de ligação descendente de um ponto de acesso e/ou está a transmitir uma transmissão de ligação ascendente para o ponto de acesso.

Na FIG. 1, o ponto 110a de acesso comunica com os terminais 120a a 120f de utilizador e o ponto 110b de acesso comunica com os terminais 120f a 120k de utilizador. A atribuição de terminais de utilizador a pontos de acesso é, tipicamente, baseada na intensidade do sinal recebido e não na distância. Em qualquer dado momento, um terminal de utilizador pode receber uma transmissão de ligação descendente de um ou múltiplos pontos de acesso. Um controlador 130 de sistema está acoplado aos pontos 110 de acesso e pode ser concebido para executar várias funções, tais como (1) coordenação e controlo para os pontos de acesso acoplados a este, (2) encaminhamento de dados entre estes pontos de acesso e (3) acesso e controlo de comunicação com os terminais de utilizador servidos por estes pontos de acesso.

I. Pilotos

Neste documento, proporcionam-se pilotos apropriados para utilização em sistemas MIMO, tais como o mostrado na FIG. 1. Estes pilotos podem suportar várias funções que podem ser necessárias para um funcionamento correcto do sistema, tal como aquisição de sincronismo e frequência, estimativa de canal, calibração, etc. Pode considerar-se que os pilotos têm tipos diferentes que são concebidos e utilizados para funções diferentes. O quadro 1 lista quatro tipos de piloto e a sua curta descrição para uma concepção de piloto exemplificativa. Também se podem definir menos, diferentes e/ou adicionais tipos de piloto.

Quadro 1 - Tipos de Piloto

Tipo de piloto	Descrição
Piloto de localização	Um piloto transmitido de todas as antenas de transmissão e utilizado para aquisição de sincronismo e frequência.
Piloto MIMO	Um piloto transmitido de todas as antenas de transmissão com códigos ortogonais diferentes e utilizado para estimativa de canal.
Referência Orientada ou Piloto Orientado	Um piloto transmitido em modos próprios específicos de um canal de MIMO para um terminal de utilizador específico e utilizado para estimativa de canal e, possivelmente, controlo de velocidade de transferência.
Piloto portador	Um piloto utilizado para seguimento de fase de um sinal portador.

Referência orientada e piloto orientado são sinónimos.

Os vários esquemas de transmissão de pilotos podem ser concebidos com base em qualquer combinação destes vários tipos de piloto. Por exemplo, na ligação descendente, um ponto de acesso pode transmitir um piloto de localização, um piloto MIMO, e um piloto portador para todos os terminais de utilizador dentro da sua área da cobertura e pode, opcionalmente, transmitir uma referência orientada para qualquer terminal de utilizador activo que esteja a receber uma transmissão de ligação descendente desde o ponto de acesso. Na ligação ascendente, um terminal de utilizador pode transmitir um piloto MIMO para calibração e pode transmitir uma referência orientada

e um piloto portador quando programado (e. g., para transmissões de dados de ligação descendente e/ou ligação ascendente). O processamento para transmitir e receber estes vários tipos de piloto é descrito abaixo em mais pormenor.

Os pilotos aqui descritos podem ser utilizados para vários tipos de sistemas MIMO. Por exemplo, os pilotos podem ser utilizados para (1) sistemas MIMO de uma só portadora, (2) sistemas MIMO de multi-portadoras que empregam multiplexagem por divisão ortogonal de frequência (OFDM) ou alguma outra técnica de modulação por multi-portadoras, (3) sistemas MIMO que implementam técnicas de acesso múltiplo, tais como acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA), acesso múltiplo por divisão no tempo (TDMA) e acesso múltiplo por divisão de código (CDMA), (4) sistemas MIMO que implementam multiplexagem por divisão de frequência (FDM), multiplexagem por divisão no tempo (TDM) e/ou multiplexagem por divisão de código (CDM) para transmissão de dados, (5) sistemas MIMO que implementam duplexagem por divisão no tempo (TDD), duplexagem por divisão de frequência (FDD) e/ou duplexagem por divisão de código (CDD) para os canais de ligação descendente e ligação ascendente, e (6) outros tipos de sistemas MIMO. Para clarificar, os pilotos são descritos abaixo, em primeiro lugar, para um sistema MIMO que implementa OFDM (i. e., um sistema MIMO-OFDM) e, depois, para um sistema MIMO-OFDM TDD.

A OFDM divide, eficazmente, a largura de banda global de sistema em várias (N_F) sub-bandas ortogonais, que também são designadas por tons, colectoras de frequência ou sub-canais de frequência. Com a OFDM, cada sub-banda é associada com uma respectiva sub-portadora sobre a qual se podem modular dados. No caso de um sistema MIMO-OFDM, cada sub-banda pode ser associada

a vários modos próprios e cada modo próprio de cada sub-banda pode ser visto como um canal de transmissão independente.

Para clareza, uma estrutura de pilotos específica é descrita abaixo para um sistema MIMO-OFDM exemplificativo. Neste sistema MIMO-OFDM, a largura de banda do sistema é dividida em 64 sub-bandas ortogonais (isto é, $N_F = 64$), a que são atribuídos índices de -32 a +31. Destas 64 sub-bandas, 48 sub-bandas (e. g., com índices de $\pm \{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$) podem ser utilizadas para transmissão de dados, 4 sub-bandas (e. g., com índices de $\{7, 21\}$) podem ser utilizadas para um piloto portador e, possivelmente, sinalização, a sub-banda DC (com índice de 0) não é utilizada e as sub-bandas restantes também não são utilizadas e servem como sub-bandas de guarda. Assim, das 64 sub-bandas totais, as 52 sub-bandas "utilizáveis" incluem as 48 sub-bandas de dados e 4 sub-bandas de piloto e as 12 sub-bandas restantes não são utilizadas. Esta estrutura de sub-bandas de OFDM é descrita em mais pormenor no Pedido de Patente provisório dos U.S. com o N° de Série 60/421309. Também se pode implementar um número diferente de sub-bandas e outras estruturas de sub-bandas de OFDM para o sistema MIMO-OFDM e isto está abrangido pelo âmbito da invenção.

No caso da OFDM, os dados a transmitir em cada sub-banda utilizável são, em primeiro lugar, modulados (i. e., símbolo mapeado) utilizando um esquema de modulação particular (e. g., BPSK, QPSK ou M-QAM) seleccionado para ser utilizado com essa sub-banda. Um símbolo de modulação pode ser transmitido em cada sub-banda utilizável, em cada período de símbolo. Cada símbolo de modulação é um valor complexo para um ponto específico numa constelação de sinais correspondendo ao esquema de modulação seleccionado. Os valores de sinal de zero podem ser enviados nas

sub-bandas não utilizadas. Para cada período de símbolo de OFDM, os símbolos de modulação para as sub-bandas utilizáveis e os valores de sinal de zero para as sub-bandas não utilizadas (*i. e.*, os símbolos de modulação e zeros para todas as N_F sub-bandas) são transformados para o domínio do tempo utilizando uma transformada de Fourier rápida inversa (IFFT) para obter um símbolo transformado que compreende N_F amostras no domínio do tempo. Para combater a interferência inter-símbolos (ISI), uma parte de cada símbolo transformado é repetida frequentemente (diz-se também que se adiciona um prefixo cíclico) para formar um símbolo OFDM correspondente, que é, depois, transmitido através do canal sem fios. Um período de símbolo OFDM, que também é aqui designado, como um período de símbolo, corresponde à duração de um símbolo OFDM.

1. Piloto de Localização

O piloto de localização inclui um conjunto específico de símbolos de piloto que é transmitido desde cada antena de entre as N_T antenas de transmissão. O mesmo conjunto de símbolos de piloto é transmitido durante N_B períodos de símbolo indicados para transmissão de piloto de localização. De um modo geral, N_B pode ser um qualquer valor inteiro de um ou superior.

Num exemplo, o conjunto de símbolos de piloto para o piloto de localização é um conjunto de 12 símbolos de modulação BPSK para 12 sub-bandas específicas, que é designado por símbolo “B” OFDM. Os 12 símbolos de modulação BPSK para o símbolo B OFDM são dados no Quadro 2. Os valores de sinal de zeros são transmitidos nas 52 sub-bandas restantes não utilizadas.

Quadro 2 - Símbolos de piloto

Índice de Sub-banda	Piloto de localização $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto de localização $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto de localização $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$	Índice de Sub-banda	Piloto de localização $b(k)$	Piloto MIMO $p(k)$
	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	$-1+j$		0	0
-14	0	$1+j$	0	0	0	14	0	$-1-j$			

Por exemplo e como mostrado no Quadro 2, para o piloto de localização, o símbolo de modulação BPSK ($1+j$) é transmitido nas sub-bandas -24, -16, -4, 12, 16, 20 e 24, e o símbolo de modulação BPSK $-(1+j)$ é transmitido nas sub-bandas -20, -12, -8, 4 e 8. Os valores de sinal de zero são transmitidos nas 52 sub-bandas restantes para o piloto de localização.

O símbolo B OFDM é concebido para facilitar a aquisição de sincronismo e frequência de sistema pelos terminais de utilizador. No caso do exemplo do símbolo B OFDM descrito acima, apenas 12 das 64 sub-bandas totais são utilizadas e estas sub-bandas estão afastadas por quatro sub-bandas. Este afastamento de 4 sub-bandas permite que o terminal de utilizador tenha um erro de frequência inicial de até duas sub-bandas. O piloto de localização permite que o terminal de utilizador corrija o seu erro de frequência grosseiro inicial e corrija a

sua frequência de modo a que a deriva de fase ao longo da duração do piloto de localização seja pequena (e. g., inferior a 45 graus ao longo da duração do piloto de localização numa taxa de amostragem de 20 MHz). Se a duração do piloto de localização for de 8 μ seg., então os 45 graus (ou menos) da deriva de fase durante 8 μ seg. é igual a 360 graus durante 64 μ seg., o que é, aproximadamente, 16 kHz.

O erro de frequência de 16 kHz é, tipicamente, demasiado grande para operação. Uma correcção adicional de frequência pode ser obtida utilizando o piloto MIMO e o piloto portador. Estes pilotos cobrem uma duração de tempo suficientemente longa que permite que a frequência de terminal de utilizador pode ser corrigida até ao valor alvo desejado (e. g., 250 Hz). Por exemplo, se uma trama TDD durar 2 ms (como descrito abaixo) e se a frequência de terminal de utilizador for exacta num intervalo de 250 Hz, então, haverá menos do que metade de um ciclo de alteração de fase durante uma trama TDD. A diferença de fase da trama TDD para a trama TDD do piloto de localização pode ser utilizada para bloquear a frequência do terminal de utilizador no relógio no ponto de acesso, reduzindo eficazmente, desse modo, o erro de frequência a zero.

De um modo geral, pode obter-se o conjunto dos símbolos de piloto utilizados para o piloto de localização utilizando qualquer esquema de modulação. Assim, outros símbolos de OFDM obtidos utilizando BPSK ou algum outro esquema de modulação também podem ser utilizados para o piloto de localização.

Numa concepção exemplificativa, quatro antenas de transmissão estão disponíveis para transmissão de pilotos de localização. O Quadro 4 lista os símbolos OFDM a transmitir

desde cada uma das quatro antenas de transmissão para uma transmissão de pilotos de localização que abranja dois períodos de símbolo.

Quadro 3 - Piloto de Localização

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

2. Piloto MIMO

O piloto MIMO inclui um conjunto específico de símbolos de piloto que é transmitido desde cada uma das N_T antenas de transmissão. Para cada antena de transmissão, o mesmo conjunto de símbolos de piloto é transmitido durante N_p períodos de símbolo indicados para transmissão de pilotos MIMO. No entanto, o conjunto de símbolos de piloto para cada antena de transmissão é "coberto" com uma sequência ou código ortogonal exclusivos atribuídos a essa antena. A "cobertura" é um processo por meio do qual um dado símbolo de piloto ou dados (ou um conjunto de L símbolos de piloto/dados com o mesmo valor) a transmitir é multiplicado por todos os L segmentos [chips] de uma sequência ortogonal de L-segmentos para obter L símbolos "cobertos", que são, depois, transmitidos. O inverso da "cobertura" é um processo complementar por meio do qual os símbolos recebidos são multiplicados pelos L segmentos da mesma sequência ortogonal de L-segmentos para obter L símbolos sem "cobertura", que são, depois, acumulados para obter uma estimativa do símbolo de piloto ou dados transmitido. A "cobertura" consegue obter uma

ortogonalidade entre as N_T transmissões de pilotos desde as N_T antenas de transmissão e permite que um receptor distinga as antenas de transmissão individuais, como descrito abaixo. A duração da transmissão de pilotos MIMO pode estar dependente da sua utilização, como descrito abaixo. De um modo geral, N_p pode ser um qualquer valor inteiro de um ou superior.

Um conjunto ou conjuntos diferentes de símbolos de piloto podem ser utilizados para as N_T antenas de transmissão. Num exemplo, um conjunto de símbolos de piloto é utilizado para todas as N_T antenas de transmissão para o piloto MIMO e este conjunto inclui 52 símbolos de modulação QPSK para as 52 sub-bandas utilizáveis, que é designado por símbolo "P" OFDM. Os 52 símbolos de modulação QPSK para o símbolo P OFDM são dados no Quadro 2. Os valores de sinal de zero são transmitidos nas 12 sub-bandas restantes não utilizadas.

Os 52 símbolos de modulação QPSK formam uma "palavra" exclusiva que é indicada para facilitar a estimativa de canal pelos terminais de utilizador. Esta palavra exclusiva é seleccionada de modo a ter uma variação valor de pico-valor médio mínima numa forma de onda gerada com base nestes 52 símbolos de modulação.

É bem conhecido que a OFDM está, geralmente, associada com uma variação valor de pico-valor médio mais elevada na forma de onda transmitido do que numa outra técnica de modulação (e. g., CDMA). Sendo assim, para evitar uma limitação de amplitude dos circuitos (e. g., amplificador de potência) na cadeia de transmissão, os símbolos OFDM são, tipicamente, transmitidos a um nível de potência reduzido, i. e., longe do nível de pico de transmissão de potência. A redução de potência é utilizada para

ter em conta variações na forma de onda para estes símbolos OFDM. Ao minimizar a variação do valor de pico-valor médio na forma de onda para o símbolo P OFDM, o piloto MIMO pode ser transmitido a um nível de potência mais elevado (*i. e.*, uma menor redução de potência pode ser aplicado para o piloto MIMO). A maior potência de transmissão para o piloto MIMO resultaria, então, numa melhor qualidade de sinal recebido para o piloto MIMO no receptor. A menor variação de valor de pico-valor médio também pode reduzir a quantidade de distorção e não-linearidade gerados pelos circuitos nas cadeias de transmissão e recepção. Estes vários factores podem melhorar a exactidão de uma estimativa do canal obtida com base no piloto MIMO.

Um símbolo OFDM com uma variação de valor de pico-valor médio mínima pode ser obtido de várias formas. Por exemplo, pode executar-se uma busca aleatória na qual um grande número de conjuntos de símbolos de piloto é formado de modo aleatório e avaliado para encontrar o conjunto que tenha a variação valor de pico-valor médio mínima. O símbolo P OFDM mostrado no Quadro 2 representa um símbolo OFDM exemplificativo que pode ser utilizado para o piloto MIMO. De um modo geral, o conjunto de símbolos de piloto utilizados para o piloto MIMO pode ser obtido utilizando qualquer esquema de modulação. Assim, também se podem utilizar vários outros símbolos OFDM utilizando QPSK ou algum outro esquema de modulação para o piloto MIMO.

Podem utilizar-se vários códigos ortogonais para "cobrir" os símbolos P OFDM emitidos nas N_T antenas de transmissão. Exemplos destes códigos ortogonais incluem códigos Walsh e códigos de factor de espalhamento variável ortogonal (OVSF). Também se podem utilizar códigos pseudo-ortogonais e códigos quasi-ortogonais para "cobrir" os símbolos P OFDM. Um exemplo de

um código pseudo-ortogonal é a M-sequência que é bem conhecida na técnica. Um exemplo de um código quasi-ortogonal é a função quasi-ortogonal (QOF) definida pela IS-2000. De um modo geral, podem utilizar-se vários tipos de códigos para "cobertura", alguns dos quais foram salientados acima. Para simplificar, o termo "código ortogonal" é utilizado no presente documento para designar, genericamente, qualquer tipo de código apropriado para ser utilizado para "cobrir" os símbolos de piloto. O comprimento (L) do código ortogonal é seleccionado de modo a ser superior ou igual ao número de antenas de transmissão (e. g., $L \geq N_T$) e L códigos ortogonais estão disponíveis para utilização. A cada antena de transmissão atribui-se um código ortogonal exclusivo. Os N_P símbolos P OFDM a enviar em N_P períodos de símbolo desde cada antena de transmissão são "cobertos" com o código ortogonal atribuído a essa antena de transmissão.

Num exemplo, quatro antenas de transmissão estão disponíveis e são-lhe atribuídos sequências Walsh de 4 segmentos de $W_1 = 1111$, $W_2 = 1010$, $W_3 = 1100$ e $W_4 = 1001$ para o piloto MIMO. Para uma dada sequência Walsh, um valor de "1" indica que um símbolo P OFDM é transmitido e um valor de "0" indica que um símbolo de -P OFDM é transmitido. No caso de um símbolo -P OFDM, cada um dos 52 símbolos de modulação QPSK no símbolo P OFDM é invertido (i. e., multiplicado por -1). O resultado da "cobertura" para cada antena de transmissão é uma sequência de símbolos P OFDM "cobertos" para essa antena de transmissão. A "cobertura" é, com efeito, executada separadamente para cada uma das sub-bandas para gerar uma sequência de símbolos de piloto "cobertos" para essa sub-banda. As sequências de símbolos de piloto "cobertos" para todas as sub-bandas formam a sequência de símbolos P OFDM. "cobertos".

O Quadro 4 lista os símbolos OFDM a transmitir desde cada uma das quatro antenas de transmissão para uma transmissão de pilotos MIMO que abrange quatro períodos de símbolo.

Quadro 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 este conjunto de sequências Walsh de 4 segmentos, a transmissão de pilotos MIMO pode ocorrer num múltiplo inteiro de quatro períodos de símbolo para assegurar a ortogonalidade entre as quatro transmissões de pilotos desde as quatro antenas de transmissão. A sequência Walsh é, simplesmente, repetida para uma transmissão de pilotos MIMO que seja mais longa que o comprimento da sequência Walsh.

O canal sem fios para o sistema MIMO-OFDM pode ser caracterizado por um conjunto de matrizes $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de resposta de canal, para o índice de sub-banda $k \in K$, em que $K = \pm \{1 \dots 26\}$ para a estrutura de sub-banda exemplificativa descrita acima. A matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada sub-banda inclui valores $N_T N_R$, $\{h_{i,j}(k)\}$, 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 utilizado pelo receptor para estimar a resposta do canal sem fios. Em particular, para recuperar o piloto enviado pela antena j de transmissão e recebido pela antena i de recepção, os símbolos OFDM recebidos na antena i são multiplicados, em primeiro lugar, pela sequência Walsh atribuída à antena j de transmissão. Os símbolos OFDM "descobertos" para todos os N_p períodos de símbolo para o piloto MIMO são, depois, acumulados, podendo a acumulação ser executada individualmente para cada uma das 52 sub-bandas utilizáveis. A acumulação também pode ser executada no domínio de tempo nos símbolos OFDM recebidos (após remover o prefixo cíclico em cada símbolo OFDM). A acumulação é executada amostra a amostra relativamente aos múltiplos símbolos OFDM recebidos, em que as amostras para cada símbolo OFDM correspondem a sub-bandas diferentes se a acumulação for executada depois da FFT, e segundo índices de tempo diferentes se a acumulação for executada antes da FFT. O resultado da acumulação é $\{\hat{h}_{i,j}(k)\}$, para $k \in K$, que são as estimativas da resposta de canal da antena j de transmissão para a antena i de recepção para as 52 sub-bandas utilizáveis. O mesmo processamento pode ser executado para estimar a resposta do canal de cada antena de transmissão para cada antena de recepção. O proc de piloto proporciona $N_T N_R$ valores complexos para cada sub-banda, em que os valores complexos são elementos da matriz $\hat{\underline{H}}(k)$ para a estimativa de resposta de canal para essa sub-banda.

O processamento de pilotos descrito acima pode ser executado pelo ponto de acesso para obter a estimativa de resposta de canal $\hat{\underline{H}}_{up}(k)$ para a ligação ascendente e também pode ser executado pelo terminal de utilizador para obter a estimativa de resposta de canal $\hat{\underline{H}}_{dn}(k)$ para a ligação descendente.

3. Referência Orientada ou Piloto Orientado

Para um sistema MIMO-OFDM, a matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de resposta de canal para cada sub-banda pode ser “diagonalizada” para obter N_s modos próprios para essa sub-banda, em que $N_s \leq \min\{N_T, N_R\}$. Isto pode ser conseguido executando uma decomposição em valores singulares na matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de resposta de canal ou decomposição em valores próprios na matriz de correlação de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que é $\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k) \underline{\mathbf{H}}(k)$. Para clareza, a decomposição em valores singulares é utilizada para a descrição que se segue.

A decomposição em valores singulares da matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de resposta de canal pode ser expressa como:

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

em que $\underline{\mathbf{U}}(k)$ é uma matriz $(N_R \times N_R)$ unitária de vectores próprios esquerdos de $\underline{\mathbf{H}}(k)$;

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

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

“ H ” indica o conjugado transposto.

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

A decomposição em valores singulares é descrita em mais pormenor por Gilbert Strang num livro intitulado "Linear Algebra and Its Applications," Segunda Edição, Academic Press, 1980. Um modo próprio refere-se, normalmente, a uma construção teórica. Também se pode considerar que o canal MIMO inclui N_s canais espaciais que podem ser utilizados para transmissão de dados/pilotos. Cada canal espacial pode corresponder, ou não, a um modo próprio, dependendo do êxito ou fracasso da diagonalização do canal de MIMO pelo processamento espacial no transmissor. Por exemplo, os fluxos de dados são transmitidos em canais espaciais (e não modos próprios) de um canal MIMO se o transmissor não tiver conhecimento ou uma estimativa imperfeita do canal de MIMO. Para simplificar, o termo "modo próprio" também é utilizado no presente documento para designar o caso em que se faz uma tentativa para diagonalizar o canal MIMO, mesmo que isso não seja inteiramente bem sucedido devido a, por exemplo, uma estimativa de canal imperfeita.

A matriz $\underline{\Sigma}(k)$ diagonal para cada sub-banda contém valores reais não-negativos ao longo da diagonal e zeros no resto. Estas entradas diagonais são designadas como os valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ e representam os ganhos para os canais independentes (ou modos próprios) do canal MIMO para a k -ésima sub-banda.

A decomposição em valores próprios pode ser executada independentemente para a matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ de resposta de canal para cada uma das 52 sub-bandas utilizáveis para determinar os N_s modos próprios para a sub-banda. Os valores singulares para cada matriz $\underline{\Sigma}(k)$ diagonal podem ser ordenados de modo a que $\{\sigma_1(k) \geq \sigma_2(k) \geq \dots \geq \sigma_{N_s}(k)\}$, em que $\sigma_1(k)$ 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 $\underline{\Sigma}(k)$ diagonal estão ordenados, os vectores próprios (ou colunas) das matrizes $\underline{\mathbf{U}}(k)$ e $\underline{\mathbf{V}}(k)$ associadas também são correspondentemente ordenados. Após a ordenação, $\sigma_1(k)$ representa o valor singular para o melhor modo próprio para a sub-banda k , que também é designado, frequentemente, como o modo próprio “principal”.

Um modo próprio de “banda larga” pode ser definido como o conjunto de modos próprios da mesma-ordem de todas as sub-bandas após ordenação. Assim, o m -ésimo modo próprio de banda larga inclui o m -ésimo modo próprio de todas as sub-bandas. Cada modo próprio de banda larga é associado com um conjunto respectivo de vectores próprios para todas as sub-bandas. O modo próprio de banda larga “principal” é o que está associado com o maior valor singular em cada matriz $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ de cada sub-banda após a ordenação.

A matriz $\underline{\mathbf{V}}(k)$ inclui N_T vectores próprios que podem ser utilizados para processamento espacial no transmissor, em que $\underline{\mathbf{V}}(k)=[\underline{\mathbf{v}}_1(k) \ \underline{\mathbf{v}}_2(k) \ \dots \ \underline{\mathbf{v}}_{N_T}(k)]$ e $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ é a m -ésima coluna de $\underline{\mathbf{V}}(k)$, que é o vector próprio para o m -ésimo modo próprio. No caso de uma matriz unitária, os vectores próprios são ortogonais entre si. Os vectores próprios também são designados por vectores de “orientação”.

Uma referência orientada (i. e., um piloto orientado) compreende um ou mais conjuntos de símbolos de piloto que são transmitidos pelas N_T antenas de transmissão. Numa forma de realização, um conjunto de símbolos de piloto é transmitido num conjunto de sub-bandas para um modo próprio de banda larga num dado período de símbolo ao executar-se processamento espacial com um conjunto de vectores directores para esse modo próprio de

banda larga. Noutra forma de realização, múltiplos conjuntos de símbolos de piloto são transmitidos em múltiplos conjuntos disjuntos de sub-bandas para múltiplos modos próprios de banda larga num dado período de símbolo ao executar-se processamento espacial com múltiplos conjuntos de vectores directores para estes modos próprios de banda larga (utilizando multiplexagem de sub-bandas, que é descrita abaixo). Para clareza, a descrição que se segue pressupõe que um conjunto de símbolos de piloto é transmitido num modo próprio de banda larga num dado período de símbolo (*i. e.*, sem multiplexagem de sub-bandas).

Numa forma de realização, o conjunto de símbolos de piloto para a referência orientada é o mesmo símbolo P OFDM utilizado para o piloto MIMO. No entanto, também se podem utilizar vários outros símbolos OFDM para a referência orientada e isto está abrangido pelo âmbito da invenção.

Uma referência orientada transmitida para o m -ésimo modo próprio de banda larga (utilizando formação de feixe, que é descrita abaixo) pode ser expressa como:

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

em que $\underline{\mathbf{x}}_m(k)$ é um vector ($N_T \times 1$) de transmissão para o m -ésimo modo próprio da k -ésima sub-banda;

$\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ é o vector director para o m -ésimo modo próprio da k -ésima sub-banda; e

$p(k)$ é o símbolo de piloto para a k -ésima sub-banda (*e. g.*, como dado no Quadro 2).

O vector $\mathbf{x}_m(k)$ inclui N_T símbolos de transmissão a enviar desde as N_T antenas de transmissão para a k -ésima sub-banda.

A referência orientada pode ser utilizada pelo receptor para estimar um vector que possa ser utilizado para processamento espacial tanto na recepção como na transmissão de dados, como descrito abaixo. O processamento para a referência orientada é descrito abaixo em mais pormenor.

4. Piloto Portador

A estrutura de sub-bandas OFDM exemplificativa descrita acima inclui quatro sub-bandas de piloto com índices de -21, -7, 7 e 21. Num exemplo, um piloto portador é transmitido nas quatro sub-bandas de piloto em todos os períodos de símbolo que não são utilizados para alguns outros tipos de piloto. O piloto portador pode ser utilizado pelo receptor para seguir as mudanças na fase de um sinal portador de RF e derivações nos osciladores, tanto no transmissor como no receptor. Isto pode melhorar o desempenho da desmodulação de dados.

Num exemplo, o piloto portador compreende quatro sequências piloto, $P_{c1}(n)$, $P_{c2}(n)$, $P_{c3}(n)$ e $P_{c4}(n)$, que são transmitida nas quatro sub-bandas de piloto. Num exemplo, as quatro sequências piloto são definidas do seguinte modo:

$$P_{c1}(n) = P_{c2}(n) = P_{c3}(n) = -P_{c4}(n) \quad , \quad \text{Eq (3)}$$

em que n é um índice para o período de símbolo (ou símbolo OFDM).

As sequências piloto podem ser definidas com base em várias sequências de dados. Num exemplo, a sequência piloto $P_{c1}(n)$ é gerada com base num polinómio $G(x) = x^7 + x^4 + x$, em que o estado inicial é todo uns e os bits de saída são mapeados para valores de sinal do seguinte modo: $1 \Rightarrow -1$ e $0 \Rightarrow 1$. A sequência piloto $P_{c1}(n)$, para $n = \{1, 2, \dots, 127\}$, pode, então, ser expressa como:

[illegible]

Os valores de "1" e "- 1" na sequência piloto $P_{c1}(n)$ podem ser mapeados para símbolos de piloto utilizando um esquema de modulação particular. Por exemplo, utilizando BPSK, um "1" pode ser mapeado para $1 + j$ e um "- 1" pode ser mapeado para $-(1 + j)$. Se houver mais de 127 símbolos OFDM, a seguir, a sequência piloto pode ser repetida de modo a que $P_{c1}(n) = P_{c1}(n \bmod 127)$ para $n > 127$.

Num exemplo, as quatro sequências piloto $P_{c1}(n)$, $P_{c2}(n)$, $P_{c3}(n)$ e $P_{c4}(n)$ são transmitidas em quatro emparelhamentos sub-banda/antena diferentes. O Quadro 5 mostra uma atribuição exemplificativa das quatro sequências piloto às quatro sub-bandas de piloto e quatro antenas de transmissão.

Quadro 5 - Piloto Portador

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 no Quadro 5, a sequência piloto $P_{c1}(n)$ é transmitida na sub-banda -21 da antena 1, a sequência piloto $P_{c2}(n)$ é transmitida na sub-banda -7 da antena 2, a sequência piloto $P_{c3}(n)$ é transmitida na sub-banda 7 da antena 3 e a sequência piloto $P_{c4}(n)$ é transmitida na sub-banda 21 da antena 4. Cada sequência piloto é, assim, transmitida numa sub-banda exclusiva e numa antena exclusiva. Este esquema de transmissão de piloto portador evita interferências, o que seria o caso se uma sequência piloto fosse transmitida por múltiplas antenas de transmissão numa dada sub-banda.

Num outro exemplo, as quatro sequências piloto são transmitidas no modo próprio principal das suas sub-bandas atribuídas. O processamento espacial para os símbolos de piloto portador é semelhante ao processamento espacial para a referência orientada, que é descrita acima e mostrada na equação (2). Para transmitir o piloto portador no modo próprio principal, o vector $\underline{\mathbf{v}}_1(k)$ director é utilizado para o processamento espacial. Assim, a sequência piloto $P_{c1}(n)$ é processada espacialmente com o vector $\underline{\mathbf{v}}_1(-26)$ director, a sequência piloto $P_{c2}(n)$ é processada espacialmente com o vector

$\underline{\mathbf{v}}_1(-7)$ director, a sequência piloto $P_{c3}(n)$ é processada espacialmente com o vector $\underline{\mathbf{v}}_1(7)$ director e a sequência piloto $P_{c4}(n)$ é processada espacialmente com o vector $\underline{\mathbf{v}}_1(26)$ director.

II. Pilotos para Sistemas MIMO de Uma Só Portadora

Os pilotos aqui descritos também podem ser utilizados para sistemas MIMO de uma só portadora que não empregam OFDM. Nesse caso, muita da descrição acima ainda se aplica, mas sem o índice k de sub-banda. No caso do piloto de localização, um símbolo b de modulação de piloto específico pode ser transmitido desde cada uma das N_T antenas de transmissão. No caso do piloto MIMO, um símbolo p de modulação de piloto específico pode ser "coberto" com N_T sequências ortogonais e transmitido desde as N_T antenas de transmissão. O símbolo b de piloto pode ser igual ou diferente do símbolo p de piloto. A referência orientada pode ser transmitida como mostrado na equação (2). No entanto, o vector $\underline{\mathbf{x}}_m$ de transmissão, vector $\underline{\mathbf{v}}_m$ director e símbolo p de piloto não são funções do índice k de sub-banda. O piloto portador pode ser transmitido multiplexado por divisão no tempo ou pode, simplesmente, ser suprimido.

No caso de um sistema MIMO-OFDM, o prefixo cíclico é, tipicamente, utilizado para assegurar a ortogonalidade através das sub-bandas na presença de uma dispersão dos tempos de propagação no sistema e os códigos ortogonais permitem a identificação das antenas de transmissão individuais. No caso de um sistema MIMO de uma só portadora, os códigos ortogonais são a base da ortogonalidade e da identificação da antena. Assim, os códigos ortogonais utilizados para "cobrir" os símbolos de piloto num sistema MIMO de uma só portadora podem ser

seleccionados para ter uma boa correlação cruzada e boas propriedades pico-lobos laterais (*i. e.*, a correlação entre quaisquer duas sequências ortogonais utilizadas para "cobertura" é pequena na presença de uma dispersão dos tempos de propagação no sistema). Um exemplo de um código ortogonal desse tipo com uma boa correlação cruzada e boas propriedades pico-lobos laterais é a M-sequência e as suas versões deslocadas no tempo. No entanto, também se podem utilizar outros tipos de códigos para "cobrir" símbolos de piloto no caso do sistema MIMO de uma só portadora.

No caso de um sistema MIMO de uma só portadora de banda larga, a referência orientada pode ser transmitida de várias formas de modo a ter em conta o desvanecimento selectivo da frequência (*i. e.*, uma resposta de frequência que não é plana através da banda operacional). Diversos esquemas para transmitir uma referência orientada num sistema MIMO de uma só portadora de banda larga são descritos abaixo. De um modo geral, um transmissor pode transmitir uma forma de onda de referência que é processada da mesma forma ou forma semelhante ao processamento utilizado para transmitir dados de tráfego em modos próprios de banda larga específicos. O receptor pode, então, de alguma forma, correlacionar a forma de onda recebida com uma cópia gerada localmente da forma de onda de referência transmitida e extrair informação acerca do canal que permite que o receptor estime um filtro adaptado de canal.

Num primeiro esquema, um transmissor obtém, inicialmente, um vector $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ director para um modo próprio. O vector $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ director pode ser obtido pela transmissão periódica de símbolos de piloto OFDM, executando uma análise no domínio da frequência num piloto MIMO recebido que tenha sido transmitido sem OFDM ou

por alguns outros meios. Para cada valor de k , em que $1 \leq k \leq N_F$, $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ é um N_T - vector com N_T entradas para N_T antenas de transmissão. O transmissor executa, então, uma transformada de Fourier rápida e inversa em cada uma das posições de N_T vector do vector $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ director, com k como a variável da frequência no cálculo de IFFT, para obter um impulso correspondente no domínio do tempo para uma antena de transmissão associada. Cada posição de vector do vector $\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ inclui N_F valores para N_F sub-bandas de frequência e o impulso correspondente no domínio do tempo é uma sequência de N_F valores no domínio do tempo. O terminal, depois, apenas um prefixo cíclico a este impulso no domínio do tempo para obter um impulso de referência orientada para a antena de transmissão. Um conjunto de N_T impulsos de referência orientada é gerado para cada modo próprio e pode ser transmitido no mesmo intervalo de tempo desde todas as N_T antenas de transmissão. Múltiplos conjuntos de impulsos podem ser gerados para múltiplos modos próprios e podem ser transmitidos ao modo TDM.

Para o primeiro esquema, um receptor amostra o sinal recebido para obter um vector $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$ recebido, remove o prefixo cíclico e executa uma transformada rápida de Fourier em cada posição de vector do vector $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$ recebido para obter uma estimativa de uma entrada correspondente de $\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{v}}_m(k)$. Cada posição de vector do vector $\underline{\mathbf{r}}_m(n)$ recebido (após a remoção do prefixo cíclico) inclui N_F amostras no domínio do tempo. O receptor, depois, utiliza a estimativa de $\underline{\mathbf{H}}(k)\underline{\mathbf{v}}_m(k)$ para sintetizar um filtro adaptado no domínio do tempo que pode ser utilizado para filtrar uma transmissão de dados recebida. O filtro adaptado no domínio do tempo inclui um impulso de filtro adaptado para cada uma das antenas recebidas. A síntese do filtro adaptado no domínio do tempo é descrita no Pedido de Patente U.S. com o N° de Série 10/017308, detido em comum com a

Requerente, intitulado "Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigen-mode Decomposition for MIMO Systems", apresentado em 7 de Dezembro de 2001.

Para o primeiro esquema, o processamento de transmissor para a referência orientada num sistema MIMO de uma só portadora é semelhante ao processamento de transmissor para a referência orientada num sistema MIMO-OFDM. No entanto, outra transmissão depois da referência orientada é transmitida numa forma de onda de uma só portadora, tal como a descrita no acima mencionado Pedido de Patente U.S. com o N° de Série 10/017308. Além disso, o receptor utiliza a referência orientada para sintetizar filtros adaptados no domínio do tempo, como descrito acima.

Num segundo esquema, um transmissor isola um único componente multitrajectória para o canal de banda larga. Isto pode ser conseguido, por exemplo, procurando um piloto MIMO recebido com um dispositivo de correlação deslizante de modo semelhante ao executado, frequentemente, em sistemas CDMA para procurar componentes multitrajectória. O transmissor, depois, trata este componente multitrajectória como um canal de banda estreita e obtém um único vector $\underline{\mathbf{v}}_m$ director para o componente multitrajectória para cada modo próprio. De novo, podem gerar-se múltiplos vectores directores para múltiplos modos próprios para este componente multitrajectória.

III. Estrutura de Pilotos para um Sistema MIMO-OFDM TDD

Os pilotos aqui descritos podem ser utilizados para vários sistemas MIMO e MIMO-OFDM. Estes pilotos podem ser utilizados para sistemas que utilizam bandas de frequência comuns ou

separadas para a ligação descendente e ligação ascendente. Para clarificar, uma estrutura de pilotos exemplificativa para um sistema MIMO-OFDM exemplificativo é descrita abaixo. Para este sistema MIMO-OFDM, a ligação descendente e a ligação ascendente são duplexadas por divisão no tempo (TDD) numa única banda de frequência.

A FIG. 2 mostra um exemplo de uma estrutura 200 de trama que pode ser utilizada para um sistema MIMO-OFDM TDD. A transmissão de dados ocorre em unidades de tramas TDD, abrangendo cada trama uma duração de tempo particular (e. g., 2 mseg). Cada trama TDD é dividida numa fase de ligação descendente e numa fase de ligação ascendente. A fase de ligação descendente é dividida, ainda, em múltiplos segmentos para múltiplos canais de transporte de ligação descendente. No exemplo mostrado na FIG. 2, os canais de transporte de ligação descendente incluem um canal de difusão (BCH), um canal de controlo de tráfego descendente (FCCH) e um canal de tráfego descendente (FCH). De modo semelhante, a fase de ligação ascendente é dividida em múltiplos segmentos para múltiplos canais de transporte de ligação ascendente. No exemplo mostrado na FIG. 2, os canais de transporte de ligação ascendente incluem um canal de tráfego ascendente (RCH) e um canal de acesso aleatório (RACH).

Na ligação descendente, utiliza-se um segmento 210 de BCH para transmitir uma unidade 212 de dados de protocolo de BCH (PDU), que inclui uma parte 214 para um piloto de localização, uma parte 216 para um piloto MIMO e uma parte 218 para uma mensagem de BCH. A mensagem de BCH possui parâmetros de sistema para os terminais de utilizador no sistema. Um segmento 220 de FCCH é utilizado para transmitir uma PDU de FCCH, que possui atribuições para recursos de ligação descendente e ligação

ascendente e outra sinalização para os terminais de utilizador. Um segmento 230 de FCH é utilizado para transmitir uma ou mais PDU 232 de FCH. Podem definir-se tipos diferentes de PDU de FCH. Por exemplo, uma PDU 232a de FCH inclui uma parte 234a para um piloto e uma parte 236a para um pacote de dados. Uma PDU 232b de FCH inclui uma única parte 236b para um pacote de dados. Uma PDU 232c de FCH inclui uma única parte 234c para um piloto.

Na ligação ascendente, utiliza-se um segmento 240 de RCH para transmitir uma ou mais PDU 242 de RCH na ligação ascendente. Podem definir-se tipos diferentes de PDU de RCH. Por exemplo, uma PDU 242a de RCH inclui uma única parte 246a para um pacote de dados. Uma PDU 242b de RCH inclui uma parte 244b para um piloto e uma parte 246b para um pacote de dados. Uma PDU 242c de RCH inclui uma única parte 244c para um piloto. Um segmento 250 de RACH é utilizado pelos terminais de utilizador para aceder ao sistema e emitir mensagens curtas na ligação ascendente. Uma PDU 252 de RACH pode ser enviada dentro do segmento 250 de RACH e inclui uma parte 254 para um piloto e uma parte 256 para uma mensagem.

Para o exemplo mostrado na FIG. 2, os pilotos de localização e MIMO são enviados na ligação descendente em cada trama TDD no segmento de BCH. Um piloto pode ou não ser enviado em qualquer dada PDU de FCH/RCH. Se o piloto for enviado, então, pode abranger toda ou apenas uma parte da PDU, como mostrado na FIG. 2. Um piloto é enviado numa PDU de RACH para permitir que o ponto de acesso estime vectores pertinentes durante o acesso. A parte de piloto também é designada por "preâmbulo". O piloto que é enviado em qualquer dada PDU de FCH/RCH pode ser uma referência orientada ou um piloto MIMO, dependendo da finalidade para que o piloto é utilizado. O piloto enviado numa PDU de RACH

é, tipicamente, uma referência orientada, embora um piloto MIMO também possa, em alternativa, ser enviado. O piloto portador é transmitido nas sub-bandas de piloto e nas partes que não são utilizadas para outras transmissões de pilotos. O piloto portador não é mostrado na FIG. 2 para simplificar. As durações das várias partes na FIG. 2 não estão à escala.

A estrutura de trama e canais de transporte mostrados na FIG. 2 são descritos em detalhe no Pedido de Patente provisório U.S. provisório com o N° de Série 60/421309.

1. Calibração

Para um sistema MIMO-OFDM TDD com uma banda de frequência partilhada, pode assumir-se que as respostas de canal de ligação descendente e ligação ascendente são recíprocas. Ou seja, se $\underline{\mathbf{H}}(k)$ representa uma matriz de resposta de canal da rede A de antenas para a rede B de antenas para a sub-banda k , então, um canal recíproco implica que o acoplamento entre a rede B e a rede A é dado por $\underline{\mathbf{H}}^T(k)$, em que $\underline{\mathbf{H}}^T$ indica a transposição de $\underline{\mathbf{H}}$. No caso do sistema MIMO-OFDM TDD, as características de canais recíprocos podem ser exploradas para simplificar a estimativa de canal e 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 utilizador. Uma resposta “eficaz” de canal de ligação descendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$ e uma resposta “eficaz” de canal de ligação ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$, que incluem as

respostas das cadeias de transmissão e recepção aplicáveis, podem ser expressas como:

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

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

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

$\underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}(k)$ e $\underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}(k)$ são matrizes $N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}}$ diagonais para as respostas de frequência da cadeia de transmissão e cadeia de recepção, respectivamente, no terminal de utilizador 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 utilizador.

Combinando as equações no conjunto (4) de equação, obtém-se o seguinte:

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

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

A calibração pode ser executada para obter estimativas, $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ e $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, das matrizes diagonais propriamente ditas, $\mathbf{K}_{ap}(k)$ e $\mathbf{K}_{ut}(k)$, para $k \in K$. As matrizes $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ e $\mathbf{K}_{ut}(k)$ contêm factores de correcção que podem ter em conta diferenças nas respostas de frequência das cadeias de transmissão/recepção no ponto de acesso e terminal de utilizador. Uma resposta "calibrada" de canal de ligação descendente, $\mathbf{H}_{cdn}(k)$, observada pelo terminal de utilizador e uma resposta "calibrada" de canal de ligação ascendente, $\mathbf{H}_{cup}(k)$, observada pelo ponto de acesso pode, então, ser expressa como:

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

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

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

A exactidão da relação na equação (6c) é dependente da exactidão das matrizes de correcção, $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ e $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, que, por sua vez, é dependente da qualidade das estimativas das respostas eficazes de canal de ligação descendente e ligação ascendente, $\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$ e $\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$, utilizadas para obter estas matrizes de correcção. Um vector de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, pode ser definido para incluir apenas os N_{ut} elementos diagonais de $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, e um vector de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ pode ser definido para incluir apenas os N_{ap} elementos diagonais de $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. A calibração é descrita no

supracitado Pedido de Patente provisório U.S. com o N° de Série 60/421462.

Os pilotos descritos no presente documento também podem ser utilizados para sistemas MIMO e MIMO-OFDM que não executam calibração. Para maior clareza, na descrição que se segue supõe-se que a calibração é executada e que as matrizes de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ e $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, são utilizadas nas trajectórias de transmissão no ponto de acesso e no terminal de utilizador, respectivamente.

2. Pilotos de Localização e MIMO

Como mostrado na FIG. 2, o piloto de localização e o piloto MIMO são transmitidos na ligação descendente, no BCH, para cada trama TDD. O piloto de localização pode ser utilizado pelos terminais de utilizador para aquisição de sincronismo e frequência. O piloto MIMO pode ser utilizado pelos terminais de utilizador para (1) obter uma estimativa do canal MIMO de ligação descendente, (2) derivar vectores directores para transmissão de ligação ascendente e (3) derivar um filtro adaptado para transmissão de ligação descendente, como descrito abaixo.

Num esquema de transmissão de piloto exemplificativo, o piloto de localização é transmitido por dois períodos de símbolo e o piloto MIMO é transmitido por oito períodos de símbolo no início do segmento de BCH. O Quadro 6 mostra os pilotos de localização e MIMO para este esquema exemplificativo.

Quadro 6 - Pilotos de Localização e MIMO para BCH

Tipo de Piloto	Período de símbolo	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Piloto de Localização	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 de localização transmitido na ligação descendente pode ser expresso como:

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

em que $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn,bp}}(k)$ é um vector de transmissão para a sub-banda k para o piloto de localização; e

$b(k)$ é o símbolo de piloto a transmitir na sub-banda k para o piloto de localização, que é dado no Quadro 2.

Como mostrado na equação (7), o piloto de localização é ponderado pelo vector de correcção, $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ mas não submetido a qualquer outro processamento espacial.

O piloto MIMO transmitido na ligação descendente pode ser expresso como:

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

em que $\mathbf{x}_{dn,mp,n}(k)$ é um vector ($N_{ap} \times 1$) de transmissão para a sub-banda k no período n de símbolo para o piloto MIMO de ligação descendente;

$\mathbf{w}_{dn,n}$ é um vector ($N_{ap} \times 1$) com N_{ap} segmentos de Walsh para as N_{ap} antenas de transmissão no ponto de acesso no período n de símbolo para o piloto MIMO de ligação descendente; e

$p(k)$ é o símbolo de piloto a transmitir na sub-banda k para o piloto MIMO, que é dado no Quadro 2.

Como mostrado na equação (8), o piloto MIMO é "coberto" pelo vector $\mathbf{w}_{dn,n}$ e, ainda, ponderado pela matriz de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$, mas não submetido a qualquer outro processamento espacial. O mesmo vector Walsh $\mathbf{w}_{dn,n}$ é utilizado para todas as sub-bandas e, assim, $\mathbf{w}_{dn,n}$ não é uma função do índice k de sub-banda. No entanto, dado que cada sequência Walsh é uma sequência exclusiva de 4 segmentos de Walsh para 4 períodos de símbolo, $\mathbf{w}_{dn,n}$ é uma função do período n de símbolo. O vector $\mathbf{w}_{dn,n}$ inclui, assim, N_{ap} segmentos de Walsh a utilizar para N_{ap} antenas de transmissão no ponto de acesso para o período n de símbolo. No caso do esquema mostrado no Quadro 6, os quatro vectores $\mathbf{w}_{dn,n}$, para $n = \{3, 4, 5,$

6}, para os primeiros quatro períodos de símbolo de transmissão de piloto MIMO no BCH, são $\underline{\mathbf{w}}_3 = [1111]$, $\underline{\mathbf{w}}_4 = [1 \ -11 \ -1]$, $\underline{\mathbf{w}}_5 = [1 \ 1 \ -1 \ -1]$, $\underline{\mathbf{w}}_6 = [1 \ -1 \ -11]$, e os quatro vectores $\underline{\mathbf{w}}_{dn,n}$, para $n = \{7, 8, 9, 10\}$, para os quatro períodos de símbolo seguintes são repetidos, pelo que $\underline{\mathbf{w}}_7 = \underline{\mathbf{w}}_3$, $\underline{\mathbf{w}}_8 = \underline{\mathbf{w}}_4$, $\underline{\mathbf{w}}_9 = \underline{\mathbf{w}}_5$ e $\underline{\mathbf{w}}_{10} = \underline{\mathbf{w}}_6$.

O piloto MIMO transmitido na ligação ascendente pode ser expresso como:

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

em que $\underline{\mathbf{x}}_{up,mp,n}(k)$ é um vector ($N_{ut} \times 1$) de transmissão para a sub-banda k no período n de símbolo para o piloto MIMO de ligação ascendente. O vector de Walsh $\underline{\mathbf{w}}_{up,n}$ utilizados para o piloto MIMO de ligação ascendente pode ser igual ou diferente do vector de Walsh $\underline{\mathbf{w}}_{dn,n}$ utilizado para o piloto MIMO de ligação descendente. Por exemplo, se um terminal de utilizador estiver equipado com apenas duas antenas de transmissão, então $\underline{\mathbf{w}}_{up,n}$ pode incluir duas sequências Walsh com um comprimento de 2 ou maior.

3. Processamento Espacial

Como descrito acima, a matriz de resposta de canal para cada sub-banda pode ser diagonalizada para obter os N_s modos próprios para essa sub-banda. A decomposição em valores singulares da matriz calibrada de resposta de canal de ligação ascendente, $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$, pode ser expressa como:

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

em que $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ é uma matriz $(N_{ut} \times N_{ut})$ unitária de vectores próprios esquerdos de $\underline{\mathbf{H}}_{cup}(k)$;

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

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

De modo semelhante, a decomposição em valores singulares da matriz calibrada de resposta de canal de ligação descendente, $\underline{\mathbf{H}}_{cdn}(k)$, pode ser expressa como:

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

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

Como mostrado nas equações (10) e (11) e com base na descrição acima, as matrizes de vectores próprios esquerdos e direitos para uma ligação são o conjugado complexo das matrizes de vectores próprios direitos e esquerdos, respectivamente, para a outra ligação. Para simplificar, a referência às matrizes $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ e $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ na descrição que se segue também se pode referir às suas outras várias formas (e. g., $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ pode referir-se a $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^*(k)$, $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^T(k)$, e $\underline{\mathbf{V}}_{ut}^H(k)$). As matrizes $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ e $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$ podem ser utilizadas pelo ponto de acesso e terminal de utilizador, respectivamente, para processamento espacial e são indicadas como tal pelos seus subscriptos.

Num exemplo, o terminal de utilizador pode estimar a resposta calibrada de canal de ligação descendente com base num piloto MIMO transmitido pelo ponto de acesso. O terminal de utilizador pode, depois, executar a decomposição em valores singulares da estimativa calibrada de resposta de canal de ligação descendente $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$, para $k \in K$, para obter a matriz $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ diagonal e a matriz $\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{u}}^*(k)$ de vectores próprios esquerdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ para cada sub-banda. Esta decomposição em valores singulares pode ser dada como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{u}}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^T(k)$, em que o acento circunflexo ("^") por cima de cada matriz indica que é uma estimativa da matriz propriamente dita. De modo semelhante, o ponto de acesso pode estimar a resposta calibrada de canal de ligação ascendente com base num piloto MIMO transmitido pelo terminal de utilizador. O ponto de acesso pode então executar uma decomposição em valores singulares da estimativa de resposta calibrada de canal de ligação ascendente $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$, para $k \in K$, para obter a matriz $\hat{\underline{\Sigma}}(k)$ diagonal e a matriz $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k)$ de vectores próprios esquerdos de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k)$ para cada sub-banda. Esta decomposição em valores singulares pode ser dada como $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{u}}^H(k)$. O ponto de acesso e terminal de utilizador também podem obter os vectores próprios requeridos com bases numa referência orientada, como descrito abaixo.

A transmissão de dados pode ocorrer num ou em múltiplos modos próprios de banda larga para cada ligação. O número específico de modos próprios de banda larga a utilizar para transmissão de dados é, tipicamente, dependente das condições de canal e pode ser seleccionado de várias formas. Por exemplo, os modos próprios de banda larga podem ser seleccionados utilizando um processo de vasos comunicantes que tenta maximizar o

rendimento total ao (1) seleccionar o melhor conjunto de um ou mais modos próprios de banda larga a utilizar e (2) distribuir a potência de transmissão total entre o(s) modo(s) próprio(s) de banda larga seleccionado(s).

O sistema MIMO-OFDM pode, assim, ser concebido para suportar múltiplos modos de funcionamento, incluindo:

- Modo de multiplexagem espacial - utilizado para transmitir dados em múltiplos modos próprios de banda larga, e
- Modo de orientação de feixe - utilizado para transmitir dados no modo próprio de banda larga principal (melhor).

A transmissão de dados em múltiplos modos próprios de banda larga pode ser conseguida executando processamento espacial com múltiplos conjuntos de vectores próprios nas matrizes $\underline{\mathbf{U}}_{ap}(k)$ ou $\underline{\mathbf{V}}_{ut}(k)$, para $k \in K$ (i. e., um conjunto de vectores próprios para cada modo próprio de banda larga). O Quadro 7 resume o processamento espacial no ponto de acesso e terminal de utilizador para transmissão e recepção de dados para o modo de multiplexagem espacial.

Quadro 7 - Processamento Espacial para Modo de Multiplexagem Espacial

	Ligação descendente	Ligação ascendente
Ponto de Acesso	Transmissão:	Recepção:
	$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$
Terminal de Utilizador	Recepção:	Transmissão:
	$\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$	$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$

No Quadro 7, $\underline{\mathbf{s}}(k)$ é um vector de "dados" com até N_s entradas diferentes de zero para os símbolos de modulação a transmitir nos N_s modos próprios de sub-banda k , $\underline{\mathbf{x}}(k)$ é um vector de transmissão para a sub-banda k , $\underline{\mathbf{r}}(k)$ é um vector recebido para a sub-banda k e $\hat{\underline{\mathbf{s}}}(k)$ é uma estimativa do vector de dados transmitido $\underline{\mathbf{s}}(k)$. Os símbolos subscriptos "dn" e "up" para estes vectores indicam transmissões de ligação descendente e ligação ascendente, respectivamente.

Uma transmissão de dados num modo próprio de banda larga pode ser conseguida utilizando "formação de feixe" ou "orientação de feixe". No caso da formação de feixe, os símbolos de modulação são processados espacialmente com um conjunto de vectores próprios $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ut},1}(k)$ ou $\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap},1}(k)$, para $k \in K$, para o modo próprio de banda larga principal. No caso de orientação de feixe, os símbolos de modulação são processados espacialmente com um conjunto de vectores próprios "normalizados" (ou "saturados") $\tilde{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut}}(k)$ ou $\tilde{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$, para $k \in K$, para o modo próprio de

banda larga principal. Os vectores próprios normalizados $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ e $\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ podem ser obtidos como descrito abaixo.

O processamento espacial para os modos de multiplexagem espacial e orientação de feixe é descrito, em pormenor, nos acima mencionados Pedidos de Patente provisórios U.S. com o N° de Série 60/421309 e 60/421428. As referências orientadas para os modos de multiplexagem espacial e orientação de feixe são descritas abaixo.

4. Referência Orientada

No caso de um canal recíproco (e. g., depois de a calibração ter sido executada para ter em conta diferenças nas cadeias de transmissão/recepção no ponto de acesso e terminal de utilizador), uma referência orientada pode ser transmitida pelo terminal de utilizador e ser utilizada pelo ponto de acesso para obter estimativas tanto de $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ como de $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$, para $k \in K$, sem ter que estimar o canal MIMO ou executar a decomposição em valores singulares. De modo semelhante, uma referência orientada pode ser transmitida pelo ponto de acesso e ser utilizada pelo terminal de utilizador para obter estimativas tanto de $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ como de $\hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$ para $k \in K$.

Numa forma de realização, a referência orientada compreende um conjunto de símbolos de piloto (e. g., o símbolo P OFDM) que

é transmitido num modo próprio de banda larga num dado período de símbolo executando processamento espacial com um conjunto de vectores próprios não normalizados ou normalizados para esse modo próprio de banda larga. Numa forma de realização alternativa, a referência orientada compreende múltiplos conjuntos de símbolos de piloto que são transmitidos em múltiplos modos próprios de banda larga no mesmo período de símbolo executando processamento espacial com múltiplos conjuntos de vectores próprios não normalizados ou normalizados para estes modos próprios de banda larga. Em qualquer caso, a referência orientada é transmitida desde todas as N_{ap} antenas no ponto de acesso (para a ligação descendente) e todas as N_{ut} antenas no terminal de utilizador (para a ligação ascendente). Para maior clareza, na descrição que se segue supõe-se que a referência orientada é transmitida para um modo próprio de banda larga num dado período de símbolo.

A. Referência Orientada de Ligação descendente - Modo de Multiplexagem Espacial

No caso do modo de multiplexagem espacial, a referência orientada de ligação descendente transmitida no m -ésimo modo próprio de banda larga pelo ponto de acesso pode ser expressa como:

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

em que $\underline{\mathbf{x}}_{dn, sr, m}(k)$ é o vector de transmissão para a k -ésima sub-banda do m -ésimo modo próprio de banda larga;

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

$p(k)$ é o símbolo piloto a transmitir na sub-banda k para a referência orientada (e. g., como dado no Quadro 2).

O vector director $\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,m}^*(k)$ é a m -ésima coluna da matriz $\underline{\hat{\mathbf{U}}}_{ap}^*(k)$ em que $\underline{\hat{\mathbf{U}}}_{ap}^*(k) = [\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,1}^*(k) \ \underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,2}^*(k) \ \dots \ \underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,N_{ap}}^*(k)]$.

A referência orientada de ligação descendente recebida no terminal de utilizador para o modo de multiplexagem espacial pode ser expressa como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{dn,sr,m}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{dn}(k) \underline{\mathbf{x}}_{dn,sr,m}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{dn}(k) \quad \text{para} \quad k \in K, \quad \text{Eq (13)}$$

$$\approx \underline{\hat{\mathbf{v}}}_{ut,m}^*(k) \sigma_m(k) p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{dn}(k)$$

em que $\sigma_m(k)$ é o valor singular para a k -ésima sub-banda do m -ésimo modo próprio de banda larga.

B. Referência Orientada de Ligação descendente - Modo de Orientação de Feixe

No caso do modo de orientação de feixe, o processamento espacial no transmissor é executado utilizando um conjunto de vectores próprios “normalizados” para o modo próprio de banda

larga principal. A função de transferência total com um vector próprio normalizado $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ é diferente da função de transferência total com um vector próprio não normalizado $\underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k)$ (i. e., $\underline{H}_{dn}(k)\underline{\hat{K}}_{ap}(k)\underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k) \neq \underline{H}_{dn}(k)\underline{\hat{K}}_{ap}(k)\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$). Uma referência orientada gerada utilizando o conjunto de vectores próprios normalizados para o modo próprio de banda larga principal pode, então, ser enviada pelo transmissor e ser utilizada pelo receptor para obter o filtro adaptado para o modo de orientação de feixe.

No caso do modo de orientação de feixe, a referência orientada de ligação descendente transmitida no modo próprio de banda larga principal pelo ponto de acesso pode ser expressa como:

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

em que $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ é o vector próprio normalizado para a k -ésima sub-banda do modo próprio de banda larga principal, que pode ser expresso como:

$$\underline{\tilde{u}}_{ap}(k) = [Ae^{j\theta_{s1}(k)} \ Ae^{j\theta_{s2}(k)} \ \dots \ Ae^{j\theta_{M_{ap}}(k)}]^T, \quad \text{Eq (15)}$$

em que A é uma constante (e. g., $A=1$); e

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

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

Como mostrado na equação (15), os N_{ap} elementos do vector $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ têm magnitudes iguais, mas, possivelmente, fases diferentes. Como mostrado na equação (16), a fase de cada elemento no vector $\underline{\tilde{u}}_{ap}(k)$ é obtida a partir do elemento correspondente do vector $\underline{\hat{u}}_{ap}^*(k)$ (i. e., $\theta_{ui}(k)$ é obtida a partir de $\hat{u}_{ap,1,i}^*(k)$, em que $\underline{\hat{u}}_{ap}^*(k) = [\hat{u}_{ap,1,1}^*(k) \ \hat{u}_{ap,1,2}^*(k) \ \dots \ \hat{u}_{ap,1,N_{ap}}^*(k)]^T$).

A referência orientada de ligação descendente recebida no terminal de utilizador para o modo de orientação de feixe pode ser expressa como:

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

C. Referência Orientada de Ligação Ascendente - Modo de Multiplexagem Espacial

No caso do modo de multiplexagem espacial, a referência orientada de ligação ascendente transmitida no m -ésimo modo próprio de banda larga pelo terminal de utilizador pode ser expressa como:

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

O vector $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},m}(k)$ é a m -ésima coluna da matriz $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut}}(k)$, em que $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut}}(k)=[\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},1}(k) \ \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},2}(k) \ \dots \ \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},N_{\text{ut}}}(k)]$.

A referência orientada de ligação ascendente recebida no ponto de acesso para o modo de multiplexagem espacial pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{r}}_{\text{up},s,r,m}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{\text{up},s,r,m}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k) \quad \text{para } k \in K \quad \text{Eq (19)} \\ &\approx \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},m}(k) \sigma_m(k) p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k) \end{aligned}$$

D. Referência Orientada de Ligação Ascendente - Modo de Orientação de Feixe

No caso do modo de orientação de feixe, a referência orientada de ligação ascendente transmitida no modo próprio de banda larga principal pelo terminal de utilizador pode ser expressa como:

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

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

$$\tilde{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut}}(k) = [A e^{j\theta_{v1}(k)} \ A e^{j\theta_{v2}(k)} \ \dots \ A e^{j\theta_{vM_v}(k)}]^T, \quad \text{Eq (21)}$$

em que

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

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

A referência orientada de ligação ascendente recebida no ponto de acesso para o modo de orientação de feixe pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{up,sr}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k) \tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\ &\approx \mathbf{H}_{cup}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) p(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \end{aligned} \quad \text{para } k \in K \quad \text{Eq (23)}$$

O Quadro 8 resume o processamento espacial no ponto de acesso e terminal de utilizador para a referência orientada para os modos de multiplexagem espacial e orientação de feixe.

Quadro 8 - Processamento Espacial para a Referência Orientada

	Modo de Multiplexagem Espacial	Modo de Orientação de Feixe
Ponto de Acesso	$\mathbf{x}_{dn,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}^*(k) p(k)$	$\tilde{\mathbf{x}}_{dn,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k) p(k)$
Terminal de Utilizador	$\mathbf{x}_{up,sr,m}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \hat{\mathbf{v}}_{ut,m}(k) p(k)$	$\tilde{\mathbf{x}}_{up,sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) p(k)$

E. Transmissão de Referência Orientada

No caso da estrutura de trama exemplificativa mostrada na FIG. 2, a referência orientada pode ser transmitida na parte de preâmbulo ou do piloto de uma PDU de FCH (para a ligação descendente) ou de uma PDU de RCH (para a ligação ascendente). A referência orientada pode ser transmitida de várias formas.

Numa forma de realização, no caso do modo de multiplexagem espacial, a referência orientada é transmitida para um ou mais modos próprios de banda larga para cada trama TDD. O número específico dos modos próprios de banda larga a transmitir em cada trama TDD pode ser dependente da duração da referência orientada. O Quadro 9 lista os modos próprios de banda larga utilizados para a referência orientada no preâmbulo de uma PDU de FCH/RCH para vários tamanhos de preâmbulo, no caso de uma concepção exemplificativa com quatro antenas de transmissão.

Quadro 9

Tamanho do Preâmbulo	Modos Próprios de Banda Larga Utilizados
0 símbolos de OFDM	nenhum preâmbulo
1 símbolo de OFDM	modo próprio de banda larga m , em que $m = \text{contador de tramas (mod 4)}$
4 símbolos de OFDM	percorrer todos os 4 modos próprios de banda larga no preâmbulo
8 símbolos de OFDM	percorrer todos os 4 modos próprios de banda larga duas vezes no preâmbulo

Como mostrado no Quadro 9, a referência orientada é transmitida para todos os quatro modos próprios de banda larga dentro da mesma trama TDD quando o tamanho do preâmbulo é quatro ou oito períodos de símbolo. A referência orientada transmitida no preâmbulo de uma PDU de FCH pelo ponto de acesso para o n -ésimo período de símbolo pode ser expressa como:

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

em que L é o tamanho do preâmbulo (e. g., $L = 0, 1, 4$ ou 8 para a concepção exemplificativa mostrada no Quadro 9).

A referência orientada transmitida no preâmbulo de uma PDU de RCH pelo terminal de utilizador para o n -ésimo período de símbolo pode ser expressa como:

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

Nas equações (24) e (25), os quatro modos próprios de banda larga são percorridos em cada período de 4 símbolos pela operação “mod” para o vector director. Este esquema pode ser utilizado se o canal mudar mais rapidamente e/ou durante a parte inicial de uma sessão de comunicação quando uma boa estimativa de canal necessita de ser obtida rapidamente para um funcionamento correcto do sistema.

Noutra forma de realização, a referência orientada é transmitida para um modo próprio de banda larga para cada trama TDD. A referência orientada para quatro modos próprios de banda larga pode ser percorrida e quatro tramas TDD. Por exemplo, os vectores directores $\underline{\hat{v}}_{ut,1}(k)$, $\underline{\hat{v}}_{ut,2}(k)$, $\underline{\hat{v}}_{ut,3}(k)$, e $\underline{\hat{v}}_{ut,4}(k)$ podem ser utilizados

para quatro tramas TDD consecutivos pelo terminal de utilizador. O vector director particular a utilizar para a referência orientada em cada trama TDD pode ser especificado por um contador de tramas, que pode ser enviado na mensagem de BCH. Este esquema pode permitir que um preâmbulo mais curto seja utilizado para as PDU de FCH e RCH. No entanto, pode ser necessário um período de tempo mais longo para obter uma boa estimativa de canal.

No caso do modo de orientação de feixe, o vector director normalizado para o modo próprio de banda larga principal é utilizado para a referência orientada, como mostrado nas equações (14) e (20). A duração da referência orientada pode ser seleccionada, por exemplo, com base nas condições de canal.

Ao funcionar no modo de orientação de feixe, o terminal de utilizador pode transmitir múltiplos símbolos de referência orientada, por exemplo, um ou mais símbolos utilizando o vector próprio normalizado $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$, um ou mais símbolos utilizando o vector próprio $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$ para o modo próprio principal e, possivelmente, um ou mais símbolos utilizando os vectores próprios para os outros modos próprios. Os símbolos de referência orientada gerados com $\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$ podem ser utilizados pelo ponto de acesso para derivar um vector de filtro adaptado de ligação ascendente. Este vector é utilizado pelo ponto de acesso para executar uma filtragem adaptada da transmissão de dados de ligação ascendente enviada pelo terminal de utilizador utilizando orientação de feixe. Os símbolos de referência orientados gerados com $\hat{\mathbf{v}}_{\text{ut},1}(k)$ podem ser utilizados para obter $\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}(k)$, que pode, então, ser utilizado para derivar o vector próprio normalizado $\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$ que é utilizado para orientação de

feixe na ligação descendente. Os símbolos de referência orientada gerados com os vectores próprios $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},2}(k)$ e $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{\text{ut},N_s}(k)$ para os outros modos próprios podem ser utilizados pelo ponto de acesso para obter $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},2}(k)$ a $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},N_s}(k)$ e as estimativas de valores singulares para estes outros modos próprios. Esta informação pode, então, ser utilizada pelo ponto de acesso para determinar se se utiliza o modo de multiplexagem espacial ou o modo de orientação de feixe para a transmissão de dados de ligação descendente.

No caso da ligação descendente, o terminal de utilizador pode derivar um vector de filtro adaptado de ligação descendente para o modo de orientação de feixe com base na estimativa de resposta calibrada de canal de ligação descendente $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}^*(k)$. Em particular, o terminal de utilizador tem $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap},i}^*(k)$ a partir da decomposição em valores singulares de $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ e pode, depois, derivar o vector próprio normalizado $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$. O terminal de utilizador pode, em seguida, multiplicar $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ por $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)$ para obter $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ e pode, depois, derivar o vector de filtro adaptado de ligação descendente para o modo de orientação de feixe com base em $\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k)\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$. Em alternativa, uma referência orientada pode ser enviada pelo ponto de acesso utilizando o vector próprio normalizado $\hat{\underline{\mathbf{u}}}_{\text{ap}}(k)$ e esta referência orientada pode ser processado pelo terminal de utilizador, como descrito acima, para obter o vector de filtro adaptado de ligação descendente para o modo de orientação de feixe.

F. Multiplexagem de Sub-bandas para Referência Orientada

No caso dos modos de multiplexagem espacial e orientação de

feixe, a referência orientada também pode ser transmitida para múltiplos modos próprios de banda larga por um dado período de símbolo utilizando multiplexagem de sub-bandas. As sub-bandas utilizáveis podem ser divididas em múltiplos conjuntos disjuntos de sub-bandas, um conjunto para cada modo próprio de banda larga seleccionado para transmissão de referência orientada. Cada conjunto de sub-bandas pode, então, ser utilizado para transmitir uma referência orientada para o modo próprio de banda larga associado. Para simplificar, o termo "modo próprio de banda larga" é, aqui, utilizado, mesmo que a referência orientada seja enviada apenas num subconjunto de todas as sub-bandas utilizáveis.

Por exemplo, a referência orientada pode ser transmitida em todos os quatro modos próprios de banda larga num período de símbolo. Neste caso, as 52 sub-bandas utilizáveis podem ser divididas em quatro conjuntos disjuntos (e. g., identificados 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 de 52 sub-bandas utilizáveis. A referência orientada para o modo próprio de banda larga principal pode, então, ser transmitida em 13 sub-bandas no conjunto 1, a referência orientada para o segundo modo próprio de banda larga pode ser transmitida em 13 sub-bandas no conjunto 2, a referência orientada para o terceiro modo próprio de banda larga pode ser transmitida em 13 sub-bandas no conjunto 3 e a referência orientada para o quarto modo próprio de banda larga pode ser transmitida em 13 sub-bandas no conjunto 4.

Se a referência orientada for enviada em apenas um subconjunto de todas as sub-bandas utilizáveis para um dado modo próprio de banda larga, então, pode utilizar-se uma interpolação ou alguma outra técnica para obter estimativas para as sub-bandas não utilizadas para a transmissão de referência orientada para esse modo próprio de banda larga.

De um modo geral, os múltiplos conjuntos de sub-bandas podem incluir um número igual ou diferente de sub-bandas. Por exemplo, o número de sub-bandas a incluir em cada conjunto pode ser dependente da SNR do modo próprio de banda larga associado com o conjunto (e. g., mais sub-bandas podem ser atribuídas a um conjunto associado com um modo próprio de banda larga de qualidade reduzida). Além disso, as sub-bandas em cada conjunto podem ser distribuídas uniformemente ou não uniformemente através das sub-bandas utilizáveis. Os múltiplos conjuntos de sub-bandas também podem ser associados com o mesmo conjunto ou conjuntos diferentes de símbolos de piloto.

A multiplexagem de sub-bandas pode ser utilizada para reduzir a quantidade de informação complementar necessária para transmitir a referência orientada, o que pode melhorar a eficiência do sistema.

G. Estimativa de Canal com a Referência Orientada

Como mostrado na equação (13), no terminal de utilizador, a referência orientada de ligação descendente recebida para o modo de multiplexagem espacial (na ausência de ruído) é, aproximadamente, $\hat{\underline{v}}_{u,m}^*(k)\sigma_m(k)p(k)$. De modo semelhante, como

mostrado na equação (19), no ponto de acesso, a referência orientada de ligação ascendente recebida para o modo de multiplexagem espacial (na ausência de ruído) é, aproximadamente, $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k)$. O ponto de acesso pode, assim, obter uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ e $\sigma_m(k)$ com base numa referência orientada enviada pelo terminal de utilizador e vice-versa.

Podem utilizar-se várias técnicas para processar uma referência orientada. Para maior clareza, a descrição que se segue é para processar uma referência orientada de ligação ascendente. O vector recebido no ponto de acesso é dado na equação (19), que é $\mathbf{r}_{up, sr,m}(k) = \hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k) p(k) + \mathbf{n}_{up}(k)$.

Numa forma de realização, para obter uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$, o vector recebido $\mathbf{r}_{up, sr,m}(k)$ para a referência orientada enviado no m -ésimo modo próprio de banda larga é, em primeiro lugar, multiplicado pelo conjugado complexo do símbolo de piloto, $p^*(k)$, que é utilizado para a referência orientada. O resultado pode, então, ser integrado sobre múltiplos símbolos de referência orientada recebidos para cada modo próprio de banda larga para obter uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k) \sigma_m(k)$, que é um vector próprio esquerdo ponderado $\hat{\mathbf{H}}_{cup}(k)$ para o m -ésimo modo próprio de banda larga. Cada uma das N_{ap} entradas do vector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ é obtida com base numa entrada correspondente das N_{ap} entradas para o vector $\mathbf{r}_{up,m}(k)$, em que as N_{ap} entradas de $\mathbf{r}_{up,m}(k)$ são os símbolos recebidos das N_{ap} antenas no ponto de acesso. Dado que os vectores próprios têm uma potência unitária, o valor singular $\sigma_m(k)$ pode ser estimado com base na potência recebida da referência orientada, que pode ser medida para cada sub-banda de cada modo próprio de banda larga. A estimativa $\hat{\sigma}_m(k)$ de valor singular é, então, igual à raiz quadrada da potência recebida dividida pela magnitude do símbolo de piloto $p(k)$.

Noutra forma de realização, utiliza-se uma técnica de erro quadrático médio mínimo (MMSE) para obter uma estimativa do vector $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ com base no vector recebido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$ para a referência orientada. Dado que os símbolos de piloto $p(k)$ são conhecidos, o ponto de acesso pode derivar uma estimativa de $\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$ de modo a que o erro quadrático médio entre os símbolos de piloto recebidos (obtidos após ter executado a filtragem adaptada no vector recebido $\mathbf{r}_{up,sr,m}(k)$) e os símbolos de piloto transmitidos sejam minimizados. A utilização da técnica MMSE para processamento espacial no receptor é descrita no Pedido de Patente U.S. com o N° de Série 09/993087, detido em comum com a Requerente e intitulado "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System", apresentado em 6 de Novembro de 2001.

A referência orientada é enviada para um modo próprio de banda larga em qualquer dado período de símbolo (sem multiplexagem de sub-bandas) e pode, por sua vez, ser utilizada para obter uma estimativa de um vector próprio para cada sub-banda desse modo próprio de banda larga. Assim, o receptor pode obter uma estimativa de apenas um vector próprio numa matriz unitária para qualquer dado período de símbolo. Dado que as estimativas de múltiplos vectores próprios para a matriz unitária são obtidas através de períodos de símbolo diferentes, e devido ao ruído e a outras fontes de degradação no canal sem fios, não é provável que os vectores próprios estimados para a matriz unitária (que são derivados individualmente) sejam ortogonais entre si. Os vectores próprios estimados podem, subsequentemente, ser utilizados para uma filtragem adaptada de uma transmissão de dados recebida na mesma ligação e/ou processamento espacial de uma transmissão de dados enviada na

outra ligação. Neste caso, quaisquer erros na ortogonalidade entre estes vectores próprios estimados resultariam em diafonia entre os fluxos de dados enviados nos modos próprios correspondentes aos vectores próprios. A diafonia pode degradar o desempenho.

Numa forma de realização, os vectores próprios estimados para cada matriz unitária são forçados a ser ortogonais entre si. A ortogonalização dos vectores próprios pode ser conseguida utilizando a técnica de Gram-Schmidt, que é descrita em pormenor no documento acima mencionado de Gilbert Strang, ou alguma outra técnica.

Também se podem utilizar outras técnicas para processar a referência orientada e isto está abrangido pelo âmbito da invenção.

O ponto de acesso pode, assim, estimar $\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$ e $\overline{\hat{\underline{\Sigma}}(k)}$ com base na referência orientada enviada pelo terminal de utilizador, sem ter que estimar a resposta de canal de ligação ascendente ou executar uma decomposição em valores singulares de $\hat{\underline{H}}_{cup}(k)$.

O processamento no terminal de utilizador para estimar as matrizes $\overline{\hat{\underline{V}}_{ut}(k)}$ e $\overline{\hat{\underline{\Sigma}}(k)}$, para $k \in K$, com base na referência orientada de ligação descendente pode ser executado de modo semelhante ao descrito acima para a referência orientada de ligação ascendente.

No caso do modo de orientação de feixe, na ligação

ascendente, o vector recebido $\tilde{\mathbf{r}}_{\text{up},sr,m}(k)$ para a referência orientada pode ser processado pelo ponto de acesso de modo semelhante para obter uma estimativa de $\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$. O conjugado transposto desta estimativa é, então, o filtro adaptado para a transmissão de ligação ascendente no modo de orientação de feixe. Na ligação descendente, o vector recebido $\tilde{\mathbf{r}}_{\text{dn},sr,m}(k)$ para a referência orientada pode ser processado pelo terminal de utilizador de modo semelhante para obter uma estimativa de $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$. O conjugado transposto desta estimativa é, então, o filtro adaptado para a transmissão de ligação descendente no modo de orientação de feixe.

5. Piloto Portador

O piloto portador pode ser transmitido nas sub-bandas de piloto de várias formas para a estrutura de trama TDD mostrada na FIG. 2. Num exemplo, as quatro sequências piloto são restauradas para cada canal de transporte. Assim, na ligação descendente, as sequências piloto são restauradas para o primeiro símbolo OFDM da mensagem de BCH, restauradas novamente para o primeiro símbolo OFDM da mensagem de FCCH e restauradas para o primeiro símbolo OFDM enviado no FCH. Noutro exemplo, as sequências piloto são restauradas no início de cada trama TDD e repetidas tão frequentemente quanto necessário. Para este exemplo, as sequências piloto podem ser paradas durante as partes de preâmbulo do BCH e do FCH. O piloto portador também pode ser transmitido de outras formas.

6. Esquema de Transmissão de Pilotos

Quatro tipos de piloto foram descritos acima e podem ser utilizados para sistemas MIMO e MIMO-OFDM. Estes quatro tipos diferentes de piloto podem ser transmitidos de várias formas.

A FIG. 3 mostra transmissões de pilotos de ligação descendente e ligação ascendente para um esquema de transmissão de pilotos exemplificativo. Geralmente, o bloco 310 corresponde a uma fase de acesso de sistema, o bloco 320 corresponde a uma fase de calibração e o bloco 330 corresponde a uma fase de funcionamento normal.

Um piloto de localização e um piloto MIMO são transmitidos na ligação descendente pelo ponto de acesso em cada trama TDD (bloco 312) para permitir que todos os terminais de utilizador no sistema adquiram a frequência e o sincronismo de sistema e estimem o canal de ligação descendente (bloco 314). O bloco 314 pode ser executado, quando necessário, para aceder ao sistema.

A calibração pode ser executada antes da operação normal para calibrar diferenças nas cadeias de transmissão/recepção no terminal de utilizador e ponto de acesso. Para a calibração, os pilotos MIMO podem ser transmitidos pelo ponto de acesso e pelo terminal de utilizador (blocos 322 e 326). O piloto MIMO de ligação ascendente pode ser utilizado pelo ponto de acesso derivar uma estimativa do canal de ligação ascendente (bloco 324) e o piloto MIMO de ligação descendente pode ser utilizado pelo terminal de utilizador para derivar ou actualizar uma estimativa do canal de ligação descendente (bloco 328). As estimativas do canal de ligação descendente e ligação ascendente

são utilizadas, então, para derivar os factores de correcção para o ponto de acesso e terminal de utilizador.

Durante o funcionamento normal, uma referência orientada pode ser transmitida na ligação ascendente pelo terminal de utilizador (1) se e quando desejar uma transmissão de dados ou (2) se for programada para transmissão de dados (bloco 332). A referência orientada de ligação ascendente pode ser utilizada pelo ponto de acesso para estimar as matrizes unitárias e diagonais pertinentes para o terminal de utilizador (bloco 334). Uma referência orientada pode, opcionalmente, ser transmitida pelo ponto de acesso para o terminal de utilizador (como mostrado pelo bloco 336 tracejado). O terminal de utilizador pode, continuamente, actualizar a sua estimativa do canal de ligação descendente com base no piloto MIMO de ligação descendente e actualizar as matrizes unitárias e diagonais pertinentes com base na referência orientada de ligação descendente (se transmitida) (bloco 338). Os pilotos portadores são transmitidos pelo ponto de acesso (bloco 340) e pelo terminal de utilizador (bloco 344) nas sub-bandas de piloto durante partes que não são utilizadas para outros pilotos. O piloto portador de ligação descendente é utilizado pelo terminal de utilizador para seguir a fase do sinal de portador de ligação descendente (bloco 342) e o piloto portador de ligação ascendente é utilizado pelo ponto de acesso para seguir a fase do sinal de portador de ligação ascendente (bloco 346).

Para o esquema de transmissão de pilotos mostrado na FIG. 3, o terminal de utilizador estima a resposta de canal de ligação descendente com base no piloto MIMO de ligação descendente e transmite uma referência orientada na ligação ascendente, que é utilizado, depois, pelo ponto de acesso para estimar as matrizes

unitárias e diagonais pertinentes para o terminal de utilizador. Em determinados casos, o terminal de utilizador pode ter obtido uma má estimativa da resposta de canal de ligação descendente, caso em que a referência orientada de ligação ascendente pode ser igualmente má ou, possivelmente, pior. No pior caso, o vector director utilizado pelo terminal de utilizador pode resultar no apontamento de um feixe nulo no ponto de acesso. Se isto ocorrer, então, o ponto de acesso não pode detectar a referência orientada de ligação ascendente. Para evitar esta situação, o terminal de utilizador pode perturbar as fases dos N_{ut} elementos do vector director que utiliza para a referência orientada nas situações em que detecta se o ponto de acesso não está a receber a propriedade de referência orientada. Por exemplo, se o terminal de utilizador for designado para transmitir uma referência orientada de ligação ascendente como parte de um procedimento de acesso ao sistema e se o acesso ao sistema não for obtido depois de um número particular de tentativas de acesso, então, o terminal de utilizador pode começar a perturbar as fases dos elementos de vector director.

Também se podem implementar vários outros esquemas de transmissão de pilotos para sistemas MIMO e MIMO-OFDM e isto está abrangido pelo âmbito da invenção. Por exemplo, os pilotos de localização e portador podem ser combinados num único piloto que pode ser utilizado para aquisição de frequência e sincronismo e seguimento de fase de portador. Noutro exemplo, os terminais de utilizador activos podem transmitir pilotos MIMO, em vez de referências orientadas, na ligação ascendente.

IV. Sistema MIMO-OFDM

A FIG. 4 mostra um diagrama de blocos de uma forma de realização de um ponto 110x de acesso e de um terminal 120x de utilizador no sistema 100 MIMO-OFDM. Para maior clareza, nesta forma de realização, o ponto 110x de acesso está equipado com quatro antenas que podem ser utilizadas para transmissão e recepção de dados e o terminal 120x de utilizador também está equipado com quatro antenas para transmissão/recepção de dados. De um modo geral, o ponto de acesso e o terminal de utilizador podem estar equipados, individualmente, com qualquer número de antenas de transmissão e qualquer número de antenas de recepção.

Na ligação descendente, no ponto 110x de acesso, um processador 414 de dados de transmissão (TX) recebe dados de tráfego de uma fonte 412 de dados 412 e sinalização e outros dados de um controlador 430. O processador 414 de dados TX formata, codifica, entrelaça e modula (*i. e.*, mapeia símbolos) os dados para fornecer símbolos de modulação. Um processador 420 espacial TX recebe e multiplexa os símbolos de modulação do processador 414 de dados TX com símbolos de piloto, executa o processamento espacial requerido e fornece quatro fluxos de símbolos de transmissão para as quatro antenas de transmissão.

Cada modulador (MOD) 422 recebe e processa um respectivo fluxo de símbolos de transmissão para fornecer um sinal modulado de ligação descendente correspondente. Os quatro sinais modulados de ligação descendente dos moduladores 422a a 422d são, depois, transmitidos desde as antenas 424a a 424d, respectivamente.

No terminal 120x de utilizador, quatro antenas 452a a 452d recebem os sinais modulados de ligação descendente transmitidos e cada antena fornece um sinal recebido a um respectivo desmodulador (DEMOD) 454. Cada desmodulador 454 executa um processamento complementar ao executado no modulador 422 e fornece símbolos recebidos. Um processador 460 espacial de recepção (RX) executa, então, processamento espacial nos símbolos recebidos de todos os desmoduladores 454a a 454d para fornecer símbolos recuperados, que são estimativas dos símbolos de modulação transmitidos pelo ponto de acesso. Um processador 470 de dados RX processa, ainda (e. g., inverte o mapeamento de símbolos, desentrelaça e descodifica), os símbolos recuperados para fornecer dados descodificados, que podem ser fornecidos a um colector 472 de dados para armazenamento e/ou a um controlador 480 para processamento posterior.

O processamento para a ligação ascendente pode ser igual ao ou diferente do processamento para a ligação descendente. Os dados e sinalização são processados (e. g., codificados, entrelaçados e modulados) por um processador 488 de dados TX, multiplexados com símbolos de piloto e, ainda, processados espacialmente por um processador 490 espacial TX. Os símbolos de transmissão do processador 490 espacial TX são processados, ainda, por moduladores 454a a 454d para gerar quatro sinais modulados de ligação ascendente, que são, depois, transmitidos por meio das antenas 452a a 452d.

No ponto 410 de acesso, os sinais modulados de ligação ascendente são recebidos pelas antenas 424a a 424d, desmodulados por desmoduladores 422a a 422d e processados por um processador 440 espacial RX e por um processador 442 de dados RX de modo complementar ao executado no terminal de utilizador. Os dados

descodificados para a ligação ascendente podem ser fornecidos a um colector 444 de dados para armazenamento e/ou ao controlador 430 para processamento posterior.

Os controladores 430 e 480 controlam o funcionamento de várias unidades de processamento no ponto de acesso e terminal de utilizador, respectivamente. Unidades 432 e 482 de memória armazenam dados e códigos de programa utilizados pelos controladores 430 e 480, respectivamente.

A FIG. 5 mostra um diagrama de blocos de um processador 420a espacial TX que pode gerar um piloto de localização e que pode ser implementado dentro do processador 420 espacial TX na FIG. 4. O processador 420a inclui vários processadores 510a a 510k, de sub-bandas de piloto de localização, um para cada sub-banda utilizada para transmitir o piloto de localização. Cada processador 510 de sub-banda recebe um símbolo de piloto $b(k)$ para o piloto de localização e uma matriz de correcção

$\hat{K}_{ap}(k)$ para a sub-banda associada.

Dentro de cada processador 510 de sub-banda, o símbolo de piloto $b(k)$ é ponderado por quatro multiplicadores 514a a 514d

com quatro factores de correcção $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$,

respectivamente, da matriz $\hat{K}_{ap}(k)$. Cada multiplicador 514 executa uma multiplicação complexa do símbolo de piloto complexo com um factor de correcção complexo respectivo. Os símbolos de piloto ponderados dos multiplicadores 514a a 514d são fornecidos, depois, a quatro memórias-tampão/multiplexadores 520a a 520d, respectivamente, que também recebem os símbolos de piloto ponderados de outros processadores 510 de sub-banda. Cada

memória-tampão/multiplexador 520 multiplexa os símbolos de piloto ponderados para todas as sub-bandas utilizadas para transmissão de pilotos de localização e valores de sinal de zero para as sub-bandas não utilizadas e fornece um fluxo de símbolos de transmissão para a antena de transmissão associada.

A FIG. 6A mostra um diagrama de blocos de um processador 420b espacial TX que pode gerar um piloto MIMO. O processador 420b pode ser implementado dentro do processador 420 ou 490 espacial TX na FIG. 4, mas, para maior clareza, é descrito abaixo para uma implementação no processador 420 espacial TX. O processador 420b inclui vários processadores 610a a 610k de sub-bandas de piloto, um para cada sub-banda utilizada para transmitir o piloto MIMO. Cada processador 610 de sub-banda recebe um símbolo de piloto $p(k)$ para o piloto MIMO e uma matriz

de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ para a sub-banda associada. Cada processador 610 de sub-banda também recebe quatro sequências Walsh, w_1 a w_4 , atribuídas às quatro antenas de transmissão no ponto de acesso.

Dentro de cada processador 610 de sub-banda, o símbolo de piloto $p(k)$ complexo é "coberto" pelas quatro sequências Walsh w_1 a w_4 por quatro multiplicadores 612a a 612d complexos, respectivamente. Os símbolos de piloto "cobertos" são, ainda, ponderados por quatro multiplicadores 614a a 614d complexos com

quatro factores de correcção $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$ complexos, respectivamente, da matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. Os símbolos de piloto ponderados dos multiplicadores 614a a 614d são, depois, fornecidos a quatro memórias-tampão/multiplexadores 620a a 620d,

respectivamente. O processamento subsequente é igual ao descrito acima para a FIG. 5.

Para uma implementação do processador 420b no processador 490 espacial TX, o número de sequências Walsh a utilizar é dependente do número de antenas de transmissão disponíveis no terminal de utilizador. Além disso, a ponderação é executada com os factores de correcção da matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$, para o terminal de utilizador.

A FIG. 6B mostra um diagrama de blocos de um processador 460b espacial RX que pode fornecer uma estimativa de resposta de canal com base num piloto MIMO recebido. O processador 460b pode ser implementado dentro do processador 440 ou 460 espacial RX da FIG. 4, mas é descrito abaixo, para maior clareza, para uma implementação no processador 460 espacial RX. O processador 460b inclui vários processadores 650a a 650k de sub-bandas de piloto, um para cada sub-banda utilizada para transmissão de pilotos MIMO. Cada processador 650 de sub-bandas de piloto MIMO recebe um vector $\mathbf{r}(k)$ e um símbolo piloto conjugado $p^*(k)$ para a sub-banda associada. Cada processador 650 de sub-banda também recebe as quatro sequências Walsh w_1 a w_4 atribuídas às quatro antenas de transmissão no ponto de acesso.

Cada processador 650 de sub-bandas de piloto MIMO inclui quatro processadores 660a a 660d de antena/sub-banda de piloto MIMO para as quatro antenas de recepção no terminal de utilizador. Cada processador 660 recebe uma entrada $r_i(k)$ do vector $\mathbf{r}(k)$. Dentro de cada processador 660, o símbolo recebido $r_i(k)$ é multiplicado, em primeiro lugar, pelo símbolo de piloto conjugado $p^*(k)$ por um multiplicador 662 complexo. A saída do

multiplicador 662 é multiplicada, ainda, pelas quatro sequências Walsh w_1 a w_4 por quatro multiplicadores 664a a 664d complexos, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 664a a 664d são, depois, acumuladas por acumuladores 666a a 666d, respectivamente, durante a transmissão de pilotos MIMO. Cada par do multiplicador 664 e acumulador 666 executa uma "descoberta" para uma antena de transmissão no ponto de acesso. A saída de cada acumulador 666 representa uma estimativa $\hat{h}_{i,j}(k)$ do ganho de canal da antena j de transmissão para a antena i de recepção para a sub-banda k . Pode, ainda, calcular-se a média das estimativas de resposta de canal $\{\hat{h}_{i,j}(k)\}$, para $i = \{1, 2, 3, 4\}$ e $j = \{1, 2, 3, 4\}$ das múltiplas transmissões de pilotos MIMO (não mostrado na FIG. 6B) para fornecer uma estimativa mais exacta de resposta de canal.

Como mostrado na FIG. 6B, cada processador 660 de antena/sub-banda de piloto MIMO fornece um vector linha $\hat{\mathbf{h}}_{\text{cdn},i}(k) = [\hat{h}_{i,1}(k) \ \hat{h}_{i,2}(k) \ \hat{h}_{i,3}(k) \ \hat{h}_{i,4}(k)]$ para a antena i de recepção associada, em que $\hat{\mathbf{h}}_{\text{cdn},i}(k)$ é a i -ésima fila da estimativa de resposta calibrada de canal $\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k)$ para a ligação descendente (supondo-se que o ponto de acesso aplicou a sua

matriz de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$). Os processadores 660a a 660d fornecem, colectivamente, as quatro filas da matriz $\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$ de resposta calibrada de canal.

A FIG. 7A mostra um diagrama de blocos de um processador 420c espacial TX que pode gerar uma referência orientada. O processador 420c também pode ser implementado dentro do processador 420 ou 490 espacial TX da FIG. 4, mas é descrito abaixo, para maior clareza, para uma implementação no processador 420 espacial TX. O processador 420c inclui vários

processadores 710a a 710k de sub-bandas de referência orientada, um para cada sub-banda utilizada para transmitir a referência orientada. Para gerar a referência orientada para o modo de multiplexagem espacial, cada processador 710 de sub-banda recebe um símbolo de piloto $p(k)$, o vector director $\hat{\mathbf{u}}_{sp,m}^*(k)$ para cada modo próprio de banda larga no qual a referência orientada vai ser transmitida e uma matriz de correcção $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$ para a sub-banda associada.

Dentro de cada processador 710 de sub-banda, o símbolo de piloto $p(k)$ é multiplicado pelos quatro elementos $\hat{\mathbf{u}}_{sp,1,m}^*(k)$ a $\hat{\mathbf{u}}_{sp,4,m}^*(k)$ do vector director $\hat{\mathbf{u}}_{sp,m}^*(k)$ para o m -ésimo modo próprio de banda larga por quatro multiplicadores 712a a 712d complexos, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 712a a 712d são, ainda, ponderadas por quatro multiplicadores 714a a 714d complexos com quatro factores de correcção $\hat{K}_{ap,1}(k)$ a $\hat{K}_{ap,4}(k)$, respectivamente, da matriz $\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$. Os símbolos de piloto ponderados dos multiplicadores 714a a 714d são fornecidos, então, a quatro memórias-tampão/multiplexadores 720a a 720d, respectivamente. O processamento subsequente é igual ao descrito acima.

Para gerar a referência orientada na ligação descendente para o modo de orientação de feixe, cada processador 710 de sub-banda receberia um vector director normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{ap}(k)$, em vez do vector director não normalizado $\hat{\mathbf{u}}_{sp,m}^*(k)$. Para uma implementação do processador 420c no processador 490 espacial

TX, cada processador 710 de sub-banda receberia ou (1) o vector director $\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)$ para cada modo próprio de banda larga utilizado para a referência orientada, para o modo de multiplexagem espacial, ou (2) o vector director $\tilde{\underline{\mathbf{v}}}_{ut}(k)$ para o modo de orientação de feixe. Se a multiplexagem de sub-banda for utilizada para a referência orientada, então, os vectores directores para múltiplos modos próprios de banda larga podem ser utilizados para múltiplos conjuntos disjuntos de sub-bandas, como descrito acima.

A FIG. 7B mostra um diagrama de blocos de um processador 460c espacial RX que pode fornecer estimativas de vectores directores e de valores singulares com bases numa referência orientada recebida. O processador 460c pode ser implementado dentro do processador 440 ou 460 espacial RX na FIG. 4, mas é descritos abaixo, para maior clareza, para uma implementação no processador 460 espacial RX. O processador 460c inclui vários processadores 750a a 750k de sub-banda de referência orientada, um para cada sub-banda utilizada para transmissão de referências orientadas. Cada processador 750 de sub-banda recebe um vector $\underline{\mathbf{r}}(k)$ e um símbolo piloto conjugado $p^*(k)$ para a sub-banda associada.

Dentro de cada processador 750 de sub-banda, os quatro símbolos no vector recebido $\underline{\mathbf{r}}(k)$ são multiplicados pelo símbolo piloto conjugado $p^*(k)$ pelos multiplicadores 762a a 762d complexos, respectivamente. As saídas dos multiplicadores 762a a 762d são, depois, acumuladas durante a transmissão de referências orientadas para cada modo próprio de banda larga pelos acumuladores 764a a 764d, respectivamente. Como mostrado no Quadro 9, a referência orientada pode ser enviada para

múltiplos modos próprios de banda larga dentro da mesma transmissão de referência orientada, caso em que a acumulação é executada separadamente para cada um destes modos próprios de banda larga. No entanto, múltiplos símbolos de referência orientada (que podem ser transmitidos numa ou múltiplas transmissões de referências orientadas) para qualquer dado modo próprio de banda larga podem ser acumulados para obter uma estimativa de maior qualidade. Os acumuladores 764a a 764d fornecem quatro elementos que são a estimativa de $\hat{\underline{y}}_{u,m}^*(k)\sigma_m(k)$ como mostrado na equação (13).

Dado que os vectores próprios têm uma potência unitária, o valor $\sigma_m(k)$ singular para cada modo próprio de banda larga pode ser estimado com base na potência recebida da referência orientada. Uma unidade 766 de cálculo de potência recebe as saídas dos multiplicadores 762a a 762d e calcula a potência recebida da referência orientada, $P_m(k)$, para cada modo próprio de sub-banda k . A estimativa $\hat{\sigma}_m(k)$ de valores singulares é, então, igual à raiz quadrada da potência recebida calculada da referência orientada dividida pelo valor do símbolo de piloto

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

As saídas dos acumuladores 766a a 766d são, depois, ponderadas pelo inverso da estimativa de valor singular, $\hat{\sigma}_m^{-1}(k)$, por multiplicadores 768a a 768d, respectivamente, para fornecer uma estimativa do vector director para cada modo próprio, $\hat{\underline{y}}_{u,m}^*(k) = [\hat{y}_{u,1,m}^*(k) \ \hat{y}_{u,2,m}^*(k) \ \hat{y}_{u,3,m}^*(k) \ \hat{y}_{u,4,m}^*(k)]$.

O processamento para a referência orientada para a orientação de feixe pode ser executado de modo semelhante. O processamento para a referência orientada na ligação ascendente também pode ser executado de modo semelhante para obter uma estimativa do vector director para cada modo próprio,

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

Os pilotos aqui descritos podem ser implementados de diversos modos. Por exemplo, o processamento para os vários tipos de pilotos no ponto de acesso e terminal de utilizador pode ser implementado em hardware, software ou uma sua combinação. No caso de uma implementação por hardware, os elementos utilizados para processar os pilotos para transmissão e/ou recepção podem ser implementados num ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASIC), processadores de sinais digitais (DSP), dispositivos de processamento de sinais digitais (DSPD), dispositivos de lógica programável (PLD), rede de portas lógicas programáveis (FPGA), processadores, controladores, microcontroladores, microprocessadores, outras unidades electrónicas concebidas para desempenhar as funções descritas no presente documento ou uma sua combinação.

No caso de uma implementação por software, parte do processamento para os vários tipos de piloto (e. g., o processamento espacial para uma transmissão de pilotos e/ou estimativa de canal com base no piloto recebido) pode ser implementada com módulos (e. g., processos, funções, etc.) que desempenham as funções descritas no presente documento. Os códigos de software podem ser armazenados numa unidade de memória (e. g., unidades 432 e 482 de memória da FIG. 4) e executados por um processador (e. g., controladores 430 e 480).

A unidade de memória pode ser implementada no processador ou ser externa ao processador, caso em que pode estar acoplada em termos de comunicação ao processador por meio de diversos meios, como é conhecido na técnica.

No presente documento foram incluídos títulos por uma questão de referência e para ajudar a descobrir determinadas secções. Estes títulos não se destinam a limitar o âmbito dos conceitos aí descritos e estes conceitos podem ser aplicados noutras secções existentes em todo o documento.

A descrição anterior das formas de realização divulgadas é proporcionada para permitir que qualquer especialista na técnica realize ou utilize a presente invenção.

Lisboa, 31 de Outubro de 2011

REIVINDICAÇÕES

1. Método para gerar um piloto orientado num sistema de comunicação de múltiplas entradas, múltiplas saídas, MIMO, sem fios, compreendendo:

obter um primeiro símbolo de piloto a transmitir desde uma pluralidade de antenas;

obter um primeiro vector director para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO; e

processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vector director para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão, um símbolo de transmissão para cada uma de entre a pluralidade de antenas, em que o primeiro grupo de símbolos de transmissão é para o piloto orientado para o primeiro canal espacial.

2. Método da reivindicação 1, compreendendo, ainda:

obter um segundo símbolo do piloto a transmitir da pluralidade de antenas;

obter um segundo vector director para um segundo canal espacial do canal MIMO; e

processar o segundo símbolo de piloto com o segundo vector director para obter um segundo grupo de símbolos de transmissão para o piloto orientado para o segundo canal espacial.

3. Método da reivindicação 2, compreendendo, ainda:

transmitir o primeiro grupo de símbolos de transmissão desde a pluralidade de antenas num primeiro período de símbolo; e

transmitir o segundo grupo de símbolos de transmissão desde a pluralidade de antenas num segundo período de símbolo.

4. Método da reivindicação 2, compreendendo, ainda: transmitir o primeiro grupo de símbolos de transmissão desde a pluralidade de antenas numa primeira sub-banda; e

transmitir o segundo grupo de símbolos de transmissão desde a pluralidade de antenas numa segunda sub-banda.

5. Método da reivindicação 4, em que os primeiro e segundo grupos de símbolos de transmissão são transmitidos num período de símbolo.

6. Método da reivindicação 2, em que os primeiro e segundo vectores directores são associados com um primeiro e segundo modos próprios, respectivamente, de uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO e em que, os primeiro e segundo canais espaciais corresponde aos primeiro e segundo modos próprios, respectivamente.

7. Método da reivindicação 2, em que os primeiro e segundo vectores directores são ortogonais entre si.

8. Método da reivindicação 1, em que o primeiro vector director é obtido com base num vector próprio numa matriz unitária para uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO.
9. Método da reivindicação 1, em que o primeiro vector director inclui uma pluralidade de elementos tendo uma magnitude igual, um elemento para cada uma de entre a pluralidade de antenas.
10. Método da reivindicação 1, em que o primeiro vector director é associado com um modo próprio principal de uma matriz de resposta de canal para o canal MIMO.
11. Método da reivindicação 1, em que:

obter o primeiro símbolo de piloto a transmitir desde uma pluralidade de antenas compreende obter um primeiro conjunto de símbolos de piloto a transmitir desde uma pluralidade de antenas num primeiro conjunto de sub-bandas;

obter o primeiro vector director para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO compreende obter um primeiro conjunto de vectores directores para um primeiro canal espacial do primeiro conjunto de sub-bandas; e

processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vector director para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão compreende processar o primeiro conjunto de símbolos de piloto com o primeiro conjunto de vectores directores para obter um primeiro conjunto

de vectores de símbolos, um vector de símbolos no primeiro conjunto de vectores de símbolos para cada sub-banda no primeiro conjunto de sub-bandas, em que cada vector de símbolos no primeiro conjunto de vectores de símbolos inclui uma pluralidade de símbolos de transmissão para a pluralidade de antenas e corresponde ao piloto orientado para o primeiro canal espacial da sub-banda associada com o vector de símbolos.

12. Método da reivindicação 11, compreendendo:

obter um segundo conjunto de vectores directores 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 vectores directores para obter um segundo conjunto de vectores de símbolos, em que cada vector de símbolos no segundo conjunto de vectores de símbolos corresponde a um piloto orientado para o segundo canal espacial da sub-banda associada com o vector de símbolos.

13. Método da reivindicação 12, compreendendo, ainda:

transmitir o primeiro conjunto de vectores de símbolos desde a pluralidade de antenas no primeiro conjunto de sub-bandas num primeiro período de símbolo; e

transmitir o segundo conjunto de vectores de símbolos desde a pluralidade de antenas no primeiro conjunto de sub-bandas num segundo período de símbolo.

14. Método da reivindicação 11, compreendendo, ainda:

obter um segundo conjunto de símbolos de piloto a transmitir desde a pluralidade de antenas num segundo conjunto de sub-bandas;

obter um segundo conjunto de vectores directores 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 vectores directores para obter um segundo conjunto de vectores de símbolos, um vector de símbolos no segundo conjunto de vectores de símbolos para cada sub-banda no segundo conjunto de sub-bandas, em que cada vector de símbolos no segundo conjunto de vectores de símbolos corresponde a um piloto orientado para o primeiro canal espacial da sub-banda associada com o vector de símbolos.

15. Método da reivindicação 14, compreendendo, ainda:

transmitir o primeiro conjunto de vector de símbolos desde a pluralidade de antenas no primeiro conjunto de sub-bandas; e

transmitir o segundo conjunto de vectores de símbolos desde a pluralidade de antenas no segundo conjunto de sub-bandas.

16. Método da reivindicação 15, em que o primeiro conjunto de vectores de símbolos e o segundo conjunto de vectores de símbolos são transmitidos num período de símbolo.
17. Método da reivindicação 11, em que os símbolos de piloto no primeiro conjunto são seleccionados de modo a que a variação valor de pico-valor médio seja pequena numa forma de onda gerada com base nos símbolos de piloto.
18. Aparelho num sistema de comunicação de múltiplas entradas, múltiplas saídas, MIMO, sem fios, compreendendo:

meios para obter um primeiro símbolo de piloto a transmitir desde uma pluralidade de antenas;

meios para obter um primeiro vector director para um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO ; e

meios (710a) para processar o primeiro símbolo de piloto com o primeiro vector director para obter um primeiro grupo de símbolos de transmissão, um símbolo de transmissão para cada uma de entre a pluralidade de antenas, em que o primeiro grupo de símbolos de transmissão é para um piloto orientado para o primeiro canal espacial.

19. Aparelho da reivindicação 18, compreendendo, ainda:

meios para obter um segundo símbolo de piloto a transmitir desde a pluralidade de antenas; e

meios para obter um segundo vector director para um segundo canal espacial do canal MIMO; e meios para processar o segundo símbolo de piloto com o segundo vector director para obter um segundo grupo de símbolos de transmissão para um piloto orientado para o segundo canal espacial.

20. Método para receber um piloto orientado num sistema de comunicação de múltiplas entradas, múltiplas saídas, MIMO, sem fios, compreendendo:

receber um primeiro grupo de símbolos desde uma pluralidade de antenas para um primeiro piloto orientado recebido através de um primeiro canal espacial de um canal MIMO no sistema MIMO, em que o primeiro piloto orientado é gerado com base num símbolo de piloto e num primeiro vector director 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 factor de ponderação com base numa potência estimada dos símbolos no primeiro grupo;
e

ponderar os símbolos no segundo grupo com o primeiro factor de ponderação para obter um segundo vector director para o primeiro canal espacial.

21. Método da reivindicação 20, em que o primeiro piloto orientado é transmitido numa pluralidade de períodos de símbolo, compreendendo, ainda, o método:

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

22. Método da reivindicação 20, compreendendo, ainda:

derivar um filtro adaptado para o primeiro canal espacial com base no segundo vector director.

23. Método da reivindicação 20, em que o segundo vector director é utilizado para processamento espacial de uma transmissão de dados enviada através do canal MIMO.

24. Método da reivindicação 20, compreendendo, ainda:

derivar um filtro adaptado no domínio do tempo para o primeiro canal espacial com base no segundo vector director para o primeiro canal espacial.

25. Método da reivindicação 24, em que o filtro adaptado no domínio do tempo compreende um impulso de filtro adaptado para cada uma de entre a pluralidade de antenas.

26. Método da reivindicação 20, compreendendo, ainda:

receber um terceiro grupo de símbolos desde a pluralidade de antenas para um segundo piloto orientado recebido através de um segundo canal espacial do canal MIMO, em que o segundo piloto orientado é gerado com base no símbolo de piloto e num primeiro vector director para o segundo canal espacial;

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

determinar um segundo factor de ponderação com base numa potência estimada dos símbolos no terceiro grupo;
e

ponderar os símbolos no quarto grupo com o segundo factor de ponderação para obter um segundo vector director para o segundo canal espacial.

27. Ponto de acesso num sistema de comunicação de múltiplas entradas, múltiplas saídas, MIMO, sem fios, compreendendo:

um processador espacial de transmissão com a função de gerar uma pluralidade de pilotos ortogonais para um piloto MIMO com base num primeiro símbolo de piloto e uma pluralidade de sequências ortogonais para uma pluralidade de antenas, em que a pluralidade de pilotos ortogonais é concebida para transmissão desde a pluralidade de antenas numa ligação descendente no sistema MIMO; e

um processador espacial de recepção com a função de processar um piloto orientado recebido de um terminal através de um canal espacial numa ligação ascendente no sistema MIMO, em que o piloto orientado é gerado pelo terminal com base num segundo símbolo de piloto e num vector director para o canal espacial, e em que o vector director é obtido pelo terminal com base no piloto MIMO recebido através da ligação descendente.

28. Ponto de acesso da reivindicação 27, em que o processador espacial de transmissão tem, ainda a função de gerar um piloto de localização com base num terceiro símbolo de piloto, em que o piloto de localização compreende um piloto comum apropriado para transmissão desde cada uma de entre a pluralidade de antenas na ligação descendente.
29. Ponto de acesso da reivindicação 27, em que a pluralidade de sequências ortogonais são sequências Walsh.
30. Ponto de acesso da reivindicação 27, em que o sistema MIMO utiliza multiplexagem 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 orientado é recebido num segundo conjunto de sub-bandas.

Lisboa, 31 de Outubro de 2011

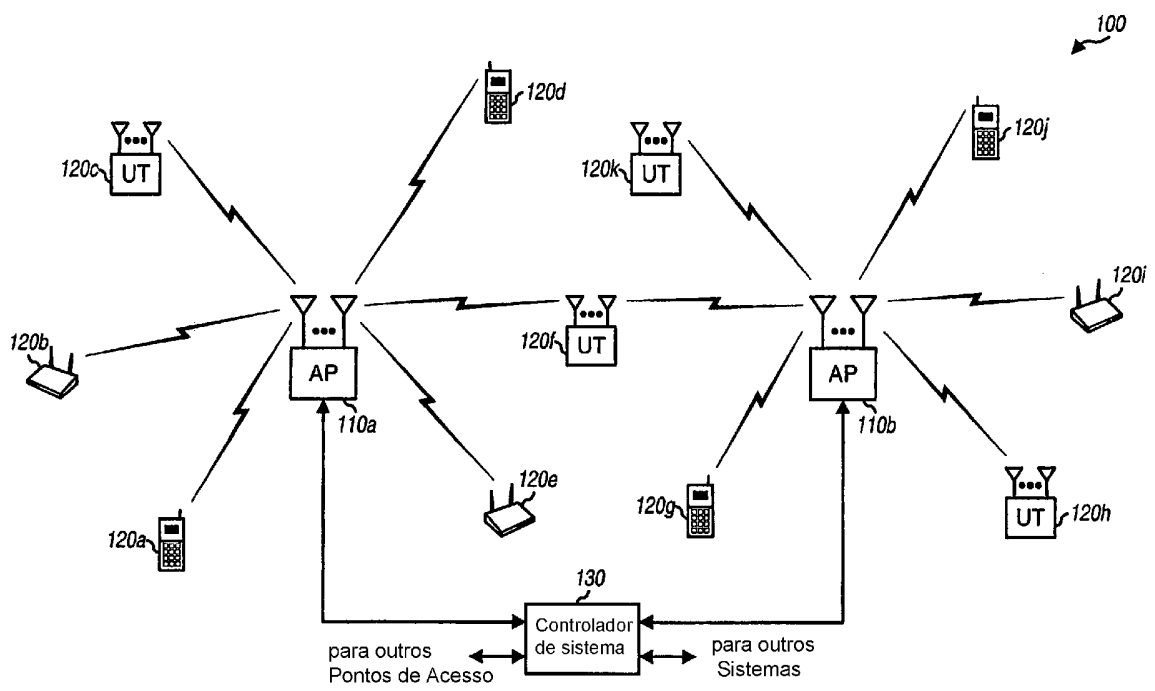


FIG. 1

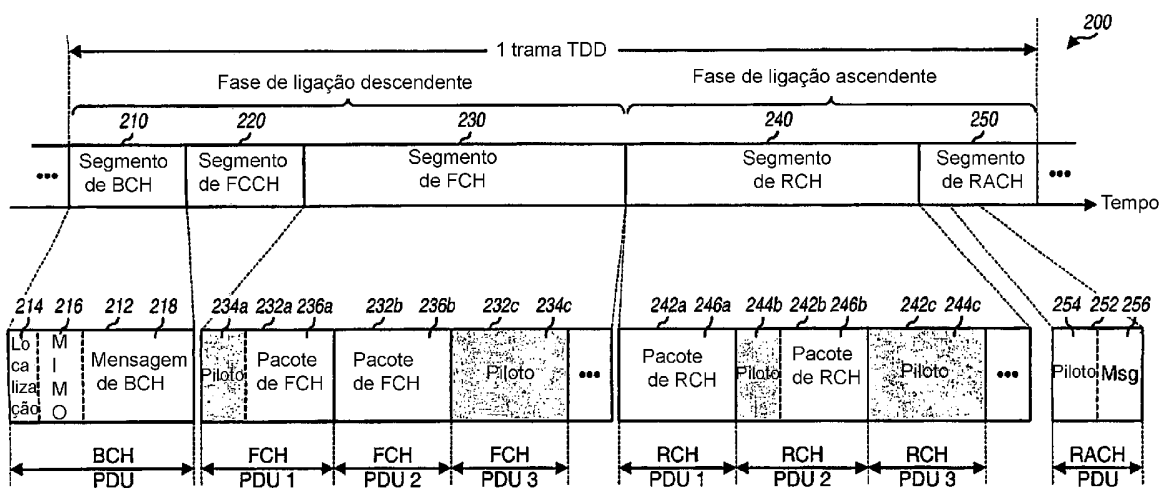


FIG. 2

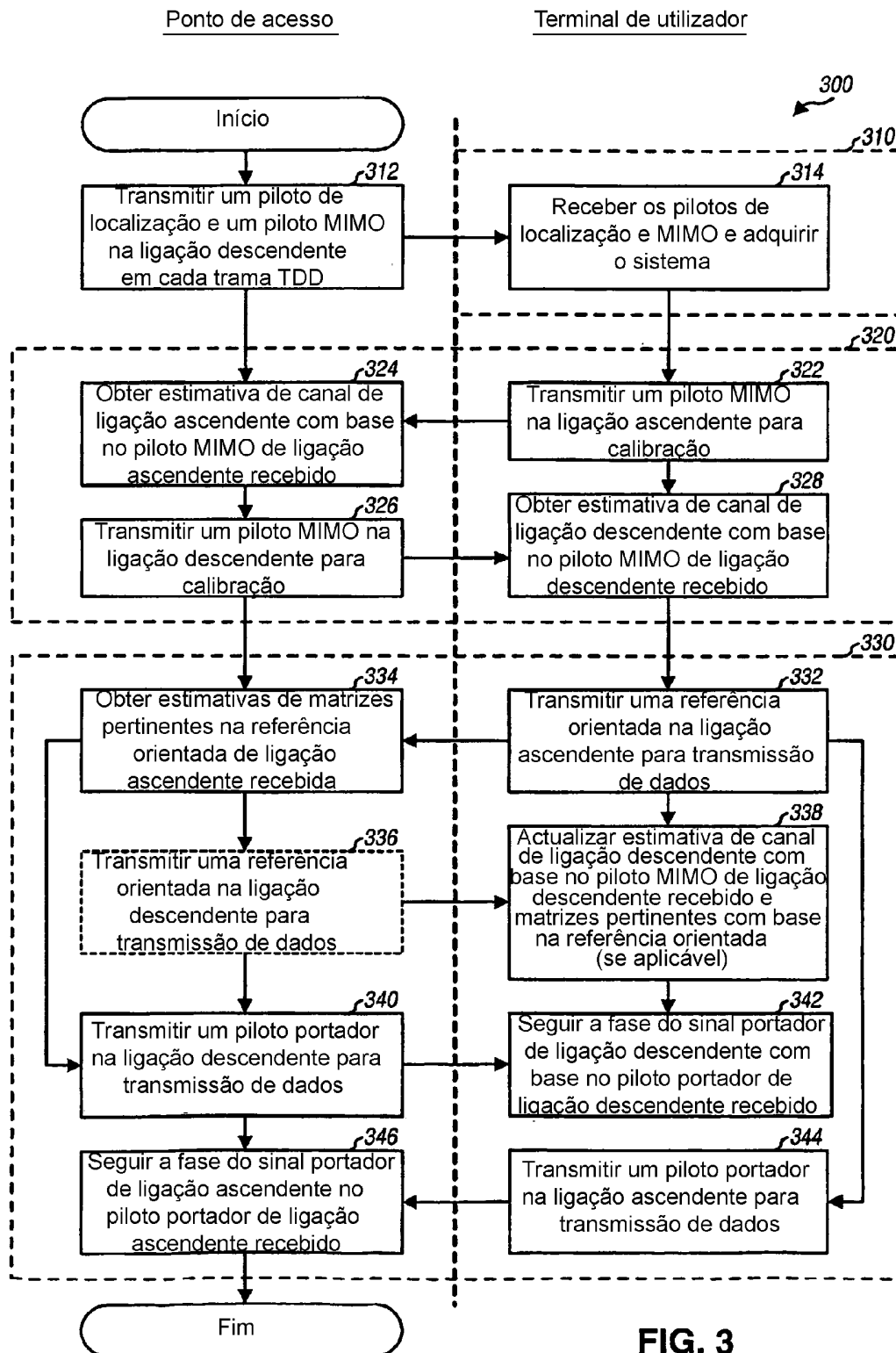


FIG. 3

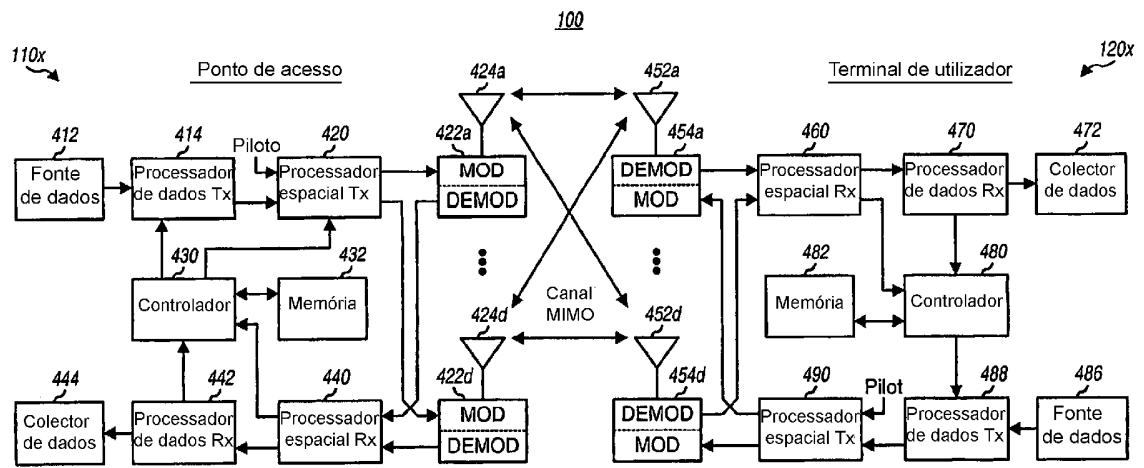


FIG. 4

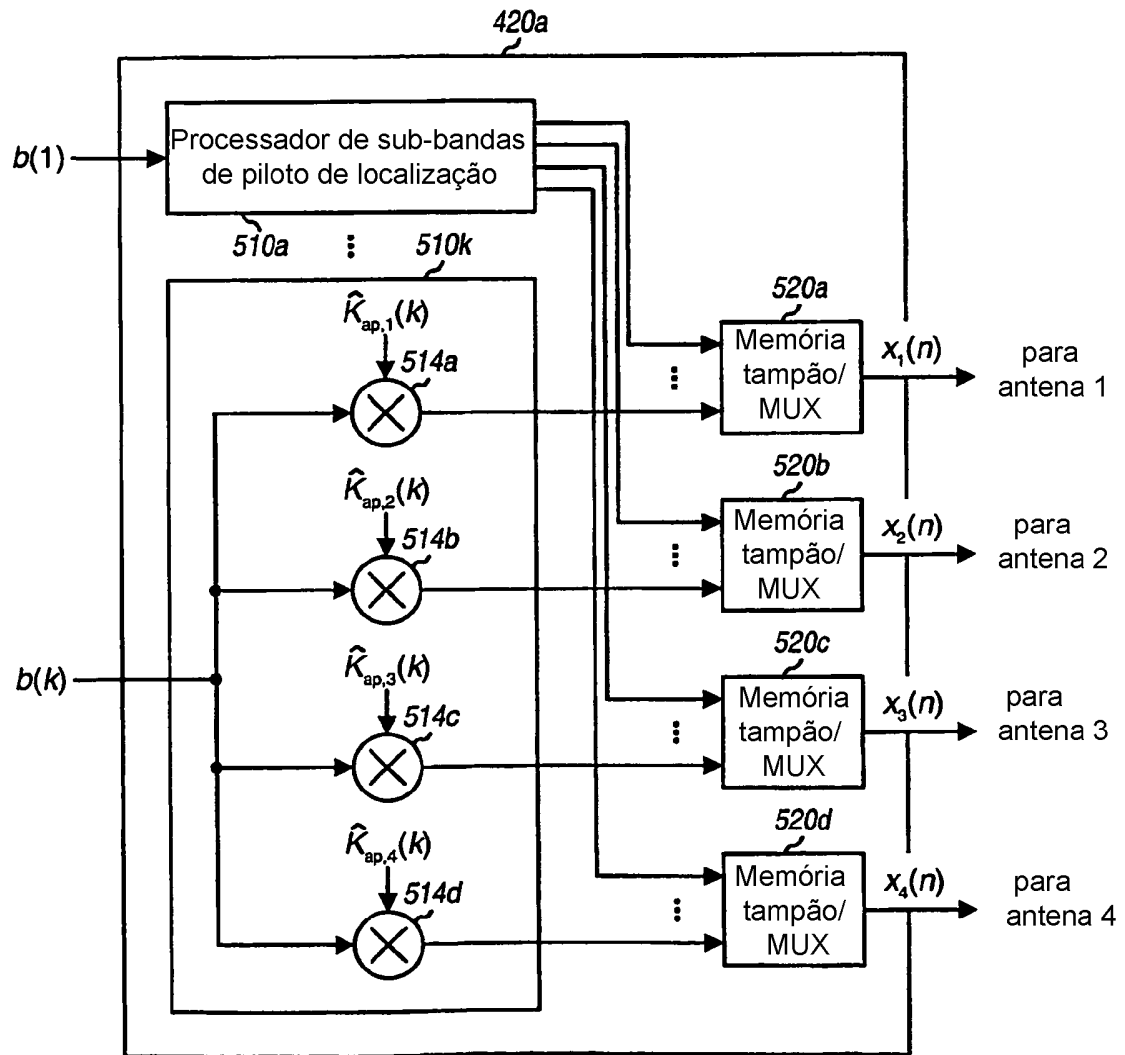


FIG. 5

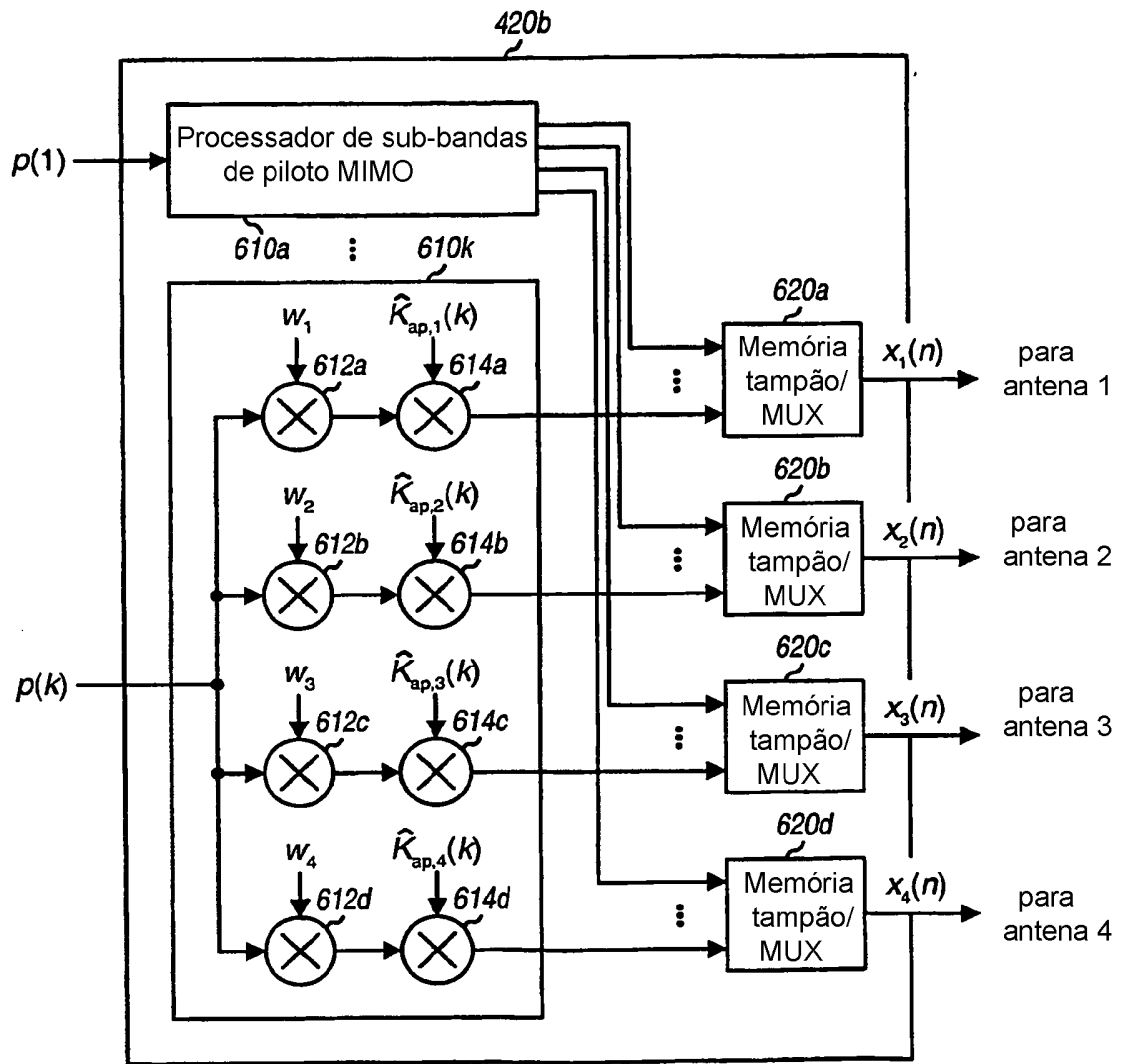


FIG. 6A

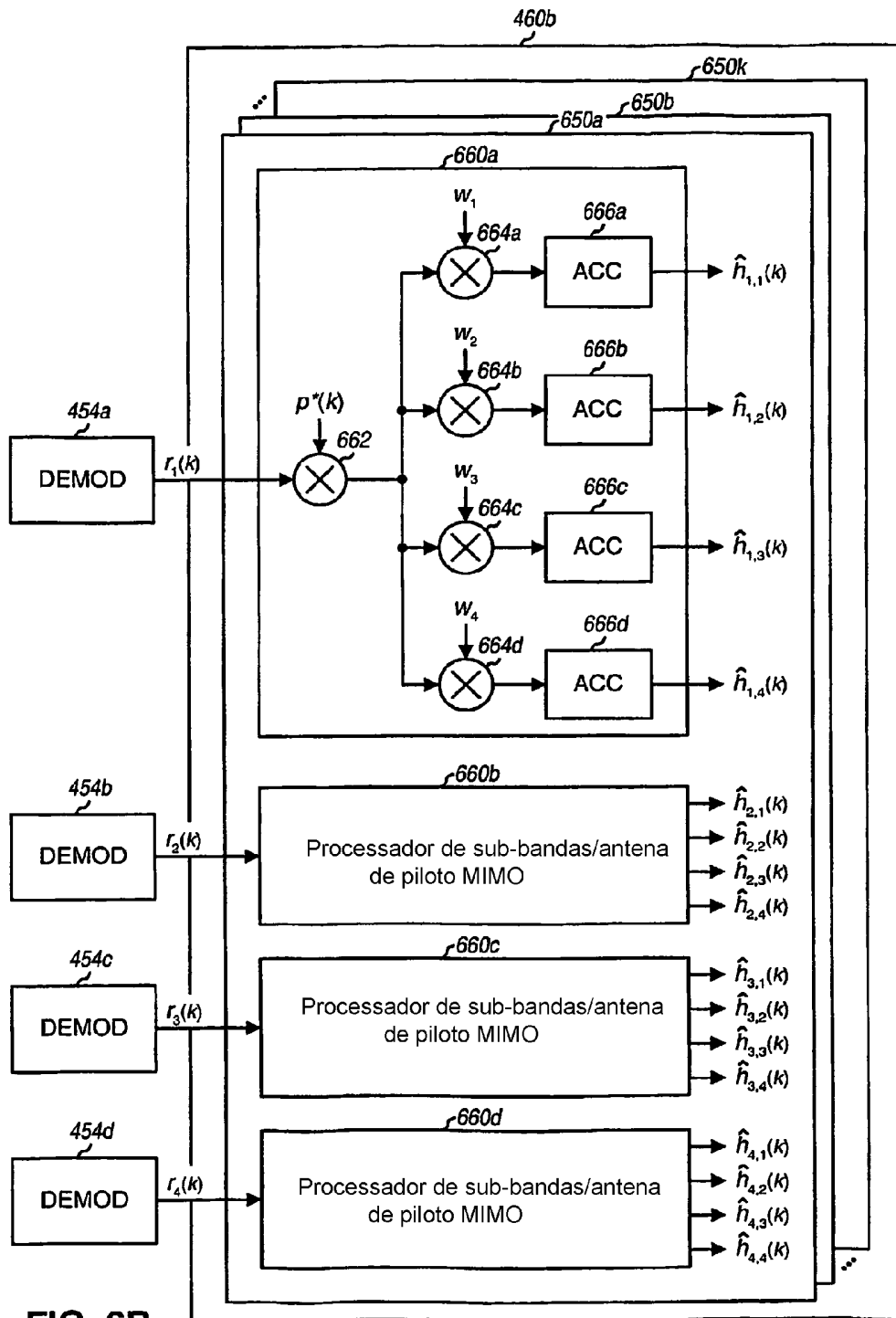


FIG. 6B

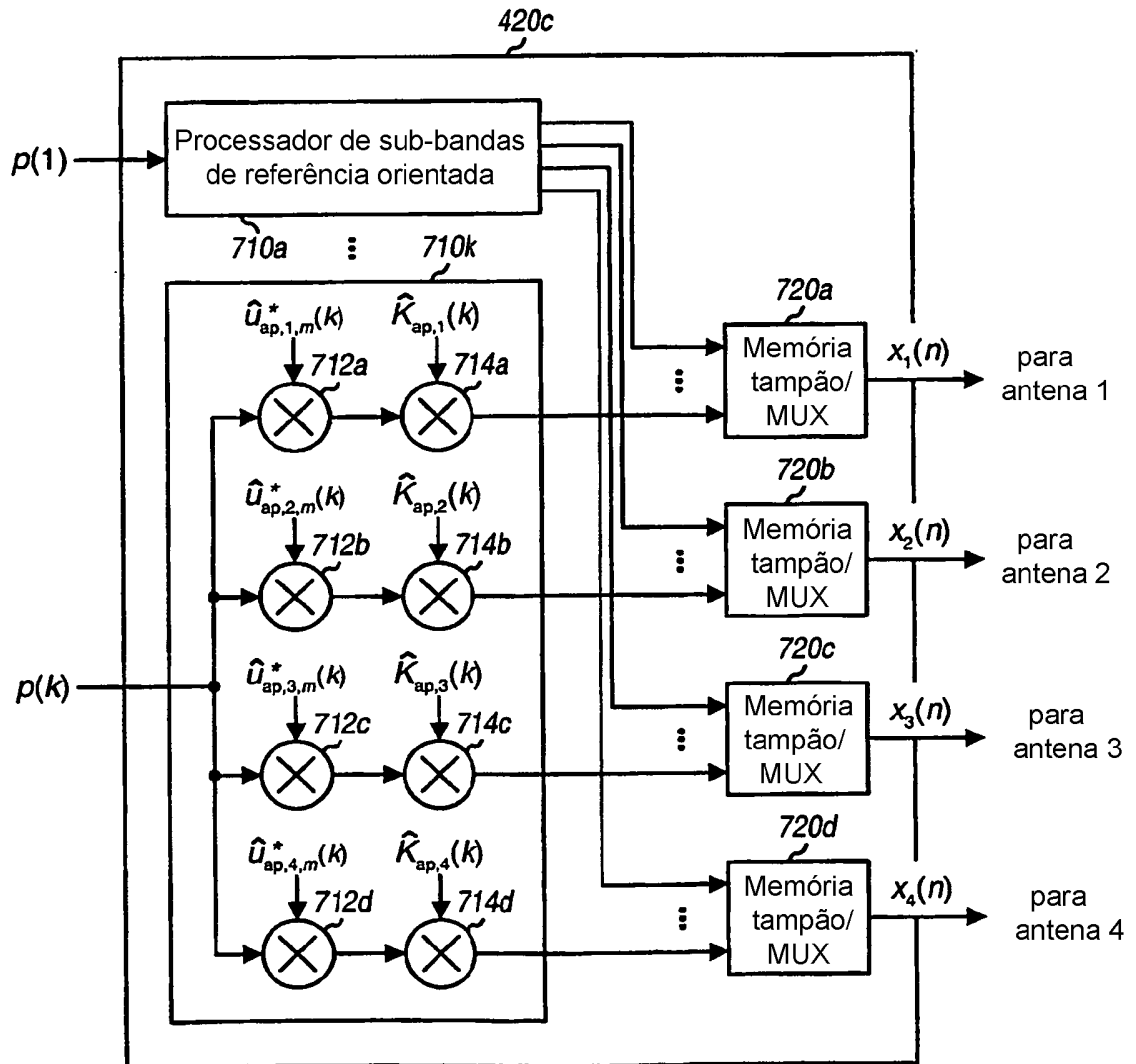


FIG. 7A

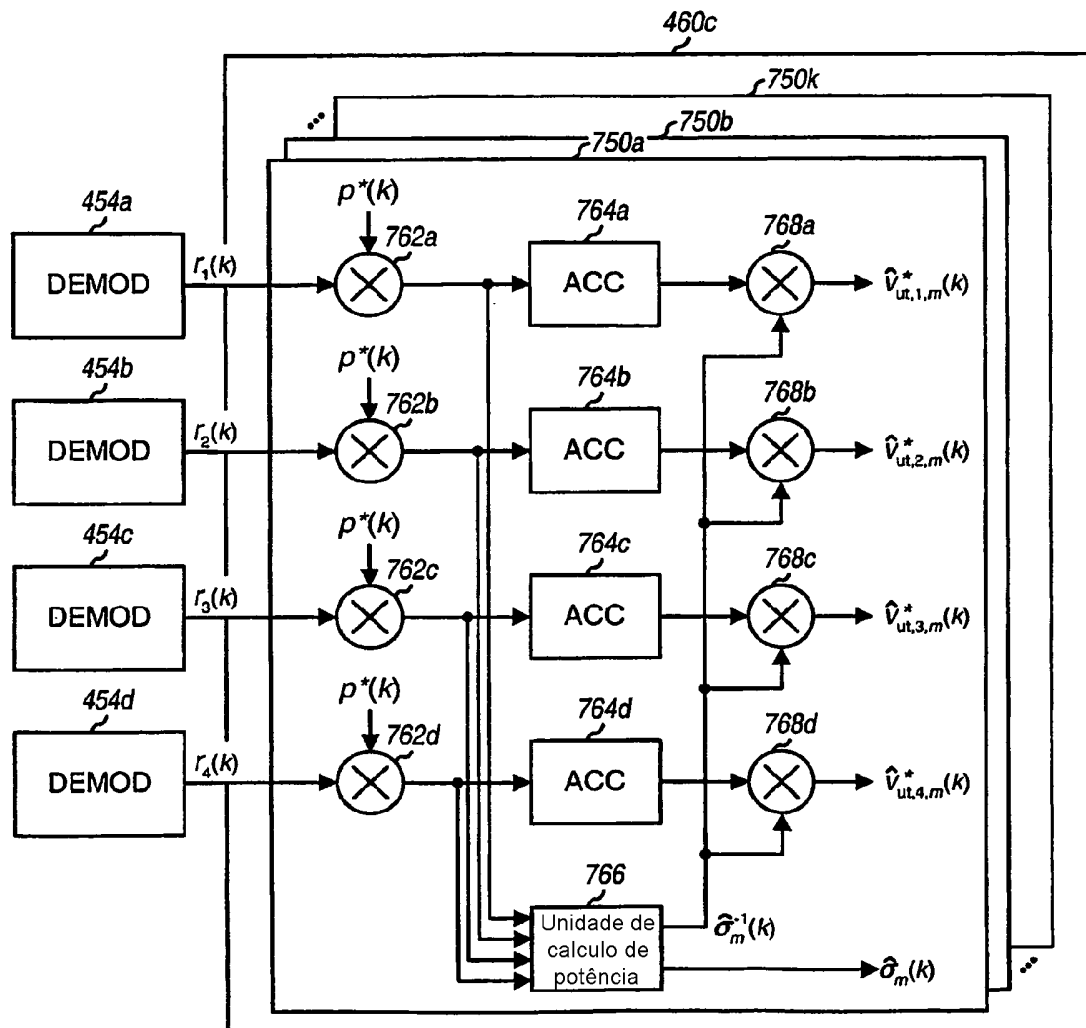


FIG. 7B