



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

(11) PI 0315520-0 B1



(22) Data do Depósito: 27/10/2003

(45) Data de Concessão: 07/03/2017

(54) Título: PROCESSAMENTO COM DIVERSIDADE DE TRANSMISSÃO PARA UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MULTI-ANTENA

(51) Int.Cl.: H04B 7/06; H04L 27/26; H04B 7/08; H04L 1/06

(30) Prioridade Unionista: 25/10/2002 US 60/421,309, 29/09/2003 US 10/674,038

(73) Titular(es): QUALCOMM INCORPORATED

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

**"PROCESSAMENTO COM DIVERSIDADE DE TRANSMISSÃO PARA UM
SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MULTI-ANTENA"**

FUNDAMENTOS

I. Campo

5 A presente invenção refere-se de maneira geral a comunicações e, mais especificamente, a técnicas para processar dados para diversidade de transmissão em um sistema de comunicação multi-antena.

II. Fundamentos

10 Um sistema de comunicação multi-antena utiliza múltiplas (N_T) antenas de transmissão e uma ou mais (N_R) antenas de recepção em transmissões de dados. As N_T antenas de transmissão podem ser utilizadas para aumentar o rendimento operacional do sistema pela transmissão de 15 fluxos de dados independentes destas antenas. As N_T antenas de transmissão podem ser também utilizadas para melhorar a segurança pela transmissão redundante de um único fluxo de dados destas antenas.

15 Um sistema multi-antena pode utilizar também a multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM). A OFDM é uma técnica de modulação que partitiona de maneira eficaz a largura de banda total do sistema em múltiplas (N_F) sub-bandas ortogonais. Cada sub-banda está associada a uma respectiva sub-portadora que pode ser modulada com dados. 20 25 As sub-bandas são comumente denominadas de tons, sub-portadoras, binários e canais de frequência.

20 Para um sistema multi-antena, existe um percurso de propagação entre cada par de antenas de transmissão e recepção. $N_T \cdot N_R$ percursos de propagação são formados entre 25 as N_T antenas de transmissão e as N_R antenas de recepção. Estes percursos de propagação podem experimentar diferentes condições de canal (como, por exemplo, diferentes efeitos

de desvanecimento, multipercuso e interferência) e podem obter diferentes relações sinal/ruído mais interferência (SNRs). As respostas de canal dos $N_T \cdot N_R$ percursos de propagação podem assim variar de percurso para percurso.

5 Para um canal de comunicação dispersivo, a resposta de canal para cada percurso de propagação varia também através das N_F sub-bandas. Uma vez que as condições de canal podem variar ao longo do tempo, as respostas de canal para os percursos de propagação podem igualmente variar.

10 A diversidade de transmissão refere-se à transmissão redundante de dados através do espaço, frequência, tempo ou de uma combinação destes três dimensões, de modo a aperfeiçoar a segurança da transmissão de dados. Um objetivo da diversidade de transmissão é o de maximizar a diversidade na transmissão de dados através do maior número possível de dimensões, de modo a obter um desempenho robusto. Outro objetivo é o de simplificar o processamento para a diversidade de transmissão tanto no transmissor quanto no receptor. Há portanto necessidade na 15 técnica de técnicas para processar de maneira eficaz dados para diversidade de transmissão em um sistema multi-antena.

SUMÁRIO

São apresentadas aqui técnicas para executar processamento com diversidade de transmissão em um sistema 25 OFDM multi-antena. Uma transmissão codifica dados de tráfego de acordo com um esquema de codificação para obter dados codificados. O esquema de codificação pode compreender um código base de taxa fixa e um conjunto de padrões de repetição e/ou punctionamento para um conjunto de 30 taxas de código suportadas pelo sistema. O transmissor intercala os dados codificados de acordo com um esquema de intercalação, para obter dados intercalados. O transmissor em seguida mapeia em símbolos os dados intercalados de

acordo com um esquema de modulação, de modo a obter um fluxo de símbolos de dados. O sistema pode suportar vários tamanhos de símbolo OFDM para ter eficiência aperfeiçoada. Os mesmos ou semelhantes esquemas de codificação, 5 intercalação e modulação podem ser utilizados para diferentes tamanhos de símbolo OFDM de modo a simplificar o processamento no transmissor e no receptor.

O transmissor processa cada par de símbolos de dados de modo a obter dois pares de símbolos de transmissão 10 para transmissão a partir de um par de antenas de transmissão. Cada símbolo de transmissão é uma versão de um símbolo de dados. Os dois pares de símbolos de transmissão podem ser transmitidos do par de antenas ou (1) na mesma sub-banda em dois períodos de símbolo OFDM para diversidade 15 de transmissão espaço-temporal (STTD) ou (2) em duas sub-bandas no mesmo período de símbolo OFDM para diversidade de transmissão espaço-frequência (SFTD). Se N_T antenas de transmissão estiverem disponíveis para transmissão de dados, então $N_T \cdot (N_T - 1)/2$ diferentes pares de antenas podem 20 ser utilizadas para transmitir o fluxo de símbolos de dados. O transmissor transforma o (isto é, efetua modulação OFDM no) fluxo de símbolos de transmissão para cada antena de transmissão de acordo com um tamanho de símbolo OFDM selecionado, de modo a obter um fluxo correspondente de 25 símbolos OFDM para a antena de transmissão.

O receptor executa o processamento complementar de modo a recuperar os dados de tráfego, conforme descrito a seguir. Diversos aspectos e modalidades da invenção são descritos em maior detalhe a seguir.

30

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 mostra um ponto de acesso e dois terminais de usuário em um sistema OFDM multi-antena;

A figura 2 mostra a parte transmissora do ponto de acesso;

A figura 3 mostra um codificador;

5 A figura 4 mostra uma unidade de repetição/puncionamento e um intercalador de canais;

A figura 5 mostra um esquema de atribuição de sub-bandas de antenas;

A figura 6 mostra um processador espacial de transmissão (TX) para o esquema STTD;

10 A figura 7 mostra um processador espacial TX para o esquema SFTD;

A figura 8 mostra um modulador;

A figura 9 mostra um terminal de usuário com múltiplas antenas;

15 A figura 10 mostra um processo para executar processamento com diversidade de transmissão em um transmissor;

A figura 11 mostra um processo para efetuar a recepção de dados com diversidade de transmissão em um receptor.

DESCRÍÇÃO DETALHADA

A palavra "exemplar" é utilizada aqui como significando "que serve como exemplo, caso ou ilustração".

Qualquer modalidade descrita aqui como "exemplar" não deve ser necessariamente entendida como preferida ou vantajosa com relação a outras modalidades.

As técnicas de processamento com diversidade de transmissão descritas aqui podem ser utilizadas em (1) um sistema de múltiplas entradas e saída única (MISO) com 30 múltiplas antenas de transmissão e uma única antena de recepção e (2) um sistema de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO) com múltiplas antenas de transmissão e múltiplas antenas de recepção. Estas técnicas podem ser

também utilizadas no downlink assim como no uplink. O downlink (isto é, link direto) é o link de comunicação de um ponto de acesso (uma estação base, por exemplo) para um terminal de usuário (uma estação móvel, por exemplo), e o 5 uplink (isto é, link reverso) é o link de comunicação do terminal de usuário para o ponto de acesso. Por razões de clareza, estas técnicas são descritas para o downlink em um sistema multi-antena exemplar que utiliza a OFDM. Para este sistema exemplar, o ponto de acesso é equipado com quatro 10 antenas, e cada terminal de usuário é equipado com uma ou mais antenas.

A figura 1 mostra um diagrama de blocos de uma modalidade do ponto de acesso 110 e dois terminais de usuário 150x e 150y no sistema OFDM multi-antena 100. O 15 terminal de usuário 150x é equipado com uma única antena 152x, e o terminal de usuário 150y é equipado com múltiplas antenas, de 152a a 152r.

No downlink, no ponto de acesso 110, o processador de dados de transmissão (TX) 120 recebe dados 20 de tráfego (bits de informação, por exemplo) da fonte de dados 112, dados de controle do controlador 130 e possivelmente outros dados do programador 134. Os diversos tipos de dados podem ser enviados em diferentes canais de transporte. O processador de dados TX 120 processa (coloca 25 em quadros, embaralha, codifica, intercala e mapeia em símbolos) os diferentes tipos de dados com base em um ou mais esquemas de codificação e modulação, de modo a obter um fluxo de símbolos de modulação. Conforme utilizado aqui, um "símbolo de dados" refere-se a um símbolo de modulação 30 para dados, e um "símbolo-piloto" refere-se a um símbolo de modulação para piloto. O processador espacial TX 122 recebe o fluxo de símbolos de dados do processador de dados TX 120, executa o processamento espacial nos símbolos de dados

para diversidade de transmissão, multiplexa em símbolos-piloto e gera um fluxo de símbolos de transmissão para cada antena de transmissão. O processamento pelo processador de dados TX 120 e pelo processador espacial TX 122 é descrito 5 a seguir.

Cada modulador (MOD) 126 recebe e processa um respectivo fluxo de símbolos de transmissão, de modo a obter um fluxo de símbolos OFDM, e também condiciona (isto é, amplifica, filtra e converte ascendente) o fluxo de 10 símbolos OFDM, de modo a gerar um sinal de downlink. Quatro sinais de downlink dos quatro moduladores de 126a a 126d são transmitidos das quatro antenas de 128a a 128d, respectivamente, para os terminais de usuário.

Em cada terminal de usuário 150, uma ou múltiplas 15 antenas 152 recebem os sinais de downlink transmitidos, e cada antena fornece um sinal recebido a um respectivo demodulador (DEMOD) 154. Cada demodulador 154 executa o processamento complementar ao realizado no modulador 126 e fornece um fluxo de símbolos recebidos. Um processador 20 espacial de recepção (RX) 160 realiza processamento espacial nos fluxos de símbolos recebidos de todos os demoduladores 154, de modo a obter um fluxo de símbolos de dados recuperados, que é uma estimativa do fluxo de símbolos de dados transmitido pelo ponto de acesso 110. O 25 processador de dados RX 170 recebe e demultiplexa os símbolos de dados recuperados em seus respectivos canais de transporte. Os símbolos de dados recuperados para cada canal de transporte são em seguida processados (isto é, desmapeados, deintercalados, decodificado e 30 desembaralhados) para obter dados decodificados para esse canal de transporte. Os dados decodificados para cada canal de transporte podem incluir dados de usuário recuperados, dados de controle e assim por diante, que podem ser

enviados ao depósito de dados 172 para armazenamento e ou ao controlador 180 para processamento adicional.

Em cada terminal de usuário 150, um estimador de canal (não mostrado na figura 1) estima a resposta de canal de downlink e fornece estimativas de canal, que podem incluir estimativas de ganho de canal (ou ganho de percurso), estimativas de SNR e assim por diante. O processador de dados RX 170 pode também fornecer a condição de cada pacote/quadro recebido no downlink. O controlador 180 recebe as estimativas de canal e a condição do pacote/quadro e monta as informações de retorno (feedback information) para o ponto de acesso 110. As informações de retorno e os dados de uplink são processados pelo processador de dados TX 190, processados espacialmente pelo processador espacial TX 192 (se presente no terminal de usuário 150), multiplexados com símbolos-piloto, condicionados por um ou mais moduladores 154 e transmitidos por meio da antena ou antenas 152 ao ponto de acesso 110.

No ponto de acesso 110, o(s) sinal(ais) de uplink transmitido(s) é(são) recebido(s) pelas antenas 128, demodulados pelos demoduladores 126 e processados pelo processador espacial RX 140 e pelo processador de dados RX 142 de uma maneira complementar à desempenhada no terminal de usuário 150. As informações de retorno recuperadas são enviadas ao controlador 130 e ao programador 134. O programador 134 pode utilizar as informações de retorno para desempenhar várias funções, tais como (1) programar um conjunto de terminais de usuário para transmissão de dados no downlink e no uplink e (2) atribuir os recursos de downlink e uplink existentes aos terminais programados.

Os controladores 130 e 180 controlam o funcionamento de diversas unidades de processamento no ponto de acesso 110 e no terminal de usuário 150,

respectivamente. Por exemplo, o controlador 180 pode determinar a taxa máxima suportada pelo downlink para o terminal de usuário 150. O controlador 130 pode selecionar a taxa, o tamanho da carga útil e o tamanho do símbolo OFDM 5 para cada terminal de usuário programado.

O processamento no ponto de acesso 110 e no terminal de usuário 150 para o uplink pode ser o mesmo ou diferente do processamento para o downlink.

O sistema 100 utiliza um conjunto de canais de 10 transporte para transmitir diferentes tipos de dados. No desenho exemplar, no downlink, o ponto de acesso 110 transmite informações sobre sistema em um canal de broadcast (BCH), dados de controle em um canal de controle direto (FCCH), e dados de tráfego para terminais de usuário 15 específicos em um canal direto (FCH). No uplink, o terminal de usuário 150 transmite dados de acesso e mensagens em um canal de acesso aleatório (RACH) dados de tráfego em um canal reverso (RCH). Outros projetos de sistema podem utilizar canais de transporte diferentes e/ou outros canais 20 de transporte. A diversidade de transmissão pode ser utilizada para cada um dos canais de transporte.

A figura 2 mostra um diagrama de blocos da parte transmissora do ponto de acesso 110. Dentro do processador de dados TX 120, a unidade de enquadramento 212 formata 25 cada pacote de dados, por exemplo, gerando um valor de verificação de redundância cílica (CRC) e anexando um cabeçalho para o pacote. O valor de CRC pode ser utilizado por um receptor para determinar se o pacote está decodificado correta ou incorretamente. O enquadramento 30 pode ser feito para alguns canais de transporte e omitido para outros canais de transporte. O enquadramento pode ser também diferente para diferentes canais de transporte. Cada pacote é codificado e modulado separadamente e designado

para transmissão através de uma duração de tempo específica (como, por exemplo, um ou mais períodos de símbolo OFDM). O embaralhador 214 embaralha os dados enquadrados/não enquadrados, de modo a tornar os dados aleatórios.

5 O codificador 216 codifica os dados embaralhados de acordo com um esquema de codificação e gera bits de código. A codificação faz aumentar a segurança da transmissão de dados. A unidade de repetição/puncionamento 218 em seguida repete ou punctiona (isto é, apaga) alguns
10 dos bits de código, de modo a obter a taxa de código desejada para cada pacote. Em uma modalidade. Em uma modalidade, o codificador 216 é um codificador convolucional binário com taxa de 1/2. A taxa de código de 1/4 pode ser obtida repetindo-se cada bit de código uma vez. Taxas de código superiores a 1/2 podem ser obtidas suprimindo-se alguns dos bits de código do codificador 216.
15 O intercalador 220 intercala (isto é, reordena) os bits de código da unidade de repetição/puncionamento 218 com base em um esquema de intercalação. A intercalação proporciona diversidade de tempo, frequência e/ou espacial para os bits de código.

20 A unidade de mapeamento em símbolos 222 mapeia os dados intercalados de acordo com um esquema de modulação selecionado e gera símbolos de dados. O mapeamento em símbolos pode ser obtido (1) agrupando-se conjuntos de B bits de modo a formarem valores binários de B bits, onde $B \geq 1$, e (2) mapeando-se cada valor binário de B bits até um ponto em uma constelação de sinais correspondente ao esquema de modulação selecionado. Cada ponto de sinais mapeados é um valor complexo e corresponde a um símbolo de dados. A unidade de mapeamento em símbolos 222 envia um fluxo de símbolos de dados ao processador espacial TX 122.

São descritos a seguir projetos exemplares para o codificador 216, para a unidade de repetição/puncionamento 218, para o intercalador 220 e para a unidade de mapeamento em símbolos 222. A codificação, intercalação e mapeamento em símbolos podem ser efetuados com base nos sinais de controle fornecidos pelo controlador 130.

O processador espacial TX 122 recebe o fluxo de símbolos de dados do processador de dados TX 120 e executa processamento espacial para diversidade de transmissão, conforme descrito a seguir. O processador espacial TX 122 envia um fluxo de símbolos de transmissão a cada um dos quatro moduladores de 126a a 126d para as quatro antenas de transmissão.

A figura 3 mostra uma modalidade do codificador 216, que implementa um código base para o sistema. Nesta modalidade, o código base é um código convolucional com taxa de 1/2, comprimento restrito 7 ($K = 7$) com geradores de 133 e 171 (octal).

Dentro do codificador 216, o multiplexador 312 recebe os bits embaralhados para cada pacote do embaralhador 214 e bits de cauda (zeros, por exemplo) e fornece os bits embaralhados primeiro seguidos por seis bits de cauda. O codificador 216 inclui seis elementos de retardo, de 314a a 314f, acoplados em série. Os quatro somadores de 316a a 316d são também acoplados em série e utilizados para implementar o primeiro gerador (133). De maneira semelhante, os quatro somadores de 318a a 318d são acoplados em série e utilizados para implementar o segundo gerador (171). Os somadores são também acoplados aos elementos de retardo 314 de maneira a implementar os dois geradores de 133 e 171, conforme mostrado na figura 3.

Os bits embaralhados são enviados ao primeiro elemento de retardo 314a e aos somadores 316a e 318a. Para

cada ciclo de relógio, os somadores de 316a a 316d efetuam a adição de módulo 2 do bit entrante e dos quatro bits anteriores armazenados nos elementos de retardo 314b, 314c, 314e e 314f de modo a obter o primeiro bit de código para esse ciclo de relógio. De maneira semelhante, os somadores de 318a a 318d efetuam a adição de módulo 2 do bit entrante e dos quatro bits anteriores armazenados nos elementos de retardo 314a, 314b, 314c e 314f, de modo a obter o segundo bit de código para esse ciclo de relógio. O multiplexador 10 320 recebe e multiplexa os dois fluxos de bits de código dos dois geradores em um único fluxo de bits de código. Para cada bit embaralhado q_n , onde n é um índice de bit, dois bits de código c_{1n} e c_{2n} são gerados, o que resulta em uma taxa de código de 1/2.

15 O sistema 100 suporta um conjunto de "taxas" para transmissão de dados. A Tabela 1 lista um conjunto exemplar de 14 taxas suportadas pelo sistema, que são identificadas pelos índices de taxa de 0 a 13. A taxa possuindo índice 0 é para uma taxa de dados nula (isto é, nenhuma transmissão de dados). Cada taxa não zero está associada a uma eficiência espectral específica, uma taxa de código específica, um esquema de modulação específica e uma SNR mínima específica necessária para se obter o nível desejado de desempenho (como, por exemplo, uma taxa de erros de pacote (PER) de 1%) para um canal AWGN de não desvanecimento. A eficiência espectral refere-se à taxa de dados (isto é, a taxa de bits de informação) normalizada pela largura de banda do sistema, e é apresentada em unidades de bits por segundo por Hertz (bps/Hz). A 20 eficiência espectral para cada taxa é determinada pelo esquema de codificação e pelo esquema de modulação para essa taxa. A taxa de código e o esquema de modulação para cada taxa na Tabela 1 são específicos do sistema exemplar.

Tabela 1

Índice de Taxa	Eficiência Espectral (bps/Hz)	Taxa de Código	Esquema de Modulação	SNR Necessária (dB)	Símbolo OFDM Curto		Símbolo OFDM Longo	
					Bits de Info /Símbolo OFDM	Bits de Código /Símbolo OFDM	Bits de Info /Símbolo OFDM	Bits de Código /Símbolo OFDM
0	0,00	-	-	-	0	0	0	0
1	0,25	1/4	BPSK	-1,8	12	48	48	192
2	0,5	1/2	BPSK	1,2	24	48	96	192
3	1,0	1/2	QPSK	4,2	48	96	192	384
4	1,5	3/4	QPSK	6,8	72	96	288	384
5	2,0	1/2	16 QAM	10,1	96	192	384	768
6	2,5	5/8	16 QAM	11,7	120	192	480	768
7	3,0	3/4	16 QAM	13,2	144	192	576	768
8	3,5	7/12	64 QAM	16,2	168	288	672	1152
9	4,0	2/3	64 QAM	17,4	192	288	768	1152
10	4,5	3/4	64 QAM	18,8	216	288	864	1152
11	5,0	5/6	64 QAM	20,0	240	288	960	1152
12	6,0	3/4	256 QAM	24,2	288	384	1152	1536
13	7,0	7/8	256 QAM	26,3	336	384	1344	1536

Na Tabela 1, BPSK denota chaveamento por deslocamento de fase binário, QPSK denota chaveamento por deslocamento de fase pela quadratura e QAM denota modulação de amplitude pela quadratura.

O codificador 216 codifica cada pacote e gera bits de código com taxa de 1/2 com base em um único código base. Todas as taxas de código suportadas pelo sistema (conforme listadas na Tabela 1) podem ser obtidas ou pela repetição ou pelo punctionamento dos bits de código.

A figura 4 mostra uma modalidade da unidade de repetição/punctionamento 218, que pode ser utilizada para gerar diversas taxas de código com base na taxa de código base de 1/2. Dentro da unidade de repetição/punctionamento 218, os bits de código com taxa de 1/2 do codificador 216

são enviados ou à unidade de repetição 412 ou à unidade de punctionamento 414. A unidade de repetição 412 repete cada bit de código com taxa de 1/2 uma vez para se obter uma taxa de código efetiva de 1/4. A unidade de punctionamento 5 414 suprime alguns dos bits de código com taxa de 1/2 com base em um padrão de punctionamento específico, de modo a obter a taxa de código desejada. A Tabela 2 lista padrões de punctionamento exemplares que podem ser utilizados para as taxas de código suportadas pelo sistema. Outros padrões 10 de punctionamento podem ser também utilizados.

Tabela 2

Taxa de Código	Padrão de Punctionamento
1/2	11
7/12	11111110111110
5/8	1110111011
2/3	1110
3/4	111001
5/6	1110011001
7/8	11101010011001

Para uma taxa de código k/n , há n bits codificados para cada k bits de informação. O código base com taxa de 1/2 gera $2k$ bits de código com taxa de 1/2 para 15 cada k bits de informação. De modo a obter a taxa de código de k/n , a unidade de punctionamento 218 emite n bits de código para cada grupo de entrada de $2k$ bits de código com taxa de 1/2 recebidos do codificador 216. Assim, $2k-n$ bits de código são apagados de cada grupo de $2k$ bits de código 20 com taxa de 1/2, para obter os n bits de código com taxa de k/n . Os bits de código a serem apagados de cada grupo são denotados por zeros no padrão de punctionamento. Por exemplo, de modo a obter uma taxa de código de 7/12, dois bits de código são apagados de cada grupo de 14 bits de 25 código do codificador 216, com os bits suprimidos sendo os

8º e 14º bits do grupo, conforme denotado pelo padrão de punctionamento "1111110111110". Nenhum punctionamento é feito se a taxa de código desejada for de 1/2.

O multiplexador 416 recebe o fluxo de bits de 5 código da unidade de repetição 412 e o fluxo de bits de código da unidade de punctionamento 414. O multiplexador 416 fornece os bits de código da unidade de repetição 412 se a taxa de código desejada for 1/4 e os bits de código da unidade de punctionamento 414 se a taxa de código desejada 10 for de 1/2 ou mais elevada. A unidade lógica 418 recebe o controle de codificação e gera um controle de punctionamento para a unidade de punctionamento 414 e um controle de multiplexador para o multiplexador 416.

Outros esquemas de codificação e padrões de 15 punctionamento além dos descritos acima podem ser também utilizados, e isto está dentro do escopo da invenção. Por exemplo, um código Turbo, um código de verificação de paridade de baixa densidade (LDPC), um código de blocos, alguns outros códigos ou qualquer combinação deles podem 20 ser utilizados para codificar dados. Além disto, diferentes esquemas de codificação podem ser utilizados para diferentes canais de transporte. Por exemplo, um código convolucional pode ser utilizado para canais de transporte que transportam informações sobre sistema e dados de 25 controle, e um código Turbo pode ser utilizado para canais de transporte que transportam dados de tráfego.

Com os esquemas de codificação e punctionamento descritos acima, várias taxas de código podem ser suportadas com o mesmo codificador no ponto de acesso e o 30 mesmo decodificador no terminal de usuário. Isto pode simplificar consideravelmente o desenho do ponto de acesso e do terminal de usuário.

O sistema 100 utiliza dois tamanhos de símbolo OFDM para obter maior eficiência. Em um desenho exemplar, um símbolo OFDM "curto" é composto de 64 sub-bandas, e um símbolo OFDM "longo" é composto de 256 sub-bandas. Para o símbolo OFDM curto, as 64 sub-bandas são atribuídos índices de -32 a +31, 48 sub-bandas (como, por exemplo, com índices de $K_s = \{\pm 1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$) são utilizadas na transmissão de dados e são denominadas de sub-bandas de dados, 4 sub-bandas (com índices de $\{\pm 7, 21\}$, por exemplo) são utilizadas na transmissão de piloto), 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 proteção. Para o símbolo OFDM longo, às 256 sub-bandas são atribuídos índices de -128 a +127, 192 sub-bandas (com índices de $K_L = \{\pm 1, \dots, 24, 29, \dots, 80, 85, \dots, 104\}$, por exemplo) são utilizadas na transmissão de dados, 16 sub-bandas (com índices de $\{\pm 25, \dots, 28, 81, \dots, 84\}$, por exemplo) são utilizadas na transmissão de piloto, a sub-banda DC não é utilizada, e as sub-bandas restantes não são também utilizadas e servem como sub-bandas de proteção.

As sub-bandas-piloto e de dados para o símbolo OFDM longo podem ser mapeadas nas sub-bandas-piloto e de dados para o símbolo OFDM curto com base no seguinte:

$$k_l = 4 \cdot k_s - \text{sgn}(k_s) \cdot k_{os}, \quad \text{Eq(1)}$$

onde k_s é um índice para as sub-bandas do símbolo OFDM curto ($k_s \in K_s$);

k_{os} é um deslocamento de índice de sub-bandas ($k_{os} \in \{0, 1, 2, 3\}$);

$\text{sgn}(k_s)$ fornece o sinal de k_s (isto é, "+" ou "-");

e

k_l é um índice para as sub-bandas do símbolo OFDM longo ($k_l \in K_L$).

Cada sub-banda de dados/piloto do símbolo OFDM curto está associada a quatro sub-bandas de dados/piloto do símbolo OFDM longo, que estão associadas a quatro valores para o deslocamento de índice de sub-banda k_{os} .

5 A tabela 1 lista também o número de bits de dados que podem ser enviados em cada símbolo OFDM curto e longo para cada taxa não zero. Um pacote de dados pode ser enviado utilizando-se qualquer número de símbolos OFDM longos e um pequeno número de símbolos OFDM curtos. Por
10 exemplo, um pacote de dados pode ser enviado utilizando-se N_L símbolos OFDM longos e N_S símbolos OFDM curtos, onde $N_L \geq 0$ e $3 \geq N_S \geq 0$. Os N_S símbolos OFDM curtos no final dos N_L símbolos OFDM longos reduzem a quantidade de capacidade não utilizada. Os símbolos OFDM de tamanhos diferentes
15 podem assim ser utilizados para melhor igualar a capacidade de transportar dados dos símbolos OFDM à carga máxima de pacotes, de modo a maximizar a eficiência de empacotamento.

Em uma modalidade, o mesmo esquema de
20 intercalação é utilizado tanto para símbolos OFDM curtos quanto para símbolos OFDM longos. Os bits de código a serem transmitidos em cada símbolo OFDM curto são intercalados através de todas as 48 sub-bandas de dados. Os bits de código a serem transmitidos em cada símbolo OFDM longo são
25 particionados em quatro blocos, e os bits de código em cada bloco são intercalados através de um grupo respectivo de 48 sub-bandas de dados. Para ambos os casos, a intercalação é efetuada através de um período de símbolos OFDM.

A figura 4 mostra também uma modalidade do
30 intercalador 220, que pode ser utilizado tanto para símbolos OFDM curtos quanto para símbolos OFDM longos. Dentro do intercalador 220, o demultiplexador 422 recebe uma sequência de bits de código para cada símbolo OFDM da

unidade de repetição/puncionamento 218. A sequência de bits de código é denotada como $\{c_i\}$, onde $i \in \{0, \dots, 48 \cdot B - 1\}$ para o símbolo OFDM curto, $i \in \{0, \dots, 192 \cdot B - 1\}$ para o símbolo OFDM longo e B é o número de bits de código para 5 cada símbolo de modulação.

Para um símbolo OFDM curto, o multiplexador 422 fornece todos os $48 \cdot B$ bits de código da sequência ao intercalador de blocos 424a. O intercalador 424a em seguida intercala (isto é, reordena) os bits de código através das 10 48 sub-bandas de dados do símbolo OFDM curto de acordo com o esquema de intercalação de frequência mostrado na Tabela 3. Para este esquema de intercalação, a cada bit de código da sequência $\{c_i\}$ é atribuído um índice de bits do i módulo 48. Os bits de código da sequência são efetivamente 15 particionados em B grupos, com cada grupo contando 48 bits de código a que são atribuídos índices de bit de 0 a 47. Cada índice de bit está associado a uma respectiva sub-bandas de dados. Todos os bits de código com o mesmo índice de bit são transmitidos na sub-banda de dados associada a 20 esse índice de bit. Por exemplo, o primeiro código de bit (com índice de bit de 0) em cada grupo é transmitido na sub-banda -26, o segundo bit de código (com índice de bit de 1) é transmitido na sub-banda 1, o terceiro bit de código (com índice de bit de 2) é transmitido na sub- 25 banda -17 e assim por diante. Depois de intercalada a sequência inteira de bits de código, o intercalador de blocos 424a envia os bits intercalados ao multiplexador 426. Para o símbolo OFDM curto, os intercaladores de bloco 424b, 424c e 424d não são utilizados, e o 30 multiplexador 426 fornece os bits intercalados apenas do intercalador de blocos 424a.

Tabela 3

Índice de Sub-banda k_s	Índice de Bit	Índice de Sub-banda k_s	Índice de Bit	Índice de Sub-banda k_s	Índice de Bit	Índice de Sub-banda k_s	Índice de Bit
-	-	-13	26	1	1	15	33
-26	0	-12	32	2	7	16	39
-25	6	-11	38	3	13	17	45
-24	12	-10	44	4	19	18	5
-23	18	-9	4	5	25	19	11
-22	24	-8	10	6	31	20	17
-21	-	-7	-	7	-	21	-
-20	30	-6	16	8	37	22	23
-19	36	-5	22	9	43	23	29
-18	42	-4	28	10	3	24	35
-17	2	-3	34	11	9	25	41
-16	8	-2	40	12	15	26	47
-15	14	-1	46	13	21	-	-
-14	20	0	-	14	27	-	-

Para um símbolo OFDM longo, o demultiplexador 422 envia o primeiro bloco de $48 \cdot B$ bits de código na sequência ao intercalador de blocos 424a, o bloco 5 seguinte de $48 \cdot B$ bits de código ao intercalador de blocos 424b, o terceiro bloco de $48 \cdot B$ ao intercalador de blocos 424c e o último bloco de $48 \cdot B$ bits de código ao intercalador de blocos 424d. Aos quatro blocos de bits de código nos intercaladores de 424a a 424d são atribuídos 10 deslocamentos de índice de sub-banda de $k_{os} = 0, 1, 2$ e 3 respectivamente. Cada intercalador de blocos 424 intercala seus bits de código através de 48 sub-bandas de dados da maneira descrita acima para o símbolo OFDM curto. Depois de intercalada a sequência inteira de bits 15 de código, o multiplexador 426 recebe os bits intercalados dos intercaladores de blocos de 424a a 424d.

e mapeia estes bits na ordem apropriada nas sub-bandas correspondentes do símbolo OFDM longo. Em particular, o índice de sub-banda de símbolos OFDM curtos k_s e o deslocamento de índice de sub-banda k_{os} para cada 5 intercalador de blocos 424 são utilizados para gerar o índice de sub-banda de símbolos OFDM longos correspondente k_l , conforme mostrado na equação (1). A unidade lógica 428 recebe o tamanho de símbolo OFDM do controlador 130 e gera os controles para o 10 demultiplexador 422 e o multiplexador 426.

A figura 4 mostra um projeto exemplar para o intercalador de canais 220. Outros desenhos que podem suportar tanto símbolos OFDM curtos quanto símbolos OFDM longos podem ser também utilizados. Por exemplo, um 15 intercalador pode ser utilizado para armazenar todos bits de código a serem intercalados. O multiplexador 426 ou o demultiplexador 422 mapeariam então os bits de código deste intercalador nas sub-bandas apropriadas.

O esquema de intercalação de frequência 20 mostrado na Tabela 3 atribui bits de código com índices pares (após o punctionamento) a sub-bandas com índices negativos e bits de código com índices ímpares a sub-bandas com índices positivos. Para a taxa de código de 1/2, os bits de código do primeiro gerador 133 são 25 transmitidos em sub-bandas com índices negativos, e os bits de código do segundo gerador 171 são transmitidos em sub-bandas com índices positivos. Os bits de código podem ser também embaralhados de modo que os bits de código de cada gerador sejam espalhados através de todas as sub- 30 bandas de dados.

A intercalação pode ser feita de diversas outras maneiras. Por exemplo, após a intercalação através

das sub-bandas de dados, os bits de código para cada sub-banda podem ser também intercalados através de vários períodos de símbolos OFDM de modo a obter diversidade de tempo.

5 Tanto para os símbolos OFDM curtos quanto para os símbolos OFDM longos, o intercalador 220 apresenta uma sequência de bits de código intercalados para cada símbolo OFDM. A sequência contém B bits de código intercalados para cada sub-banda de dados. A unidade de
10 mapeamento em símbolos 222 em seguida mapeia os bits de código intercalados em símbolos de dados com base em um esquema de modulação determinado pela taxa selecionada, conforme mostrado na Tabela 1.

A Tabela 4 mostra o mapeamento em símbolos para
15 seis esquemas de modulação suportados pelo sistema. Para cada esquema de modulação (exceto para o BPSK), $B/2$ bits de código são mapeados em um componente em fase (I) e os demais $B/2$ bits de código são mapeados em um componente de quadratura (Q). Em uma modalidade, a constelação de
20 sinais para cada esquema de modulação é definida com base no mapeamento Gray. Com o mapeamento Gray, os pontos vizinhos na constelação de sinais (tanto na componente I quanto na componente Q) diferem em apenas uma posição de bit. O mapeamento Gray reduz o número de erros de bit
25 para os eventos de erro mais prováveis, que correspondem ao mapeamento de um símbolo recebido em uma localização próxima da localização correta, caso em que apenas um bit de código seria detectado incorretamente.

Tabela 4

BPSK			256 QAM		
b_0	I	Q	$b_0b_1b_2b_3$	I	Q
0	-1	0	0000	-15	-15
1	1	0	0001	-13	-13
QPSK			16 QAM		
b_0	I	b_1	b_0b_1	I	Q
0	-1	0	00	-3	-3
1	1	1	01	-1	-1
16 QAM			$b_0b_1b_2$	b_2b_3	Q
b_0b_1	I	b_2b_3	$b_0b_1b_2$	I	Q
00	-3	00	000	-7	-7
01	-1	01	001	-5	-5
11	1	11	011	-3	-3
10	3	10	010	-1	-1
64 QAM			$b_0b_1b_2b_3$	$b_3b_4b_5$	Q
$b_0b_1b_2$	I	$b_3b_4b_5$	$b_0b_1b_2b_3$	I	Q
000	-7	000	0000	-7	-7
001	-5	001	0001	-5	-5
011	-3	011	0011	-3	-3
010	-1	010	0101	-1	-1
110	1	110	0110	1	1
111	3	111	0111	3	3
101	5	101	1010	5	5
100	7	100	1011	7	7
Fator de Normalização K_{mod}			256 QAM		
Esquema de Modulação	Valor		$b_0b_1b_2b_3b_4b_5$	I	Q
BPSK	1.0		000000	15	15
QPSK	$1/\sqrt{2}$		000011	13	13
16 QAM	$1/\sqrt{10}$		000100	11	11
64 QAM	$1/\sqrt{42}$		000111	9	9
256 QAM	$1/\sqrt{170}$		001000	7	7

Para cada um dos quatro esquemas de modulação QAM mostrados na Tabela 4, é menos provável que o bit mais à esquerda para cada componente seja recebido incorretamente, e é mais provável que o bit mais à direita para cada componente seja recebido incorretamente. De modo a obter igual probabilidade de erro para cada posição de bit, os B bits que constituem cada símbolo QAM podem ser misturados. Isto implementaria efetivamente a intercalação através das dimensões dos símbolos QAM de modo que os bits de código

que formam os símbolos QAM sejam mapeados em diferentes posições de bit dos símbolos QAM.

Os valores de I e Q para cada esquema de modulação mostrado na Tabela 4 são escalonados por um fator 5 de normalização K_{mod} , de modo que a potência média de todos os pontos de sinal na constelação de sinais afim seja igual à unidade. O fator de normalização para cada esquema de modulação é mostrado na Tabela 4. Valores quantificados para os fatores de normalização podem ser também 10 utilizados. O símbolo de dados $s(k)$ para cada sub-banda de dados teria então a forma seguinte:

$$s(k) = (I + jQ) \cdot K_{mod}, \quad \text{Eq (2)}$$

onde $k \in K_s$ para o símbolo OFDM curto e $k \in K_L$ para o símbolo OFDM longo;

15 I e Q são os valores na Tabela 4 para cada esquema de modulação selecionado; e

K_{mod} depende do esquema de modulação selecionado.

O sistema 100 executa processamento espacial de modo a obter diversidade de transmissão através de duas 20 dimensões. Em uma modalidade, o sistema 100 implementa (1) diversidade de transmissão espaço-temporal (STTD) em uma base por sub-banda e por par de símbolos OFDM, de modo a obter diversidade de espaço e tempo para o símbolo OFDM curto, e (2) diversidade de transmissão de espaço-freqüência (SFTD) em uma base por sub-banda e por símbolo 25 OFDM, de modo a obter diversidade de espaço e freqüência para o símbolo OFDM longo.

Um esquema STTD exemplar para o símbolo OFDM curto opera da maneira seguinte. Suponha-se que dois 30 símbolos de dados, denotados como s_1 e s_2 , venham a ser transmitidos em uma dada sub-banda. O ponto de acesso gera dois vetores, $\underline{x}_1 = [s_1 \ s_2]^T$ e $\underline{x}_2 = [s_2^* - s_1^*]^T$, onde "*" denota o conjugado complexo e " T " denota a transposta. Cada vetor

inclui dois símbolos de transmissão que serão transmitidos de duas antenas em um período de símbolos OFDM (como, por exemplo, o vetor \underline{x}_1 é transmitido de duas antenas no primeiro período de símbolos OFDM, e o vetor \underline{x}_2 é 5 transmitido de duas antenas no período de símbolos OFDM seguinte). Cada símbolo de dados é assim transmitido através de dois períodos de símbolos OFDM (como, por exemplo, o símbolo de transmissão s_1 é transmitido de uma antena no primeiro de símbolos OFDM, e o símbolo de 10 transmissão $-s_1^*$ é transmitido de outra antena no período de símbolos OFDM seguinte).

Se o terminal de usuário for equipado com uma única antena, então os símbolos recebidos podem ser expressos como:

$$15 \quad r_1 = h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 , \quad \text{e} \quad \text{Eq (3)}$$

$$r_2 = h_1 s_2^* - h_2 s_1^* + n_2 ,$$

onde r_1 e r_2 são dois símbolos recebidos para dois períodos de símbolos OFDM consecutivos;

h_1 e h_2 são os ganhos de percurso das duas antenas 20 de transmissão para a antena de recepção para a sub-banda em consideração; e

n_1 e n_2 são o ruído para os dois símbolos recebidos r_1 e r_2 , respectivamente.

O terminal de usuário pode obter estimativas dos 25 dois símbolos de dados, s_1 e s_2 , da maneira seguinte:

$$\hat{s}_1 = \frac{h_1^* r_1 - h_2^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_1 + \frac{h_1^* n_1 - h_2^* n_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} , \quad \text{e} \quad \text{Eq (4)}$$

$$\hat{s}_2 = \frac{h_2^* r_1 + h_1^* r_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} = s_2 + \frac{h_2^* n_1 + h_1^* n_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} .$$

Alternativamente, o ponto de acesso pode gerar dois vetores como $\underline{x}_1 = [s_1 \ -s_2^*]^T$ e $\underline{x}_2 = [s_2 \ s_1^*]^T$ e transmitir estes dois vetores sequencialmente em dois períodos de

símbolos OFDM. O terminal de usuário pode obter estimativas dos dois símbolos de dados como $\hat{s}_1 = (h_1^* r_1 + h_2^* r_2) / \alpha$ e $\hat{s}_2 = (-h_2^* r_1 + h_1^* r_2) / \alpha$, onde $\alpha = |h_1|^2 + |h_2|^2$.

A descrição acima pode ser estendida para um sistema com duas ou mais antenas de transmissão, múltiplas antenas de recepção e múltiplas sub-bandas. Duas antenas de transmissão são utilizadas para cada sub-banda de dados. Suponha-se que os dois símbolos de dados, denotados como $s_1(k)$ e $s_2(k)$, venham a ser transmitidos em uma dada sub-banda k . O ponto de acesso gera dois vetores $\underline{x}_1(k) = [s_1(k) s_2(k)]^T$ e $\underline{x}_2(k) = [s_2^*(k) - s_1^*(k)]^T$ ou, de maneira equivalente, dois conjuntos de símbolos $\{x_i(k)\} = \{s_1(k) s_2^*(k)\}$ e $\{x_j(k)\} = \{s_2(k) - s_1^*(k)\}$. Cada conjunto de símbolos inclui dois símbolos de transmissão que serão transmitidos sequencialmente em dois períodos de transmissão de uma respectiva antena na sub-banda k (isto é, o conjunto de símbolos $\{x_i(k)\}$ é transmitido na sub-banda k da antena i em dois períodos de símbolos OFDM, e o conjunto de símbolos $\{x_j(k)\}$ é transmitido na sub-banda k da antena j nos mesmos dois períodos de símbolos OFDM).

Se o terminal de usuário for equipado com múltiplas antenas, então os símbolos recebidos podem ser expressos da maneira seguinte:

$$\begin{aligned} \underline{r}_1(k) &= \underline{h}_i(k) s_1(k) + \underline{h}_j(k) s_2(k) + \underline{n}_1(k), \quad \text{Eq (5)} \\ 25 \quad \underline{r}_2(k) &= \underline{h}_i(k) s_2^*(k) - \underline{h}_j(k) s_1^*(k) + \underline{n}_2(k), \end{aligned}$$

onde $\underline{r}_1(k)$ e $\underline{r}_2(k)$ são dois vetores dos símbolos recebidos em dois períodos de símbolos OFDM consecutivos na sub-banda k no terminal de usuário, com cada vetor incluindo N_R símbolos recebidos para N_R antenas de recepção;

$\underline{h}_i(k)$ e $\underline{h}_j(k)$ são os vetores de ganhos de percurso para as antenas de transmissão i e j ,

respectivamente, para a sub-banda k , com cada vetor incluindo os ganhos de canal da antena de transmissão afim para cada uma das N_R antenas de recepção; e

5 $\underline{n}_1(k)$ e $\underline{n}_2(k)$ são os vetores de ruído para os dois vetores de símbolo recebidos $\underline{x}_1(k)$ e $\underline{x}_2(k)$, respectivamente.

O terminal de usuário pode obter estimativas dos dois símbolos de dados, $s_1(k)$ e $s_2(k)$, da maneira seguinte:

$$\hat{s}_1(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_1(k) - \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_1(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{n}_1(k) - \underline{n}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2}, \text{ e}$$

$$\hat{s}_2(k) = \frac{\hat{\underline{h}}_j^H(k)\underline{r}_1(k) + \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_i(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2} = s_2(k) + \frac{\hat{\underline{h}}_j^H(k)\underline{n}_1(k) + \underline{n}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_i(k)}{\|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2}. \quad \text{Eq (6)}$$

10

Alternativamente, o ponto de acesso pode gerar dois conjuntos de símbolos $x_i(k) = \{s_1(k) \ s_2(k)\}$ e $x_j(k) = \{-s_2^*(k) \ s_1^*(k)\}$ e transmitir estes conjuntos de símbolos das antenas i e j . O terminal de usuário pode obter estimativas dos dois símbolos de dados como

$$\hat{s}_1(k) = [\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_1(k) + \underline{r}_2^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)]/\beta \quad \text{e} \quad \hat{s}_2(k) = [\hat{\underline{h}}_i^H(k)\underline{r}_2(k) - \underline{r}_1^H(k)\hat{\underline{h}}_j(k)]/\beta,$$

onde $\beta = \|\hat{\underline{h}}_i(k)\|^2 + \|\hat{\underline{h}}_j(k)\|^2$.

O esquema STTD utiliza um par de antenas de transmissão para cada sub-banda de dados. Se o ponto de acesso for equipado com duas antenas de transmissão, então ambas as antenas são utilizadas para todas as 48 sub-bandas de dados do símbolo OFDM curto. Se o ponto de acesso for equipado com quatro antenas de transmissão, então cada antena é utilizada para metade das 48 sub-bandas de dados. A Tabela 5 lista um esquema de atribuição de sub-banda-antena exemplar para o esquema STTD para o símbolo OFDM curto.

Tabela 5

Índice de Sub-banda k_s	Antenas de Transmissão	Índice de Sub-banda k_s	Antenas de Transmissão	Índice de Sub-banda k_s	Antenas de Transmissão	Índice de Sub-banda k_s	Antenas de Transmissão
-	-	-13	1, 2	1	3, 4	15	1, 2
-26	1, 2	-12	3, 4	2	1, 2	16	2, 4
-25	3, 4	-11	1, 3	3	2, 4	17	1, 3
-24	1, 3	-10	2, 4	4	1, 3	18	2, 3
-23	2, 4	-9	1, 4	5	2, 3	19	1, 4
-22	1, 4	-8	2, 3	6	1, 4	20	3, 4
-21	-	-7	-	7	-	21	-
-20	2, 3	-6	1, 2	8	3, 4	22	1, 2
-19	1, 2	-5	3, 4	9	1, 2	23	2, 4
-18	3, 4	-4	1, 3	10	2, 4	24	1, 3
-17	1, 3	-3	2, 4	11	1, 3	25	2, 3
-16	2, 4	-2	1, 4	12	2, 3	26	1, 4
-15	1, 4	-1	2, 3	13	1, 4	-	-
-14	2, 3	0	-	14	3, 4	-	-

A figura 5 mostra o esquema de atribuição de sub-banda de antena, mostrado na Tabela 5. Para este esquema, as antenas de transmissão 1 e 2 são utilizadas para sub-bandas com índices {-26, -19, -13, -6, 2, 9, 15, 22}, as antenas de transmissão 3 e 4 são utilizadas para sub-bandas com índices {-25, -18, -12, -5, 1, 8, 14, 20} e assim por diante. Há seis pares de antenas diferentes com quatro antenas de transmissão. Cada um dos seis pares de antenas é utilizado para 8 sub-bandas de dados, que são afastadas entre de maneira aproximadamente uniforme através das 48 sub-bandas de dados. O emparelhamento de antenas para a atribuição de sub-bandas é tal que diferentes antenas sejam utilizadas para sub-bandas adjacentes, o que pode proporcionar maior frequência e diversidade espacial. Por exemplo, as antenas 1 e 2 são utilizadas para a sub-banda -26, e as antenas 3 e 4 são utilizadas para a sub-banda -25.

A atribuição de sub-bandas de antenas na Tabela 5 é também tal que todas as quatro antenas de transmissão sejam utilizadas para cada bit de código para a taxa de código mais baixa de $1/4$, o que maximiza a diversidade espacial. Para a taxa de código de $1/4$, cada bit de código é repetido e enviado em duas sub-bandas que são mapeadas em dois pares de antenas desagrupados, de modo que todas as quatro antenas sejam utilizadas para transmitir esse bit de código. Por exemplo, os índices de bit 0 e 1 na Tabela 3 correspondem ao mesmo bit de código repetido, o bit de código com índice 0 é transmitido das antenas 1 e 2 na sub-banda -26, e o bit de código com índice 1 é transmitido das antenas 3 e 4 na sub-banda 1.

O símbolo OFDM longo é de aproximadamente quatro vezes a duração do símbolo OFDM curto. De modo a reduzir ao mínimo o retardo de processamento e as exigências de armazenamento, a diversidade de espaço-freqüência é utilizada para transmitir dois símbolos OFDM longos concomitantemente em duas sub-bandas de duas antenas.

Um sistema SFTD exemplar para o símbolo OFDM longo opera da maneira seguinte. Suponha-se que dois símbolos de dados, denotados como $s(k_1)$ e $s(k_1 + 1)$, sejam gerados e mapeados em duas sub-bandas adjacentes de um símbolo OFDM longo. O ponto de acesso transmite os símbolos $s(k_1)$ e $s(k_1 + 1)$ de duas antenas na sub-banda k_1 e transmite os símbolos $s^*(k_1 + 1)$ e $-s^*(k_1)$ das mesmas duas antenas na sub-banda $k_1 + 1$. Sub-bandas adjacentes são utilizadas para o par de símbolos de dados porque se presume que a resposta de canal seja aproximadamente constante através das duas sub-bandas.

Se o ponto de acesso for equipado com duas antenas de transmissão, então ambas as antenas são utilizadas para todas as 192 sub-bandas de dados do símbolo

OFDM longo. Se o ponto de acesso for equipado com quatro antenas de transmissão, então o mesmo esquema de atribuição de sub-bandas de antenas mostrado na Tabela 5 pode ser também utilizado para o símbolo OFDM longo. Neste caso, uma 5 sub-banda de índice k_l para o símbolo OFDM longo é primeiro mapeado em uma sub-banda correspondente de índice k_s para o símbolo OFDM curto, da maneira seguinte:

$$k_s = \left\lfloor \frac{k_l + \text{sgn}(k_l) \cdot k_{os}}{4} \right\rfloor, \quad \text{Eq (7)}$$

onde $\lfloor z \rfloor$ é um operador floor que apresenta o número 10 inteiro mais baixo mais próximo para z , e

k_{os} é o deslocamento de índice de sub-banda para o índice de sub-banda de OFDM longo k_l ($k_{os} \in \{0, 1, 2, 3\}$).

O par de antenas correspondente ao índice de sub-banda de símbolo OFDM curto mapeado k_s é determinado da Tabela 5 e 15 utilizado para a sub-banda de símbolo OFDM longo com índice k_l .

Para o esquema SFTD, o processamento no terminal de usuário para a obtenção de estimativas dos dois símbolos de dados pode ser executado conforme mostrado nas equações 20 (4) e (6). Entretanto, a computação é feita nos símbolos recebidos obtidos em duas sub-bandas e não em dois períodos de símbolos OFDM.

A figura 6 mostra um diagrama de blocos do processador espacial TX 122a, que implementa o esquema STTD para o símbolo OFDM curto. O processador espacial TX 122a é uma modalidade do processador espacial TX 122 da figura 1.

Dentro do processador espacial TX 122a, o demultiplexador 612 recebe um fluxo de símbolos de dados, $\{s(k)\}$, do processador de dados TX 120, demultiplexa o 30 fluxo em 48 sub-fluxos de símbolos de dados para as 48 sub-bandas de dados do símbolo OFDM curto e envia cada sub-

fluxo a um respectivo codificador espaço-temporal 620. Cada sub-fluxo inclui um símbolo de dados para cada período de símbolos OFDM curtos, que corresponde a uma taxa de símbolo de T_s^{-1} , onde T_s é a duração de um símbolo OFDM curto.

5 Dentro do codificador espaço-temporal 620, o demultiplexador 622 demultiplexa o sub-fluxo de símbolo de dados em duas seqüências de símbolos, com cada seqüência tendo uma taxa de símbolo de $(2T_s)^{-1}$. A primeira seqüência de símbolos é enviada à entrada "0" do comutador 628a e à
 10 unidade 624b, que inverte e conjuga cada símbolo na seqüência. A segunda seqüência de símbolos é enviada à entrada "0" do comutador 628b e à unidade 624a, que conjuga cada símbolo na seqüência. A unidade de retardo 626a retardava os símbolos da unidade 624a em um período de
 15 símbolos OFDM curto e envia os símbolos retardados à entrada "1" do comutador 628a. A unidade de retardo 626b retardava os símbolos da unidade 624b em um período de símbolos OFDM curtos e envia os símbolos retardados à entrada "1" do comutador 628b. O comutador 628a alterna à
 20 taxa de símbolos OFDM curtos e fornece o conjunto de símbolos $\{x_i(k)\} = \{s_1(k) \quad s_2^*(k)\}$ para uma antena de transmissão para cada dois períodos de símbolos OFDM. De maneira semelhante, o comutador 628b alterna à taxa de símbolos OFDM curtos e fornece o conjunto de símbolos
 25 $\{x_j(k)\} = \{s_2(k) \quad -s_1^*(k)\}$ para outra antena de transmissão para cada dois períodos de símbolos OFDM.

Os armazenadores/multiplexadores de 630a a 630d armazenam e multiplexam os símbolos de transmissão dos codificadores espaço-temporais 620. Cada armazenador/
 30 multiplexador 630 recebe símbolos-piloto e símbolos de transmissão dos codificadores espaço-temporais 620 apropriados, conforme determinado pela Tabela 5. Em particular, o armazenador/multiplexador 630a recebe

símbolos de transmissão para todas as sub-bandas mapeadas na antena 1 (como, por exemplo, as sub-bandas -26, -24, -22, -19 e assim por diante), o armazenador/multiplexador 630b recebe símbolos de transmissão para todas as sub-5 bandas mapeadas na antena 2 (como, por exemplo, as sub-bandas -26, -23, -20, -19 e assim por diante), c armazenador/multiplexador 630c recebe símbolos de transmissão para todas as sub-bandas mapeadas na antena 3 (como, por exemplo, as sub-bandas -25, -24, -20, -18 e 10 assim por diante) e o armazenador/multiplexador 630d recebe símbolos de transmissão para todas as sub-bandas mapeadas na antena 4 (como, por exemplo, as sub-bandas -25, -23, -22, -18 e assim por diante).

Cada armazenador/multiplexador 630 em seguida, 15 para cada período de símbolos curtos, multiplexa quatro símbolos-piloto para as quatro sub-bandas-piloto, 24 símbolos de transmissão para 24 sub-bandas de dados e 36 valores de sinal de zero (ou símbolos "zero") para 36 sub-20 bandas não utilizadas, de modo a formar uma seqüência de 64 símbolos de transmissão para as 64 sub-bandas totais. Embora haja 48 sub-bandas de dados para o símbolo OFDM curto, apenas 24 sub-bandas são utilizadas para cada antena de transmissão para o esquema STTD, porque apenas duas 25 antenas são utilizadas para cada sub-banda, e o número efetivo de sub-bandas não utilizadas para cada antena é, portanto, 36 em lugar de 12. Cada símbolo de transmissão na seqüência pode ser um símbolo de transmissão do codificador 620, um símbolo-piloto ou um símbolo zero e é enviado em uma sub-banda em um período de símbolos OFDM curtos. Cada 30 armazenador/multiplexador 630 envia um fluxo de símbolos de transmissão $\{x_i(k)\}$ para uma antena de transmissão. Cada fluxo de símbolos de transmissão contém seqüências

concatenadas de 64 símbolos de transmissão, uma seqüência para cada período de símbolos OFDM.

A figura 7 mostra um diagrama de blocos do processador espacial TX 122b, que implementa o esquema SFTD para o símbolo OFDM longo. O processador espacial TX 122b é outra modalidade do processador espacial TX 122 da figura 1.

Dentro do processador espacial TX 122b, o demultiplexador 712 recebe um fluxo de símbolos de dados, 10 $\{s(k)\}$, do processador de dados TX 120, demultiplexa o fluxo em 192 sub-fluxos de símbolos de dados para as 192 sub-bandas de dados do símbolo OFDM longo e envia cada par de sub-fluxos a um respectivo codificador de espaço-freqüência 720. Cada sub-fluxo inclui um símbolo de dados 15 para cada período de símbolos OFDM longos, que corresponde a uma taxa de símbolos de T_L^{-1} , onde T_L é a duração de um símbolo OFDM longo.

Cada codificador de espaço-freqüência 720 recebe 20 um par de sub-fluxos de símbolos de dados para duas sub-bandas k_1 e $k_1 + 1$. Dentro de cada codificador 720, a unidade 724a conjuga cada símbolo no sub-fluxo para a sub-banda $k_1 + 1$, e a unidade 724b inverte e conjuga cada símbolo no sub-fluxo para a sub-banda k_1 . Cada codificador 720 envia (1) 25 os dois sub-fluxos de símbolos de dados aos dois armazenadores/multiplexadores 730 para duas antenas afins para transmissão na sub-banda k_1 e (2) os dois sub-fluxos das unidades 724a e 724b às mesmas duas antenas para transmissão na sub-banda $k_1 + 1$. A taxa de símbolos para todos os sub-fluxos para dentro e para fora de cada 30 codificador de espaço-freqüência 720 é T_L^{-1} .

Cada armazenador/multiplexador 730 recebe símbolos-piloto e símbolos de transmissão dos codificadores de espaço-freqüência 720 apropriados, conforme determinado

pela equação (7) e a Tabela 5. Em particular, os armazenadores/multiplexadores 730a, 730b, 730c e 730d recebem símbolos de transmissão para todas as sub-bandas mapeadas nas antenas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Cada 5 armazenador/multiplexador 730 em seguida, para cada período de símbolos OFDM longos, multiplexa 16 símbolos-piloto para as 16 sub-bandas-piloto, 192 símbolos de transmissão para 10 192 sub-bandas de dados e 48 símbolos zero para 48 sub-bandas não utilizadas, de modo a formar uma sequência de 10 256 símbolos de transmissão para as 256 sub-bandas totais. Para o esquema SFTD, todas as 192 sub-bandas de dados são utilizadas na transmissão de dados. Cada armazenador/multiplexador 730 envia um fluxo de símbolos de transmissão $\{x_i(k)\}$ para uma antena de transmissão.

15 A figura 8 mostra um diagrama de blocos de uma modalidade do modulador 126x, que pode ser utilizado para cada um dos moduladores de 126a a 126d da figura 1. O modulador 126x inclui o modulador OFDM 810 acoplado à unidade transmissora (TMTR) 820. O modulador OFDM 810 20 inclui a unidade de transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) de tamanho variável 812 e o gerador de prefixos cíclicos 814. A unidade IFFT 812 recebe um fluxo de símbolos de transmissão, $\{x_i(k)\}$, efetua uma IFFT de L pontos em cada seqüência de L símbolos de transmissão no 25 fluxo $\{x_i(k)\}$ e gera uma seqüência correspondente de L chips no domínio do tempo para um símbolo transformado. O tamanho de símbolo OFDM L é indicado por um sinal de controle fornecido pelo controlador 130 e $L = 64$ para o símbolo OFDM curto e $L = 256$ para o símbolo OFDM longo. O 30 gerador de prefixos cíclicos 814 repete uma parte de cada símbolo transformado da unidade IFFT 812, de modo a formar um símbolo OFDM correspondente. Um período de símbolos OFDM corresponde à duração de um símbolo OFDM. A saída do

gerador de prefixos cílicos 814 é um fluxo de símbolos OFDM que têm tamanhos determinados pelo sinal de controle. A unidade transmissora 820 converte o fluxo de símbolos OFDM em um ou mais sinais analógicos e também condiciona 5 (isto é, amplifica, filtra e converte ascendentemente em freqüência) os sinais analógicos de modo a gerar um sinal de downlink adequado para transmissão da antena 128x afim.

A figura 9 mostra um diagrama de blocos do terminal de usuário 150y com múltiplas ($N_R > 1$) antenas. Os 10 sinais de downlink do ponto de acesso 110 são recebidos por cada uma das antenas de 152a a 152r. Cada antena transmite um sinal recebido a um respectivo demodulador 154.

Dentro de cada demodulador 154, a unidade receptora (RCVR) 912 condiciona (isto é, converte 15 descendente mente em freqüência, amplifica e filtra) e digitaliza seu sinal recebido e envia um fluxo de amostras a um demodulador OFDM. O demodulador OFDM inclui a unidade de remoção de prefixos cílicos 914 e a unidade de transformada rápida de Fourier (FFT) de tamanho variável 20 916. A unidade 914 remove o prefixo cílico em cada símbolo OFDM e fornece um símbolo transformado recebido correspondente que contém L amostras, onde L é dependente do tamanho de símbolo OFDM. A unidade de FFT de tamanho variável recebe o fluxo de amostras da unidade 914, efetua 25 uma FFT de L pontos em cada sequência de L amostras no fluxo para um símbolo transformado recebido e gera uma sequência correspondência de L símbolos recebidos para o símbolo transformado. Os demoduladores de 154a a 154r enviam N_R fluxos de símbolos recebidos (para dados) ao 30 processador espacial RX 160y e os símbolos-piloto recebidos ao estimador de canal 960.

O processador espacial RX 160y executa processamento espacial nos N_R fluxos de símbolos recebidos

com estimativas de ganho de canal do estimador de canal 960, como, por exemplo, conforme mostrado na equação (6). O processador espacial RX 160y envia ao processador de dados RX 170y um fluxo de símbolos de dados recuperados, $\{\hat{s}(k)\}$, 5 que é uma estimativa do fluxo de símbolos de dados, $\{s(k)\}$, transmitido pelo ponto de acesso 110.

Dentro do processador de dados RX 170y, a unidade desmapeadora de símbolos 972 demodula os símbolos de dados recuperados de acordo com o esquema de modulação utilizado 10 para o fluxo de dados, conforme indicado por um controle de demodulação fornecido pelo controlador 180y. O deintercalador de canais 974 em seguida deintercala os dados demodulados de uma maneira complementar à intercalação efetuada no ponto de acesso 110, conforme 15 indicado por um controle de deintercalação fornecido pelo controlador 180y. Para o símbolo OFDM curto, a deintercalação é feita através de 48 sub-bandas de dados para cada símbolo OFDM curto, complementar à intercalação descrita acima. Para o símbolo OFDM longo, a deintercalação 20 é feita através de cada um dos quatro blocos de 48 sub-bandas de dados, também conforme descrito acima. O decodificador 976 em seguida decodifica os dados deintercalados de uma maneira complementar à codificação efetuada no ponto de acesso 110, conforme indicado por um 25 controle de decodificação fornecido pelo controlador 180y. Um decodificador de Viterbi pode ser utilizado como o decodificador 976 para o esquema de codificação convolucional descrito acima. O desembaralhador 978 desembaraça os dados decodificados de uma maneira 30 complementar ao embaralhamento efetuado no ponto de acesso 110. Embora não mostrado na figura 9, um verificador CRC pode verificar cada pacote com base no valor de CRC incluído no pacote de modo a determinar se o pacote foi

recebido corretamente ou incorretamente. A condição do pacote pode ser utilizada para iniciar a retransmissão dos pacotes recebidos incorretamente pelo terminal de usuário 150y.

5 O estimador de canais 960 estima diversas características de canal (como, por exemplo, os ganhos de percurso e a variância de ruído) com base nos símbolos-piloto recebidos. O estimador de canais 960 envia um vetor de estimativas de ganho de percurso, $\hat{h}_i(k)$, para cada
10 antena de ponto de acesso ao processador espacial RX 160y, que utiliza estas estimativas de ganho de percurso de modo a recuperar os símbolos de dados transmitidos, conforme mostrado na equação (6). O estimador de canais 960 envia as estimativas de canal ao controlador 180y. O controlador
15 180y pode desempenhar diversas funções relacionadas para transmitir processamento com diversidade de transmissão no terminal de usuário 150y. O controlador 180y pode também selecionar a taxa e o tamanho de símbolo OFDM apropriados a serem utilizados na transmissão de dados com base nas
20 estimativas de canal e/ou outras considerações.

Para o terminal de usuário 150x equipado com uma única antena 152x, o demodulador 154x gera um fluxo de símbolos recebidos. O processador espacial RX 160x executa processamento espacial no fluxo de símbolos recebidos com
25 estimativas de ganho de canal (como, por exemplo, conforme mostrado na equação (4)) e gera um fluxo de símbolos de dados recuperados, $\{\hat{s}(k)\}$. O processador de dados RX 170x em seguida desmapeia em símbolos, deintercala, decodifica e desembaralha o fluxo de símbolos de dados recuperados da
30 maneira descrita acima para o terminal de usuário 150y.

Para fins de clareza, as técnicas de processamento com diversidade de transmissão foram

descritas acima para o downlink em um sistema OFDM multi-antena exemplar. Estas técnicas podem ser também utilizadas para o uplink por terminais de usuário equipados com múltiplas antenas. Também para fins de clareza, estas 5 técnicas foram descritas para um sistema OFDM. O sistema OFDM pode suportar um tamanho de símbolo OFDM, dois tamanhos de símbolo OFDM (conforme descrito acima) ou mais de dois tamanhos de símbolo OFDM. Muitas destas técnicas podem ser também utilizadas para um único sistema multi-10 antena de portadora única.

A figura 10 mostra um diagrama de fluxo do processo 1000 para executar processamento com diversidade de transmissão em um sistema OFDM de múltiplas antenas. O transmissor codifica dados de tráfego de acordo com um 15 esquema de codificação para obter dados codificados (bloco 1012). O esquema de codificação pode compreender um código base de taxa fixa e um conjunto de padrões de repetição e/ou punctionamento para um conjunto de taxas de código suportadas pelo sistema. O transmissor intercala então os 20 dados codificados de acordo com um esquema de intercalação de modo a obter dados intercalados (bloco 1014). O transmissor em seguida mapeia em símbolos os dados intercalados de acordo com um esquema de modulação de modo a obter um fluxo de símbolos de dados (bloco 1016). O 25 transmissor processa então cada par de símbolos de dados de modo a obter dois pares de símbolos de transmissão para transmissão de um par de antenas de transmissão (bloco 1018). Cada símbolo de transmissão é uma versão de um símbolo de dados. Os dois pares de símbolos de transmissão 30 podem ser transmitidos do par de antenas ou dois períodos de símbolos OFDM ou em duas sub-bandas. Se N_T antenas de transmissão estiverem disponíveis para transmissão de dados, então $N_T \cdot (N_T - 1)/2$ diferentes pares de antenas

podem ser utilizados para transmitir os símbolos de dados. Se o sistema suportar vários tamanhos de símbolo OFDM, então o transmissor transforma o (isto é, efetua modulação OFDM no) fluxo de símbolos de transmissão para cada antena 5 de transmissão de acordo com um tamanho de símbolo OFDM selecionado, de modo a obter um fluxo correspondente de símbolos OFDM para a antena de transmissão (bloco 1020).

A figura 11 mostra um diagrama de fluxo do processo 1100 para efetuar recepção de dados com 10 diversidade de transmissão em um receptor no sistema OFDM multi-antena. O receptor transforma um fluxo de amostras para cada uma de N_R antenas de recepção de acordo com um tamanho de símbolo OFDM selecionado, de modo a obter um fluxo correspondente de símbolos recebidos para a antena de 15 recepção, onde $N_R \geq 1$ (bloco 1112). O receptor obtém um fluxo de vetores de símbolos recebidos, onde cada vetor inclui N_R símbolos recebidos para N_R antenas e é para uma sub-banda em um período de símbolos OFDM (bloco 1114). O receptor processa cada par de vetores de símbolos recebidos 20 com estimativas de canal de modo a obter dois símbolos de dados recuperados, conforme mostrado na equação (4) ou (6) (bloco 1116). Os dois vetores são para dois períodos de símbolos OFDM para o esquema STTD e para duas sub-bandas para o esquema SFTD. Um fluxo de símbolos de dados 25 recuperados é obtido para o fluxo de vetores de símbolos recebidos. O receptor em seguida desmapeia em símbolos o fluxo de símbolos de dados recuperados de acordo com um esquema de demodulação para obter dados demodulados (bloco 1118), deintercala os dados demodulados de acordo com um 30 esquema de deintercalação, para obter dados deintercalados (bloco 1120) e decodifica os dados deintercalados de acordo com um esquema de decodificação, para obter dados decodificados (bloco 1122). Os esquemas de demodulação,

deintercalação e decodificação são complementares aos esquemas de modulação, intercalação e codificação, respectivamente, utilizados no transmissor.

As técnicas de processamento com diversidade de transmissão descritas aqui podem ser implementadas por diversos dispositivos. Por exemplo, estas técnicas podem ser implementadas em hardware, software ou uma combinação deles. Para uma implementação em hardware, as unidades de processamento utilizadas para executar processamento com diversidade de transmissão em cada um dos pontos de acesso e terminal de usuário podem ser implementadas dentro de um ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), processadores de sinais digitais (DSPs), dispositivos de processamento de sinais digitais (DSPDs), dispositivos lógicos programáveis (PLDs), arranjos de portas programáveis em campo (FPGAs), processadores, controladores, microcontroladores, microprocessadores, outras unidades eletrônicas projetadas para desempenhar as funções descritas aqui, ou uma combinação deles.

Para uma implementação em software, as técnicas de processamento com diversidade de transmissão podem ser implementadas com módulos (como, por exemplo, procedimentos, funções e assim por diante) que desempenham as funções descritas aqui. Os códigos de software podem ser armazenados em uma unidade de memória (como, por exemplo, a unidade de memória 132, 182x ou 182y da figura 1) e executados por um processador (como, por exemplo, o controlador 130, 180x ou 180y). A unidade de memória pode ser implementada dentro do processador ou fora do processador, e neste caso ela pode ser acoplada comunicativamente ao processador por meio de diversos dispositivos, conforme é sabido na técnica.

A descrição anterior das modalidades preferidas é apresentada para permitir que qualquer pessoa especializada na técnica fabrique ou use a presente invenção. Diversas modificações nestas modalidades se tornarão prontamente evidentes aos versados na técnica, e os princípios genéricos definidos aqui podem ser aplicados a outras modalidades sem o uso da faculdade inventiva. Deste modo, a presente invenção não se destina a ser limitada às modalidades mostradas aqui, mas deve receber o mais amplo escopo compatível com os princípios e aspectos inéditos expostos aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. Método (1000) para processar dados para transmissão em um sistema (100) de comunicação sem fio de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) multi-antena, que é configurado para suportar múltiplos tamanhos de símbolo OFDM, o método compreendendo as etapas de:

selecionar um número de sub-bandas para transmissão de dados;

10 codificar com correção de erro (1012) dados de tráfego de acordo com um esquema de codificação de canal para obter dados codificados;

15 intercalar (1014) os dados codificados de acordo com um esquema de intercalação para obter dados intercalados;

mapear em símbolos (1016) os dados intercalados de acordo com um esquema de modulação para obter um fluxo de símbolos de dados;

20 formar pelo menos um par de símbolos de dados a partir do fluxo de símbolos de dados;

25 processar (1018) cada par de símbolos de dados no fluxo para obter dois pares de símbolos de transmissão para cada par de símbolos de dados, de forma que um símbolo de transmissão de cada par é transmitido por uma antena de um par de antenas (128), e o outro símbolo de transmissão do par é transmitido pela outra antena do par de antenas (128), cada símbolo de transmissão sendo uma versão de um símbolo de dados, em que cada par dos símbolos de transmissão corresponde ao complexo conjugado do outro par de símbolos de transmissão,

o método é **CARACTERIZADO** pelo fato de que usa:

diversidade de transmissão espaço-tempo (STTD), a qual utiliza um par de antenas de transmissão para cada

sub-banda de dados para símbolos OFDM curtos transmitidos em um primeiro número de sub-bandas; e

5 diversidade de transmissão espaço-frequência (SFTD) para símbolos OFDM longos transmitidos através de um segundo número de sub-bandas, o segundo número sendo maior que o primeiro número;

10 em que para cada caso a atribuição de emparelhamento de antena para sub-banda é tal que diferentes emparelhamentos de antena são usados para sub-bandas adjacentes.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que N_T antenas (128) estão disponíveis para transmissão de dados e $N_T \cdot (N_T - 1)/2$ diferentes pares de antenas (128) são utilizados para
15 transmitir pares de símbolos de dados no fluxo, onde $N_T > 2$.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que uma pluralidade de sub-bandas é utilizada para transmissão de dados, e em que
20 diferentes pares de antenas (128) são utilizados para sub-bandas adjacentes utilizadas para transmissão de dados.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o sistema (100) suporta um primeiro tamanho de símbolo OFDM com S sub-bandas e um
25 segundo tamanho de símbolo OFDM com L sub-bandas, onde S é um número inteiro maior que um e L é um número inteiro múltiplo de S.

30 5. Método, de acordo com a reivindicação 4,
CARACTERIZADO pelo fato de que também compreende:
formar uma pluralidade de fluxos de símbolos de transmissão para uma pluralidade de antenas (128); e

transformar cada fluxo de símbolos de transmissão de acordo com o primeiro ou segundo tamanho de símbolo OFDM para obter um fluxo correspondente de símbolos OFDM.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1,
5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que codificar (1012) inclui:

codificar os dados de tráfego de acordo com um código base para obter bits de código a uma taxa de código fixa; e

- 10 punctionar os bits de código à taxa de código fixa para obter os dados codificados constituídos por bits de código em uma de uma pluralidade de taxas de código suportadas pelo sistema (100).

7. Método, de acordo com a reivindicação 6,
15 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o código base é um código convolucional de taxa 1/2.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6,
CARACTERIZADO pelo fato de que a pluralidade de taxas de código está associada com uma pluralidade de padrões de punctionamento.

- 20 9. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que codificar (1012) inclui:

codificar os dados de tráfego de acordo com um código base para obter bits de código a uma taxa de código fixa; e

- 25 repetir os bits de código à taxa de código fixa para obter os dados codificados constituídos por bits de código a uma taxa de código mais baixa que a taxa de código fixa.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1,
30 **CARACTERIZADO** pelo fato de que intercalar (1014) inclui:

formar seqüências de bits de código a partir dos dados codificados; e

para cada uma das seqüências, mapear cada bit de código na sequência para uma dentre uma pluralidade de sub-bandas com base no esquema de intercalação.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10,
 5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada seqüência de bits de código é designada para transmissão na pluralidade de sub-bandas em um período de símbolos OFDM.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1,
 10 **CARACTERIZADO** pelo fato de que intercalar (1014) compreende:

formar seqüências de bits de código a partir dos dados codificados;

15 particionar cada uma das seqüências em M blocos de bits de código para transmissão em M grupos disjuntos de sub-bandas, um bloco de bits de código para cada grupo de sub-bandas, onde $M \geq 2$; e

20 para cada um dos M blocos para cada sequência, mapear cada bit de código no bloco para uma dentre as sub-bandas no grupo para o bloco com base no esquema de intercalação.

13. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que mapear em símbolos (1016) compreende:

25 agrupar conjuntos de B bits nos dados intercalados para formar valores binários de B bits, onde $B \geq 1$; e

30 mapear cada um dos valores binários de B bits em um símbolo de dados com base no esquema de modulação, em que o esquema de modulação é definido com mapeamento Gray, de modo que dois símbolos de dados adjacentes em uma constelação de sinais para o esquema de modulação diferem em no máximo um bit dentre B bits.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13,
CARACTERIZADO pelo fato de que mapear em símbolos (1016) também compreende:

5 reordenar os B bits para cada um dos conjuntos, e
em que os conjuntos de B bits reordenados são utilizados para formar os valores binários de B bits.

15. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende:

10 demultiplexar (612) o fluxo de símbolos de dados tal que cada par de símbolos de dados no fluxo seja transmitido a partir de um par de antenas (128) e pares consecutivos de símbolos de dados no fluxo sejam transmitidos a partir de diferentes pares de antenas (128).

16. Método, de acordo com a reivindicação 15,
15 **CARACTERIZADO** pelo fato de que demultiplexar (612) é adicionalmente realizada tal que cada bit de código dos dados codificados seja transmitido a partir de um número máximo de antenas (128) obteníveis para o bit de código com base na taxa de código.

20 17. Método, de acordo com a reivindicação 15,
CARACTERIZADO pelo fato de que cada par de símbolos de dados no fluxo é transmitido a partir de um par de antenas (128) em uma sub-banda, e em que pares de símbolos de dados para sub-bandas adjacentes são transmitidos em diferentes 25 pares de antenas (128).

18. Método, de acordo com a reivindicação 15,
CARACTERIZADO pelo fato de que cada grupo de S bits de código para os dados codificados é intercalado (220), onde S é o número de sub-bandas utilizadas para transmissão de 30 dados.

19. Método, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende demultiplexar (612) o fluxo de símbolos de dados, tal que cada par de

símbolos de dados no fluxo seja transmitido a partir de um par de antenas (128) em duas sub-bandas.

20. Método, de acordo com a reivindicação 19,
CARACTERIZADO pelo fato de que cada par de símbolos de 5 dados no fluxo é transmitido em duas sub-bandas adjacentes utilizadas para transmissão de dados.

21. Método, de acordo com a reivindicação 19,
CARACTERIZADO pelo fato de que também compreende:

processar (622 a 630) cada par de símbolos de 10 dados no fluxo para obter primeiro e segundo pares de símbolos de transmissão, cada símbolo de transmissão sendo uma versão de um dos símbolos de dados no par de símbolos de dados, em que o primeiro par de símbolos de transmissão é transmitido a partir do par de antenas (128) em uma 15 primeira sub-banda e o segundo par de símbolos de transmissão é transmitido a partir do par de antenas (128) em uma segunda sub-banda.

22. Método, de acordo com a reivindicação 21,
CARACTERIZADO pelo fato de que o primeiro e segundo pares 20 de símbolos de transmissão são transmitidos ao mesmo tempo em um período de símbolo OFDM na primeira e segunda sub-bandas, respectivamente.

23. Equipamento (110) para processar dados para transmissão em um sistema (100) de comunicação sem fio de 25 multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) multi-antena, que é configurado para suportar múltiplos tamanhos de símbolo OFDM, o equipamento compreendendo:

dispositivo para selecionar um número de sub-bandas para transmissão de dados;

30 dispositivo (216) para codificar com correção de erro, dados de tráfego de acordo com um esquema de codificação de canal para obter dados codificados;

dispositivo (220) para intercalar os dados codificados de acordo com um esquema de intercalação para obter dados intercalados;

5 dispositivo (222) para mapear em símbolos os dados intercalados de acordo com um esquema de modulação para obter um fluxo de símbolos de dados;

dispositivo para formar pelo menos um par de símbolos de dados a partir do fluxo de símbolos de dados;

10 dispositivo (122) para processar cada par de símbolos de dados no fluxo para obter dois pares de símbolos de transmissão para cada par de símbolos de dados, de forma que um símbolo de transmissão de cada par é transmitido por uma antena de um par de antenas (128), e o outro símbolo de transmissão do par é transmitido pela 15 outra antena do par de antenas (128), cada símbolo de transmissão sendo uma versão de um símbolo de dados, em que cada par dos símbolos de transmissão corresponde ao complexo conjugado do outro par de símbolos de transmissão,

o equipamento é **CARACTERIZADO** pelo fato de que 20 usa:

diversidade de transmissão espaço-tempo (STTD), a qual utiliza um par de antenas de transmissão para cada sub-banda de dados para símbolos OFDM curtos transmitidos em um primeiro número de sub-bandas; e

25 diversidade de transmissão espaço-frequência (SFTD) para símbolos OFDM longos transmitidos através de um segundo número de sub-bandas, o segundo número sendo maior que o primeiro número;

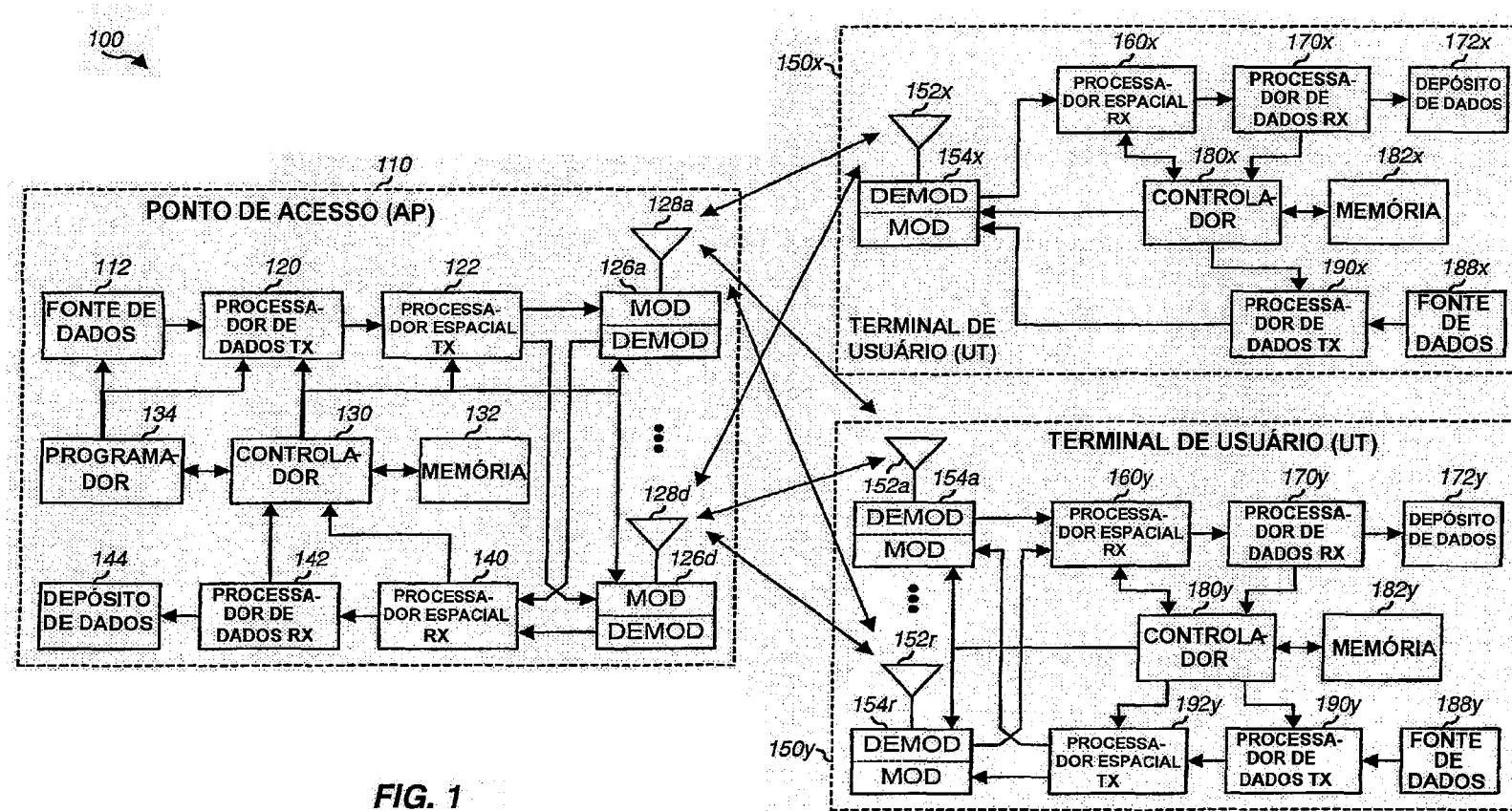
em que para cada caso a atribuição de 30 emparelhamento de antena para sub-banda é tal que diferentes emparelhamentos de antena são usados para sub-bandas adjacentes.

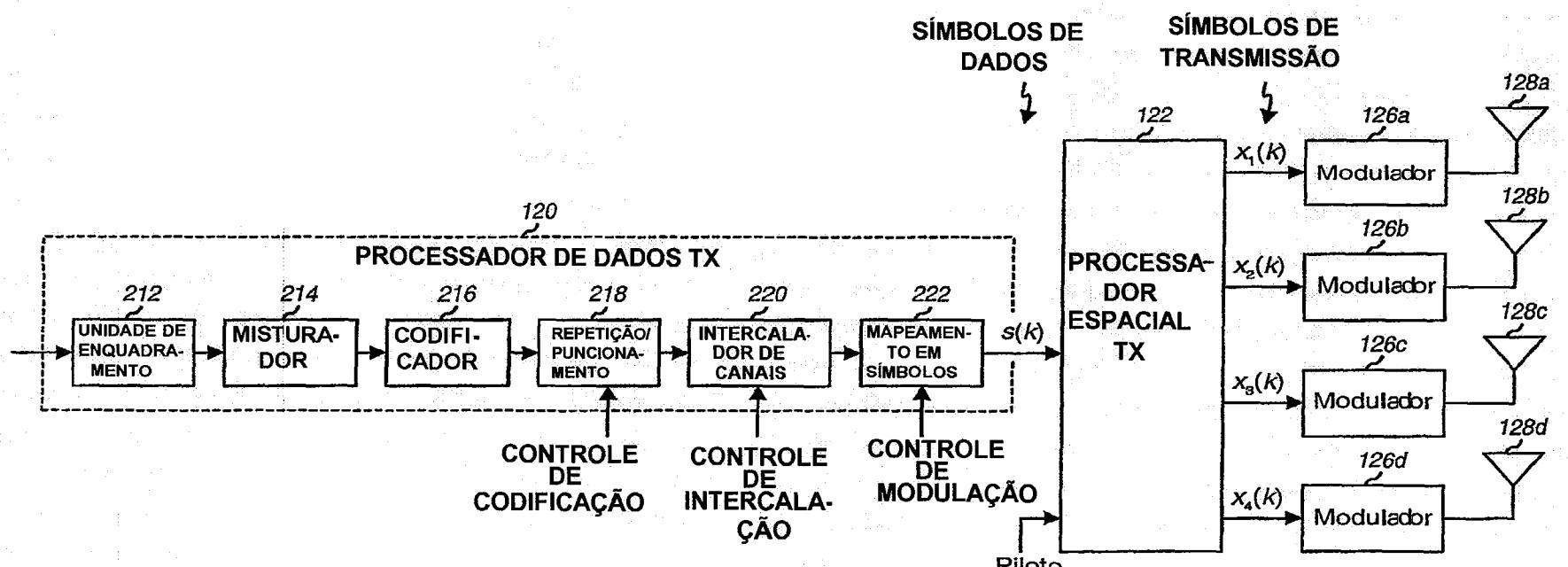
24. Equipamento, de acordo com a reivindicação 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema (100) suporta um primeiro tamanho de símbolo OFDM com S sub-bandas e um segundo tamanho de símbolo OFDM com L sub-bandas, onde S é 5 um número inteiro maior que um e L é um número inteiro múltiplo de S.

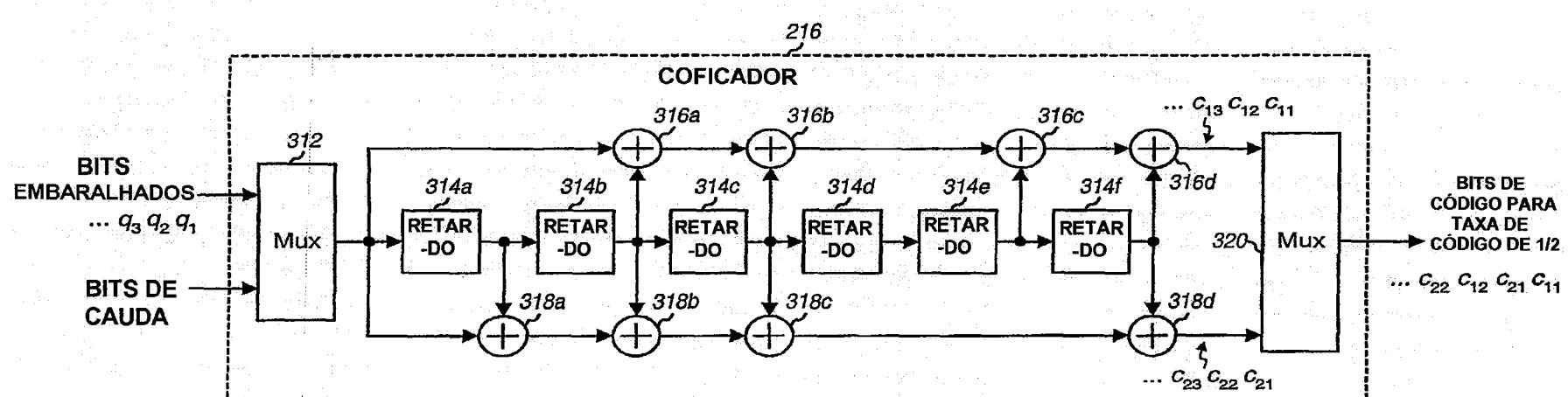
25. Equipamento, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que também compreende:

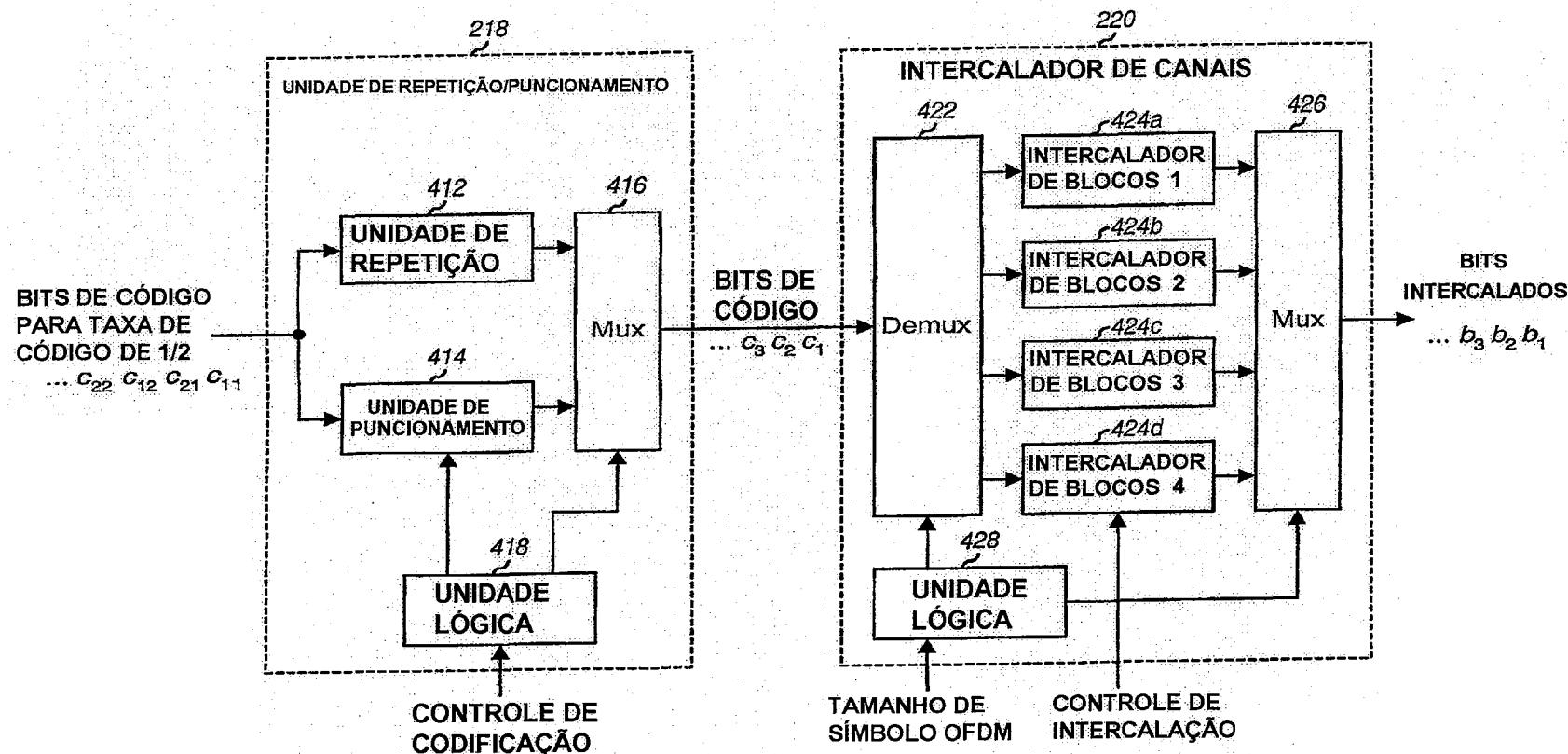
dispositivo para formar (612) uma pluralidade de 10 fluxos de símbolos de transmissão para uma pluralidade de antenas (128); e

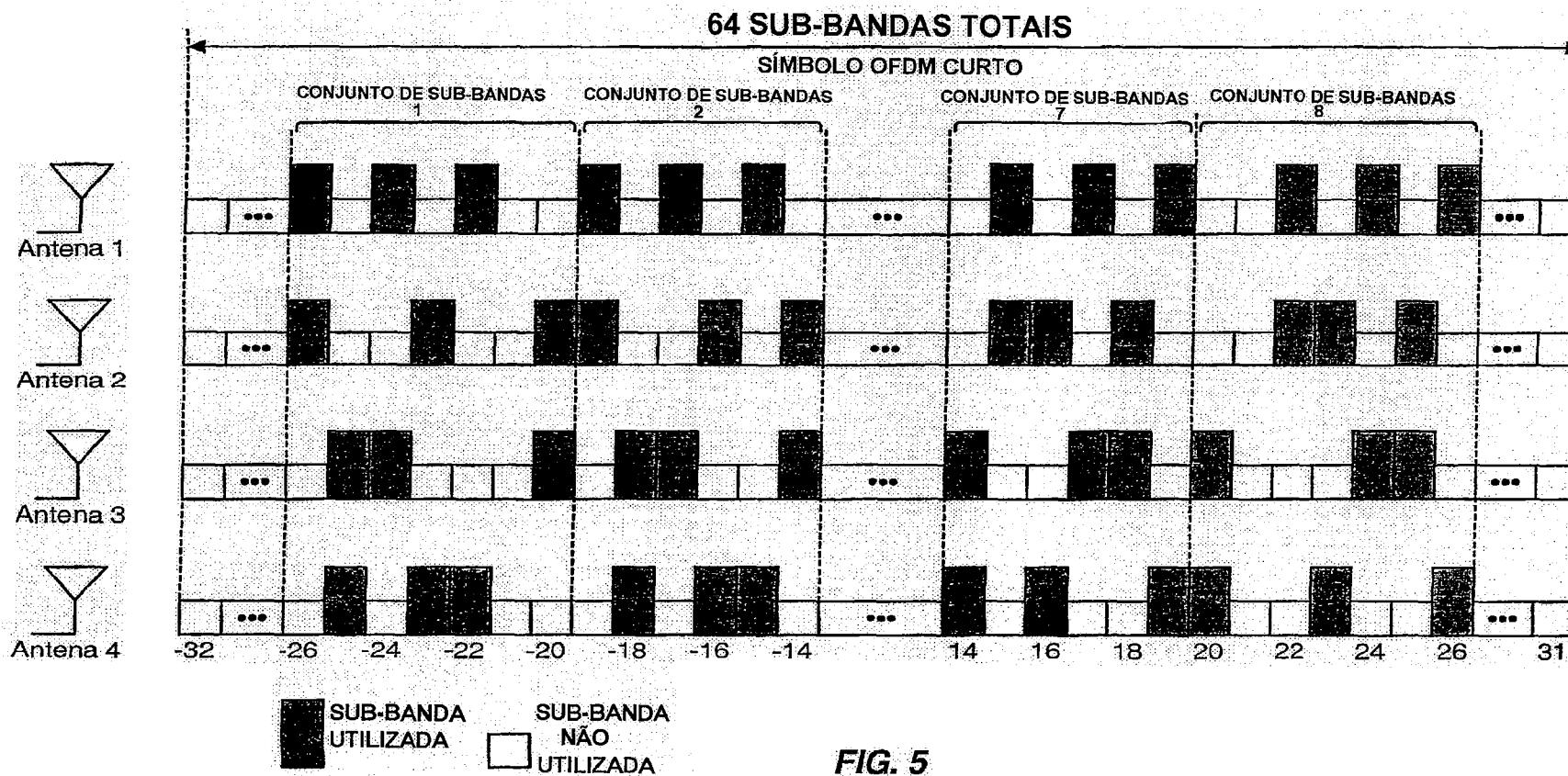
dispositivo para transformar cada fluxo de símbolos de transmissão de acordo com o primeiro ou segundo tamanho de símbolo OFDM para obter um fluxo correspondente 15 de símbolos OFDM.



**FIG. 2**

**FIG. 3**

**FIG. 4**

**FIG. 5**

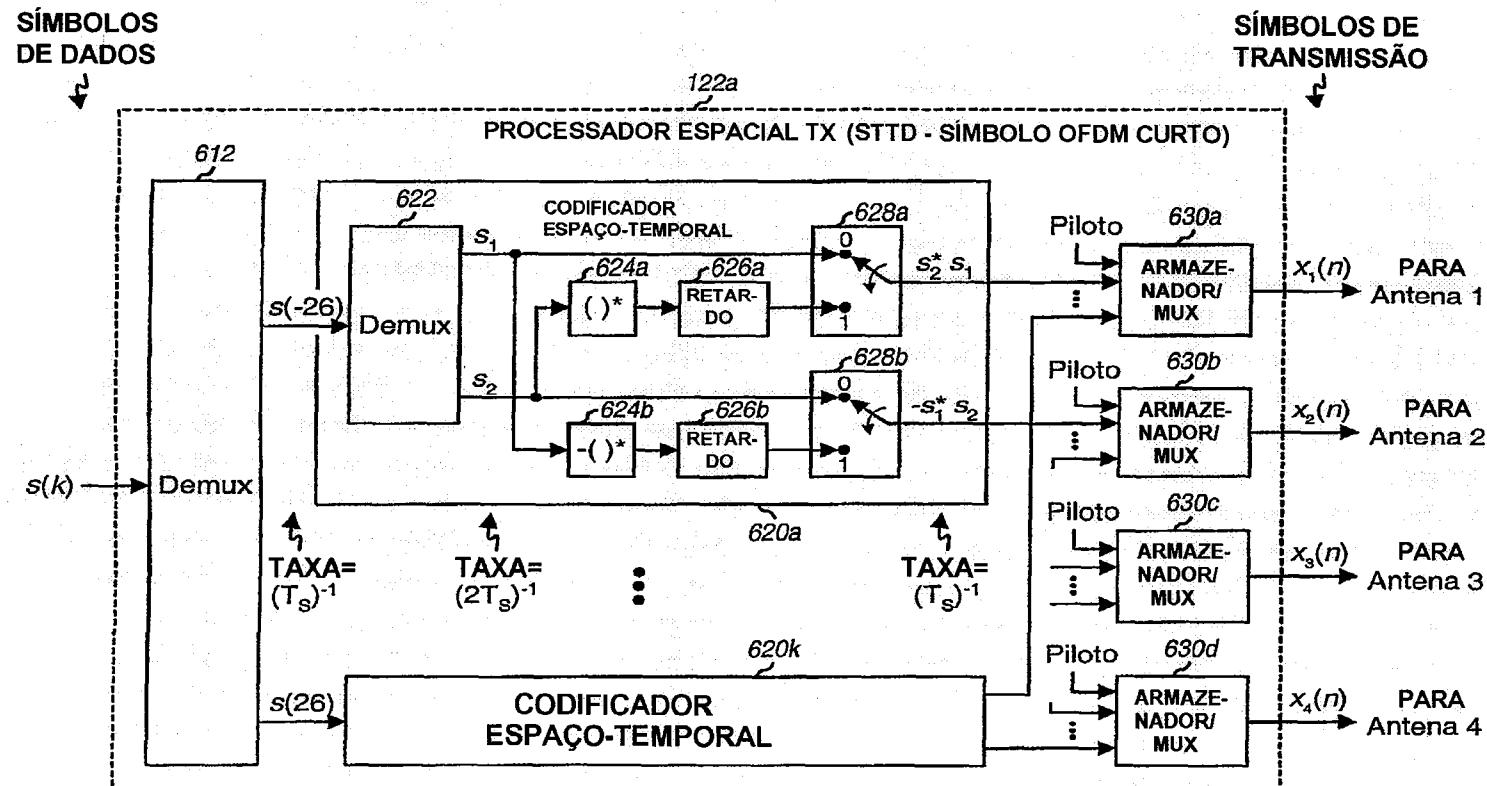


FIG. 6

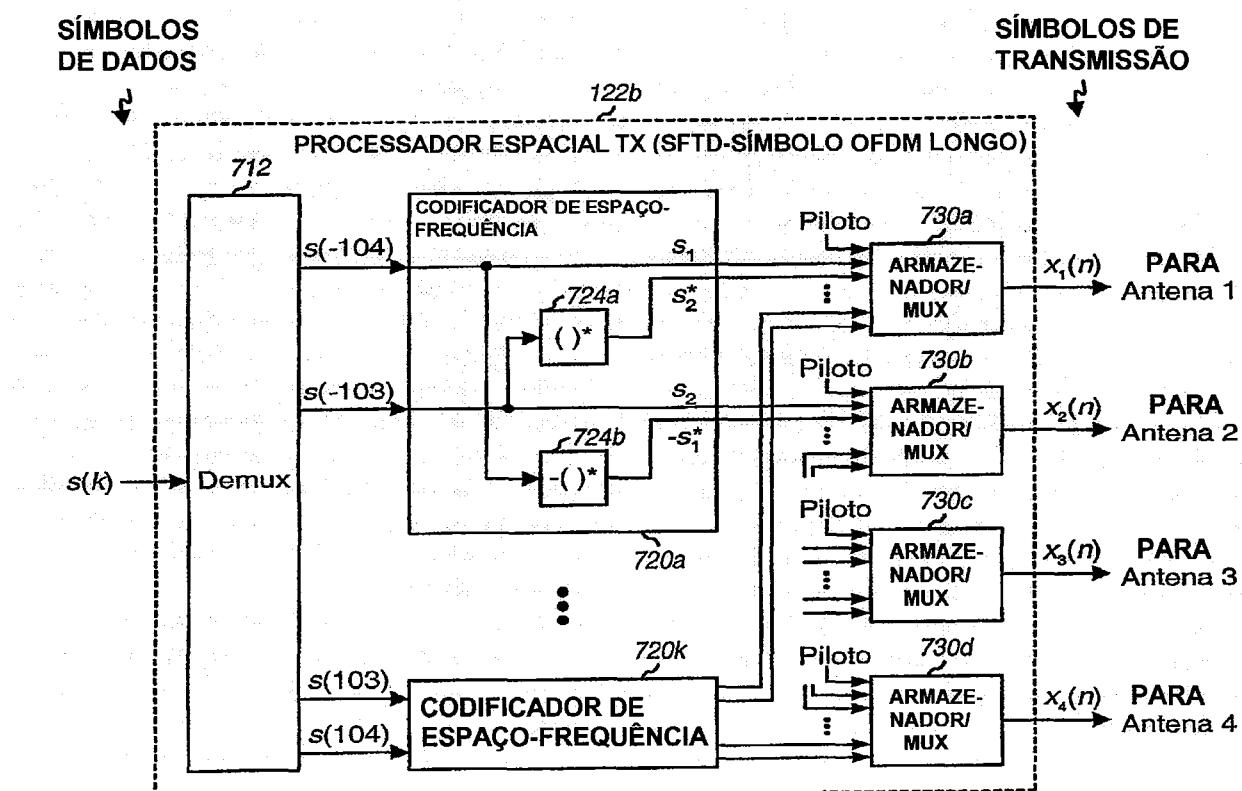


FIG. 7

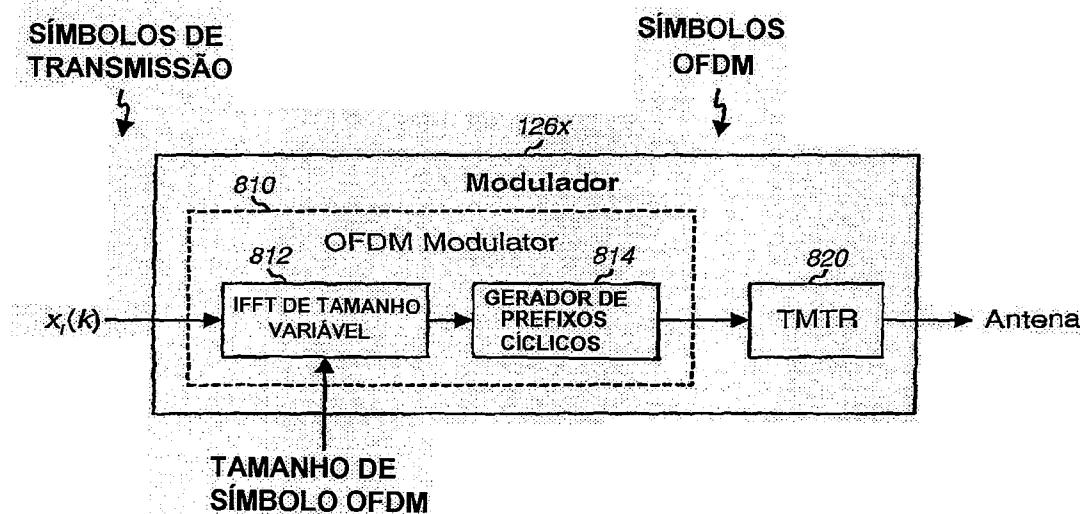


FIG. 8

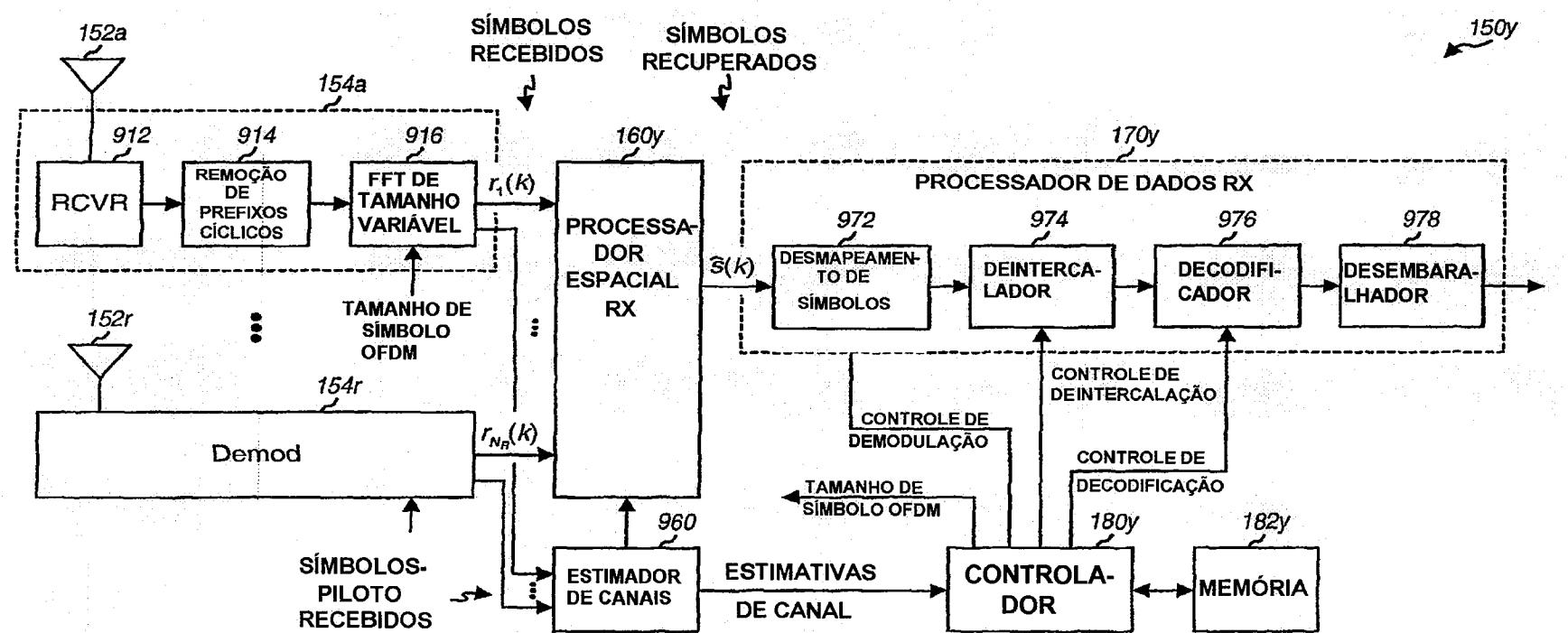


FIG. 9

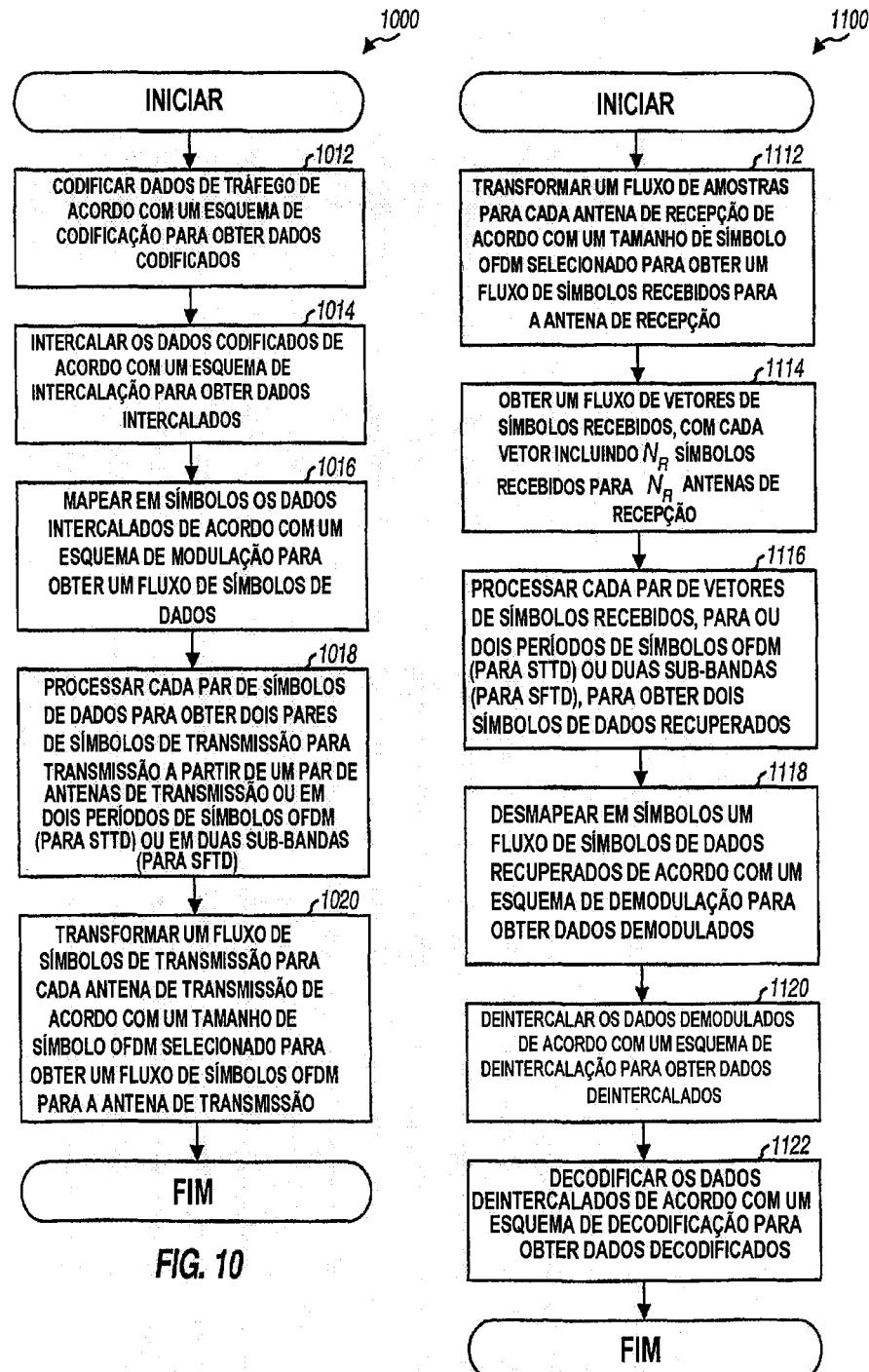


FIG. 10

FIG. 11