

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

(21) **PI0611234-0 A2**

(22) Data de Depósito: 09/05/2006
(43) Data da Publicação: 24/08/2010
(RPI 2068)



(51) *Int.Cl.:*
H04B 7/02

(54) Título: **SELEÇÃO DE TAXA PARA AUTODIRECIONAMENTO EM UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MIMO**

(30) Prioridade Unionista: 12/05/2005 US 11/128,843

(73) Titular(es): QUALCOMM INCORPORATED

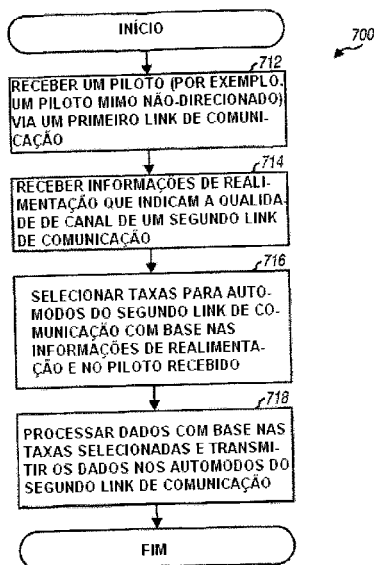
(72) Inventor(es): Arnaud Meylan, Sanjiv Nanda, Santosh Abraham

(74) Procurador(es): Montauray Pimenta, Machado & Lioce S/C Ltda

(86) Pedido Internacional: PCT US2006017962 de 09/05/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/124419 de 23/11/2006

(57) **Resumo:** Técnicas para selecionar taxas para transmissão de dados em auto-modos de um canal MIMO são descritas. Um ponto de acesso transmite um piloto MIMO não-direcionado por meio do downlink. Um terminal de usuário estima a qualidade de canal de downlink com base no piloto MIMO não-direcionado de downlink e transmite um piloto MIMO não-direcionado e informação de realimentação por meio do uplink. A informação de realimentação é indicativa da qualidade do canal de downlink. O ponto de acesso estima a qualidade do canal de uplink e obtém uma matriz de resposta de canal com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink, decompõe a matriz de resposta de canal para obter auto-vetores e ganhos de canal para os auto-modos do downlink, e seleciona taxas para os auto-modos com base na qualidade de canal de uplink estimada, nos ganhos de canal para os auto-modos, e na informação de realimentação. O ponto de acesso processa os dados com base nas taxas selecionadas e transmite dados direcionados e um piloto MIMO direcionado nos auto-modos com os auto-vetores.



"SELEÇÃO DE TAXA PARA AUTODIRECIONAMENTO EM UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MIMO".

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se de maneira geral a
5 comunicação e, mais especificamente, a técnicas para
selecionar taxas para transmissão de dados em um sistema de
comunicação de múltiplas-entradas e múltiplas-saídas
(MIMO).

Descrição da Técnica Anterior

10 Um sistema MIMO utiliza múltiplas antenas de
transmissão (T) em uma estação transmissora e múltiplas
antenas de recepção (R) em uma estação receptora para
transmissão de dados. Um canal MIMO formado pelas antenas
de transmissão T e pelas antenas de recepção R pode ser
15 decomposto em canais espaciais S, onde $S \leq \min \{T, R\}$. Os
canais espaciais S podem ser usados para transmitir dados
em paralelo para obter produtividade superior e/ou
redundantemente para alcançar maior confiabilidade.

Cada canal espacial pode experimentar várias
20 condições de canal deletérias, tais como, por exemplo,
desvanecimento, multi-percursos, e efeitos de
interferência. Os canais espaciais S podem experimentar
diferentes condições de canal e podem obter diferentes
relações sinal/ruído-e-interferência (SNRs). A SNR de cada
25 canal espacial determina sua capacidade de transmissão, que
é tipicamente quantificada por uma taxa de dados específica
que pode ser transmitida com segurança no canal espacial.

A seleção de taxa refere-se ao processo de
selecionar taxas adequadas para transmissão de dados, como,
30 por exemplo, nos canais espaciais do canal MIMO. Uma "taxa"
pode estar associada a uma taxa de dados ou taxa de bits de
informação específica, um esquema de codificação ou taxa de
código específica, um esquema de modulação específico, e

assim por diante, para utilização em um fluxo de dados. Para um canal MIMO variável no tempo, as condições de canal se alteram ao longo do tempo e a SNR de cada canal espacial também se altera ao longo do tempo. As diferentes SNRs para
5 diferentes canais espaciais mais a natureza variável no tempo da SNR para cada canal espacial tornam desafiadora a seleção das taxas apropriadas para os canais espaciais.

Há, portanto, necessidade na técnica de técnicas para selecionar taxas em um sistema MIMO.

10 Resumo da Invenção

Técnicas para selecionar taxas para transmissão de dados em auto-modos de um canal MIMO são descritas aqui. Um auto-modo pode ser visto como um canal espacial ortogonal obtido pela decomposição de uma matriz de
15 resposta de canal para o canal MIMO. As técnicas podem ser utilizadas para transmissão de dados no downlink de um ponto de acesso (AP) para um terminal de usuário (UT), para transmissão de dados no uplink do terminal de usuário para o ponto de acesso, e para transmissão de dados ponto-a-
20 ponto entre dois terminais de usuário.

De acordo com uma modalidade da invenção, um equipamento é descrito, o qual inclui um processador de canal e um controlador. O processador de canal recebe um piloto (por exemplo, piloto MIMO não-direcionado) por meio
25 de um primeiro link de comunicação (por exemplo, o uplink) e deriva uma estimativa de canal para o primeiro link de comunicação. O controlador recebe informações de realimentação que indicam a qualidade do canal de um segundo link de comunicação (por exemplo, o downlink) e
30 seleciona taxas para os auto-modos do segundo link de comunicação com base nas informações de realimentação e na estimativa de canal.

De acordo com outra modalidade, um método é apresentado no qual um piloto é recebido por meio de um primeiro link de comunicação. A informação de realimentação que indica a qualidade do canal de um segundo link de comunicação é também recebida. As taxas para os auto-modos do segundo link de comunicação são selecionadas com base na informação de realimentação e no piloto.

De acordo com ainda outra modalidade, um equipamento é descrito, o qual inclui meios para receber um piloto por meio de um primeiro link de comunicação, meios para receber informação de realimentação que indica a qualidade do canal de um segundo link de comunicação, e meios para selecionar taxas para os auto-modos do segundo link de comunicação com base na informação de realimentação e no piloto.

De acordo com ainda outra modalidade, um método é provido, no qual um primeiro piloto MIMO não-direcionado é transmitido através do downlink. Um segundo piloto MIMO não-direcionado e informação de realimentação são recebidos por meio do uplink. A informação de realimentação indica a qualidade do canal de downlink, que é estimada com base no primeiro piloto MIMO não-direcionado. As taxas para os auto-modos do downlink são selecionadas com base na informação de realimentação e no segundo piloto MIMO não-direcionado.

De acordo com ainda outra modalidade, um equipamento é descrito, o qual inclui um processador piloto, um controlador e um processador espacial. O processador piloto gera um piloto para transmissão por meio de um primeiro link de comunicação. O controlador envia informação de realimentação que indica a qualidade do canal de um segundo link de comunicação. O processador espacial recebe uma transmissão de dados nos auto-modos do segundo

link de comunicação. A transmissão de dados é enviada a taxas selecionadas com base no piloto e na informação de realimentação.

De acordo com ainda outra modalidade, um método é
5 provido, no qual um piloto é transmitido por meio de um primeiro link de comunicação. A informação de realimentação que indica a qualidade do canal de um segundo link de comunicação é também enviada. Uma transmissão de dados, que é enviada a taxas selecionadas com base no piloto e na
10 informação de realimentação, é recebida nos auto-modos do segundo link de comunicação.

De acordo com ainda outra modalidade, um equipamento é descrito, o qual inclui meios para transmitir um piloto por meio de um primeiro link de comunicação,
15 meios para enviar informação de realimentação que indica a qualidade do canal de um segundo link de comunicação, e meios para receber uma transmissão de dados nos auto-modos do segundo link de comunicação. A transmissão de dados é enviada a taxas selecionadas com base no piloto e na
20 informação de realimentação.

Vários aspectos e modalidades da invenção são descritos em detalhes a seguir.

Breve Descrição das Figuras

A Figura 1 mostra um esquema para transmissão de
25 dados iniciada no AP em auto-modos.

A Figura 2 mostra um processo para transmitir dados em auto-modos com baixo overhead.

As Figuras 3 e 4 mostram dois esquemas para transmissão de dados iniciada no AP em automodos com baixo
30 overhead.

A Figura 5 mostra um esquema para transmissão de dados iniciada no UT em auto-modos.

A Figura 6 mostra um esquema para transmissão de dados iniciada no UT em auto-modos com baixo overhead.

A Figura 7 mostra um processo para transmitir dados em auto-modos com baixo overhead.

5 A figura 8 mostra um diagrama em blocos de um ponto de acesso e um terminal de usuário.

Descrição Detalhada da Invenção

A palavra "exemplar" é utilizada aqui como significando "que serve como exemplo, caso ou ilustração".
 10 Qualquer modalidade aqui descrita como "exemplar" não deve ser necessariamente interpretada como preferida ou vantajosa comparada com outras modalidades.

As técnicas de seleção de taxa aqui descritas podem ser utilizadas para transmissão de dados no downlink e no uplink. O downlink (ou link direto) refere-se ao link
 15 de comunicação de um ponto de acesso a um terminal de usuário, e o uplink (ou link reverso) refere-se ao link de comunicação do terminal de usuário para o ponto de acesso. Para maior clareza, muito da descrição seguinte é para
 20 transmissão de dados de downlink do ponto de acesso para o terminal de usuário. Um ponto de acesso pode ser também chamado de estação base, estação base transceptora e assim por diante. Um terminal de usuário pode ser também chamado de estação móvel, equipamento de usuário, dispositivo sem
 25 fio, e assim por diante.

Um canal MIMO de downlink formado por antenas T no ponto de acesso e antenas R no terminal de usuário pode ser caracterizado por uma matriz de resposta $R \times T$ $\mathbf{H}$, que pode ser expressa como:

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{R,1} & h_{R,2} & \cdots & h_{R,T} \end{bmatrix} \quad \text{Eq (1)}$$

onde a entrada $h_{i,j}$ para $i = 1, \dots, R$ e $j = 1, \dots, T$, é o acoplamento ou ganho complexo entre a antena j do AP e a antena i do UT. Para simplificar, presume-se que o canal MIMO seja de desvanecimento plano, e o acoplamento entre
 5 cada par de antenas de AP e UT é representado com um único ganho complexo $h_{i,j}$.

A matriz de resposta de canal $\underline{H}$ pode ser transformada em diagonal de modo a obter S auto-modos ou canais espaciais ortogonais do canal MIMO de downlink. Esta
 10 transformação em diagonal pode ser obtida efetuando-se decomposição em valores singulares de $\underline{H}$ ou decomposição em auto-valores de uma matriz de correlação de $\underline{H}$, que é $\underline{R} = \underline{H}^H \underline{H}$, onde $\underline{H}^H$ denota a transposição conjugada de $\underline{H}$. Para maior clareza, uma decomposição em valores singulares é utilizada
 15 na descrição a seguir. A decomposição em valores singulares de $\underline{H}$ pode ser expressa como:

$$\underline{H} = \underline{U} \cdot \underline{\Sigma} \cdot \underline{V}^H, \quad \text{Eq (2)}$$

onde $\underline{U}$ é uma matriz unitária $R \times R$ de auto-vetores esquerdos de $\underline{H}$;

$\underline{\Sigma}$ é uma matriz diagonal $R \times T$ de valores
 20 singulares de $\underline{H}$; e

$\underline{V}$ é uma matriz unitária $T \times T$ de auto-vetores direitos de $\underline{H}$.

Uma matriz unitária $\underline{Q}$ é caracterizada pela propriedade $\underline{Q}^H \underline{Q} = \underline{I}$, onde $\underline{I}$ é a matriz de identidade. As
 25 colunas de uma matriz unitária são ortogonais entre si, e

cada coluna tem potência unitária. Os auto-vetores direitos em $\underline{V}$ podem ser utilizados para processamento espacial na transmissão de dados nos auto-modos de $\underline{H}$. Os auto-vetores esquerdos em $\underline{U}$ podem ser utilizados para processamento espacial no receptor na recuperação da transmissão de dados enviada nos auto-modos de $\underline{H}$. A matriz diagonal $\underline{\Sigma}$ contém valores reais não-negativos ao longo da diagonal e zeros em outras partes. Estas entradas diagonais são referenciadas como valores singulares de $\underline{H}$ e representam os ganhos de canal para os auto-modos. A decomposição em valores singulares é descrita por Gilbert Strang em "Álgebra Linear e Suas Aplicações", Segunda Edição, Academic Press, 1980.

O ponto de acesso executa processamento espacial para auto-direcionamento como a seguir:

$$\underline{x} = \underline{V} \cdot \underline{s} , \quad \text{Eq (3)}$$

onde $\underline{s}$ é um vetor com até S símbolos de dados a serem enviados nos S auto-modos; e

$\underline{x}$ é um vetor com T símbolos de transmissão a serem enviados das antenas T do AP.

O auto-direcionamento refere-se à transmissão de dados em auto-modos de um canal MIMO.

Conforme utilizado aqui, um "símbolo de dados" é um símbolo de modulação para dados, um "símbolo piloto" é um símbolo de modulação para piloto, um "símbolo de transmissão" é um símbolo a ser enviado de uma antena de transmissão, um "símbolo recebido" é um símbolo obtido de uma antena de recepção, e um símbolo é um valor complexo. Um piloto é uma transmissão que é conhecida *a priori* tanto pela estação transmissora quanto pela estação receptora. Um piloto pode ser também referenciado como sonoro, treinamento, transmissão de referência, um preâmbulo, e

assim por diante. Para maior clareza, a descrição a seguir assume que um fluxo de dados é enviado em cada auto-modo.

Os símbolos recebidos no terminal de usuário podem ser expressos como:

$$\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{x}} + \underline{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{V}} \cdot \underline{\mathbf{s}} + \underline{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}} \cdot \underline{\mathbf{s}} + \underline{\mathbf{n}}, \quad \text{Eq (4)}$$

5 onde $\underline{\mathbf{r}}$ é um vetor com R símbolos recebidos das antenas R do UT;

$\underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{V}}$ é uma matriz de resposta de canal MIMO efetiva para o vetor $\underline{\mathbf{s}}$; e

$\underline{\mathbf{n}}$ é um vetor de ruído.

10 Por simplificação, presume-se que o ruído seja um ruído gaussiano branco aditivo (AWGN) com um vetor médio zero e uma matriz de covariância de $\varphi_{nn} = \sigma^2_{\text{ruído}} \cdot \underline{\mathbf{I}}$, onde $\sigma^2_{\text{ruído}}$ é a variância do ruído. O terminal de usuário pode recuperar os símbolos de dados transmitidos utilizando diversas técnicas de processamento espacial no receptor, tais como a técnica de CSI completa, a técnica de erro quadrático médio mínimo (MMSE) e uma técnica de forçar a zero (ZF).

15 O terminal de usuário pode derivar uma matriz de filtro espacial com base na técnica de CSI completa, na técnica MMSE ou na técnica de forçar a zero, como a seguir:

$$\underline{\mathbf{M}}_{\text{fcsi}} = \underline{\Sigma}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{U}}^H = \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \quad \text{Eq (5)}$$

$$\underline{\mathbf{M}}_{\text{mmse}} = \underline{\mathbf{D}}_{\text{mmse}} \cdot [\underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}} + \sigma^2_{\text{ruído}} \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \quad \text{Eq (6)}$$

$$\underline{\mathbf{M}}_{\text{zf}} = [\underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H = \underline{\mathbf{R}}_{\text{efet}}^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \quad \text{Eq (7)}$$

onde

$$\underline{\mathbf{D}}_{\text{mmse}} = \text{diag} \left\{ [\underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}} + \sigma^2_{\text{ruído}} \cdot \underline{\mathbf{I}}]^{-1} \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}}^H \cdot \underline{\mathbf{H}}_{\text{efet}} \right\}^{-1}$$

O terminal de usuário pode executar o processamento espacial de receptor da seguinte maneira:

$$\hat{\underline{s}} = \underline{M} \cdot \underline{r} - \underline{s} + \tilde{\underline{n}} \quad , \quad \text{Eq (8)}$$

onde $\underline{M}$ é uma matriz de filtro espacial, que pode ser igual a $\underline{M}_{fcsi}$, $\underline{M}_{mmse}$ ou $\underline{M}_{zf}$;

5 $\hat{\underline{s}}$ é um vetor com até S símbolos de dados detectados; e

$\tilde{\underline{n}}$ é o ruído após o processamento espacial no receptor.

Os símbolos de dados detectados em $\hat{\underline{s}}$ são
10 estimativas dos símbolos de dados transmitidos em $\underline{s}$.

A SNR de cada auto-modo m , para $m = 1, \dots, S$, pode ser expressa como:

$$SNR_{fcsi,m} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m \cdot \sigma_m^2}{\sigma_{\text{ruído}}^2} \right) \quad , \quad \text{Eq (9)}$$

$$SNR_{mmse,m} = 10 \log_{10} \left(\frac{q_m}{1 - q_m} \cdot P_m \right) \quad , \quad \text{Eq (10)}$$

$$SNR_{zf,m} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_m}{r_m \cdot \sigma_{\text{ruído}}^2} \right) \quad , \quad \text{Eq (11)}$$

onde P_m é a potência de transmissão utilizada para o auto-modo m ;

15 σ_m é o valor singular para o auto-modo m , que é o m -ésimo elemento diagonal de $\underline{\Sigma}$;

q_m é o m -ésimo elemento diagonal de $\underline{D}_{mmse}^{-1}$; e

r_m é o m -ésimo elemento diagonal de $\underline{R}_{\text{efet}}^{-1}$.

20 $SNR_{fcsi,m}$, $SNR_{mmse,m}$ e $SNR_{zf,m}$ são a SNR do auto-modo m para as técnicas de CSI completa, MMSE e de forçar a zero, respectivamente, e estão em unidades de decibel (dB). O

termo $P_m/\sigma^2_{\text{ruído}}$ é frequentemente referenciado como a SNR recebida. Os termos $\text{SNR}_{fcsi,m}$, $\text{SNR}_{mmse,m}$ e $\text{SNR}_{zf,m}$ são frequentemente referenciados como as SNRs pós-deteção, que são as SNRs após o processamento espacial no receptor.

5 As taxas para os auto-modos podem ser selecionadas com base nas SNRs destes auto-modos. A seleção das taxas depende do esquema de seleção de taxas suportado pelo sistema. Em um esquema de seleção de taxa, o sistema permite que uma taxa seja selecionada de maneira
10 independente para cada auto-modo com base na SNR deste auto-modo. O sistema pode suportar um conjunto de taxas, e cada taxa suportada pode ser associada a uma SNR mínima específica necessária para obter um nível especificado de desempenho, como, por exemplo, uma taxa de erros de pacote
15 (PER) de 1%. A SNR necessária para cada taxa suportada pode ser obtida por simulação em computador, medições empíricas, e assim por diante. O conjunto de taxas suportadas e suas SNRs necessárias podem ser armazenados em uma tabela de consulta. A SNR de cada auto-modo, SNR_m , pode ser comparada
20 com as SNRs necessárias para as taxas suportadas para determinar a taxa mais elevada R_m suportada por esta SNR_m . A taxa R_m selecionada para cada auto-modo é associada à taxa de dados mais elevada e uma SNR necessária que é menor ou igual à SNR_m , ou $\text{SNR}_{\text{req}}(R_m) \leq \text{SNR}_m$.

25 Em outro esquema de seleção de taxa, o sistema permite a utilização de apenas determinadas combinações de taxas na transmissão de dados. O conjunto de combinações de taxas permitido pelo sistema é frequentemente chamado de conjunto de taxas de vetor-quantizado. Uma combinação de
30 taxas pode ser também denominada de esquema de codificação e modulação (MCS) ou alguma outra terminologia. Cada combinação de taxas permitida é associada a um número específico de fluxos de dados a ser transmitido, uma taxa

específica para cada fluxo de dados e uma capacidade de transmissão total para todos os fluxos de dados. As SNRs dos auto-modos podem ser utilizadas para selecionar uma das combinações de taxas permitidas.

5 O ponto de acesso utiliza a informação a seguir para transmitir dados nos auto-modos do canal MIMO de downlink:

- um conjunto de auto-vetores direitos em $\underline{\mathbf{V}}$; e
- um conjunto de taxas para fluxos de dados

10 enviados nos auto-modos.

Taxas diferentes podem ser utilizadas para auto-modos diferentes, uma vez que estes auto-modos podem obter SNRs diferentes. O ponto de acesso pode obter os auto-vetores e as taxas para os auto-modos de diversas maneiras.

15 Em um sistema duplex por divisão de tempo (TDD), o downlink e o uplink compartilham a mesma banda de frequência, e pode-se presumir que as respostas do canal de downlink e uplink sejam recíprocas entre si. Ou seja, se $\underline{\mathbf{H}}$ é a matriz de resposta do canal do arranjo de antenas X para o arranjo de antenas Y, então um canal recíproco
 20 implica que o acoplamento do arranjo Y com o arranjo X é dado por $\underline{\mathbf{H}}^T$, onde $\underline{\mathbf{H}}^T$ denota a transposição de $\underline{\mathbf{H}}$. Entretanto, as respostas das cadeias de transmissão e recepção no ponto de acesso são tipicamente diferentes das
 25 respostas das cadeias de transmissão e recepção no terminal de usuário. Uma calibração pode ser efetuada para derivar matrizes de correção que possam dar conta das diferenças nas respostas das cadeias de transmissão/recepção nas duas estações. A aplicação das matrizes de correção nestas duas
 30 estações permite que uma resposta de canal calibrada para um link seja expressa como uma transposição de uma resposta de canal calibrada para o outro link. Por simplificação, a descrição a seguir supõe uma resposta de frequência plana

para as cadeias de transmissão/recepção. A matriz de resposta de canal de downlink é $\underline{\mathbf{H}}_{dl} = \underline{\mathbf{H}}$, e a matriz de resposta de canal de uplink é $\underline{\mathbf{H}}_{ul} = \underline{\mathbf{H}}^T$.

5 A decomposição de valores singulares de $\underline{\mathbf{H}}_{dl}$ e $\underline{\mathbf{H}}_{ul}$ pode ser expressa como:

$$\underline{\mathbf{H}}_d = \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\Sigma} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H \text{ e } \underline{\mathbf{H}}_{ul} = \underline{\mathbf{V}}^* \cdot \underline{\Sigma}^T \cdot \underline{\mathbf{U}}^T, \quad \text{Eq (12)}$$

onde $\underline{\mathbf{V}}^*$ é um conjugado complexo de $\underline{\mathbf{V}}$. Como mostrado na equação (12), $\underline{\mathbf{U}}$ e $\underline{\mathbf{V}}$ são matrizes dos auto-vetores esquerdos e direitos de $\underline{\mathbf{H}}_{dl}$, e $\underline{\mathbf{V}}^*$ e $\underline{\mathbf{U}}^*$ são matrizes dos auto-vetores esquerdos e direitos de $\underline{\mathbf{H}}_{ul}$.

10 O ponto de acesso executa processamento espacial com $\underline{\mathbf{V}}$ para transmitir dados em auto-modos para o terminal de usuário. O terminal de usuário executa processamento espacial de receptor com $\underline{\mathbf{U}}^H$ (ou $\underline{\mathbf{H}}$ e $\underline{\mathbf{V}}$) para recuperar a transmissão de dados no downlink. Uma estação pode

15 transmitir um piloto MIMO não-direcionado que pode ser utilizado por outra estação na obtenção de uma estimativa de $\underline{\mathbf{H}}$. Um piloto MIMO não-direcionado é um piloto constituído por N transmissões piloto enviadas de N antenas, onde a transmissão piloto de cada antena é

20 identificável pela estação receptora. $N = T$ para um piloto MIMO não-direcionado no downlink enviado pelo ponto de acesso, e $N = R$ para um piloto MIMO não-direcionado no uplink, enviado pelo terminal de usuário. A estação transmissora pode tornar ortogonais as N transmissões

25 piloto (1) no domínio de código com a utilização de uma sequência ortogonal diferente (por exemplo, sequência Walsh) para cada transmissão piloto, (2) no domínio da frequência pelo envio de cada transmissão piloto em uma sub-banda de frequência diferente, ou (3) no domínio do

30 tempo pelo envio de cada transmissão piloto em um intervalo

de tempo diferente. Seja como for, a estação receptora é capaz de obter uma estimativa de $\underline{\mathbf{H}}$ com base no piloto MIMO não-direcionado recebido da estação transmissora. Por simplificação, a descrição a seguir presume que não há
5 erros na estimação de canal.

A decomposição de valor singular é computacionalmente intensiva. Assim, pode ser desejável ter o ponto de acesso efetuando a decomposição de valor singular de $\underline{\mathbf{H}}$ de modo a obter os auto-vetores em $\underline{\mathbf{V}}$. O ponto
10 de acesso pode então transmitir um piloto MIMO direcionado, que é um piloto enviado nos auto-modos do canal MIMO. O piloto MIMO direcionado pode ser gerado como a seguir:

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{piloto},m} = \underline{\mathbf{v}}_m \cdot p_m, \quad \text{Eq (13)}$$

onde $\underline{\mathbf{v}}_m$ é o auto-vetor direito para o auto-modo m , que é m -ésima coluna de $\underline{\mathbf{V}}$;

15 p_m é um símbolo piloto transmitido no auto-modo m ; e

$\underline{\mathbf{x}}_{\text{piloto},m}$ é um vetor de transmissão para o piloto MIMO direcionado para o auto-modo m .

O ponto de acesso pode transmitir um piloto MIMO
20 direcionado completo em todos os auto-modos em um ou vários períodos de símbolos (consecutivos ou não-consecutivos).

O piloto MIMO direcionado recebido no terminal de usuário pode ser expresso como:

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{piloto},m} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \underline{\mathbf{x}}_{\text{piloto},m} + \underline{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{U}} \cdot \underline{\Sigma} \cdot \underline{\mathbf{V}}^H \cdot \underline{\mathbf{v}}_m + \underline{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{u}}_m \cdot \sigma_m \cdot p_m + \underline{\mathbf{n}}, \quad \text{Eq (14)}$$

onde $\underline{\mathbf{r}}_{\text{piloto},m}$ é um vetor recebido para o piloto MIMO
25 direcionado para o auto-modo m ; e

$\underline{\mathbf{u}}_m$ é o auto-vetor esquerdo para o auto-modo m , que é a m -ésima coluna de $\underline{\mathbf{U}}$.

A equação (14) indica que o terminal de usuário pode obter (1) uma estimativa de $\underline{U}$, uma coluna de uma vez, e (2) uma estimativa de $\underline{\Sigma}$, um valor singular σ_m de uma vez, com base no piloto MIMO direcionado do ponto de acesso. O terminal de usuário pode obter estimativas dos auto-vetores e dos valores singulares sem ter que efetuar a decomposição em valores singulares.

O terminal de usuário tipicamente seleciona as taxas para os auto-modos do canal MIMO de downlink e envia as taxas selecionadas de volta ao ponto de acesso. O ponto de acesso tipicamente não pode selecionar as taxas para o canal MIMO de downlink com base unicamente em um piloto MIMO de uplink do terminal de usuário por causa dos vários fatores, tais como, por exemplo, (1) diferentes níveis de ruído de receptor no ponto de acesso e no terminal de usuário, (2) diferentes níveis de interferência observados pelo ponto de acesso e pelo terminal de usuário, e/ou diferentes potências de transmissão utilizadas na transmissão piloto MIMO no uplink e de dados no downlink.

A Figura 1 mostra um esquema de transmissão de piloto e dados 100 exemplar para transmitir dados em auto-modos do canal MIMO no downlink. A linha de tempo para o ponto de acesso e a linha de tempo para o terminal de usuário não estão necessariamente desenhadas em escala na Figura 1.

Inicialmente, o ponto de acesso envia ao terminal de usuário uma solicitação de piloto, que pode ser denominada de solicitação de piloto (Sol Piloto) ou solicitação de treinamento (TRQ) (bloco 110). O terminal de usuário recebe a solicitação de piloto e, em resposta, transmite um piloto MIMO não-direcionado em um pacote sonoro (bloco 112). O ponto de acesso recebe o piloto MIMO não-direcionado, estima a matriz de resposta de canal $\underline{H}$, e

decompõe $\mathbf{H}$ de modo a obter auto-vetores. O ponto de acesso então transmite um piloto MIMO direcionado e uma solicitação de realimentação de taxa, que pode ser denominada de solicitação de taxa (Sol Taxa) ou solicitação MCS (MRQ) (bloco 114). O terminal de usuário recebe o piloto MIMO direcionado, estima a SNR de cada auto-modo com base no piloto MIMO direcionado, e seleciona taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos. O terminal de usuário em seguida envia de volta as taxas selecionadas para os auto-modos (bloco 116). O ponto de acesso recebe as taxas selecionadas do terminal de usuário, processa (por exemplo, codifica e modula) os dados com base nas taxas selecionadas, e processa espacialmente os dados com base nos auto-vetores. O ponto de acesso transmite então um piloto MIMO direcionado e dados direcionados ao terminal de usuário (bloco 118).

O esquema de transmissão 100 permite que o ponto de acesso transmita dados a taxas apropriadas nos auto-modos de $\mathbf{H}$ sem necessidade do terminal de usuário efetuar decomposição de valor singular. Entretanto, quatro transmissões de overhead são necessárias para os blocos de 110 a 116 de modo a transmitir dados com auto-direcionamento no bloco 118. As quatro transmissões de overhead podem eliminar o ganho em uma capacidade de transmissão total mais elevada obtida com o auto-direcionamento. Como exemplo, para um sistema no qual as quatro transmissões de overhead exigem 264 microssegundos (μs), quando a taxa de dados bruta com auto-direcionamento é supostamente de 140 Mbps, e a taxa de dados bruta sem auto-direcionamento é supostamente 35% mais baixa, o tamanho da carga útil deve ultrapassar 8 quilobytes de modo a amortizar o overhead para o auto-direcionamento. Para

tamanhos de carga útil menores, o desempenho é melhor sem auto-direcionamento por causa do overhead mais baixo.

A Figura 2 mostra um processo 200 para transmitir dados em auto-modos do canal MIMO de downlink com baixo overhead. Inicialmente, o ponto de acesso envia uma solicitação de piloto e informação de realimentação, como, por exemplo, TRQ e MRQ (bloco 212). O ponto de acesso transmite também um piloto MIMO não-direcionado de downlink (DL), como, por exemplo, juntamente com a solicitação de piloto e informação de realimentação (bloco 214).

O terminal de usuário recebe e processa o piloto MIMO não-direcionado de downlink e estima a qualidade do canal de downlink, que pode ser quantificada como descrito a seguir (bloco 216). O terminal de usuário então envia a informação de realimentação que indica a qualidade do canal de downlink para o ponto de acesso (bloco 218). O terminal de usuário também transmite um piloto MIMO não-direcionado de uplink (UL), por exemplo, juntamente com a informação de realimentação (bloco 220).

O ponto de acesso recebe o piloto MIMO não-direcionado de uplink, estima a matriz de resposta de canal $\underline{H}$ com base no piloto MIMO não-direcionado, e decompõe $\underline{H}$ de modo a obter auto-vetores $\underline{V}$ e valores singulares para os auto-modos de $\underline{H}$ (bloco 222). O ponto de acesso também processa o piloto MIMO não-direcionado de uplink e estima a qualidade do canal de uplink (bloco 224). O ponto de acesso estima então as SNRs dos auto-modos com base na qualidade do canal de uplink estimada, nos valores singulares, e nas informações de realimentação do terminal de usuário, como descrito a seguir (bloco 226). O ponto de acesso seleciona as taxas para os auto-modos com base nas SNRs estimadas dos auto-modos (bloco 228). O ponto de acesso em seguida processa (por exemplo, codifica e modula) os dados com base

nas taxas selecionadas para obter símbolos de dados (bloco 230). O ponto de acesso executa processamento espacial nos símbolos de dados com os auto-vetores $\mathbf{V}$, por exemplo, como mostrado na equação (3), e transmite dados direcionados e um piloto MIMO direcionado de downlink nos auto-modos para o terminal de usuário (bloco 232). O ponto de acesso informa ao terminal de usuário das taxas utilizadas na transmissão de dados de downlink atual.

O terminal de usuário recebe o piloto MIMO direcionado de downlink e estima a matriz de resposta de canal efetiva $\mathbf{H}_{\text{efet}}$ (bloco 234). O terminal de usuário em seguida executa processamento espacial do receptor na transmissão de dados de downlink com $\mathbf{H}_{\text{efet}}$, por exemplo, como mostrado nas equações (5) a (8) (bloco 236). O terminal de usuário processa (por exemplo, demodula e decodifica) os símbolos de dados detectados com base nas taxas selecionadas pelo ponto de acesso de modo a obter dados decodificados (bloco 238).

A Figura 3 mostra um esquema de transmissão piloto e dados aperfeiçoado 300, que pode ser utilizado no processo 200 da Figura 2. Para o esquema 300, o ponto de acesso envia uma solicitação piloto e informação de realimentação e um piloto MIMO não-direcionado de downlink em uma primeira transmissão de overhead (bloco 310). A primeira transmissão de overhead pode ser, por exemplo, uma mensagem de Controle Agregado de Iniciador (IAC) com os campos de solicitação de treinamento (TRQ) e solicitação MCS (MRQ) sendo configurados (ou IAC+TRQ+MRQ). O terminal de usuário envia um piloto MIMO não-direcionado de uplink e informação de realimentação em uma segunda transmissão de overhead (bloco 312). A segunda transmissão de overhead pode ser, por exemplo, uma mensagem de Controle Agregado de Responder (RAC) com um campo de realimentação MCS (MFB)

sendo configurado e incluindo também um pacote sonoro (ou RAC+MFB+pacote sonoro). O ponto de acesso então transmite um piloto MIMO direcionado e dados direcionados ao terminal de usuário (bloco 314).

5 O esquema de transmissão 300 permite que o ponto de acesso transmita dados às taxas apropriadas nos auto-modos de H utilizando apenas duas transmissões de overhead. Comparando o esquema 300 da Figura 3 com o esquema 100 da Figura 1, os blocos 110 e 114 na Figura 1 são
10 essencialmente combinados no bloco 310 na Figura 3, e os blocos 112 e 116 da Figura 1 são essencialmente combinados no bloco 312 na Figura 3. A diferença principal entre os dois esquemas é que o terminal de usuário envia de volta (1) as taxas para os auto-modos no bloco 116 (uma vez que um piloto MIMO direcionado está disponível) e (2)
15 informações de realimentação para o canal MIMO de downlink no bloco 312 (uma vez que um piloto MIMO não-direcionado está disponível). Para o esquema 300, o ponto de acesso executa processamento adicional para selecionar as taxas
20 para transmissão de dados nos auto-modos do downlink.

No bloco 214 da Figura 2 e no bloco 310 da Figura 3, o ponto de acesso envia T transmissões piloto de antenas T de AP para o piloto MIMO não-direcionado de downlink. O terminal de usuário pode estimar a SNR para cada antena de
25 AP com base na transmissão piloto recebida desta antena AP. As SNRs para as antenas T de AP são chamadas SNRs de downlink e são denotadas como SNR_{dl} para $i = 1, \dots, T$.

O terminal de usuário pode enviar as informações de realimentação sob diversas formas. Em uma modalidade, as
30 informações de realimentação compreendem valores quantificados das SNRs de downlink. Em outra modalidade, o terminal de usuário deriva uma SNR de downlink média como a seguir:

$$SNR_{dl} = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^T SNR_{dl,i} \quad \text{Eq (15)}$$

As informações de realimentação compreendem então um valor quantificado da SNR_{dl} . As SNRs de downlink e a SNR de downlink média são formas diferentes de uma estimativa SNR para o downlink.

- 5 Em ainda outra modalidade, o terminal de usuário seleciona um conjunto de taxas com base nas SNRs de downlink. As informações de realimentação compreendem as taxas selecionadas, que podem ser vistas como valores quantificados grosseiros das SNRs de downlink. Em ainda
- 10 outra modalidade, o terminal de usuário seleciona uma única taxa com base na SNR de downlink média, e as informações de realimentação compreendem a taxa selecionada. Em ainda
- 15 outra modalidade, o terminal de usuário seleciona uma combinação de taxas com base nas SNRs de downlink, e as informações de realimentação compreendem a combinação de
- 20 taxas selecionadas. Em ainda outra modalidade, as informações de realimentação compreendem uma capacidade de transmissão total para as taxas selecionadas ou a
- 25 combinação de taxas selecionadas. Em ainda outra modalidade, as informações de realimentação compreendem um piso de ruído ou variância de ruído $\sigma^2_{ruído}$ observada no terminal de usuário.

Em ainda outra modalidade, as informações de realimentação compreendem confirmações (ACKs) e/ou

25 confirmações negativas (NAKs) enviadas pelo terminal de usuário para pacotes de dados recebidos do ponto de acesso. O ponto de acesso pode manter uma malha de controle de potência que ajusta a SNR alvo para o terminal de usuário com base nas ACKs/NAKs recebidas. O ponto de acesso pode

utilizar a SNR alvo para selecionar as taxas apropriadas para transmissão no downlink, como descrito a seguir.

Em geral, as informações de realimentação podem compreender qualquer tipo de informação que indique a
5 qualidade do canal de downlink. As informações de realimentação podem compreender informações enviadas por uma ou mais camadas, tais como uma camada física, uma camada de link, e assim por diante.

As informações de realimentação podem ser
10 enviadas de diversas maneiras. Em uma modalidade, as informações de realimentação são enviadas em uma mensagem que tem formato e campos apropriados. Esta mensagem pode ser uma mensagem de controle na camada de link e pode ser enviada sempre que houver informações de realimentação a
15 serem enviadas. Em outra modalidade, as informações de realimentação são enviadas em um ou mais campos designados de um quadro ou pacote, como, por exemplo, na camada física. Os campos designados podem estar disponíveis em cada quadro ou pacote que é transmitido e podem ser
20 configurados sempre que houver informações de realimentação a serem enviadas.

O ponto de acesso pode selecionar as taxas para os auto-modos de diversas maneiras, como, por exemplo, de acordo com o tipo de informação de realimentação recebida
25 do terminal de usuário. Para simplificar a seleção de taxa pelo ponto de acesso, pode-se presumir que o ruído e a interferência no terminal de usuário sejam aproximadamente constantes através da dimensão espacial, e pode-se presumir que o ruído e a interferência no ponto de acesso sejam
30 aproximadamente constantes através da dimensão espacial.

Em uma modalidade, as SNRs dos auto-modos são estimadas como a seguir:

$$SNR_{fcsi,dl,m} = SNR_{fcsi,ul,m} - (SNR_{ul} - SNR_{dl}), \quad \text{Eq (16)}$$

onde SNR_{dl} é uma estimativa SNR para o downlink;

SNR_{ul} é uma estimativa SNR para o uplink;

$SNR_{fcsi,ul,m}$ é a SNR do auto-modo m no uplink; e

5 $SNR_{fcsi,dl,m}$ é uma estimativa da SNR do auto-modo m no downlink.

As SNRs na equação (16) estão todas em unidades de dB. O ponto de acesso pode obter a SNR_{dl} com base nas informações de realimentação do terminal de usuário e pode obter a SNR_{ul} com base no piloto MIMO não-direcionado uplink. O
 10 ponto de acesso pode obter a $SNR_{fcsi,ul,m}$ para cada auto-modo (1) decompondo $\mathbf{H}$ de modo a obter os valores singulares de $\mathbf{H}$ e (2) computando a $SNR_{fcsi,ul,m}$ para $m = 1, \dots, S$, por exemplo, como mostrado na equação (9), onde $\sigma^2_{ruído}$ é a variância de ruído no ponto de acesso.

15 Em outra modalidade, as SNRs dos auto-modos são estimadas como a seguir:

$$SNR_{fcsi,dl,m} = SNR_{fcsi,ul,m} - (SNR_{ul} - SNR_{dl}) - SNR_{bo}, \quad \text{Eq (17)}$$

onde SNR_b é um fator de recuo utilizado para dar conta dos erros de estimação. O fator de recuo pode ser selecionado com base em diversas considerações, tais como, por exemplo,
 20 o tipo de informação de realimentação (por exemplo, SNRs ou taxas) enviado pelo terminal de usuário, o envelhecimento da informação de realimentação, e assim por diante.

Em outra modalidade, a informação de realimentação compreende uma ou mais taxas selecionadas
 25 pelo terminal de usuário. O ponto de acesso pode converter as taxas em SNRs e então computar a SNR de downlink média com base nas SNRs convertidas, como apresentado na equação (15). O ponto de acesso pode então usar a SNR de downlink

média para estimar as SNRs dos automodos, por exemplo, como mostrado na equação (16) ou (17). Em ainda outra modalidade, a informação de realimentação compreende a capacidade de transmissão total para o downlink. O ponto de
 5 acesso pode converter a capacidade de transmissão total em uma SNR de downlink total. O ponto de acesso pode também derivar uma SNR de uplink total e pode utilizar as SNRs de downlink e uplink totais para estimar as SNRs dos automodos.

10 Em ainda outra modalidade, as SNRs dos auto-modos são estimadas como a seguir:

$$SNR_{fcsi,dl,m} = SNR_{fcsi,ul,m} + ASYM(AP,UT), \quad \text{Eq (18)}$$

onde $ASYM(AP, UT)$ é um parâmetro assimétrico que indica a diferença na SNR recebida no terminal de usuário quando o ponto de acesso transmite a um nível de potência conhecido
 15 em um canal conhecido para o terminal de usuário. Por exemplo, o ponto de acesso pode ser equipado com quatro antenas, transmitir a 17 dBm e ter um valor de ruído de 6 dB. O terminal de usuário pode ser equipado com duas antenas, transmitir a 10 dBm, e ter um valor de ruído de 10
 20 dB. O RLS observado no terminal de usuário quando o ponto de acesso transmite à potência total em um canal sem perdas pode ser computado como:

$$RSL(AP \rightarrow UT) = 17dBm - 10dB - 10\log_{10}(2) = 10dBm. \quad \text{Eq (19)}$$

O RSL observado no ponto de acesso quando o terminal de usuário transmite à potência total em um canal sem perdas
 25 pode ser computado como:

$$RSL(UT \rightarrow AP) = 14dBm - 6dB - 10\log_{10}(4) = 14dBm. \quad \text{Eq (20)}$$

O parâmetro assimétrico ASYM (AP, UT) pode ser então computado como:

$$ASYM(AP, UT) = RSL(AP \rightarrow UT) - RSL(UT \rightarrow AP) = -4dBm. \quad \text{Eq (21)}$$

O parâmetro assimétrico pode ser também determinado com base nas SNRs recebidas no ponto de acesso e no terminal de usuário, como a seguir:

$$ASYM(AP, UT) = SNR_{ut} - SNR_{ap}, \quad \text{Eq (22)}$$

onde SNR_{ap} é uma estimativa SNR para o uplink, e

SNR_{ut} é uma estimativa SNR para o downlink.

O ponto de acesso pode obter a SNR_{ap} com base em um piloto MIMO não-direcionado recebido do terminal de usuário. O ponto de acesso pode derivar a SNR_{ut} com base na informação de realimentação (como, por exemplo, SNR, taxa, ACK/NAK, e assim por diante) enviadas pelo terminal de usuário. Por exemplo, a SNR_{ut} pode ser uma SNR alvo que é ajustada com base nas ACKs/NAKs recebidas do terminal de usuário.

Em geral, as SNRs dos auto-modos podem ser estimadas de diversas maneiras com base na informação de realimentação e no piloto MIMO não-direcionado de uplink recebidos do terminal de usuário. O ponto de acesso seleciona as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos. O ponto de acesso pode selecionar uma taxa para cada auto-modo com base na SNR deste auto-modo. O ponto de acesso pode também selecionar uma combinação de taxas com base nas SNRs de todos os auto-modos.

Para o esquema 300 na Figura 3, o terminal de usuário transmite um piloto MIMO não-direcionado e informação de realimentação em uma única transmissão de

overhead. O terminal de usuário pode também enviar o piloto e a informação de realimentação separadamente.

A Figura 4 mostra outro esquema de transmissão de piloto e dados 400 para auto-direcionamento no downlink com
 5 baixo overhead. O esquema 400 pode ser utilizado em um cenário no qual o ponto de acesso já tem informação de realimentação do terminal de usuário, como, por exemplo, de uma transmissão de dados anterior para o terminal de usuário. Para o esquema 400, o ponto de acesso envia uma
 10 solicitação de piloto (bloco 410). O terminal de usuário recebe a solicitação de piloto e, em resposta, transmite um piloto MIMO não-direcionado de uplink (bloco 412). O ponto de acesso estima a matriz de resposta de canal $\underline{H}$ com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink, decompõe $\underline{H}$ para
 15 obter os auto-vetores e valores singulares, e deriva uma estimativa SNR de uplink com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink. O ponto de acesso seleciona as taxas para os auto-modos com base nos valores singulares, na estimativa SNR de uplink, e na informação de realimentação
 20 já disponível no ponto de acesso. O ponto de acesso pode utilizar um fator de recuo apropriado na equação (17) de modo a dar conta do envelhecimento da informação de realimentação. Por exemplo, um fator de recuo progressivamente maior pode ser utilizado para informações
 25 de realimentação progressivamente mais antigas. O ponto de acesso então transmite um piloto MIMO direcionado e dados direcionados para o terminal de usuário (bloco 414).

Os esquemas 100, 300 e 400 são para transmissão de dados de downlink iniciada pelo ponto de acesso. A
 30 transmissão de dados no downlink pode ser também iniciada pelo terminal de usuário.

A Figura 5 mostra um esquema de transmissão de piloto e dados 500 para transmissão de dados direcionados

iniciada pelo UT no downlink. Para o esquema 500, o terminal de usuário envia uma solicitação de transmissão de dados de downlink e de um piloto MIMO não-direcionado de uplink (bloco 512). O ponto de acesso deriva auto-vetores com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink, envia uma solicitação de piloto e informações sobre taxas, e transmite um piloto MIMO direcionado de downlink (bloco 514). O terminal de usuário estima as SNRs dos auto-modos com base no piloto MIMO direcionado de downlink, seleciona as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos, e envia as taxas selecionadas (bloco 516). O ponto de acesso processa os dados com base nas taxas selecionadas pelo terminal de usuário e transmite um piloto MIMO direcionado de downlink e dados direcionados para o terminal de usuário (bloco 518). O esquema 500 na Figura 5 é semelhante ao esquema 100 na Figura 1, exceto pelo fato de que a transmissão de dados de downlink é iniciada por uma solicitação de dados enviada pelo terminal de usuário no esquema 500 em vez de uma solicitação de piloto enviada pelo ponto de acesso no esquema 100. O esquema 500 exige três transmissões de overhead para suportar auto-direcionamento no downlink.

A Figura 6 mostra um esquema de transmissão de piloto e dados aperfeiçoado 600 para transmissão de dados direcionados iniciada pelo UT no downlink com baixo overhead. Para o esquema 600, o terminal de usuário envia uma solicitação de transmissão de dados no downlink, um piloto MIMO não-direcionado no uplink, e possivelmente informação de realimentação (bloco 612). A informação de realimentação pode compreender (1) o piso de ruído ou variância de ruído $\sigma^2_{\text{ruído}}$ observada pelo terminal de usuário, (2) SNRs dos auto-modos estimadas em uma transmissão de dados de downlink anterior, ou (3) alguma

outra informação indicativa da qualidade do canal de downlink. O ponto de acesso deriva auto-vetores e valores singulares com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink e seleciona as taxas para os auto-modos com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink e na informação de realimentação. O ponto de acesso então processa os dados com base nas taxas selecionadas e transmite um piloto MIMO direcionado de downlink e dados direcionados ao terminal de usuário (bloco 614). O esquema 600 exige uma única transmissão de overhead para suportar auto-direcionamento no downlink.

As técnicas de seleção de taxa podem ser utilizadas na transmissão de dados de downlink do ponto de acesso para o terminal de usuário, como descrito acima. Estas técnicas podem ser também utilizadas na transmissão de dados de uplink do terminal de usuário para o ponto de acesso e na transmissão de dados ponto-a-ponto, como, por exemplo, de um terminal de usuário para outro terminal de usuário. Em geral, a estação transmissora pode ser um ponto de acesso ou um terminal de usuário, e a estação receptora pode ser também um ponto de acesso ou um terminal de usuário. Com a utilização das técnicas aqui descritas, apenas a estação transmissora necessita efetuar a decomposição, e um baixo overhead é necessário para o auto-direcionamento.

A Figura 7 mostra um processo 700 para transmitir dados em auto-modos com baixo overhead. Um piloto (por exemplo, um piloto MIMO não-direcionado) é recebido por meio de um link de comunicação (por exemplo, o uplink) (bloco 712). A informação de realimentação indicativa da qualidade do canal de um segundo link de comunicação (por exemplo, o downlink) é também recebida (bloco 714). O piloto e a informação de realimentação podem ser recebidos

de uma única transmissão ou de várias transmissões. O piloto e a informação de realimentação podem ser enviados em resposta a uma solicitação de piloto e informação de realimentação, como mostrado na Figura 3, ou podem ser enviados juntamente com uma solicitação de dados, como mostrado na Figura 6. A informação de realimentação pode ser derivada com base em um piloto transmitido por meio do segundo link de comunicação, como mostrado na Figura 3. Seja como for, as taxas para os auto-modos do segundo link de comunicação são selecionadas com base na informação de realimentação e no piloto recebidos por meio do primeiro link de comunicação, por exemplo, como descrito acima para o processo 200 na Figura 2 (bloco 716). Os dados são processados com base nas taxas selecionadas e transmitidos nos auto-modos do segundo link de comunicação (bloco 718).

As técnicas de seleção de taxa aqui descritas podem ser utilizadas em sistemas MIMO de portadora única e múltiplas-portadoras. Múltiplas portadoras podem ser apresentadas pela multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) ou por algumas outras construções. A OFDM particiona de maneira eficaz a largura de banda total do sistema em múltiplas sub-bandas ortogonais (K), que são também denominadas de tons, subportadoras, binários e canais de frequência. Com OFDM, cada sub-banda é associada a uma respectiva subportadora que pode ser modulada com dados.

Para um sistema MIMO que utiliza OFDM, uma matriz de resposta de canal $\underline{H}(k)$ pode ser obtida para cada sub-banda k e decomposta para obtenção dos auto-modos desta sub-banda. Os valores singulares em cada matriz diagonal $\underline{\Sigma}(k)$, para $k = 1, \dots, K$, podem ser ordenados de modo que a primeira coluna contenha o maior valor singular, a segunda coluna contenha o próximo maior valor singular, e assim por

diante, ou $\sigma_1(k) \geq \sigma_2(k) \geq \dots \geq \sigma_s(k)$, onde $\sigma_m(k)$ é o valor singular na m -ésima coluna de $\underline{\Sigma}(k)$ após o ordenamento. Quando os valores singulares em cada matriz $\underline{\Sigma}(k)$ são ordenados, os auto-vetores (ou colunas) da matriz $\underline{V}(k)$ para esta sub-banda são também ordenados correspondentemente. Um auto-modo de banda larga pode ser definido como o conjunto de auto-modos da mesma ordem de todas as K sub-bandas após o ordenamento, como, por exemplo, o auto-modo de banda larga m inclui o auto-modo m de todas as K sub-bandas. Cada auto-modo de banda larga está associado a um conjunto de K auto-vetores para as K sub-bandas. A seleção de taxa pode ser efetuada para os S auto-modos de banda larga, como, por exemplo, de maneira semelhante ao descrito acima para um sistema MIMO de portadora única.

A Figura 8 mostra um diagrama em blocos de um ponto de acesso 810 e um terminal de usuário 850. No ponto de acesso 810, um processador de dados/piloto 820 recebe dados de tráfego de uma fonte de dados 812, processa (por exemplo, codifica, intercala e modula) os dados de tráfego, e gera símbolos de dados. Um fluxo de dados pode ser enviado em cada auto-modo, e cada fluxo de dados pode ser codificado e modulado com base na taxa selecionada para este fluxo/auto-modo. O processador 820 também gera símbolos piloto para pilotos MIMO não-direcionados e direcionados. Um processador de transmissão espacial (TX) 830 executa processamento espacial nos símbolos de dados e piloto com auto-vetores e provê T fluxos de símbolos de transmissão para T unidades transmissoras (TMTR) 832a a 832t. Cada unidade transmissora 832 condiciona um respectivo fluxo de símbolos de transmissão e gera um sinal modulado correspondente. T sinais modulados das unidades

transmissoras 832a a 832t são transmitidos de T antenas 834a a 834t, respectivamente.

No terminal de usuário 850, R antenas 852a a 852r recebem os sinais modulados transmitidos pelo ponto de acesso 810, e cada antena provê um sinal recebido para uma respectiva unidade receptora (RCVR) 854. Cada unidade receptora 854 executa um processamento complementar a este executado pelas unidades transmissoras 832 e gera símbolos recebidos. Um processador espacial de recepção (RX) 860 efetua filtragem associada espacial nos símbolos recebidos de todas as R unidades receptoras 854 com base em uma matriz de filtro espacial e gera símbolos de dados detectados. Um processador de dados RX 870 processa (por exemplo, demodula, deintercala e decodifica) os símbolos de dados detectados e gera dados decodificados.

Controladores 840 e 880 controlam o funcionamento de várias unidades de processamento no ponto de acesso 810 e no terminal de usuário 850, respectivamente. As unidades de memória 842 e 882 armazenam dados e códigos de programa utilizados pelos controladores 840 e 880, respectivamente.

Na seleção de taxa, um processador de canal 878 estima a qualidade do canal de downlink e gera uma estimativa de qualidade de canal de downlink. O controlador 880 provê informação de realimentação que indica a qualidade do canal de downlink. A informação de realimentação e os símbolos piloto para um piloto MIMO não-direcionado são processados por um processador de dados/piloto 890 e um processador espacial TX 892 para gerar R fluxos de símbolos de transmissão. R unidades transmissoras de 854a a 854r condicionam os R fluxos de símbolos de transmissão e geram R sinais modulados, que são enviados por meio de R antenas 852a a 852r.

No ponto de acesso 810, os sinais modulados do terminal de usuário 850 são recebidos por T antenas 834 e processados por T unidades receptoras 832 para obter símbolos recebidos. Os símbolos recebidos são também processados por um processador espacial RX 844 e um processador de dados RX 842 para obter a informação de realimentação do terminal de usuário 850. Um processador de canal 838 recebe o piloto MIMO não-direcionado do terminal de usuário 850 e deriva uma estimativa de canal para o uplink. A estimativa de canal pode compreender uma matriz de resposta de canal $\underline{H}$ e uma estimativa de qualidade de canal de uplink. O processador de canal 838 decompõe $\underline{H}$ para obter auto-vetores e valores singulares para os auto-modos de $\underline{H}$ e provê os auto-vetores para o processador espacial TX 830. O controlador 840 recebe a estimativa de qualidade de canal de uplink e os valores singulares do processador de canal 838 e a informação de realimentação do processador de dados RX 846, estima as SNRs dos auto-modos, seleciona as taxas para os auto-modos, e provê as taxas selecionadas para o processador de dados TX 820.

O processamento para transmitir dados nos auto-modos do canal MIMO de uplink pode ser executado de maneira semelhante à descrita acima para o downlink.

As técnicas de seleção de taxa aqui descritas podem ser implementadas de vários modos. Por exemplo, estas técnicas podem ser implementadas em hardware, software ou uma combinação destes. Para uma implementação em hardware, as várias unidades no ponto de acesso podem ser implementadas dentro de um ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), processadores de sinal digital (DSPs), dispositivos de processamento de sinal digital (DSPDs), matriz de portas programável em campo (FPGAs), processadores, controladores, microcontroladores,

microprocessadores, dispositivos eletrônicos, outras unidades eletrônicas projetadas para executar as funções aqui descritas, ou uma combinação destes. As diversas unidades no terminal de usuário podem ser também
5 implementadas dentro de um ou mais ASICs, DSPs, processadores, e assim por diante.

Para uma implementação em software, as técnicas podem ser implementadas com módulos (como, por exemplo, procedimentos, funções, e assim por diante) que executem as
10 funções aqui descritas. Os códigos de software podem ser armazenados em uma unidade de memória (por exemplo, a unidade de memória 842 ou 882 na Figura 8) e executados por um processador (por exemplo, controlador 840 ou 880). A unidade de memória pode ser implementada dentro do
15 processador ou fora do processador, e neste caso esta pode ser comunicativamente acoplada ao processador por diversos meios, como conhecido na técnica.

A descrição anterior das modalidades reveladas é apresentada para permitir que qualquer pessoa versada na
20 técnica faça ou utilize a presente invenção. Diversas modificações a estas modalidades serão prontamente evidentes aos versados na técnica, e os princípios gerais aqui definidos podem ser aplicados a outras modalidades sem afastar do conceito inventivo ou escopo da invenção. Assim,
25 a presente invenção não pretende estar limitada às modalidades aqui mostradas, mas deve ser acordado o escopo mais amplo compatível com os princípios e as novas características aqui descritos.

REIVINDICAÇÕES

1. Equipamento, compreendendo:

- um processador de canal para receber um primeiro piloto por meio de um primeiro link de comunicação e para derivar uma estimativa de canal para o primeiro link de comunicação; e

- um controlador para receber informação de realimentação que indica a qualidade de canal de um segundo link de comunicação e para selecionar taxas para auto-modos do segundo link de comunicação com base na informação de realimentação e na estimativa de canal.

2. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual o controlador envia uma solicitação de piloto e informação de realimentação, e no qual o primeiro piloto e a informação de realimentação são enviados em resposta à solicitação.

3. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo também:

- um processador piloto para gerar um segundo piloto para transmissão por meio do segundo link de comunicação, e no qual a informação de realimentação é derivada com base no segundo piloto.

4. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual o processador de canal estima a qualidade de canal do primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto, e no qual o controlador estima as relações sinal/ruído-e-interferência (SNRs) dos auto-modos com base na qualidade de canal estimada do primeiro link de comunicação e na informação de realimentação e também seleciona as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos.

5. Equipamento, de acordo com a reivindicação 4, no qual o processador de canal obtém uma matriz de resposta

de canal e uma estimativa SNR para o primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto e decompõe a matriz de resposta de canal para obter ganhos de canal para os auto-modos, e no qual o controlador estima as SNRs dos auto-modos com base nos ganhos de canal para os auto-modos, na estimativa SNR para o primeiro link de comunicação, e na informação de realimentação.

6. Equipamento, de acordo com a reivindicação 4, no qual o controlador seleciona uma taxa para cada auto-modo com base em uma SNR do auto-modo.

7. Equipamento, de acordo com a reivindicação 4, no qual o controlador seleciona uma combinação de taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos.

8. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual a informação de realimentação compreende uma estimativa de relação sinal/ruído-e-interferência (SNR) para o segundo link de comunicação.

9. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual a informação de realimentação compreende pelo menos uma taxa ou uma capacidade de transmissão total para o segundo link de comunicação.

10. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual a informação de realimentação compreende confirmações ou confirmações negativas para os pacotes de dados.

11. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual o primeiro piloto e a informação de realimentação são recebidos de uma única transmissão enviada por meio do primeiro link de comunicação.

12. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual a informação de realimentação é recebida para uma transmissão de dados anterior enviada por meio do segundo link de comunicação.

13. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo também:

- um processador de dados para processar dados com base nas taxas selecionadas para os auto-modos; e
- 5 - um processador espacial para processar espacialmente os dados para transmissão nos auto-modos.

14. Equipamento, de acordo com a reivindicação 1, no qual o primeiro piloto é um piloto de múltiplas-entradas e múltiplas-saídas (MIMO) não-direcionado enviado de uma
10 primeira pluralidade de antenas e recebido por meio de uma segunda pluralidade de antenas.

15. Método para efetuar seleção de taxa, compreendendo:

- receber um primeiro piloto por meio de um
15 primeiro link de comunicação;
- receber informação de realimentação que indica a qualidade de canal de um segundo link de comunicação; e
- selecionar taxas para auto-modos do segundo link de comunicação com base na informação de realimentação
20 e no primeiro piloto.

16. Método, de acordo com a reivindicação 15, compreendendo também:

- enviar uma solicitação de piloto e informação de realimentação, e no qual o primeiro piloto e a
25 informação de realimentação são enviados em resposta à solicitação.

17. Método, de acordo com a reivindicação 15, compreendendo também:

- transmitir um segundo piloto por meio do
30 segundo link de comunicação, e no qual a informação de realimentação é derivada com base no segundo piloto.

18. Método, de acordo com a reivindicação 15, no qual selecionar as taxas para os auto-modos compreende:

- estimar qualidade de canal do primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto,

- estimar relações sinal/ruído-e-interferência (SNRs) dos auto-modos com base na qualidade de canal
5 estimada do primeiro link de comunicação e na informação de realimentação, e

- selecionar as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos.

19. Método, de acordo com a reivindicação 18, no
10 qual estimar as SNRs dos auto-modos compreende:

- obter uma matriz de resposta de canal para o primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto,

- decompor a matriz de resposta de canal para obter ganhos de canal para os auto-modos, e

15 - derivar as SNRs dos auto-modos com base nos ganhos de canal para os auto-modos, na qualidade de canal estimada do primeiro link de comunicação, e na informação de realimentação.

20. Equipamento, compreendendo:

20 - meios para receber um primeiro piloto por meio de um primeiro link de comunicação;

- meios para receber informação de realimentação que indica a qualidade de canal de um segundo link de comunicação; e

25 - meios para selecionar taxas para os auto-modos do segundo link de comunicação com base na informação de realimentação e no primeiro piloto.

21. Equipamento, de acordo com a reivindicação 20, compreendendo também:

30 - meios para enviar uma solicitação de piloto e informação de realimentação, e no qual o primeiro piloto e a informação de realimentação são enviados em resposta à solicitação.

22. Equipamento, de acordo com a reivindicação 20, compreendendo também:

- meios para transmitir um segundo piloto por meio do segundo link de comunicação, e no qual a informação de realimentação é derivada com base no segundo piloto.

23. Equipamento, de acordo com a reivindicação 20, no qual os meios para selecionar as taxas para os auto-modos compreendem:

- meios para estimar a qualidade de canal do primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto,
- meios para estimar as relações sinal/ruído-e-interferência (SNRs) dos auto-modos com base na qualidade de canal estimada do primeiro link de comunicação e na informação de realimentação, e
- meios para selecionar as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos.

24. Equipamento, de acordo com a reivindicação 23, no qual os meios para estimar as SNRs dos auto-modos compreendem:

- meios para obter uma matriz de resposta de canal para o primeiro link de comunicação com base no primeiro piloto,
- meios para decompor a matriz de resposta de canal para obter ganhos de canal para os auto-modos, e
- meios para derivar as SNRs dos auto-modos com base nos ganhos de canal para os auto-modos, na qualidade de canal estimada do primeiro link de comunicação, e na informação de realimentação.

25. Método para efetuar seleção de taxa em um sistema de comunicação de múltiplas-entradas e múltiplas-saídas (MIMO), compreendendo:

- transmitir um primeiro piloto MIMO não-direcionado por meio de um downlink;

- receber um segundo piloto MIMO não-direcionado e informação de realimentação por meio de um uplink, em que a informação de realimentação indica a qualidade de canal de downlink estimada com base no primeiro piloto MIMO não-direcionado; e

- selecionar taxas para auto-modos do downlink com base na informação de realimentação e no segundo piloto MIMO não-direcionado.

26. Método, de acordo com a reivindicação 25, no qual selecionar as taxas para os auto-modos do downlink compreende:

- estimar a qualidade de canal de uplink com base no segundo piloto MIMO não-direcionado,

- obter uma matriz de resposta de canal para o uplink com base no segundo piloto MIMO não-direcionado,

- decompor a matriz de resposta de canal para obter ganhos de canal para os auto-modos,

- estimar as relações sinal/ruído-e-interferência (SNRs) dos auto-modos com base na qualidade de canal de uplink estimada, nos ganhos de canal para os auto-modos, e na informação de realimentação, e

- selecionar as taxas para os auto-modos com base nas SNRs dos auto-modos.

27. Equipamento, compreendendo:

- um processador piloto para gerar um primeiro piloto para transmissão por meio de um primeiro link de comunicação;

- um controlador para enviar informação de realimentação que indica a qualidade de canal de um segundo link de comunicação; e

- um processador espacial para receber uma transmissão de dados nos auto-modos do segundo link de comunicação, em que a transmissão de dados é enviada a

taxas selecionadas com base no primeiro piloto e na informação de realimentação.

28. Equipamento, de acordo com a reivindicação 27, no qual o controlador recebe uma solicitação de piloto e informação de realimentação e envia o primeiro piloto e a
5 informação de realimentação em resposta à solicitação.

29. Equipamento, de acordo com a reivindicação 27, compreendendo também:

- um processador de canal para receber um segundo
10 piloto por meio do segundo link de comunicação e para derivar uma estimativa da relação sinal/ruído-e-interferência (SNR) para o segundo link de comunicação com base no segundo piloto, e no qual o controlador gera a informação de realimentação com base na estimativa SNR.

15 30. Equipamento, de acordo com a reivindicação 27, no qual o processador piloto gera o primeiro piloto como um piloto de múltiplas-entradas e múltiplas-saídas (MIMO) adequado para transmissão de uma pluralidade de antenas.

20 31. Método para efetuar seleção de taxa, compreendendo:

- transmitir um primeiro piloto por meio de um primeiro link de comunicação;
- enviar informação de realimentação que indica a
25 qualidade de canal de um segundo link de comunicação; e
- receber uma transmissão de dados nos auto-modos do segundo link de comunicação, em que a transmissão de dados é enviada a taxas selecionadas com base no primeiro piloto e na informação de realimentação.

30 32. Método, de acordo com a reivindicação 31, compreendendo também:

- receber uma solicitação de piloto e informação de realimentação, e no qual o primeiro piloto e a

informação de realimentação são enviados em resposta à solicitação.

33. Método, de acordo com a reivindicação 31, compreendendo também:

5 - receber um segundo piloto por meio do segundo link de comunicação;

 - derivar uma estimativa da relação sinal/ruído-e-interferência (SNR) para o segundo link de comunicação com base no segundo piloto; e

10 - gerar a informação de realimentação com base na estimativa SNR.

34. Equipamento, compreendendo:

 - meios para transmitir um primeiro piloto por meio de um primeiro link de comunicação;

15 - meios para enviar informação de realimentação que indica a qualidade de canal de um segundo link de comunicação; e

 - meios para receber uma transmissão de dados nos auto-modos do segundo link de comunicação, em que a
20 transmissão de dados é enviada a taxas selecionadas com base no primeiro piloto e na informação de realimentação.

35. Equipamento, de acordo com a reivindicação 34, compreendendo também:

 - meios para receber uma solicitação de piloto e
25 informação de realimentação, e no qual o primeiro piloto e a informação de realimentação são enviados em resposta à solicitação.

36. Equipamento, de acordo com a reivindicação 34, compreendendo também:

30 - meios para receber um segundo piloto por meio do segundo link de comunicação;

- meios para derivar uma estimativa da relação sinal/ruído-e-interferência (SNR) para o segundo link de comunicação com base no segundo piloto; e

- meios para gerar a informação de realimentação
5 com base na estimativa SNR.

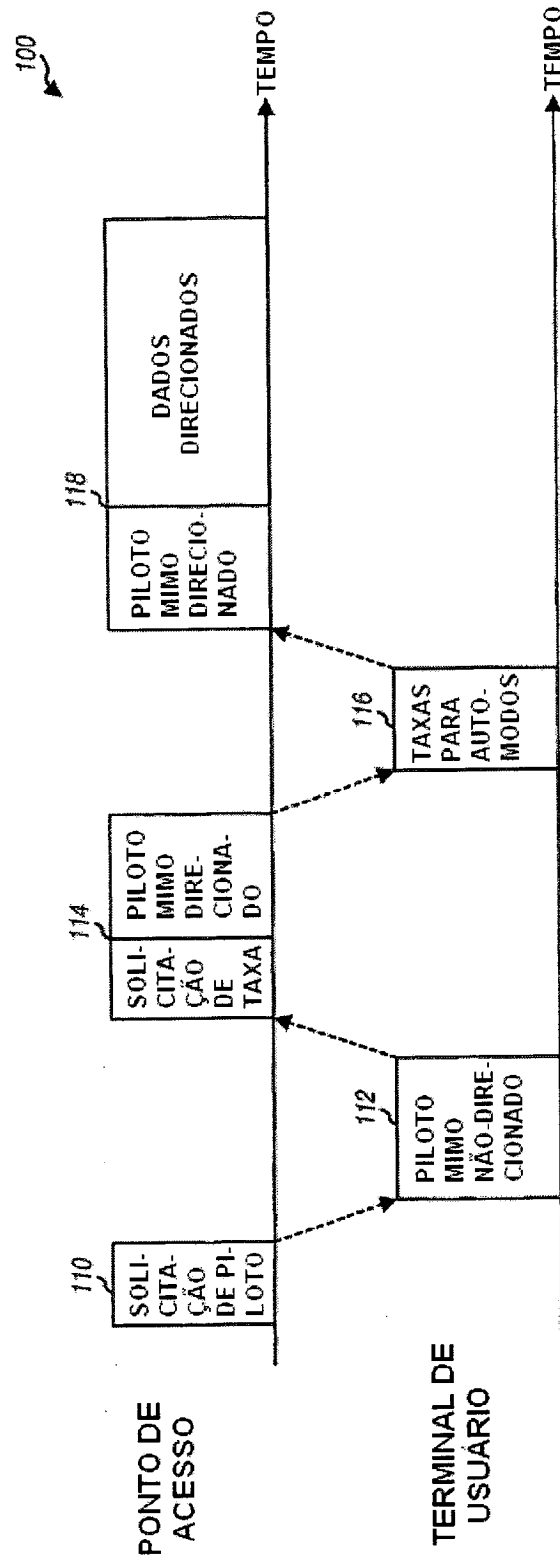


FIG. 1

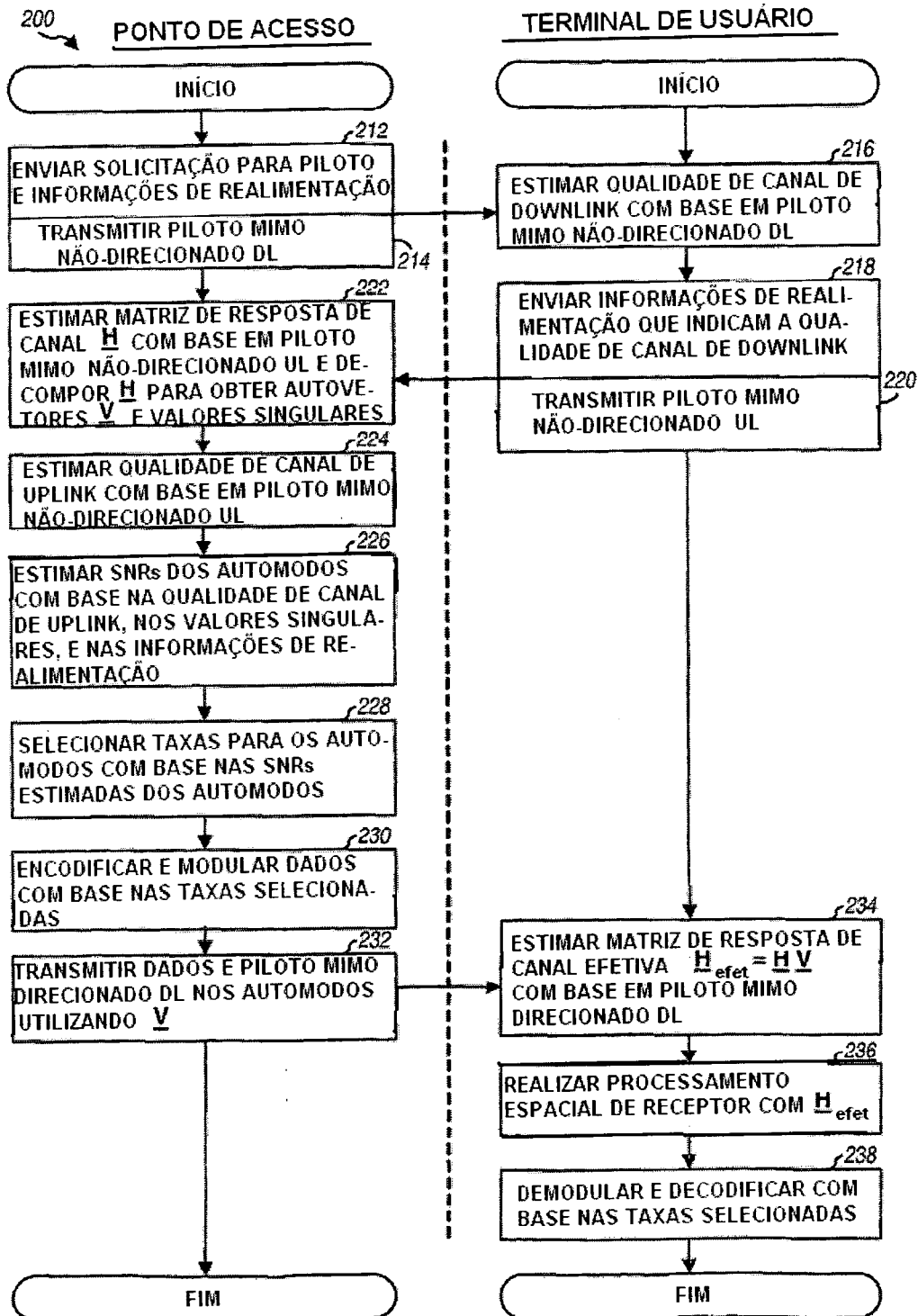
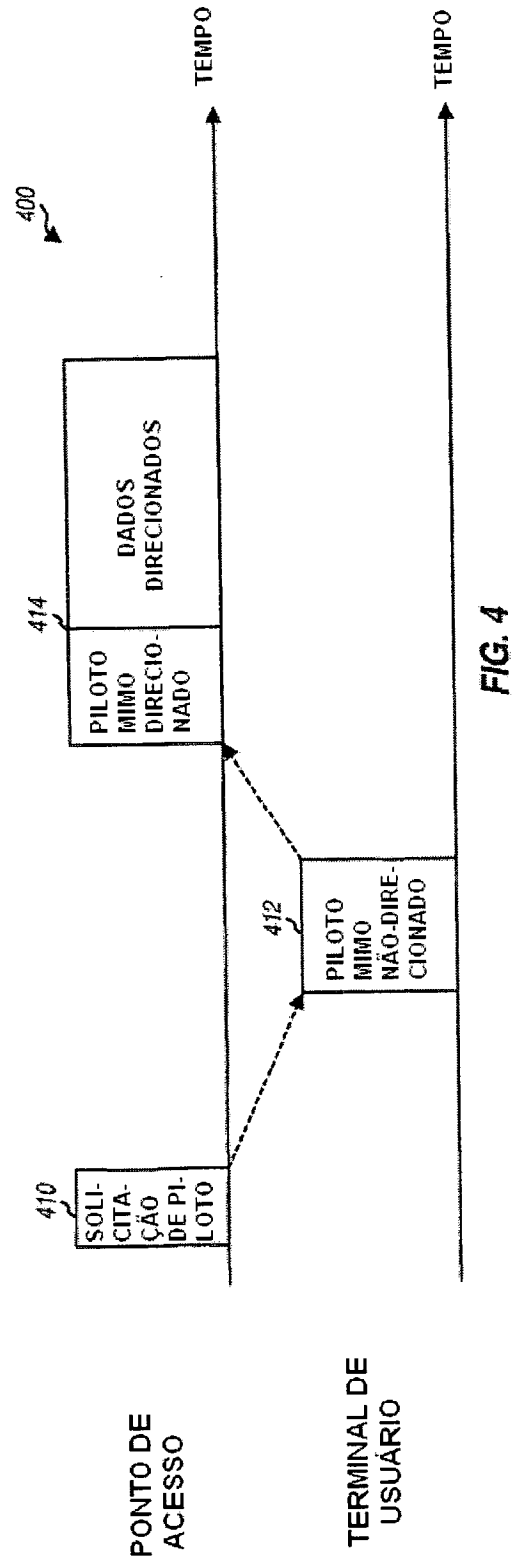
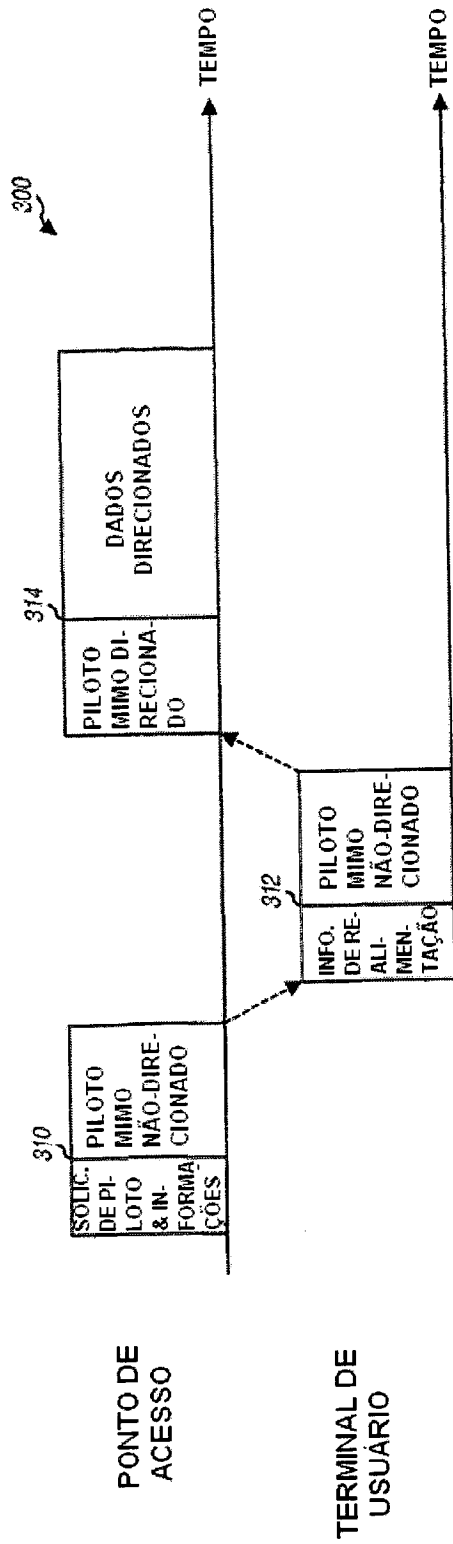


FIG. 2



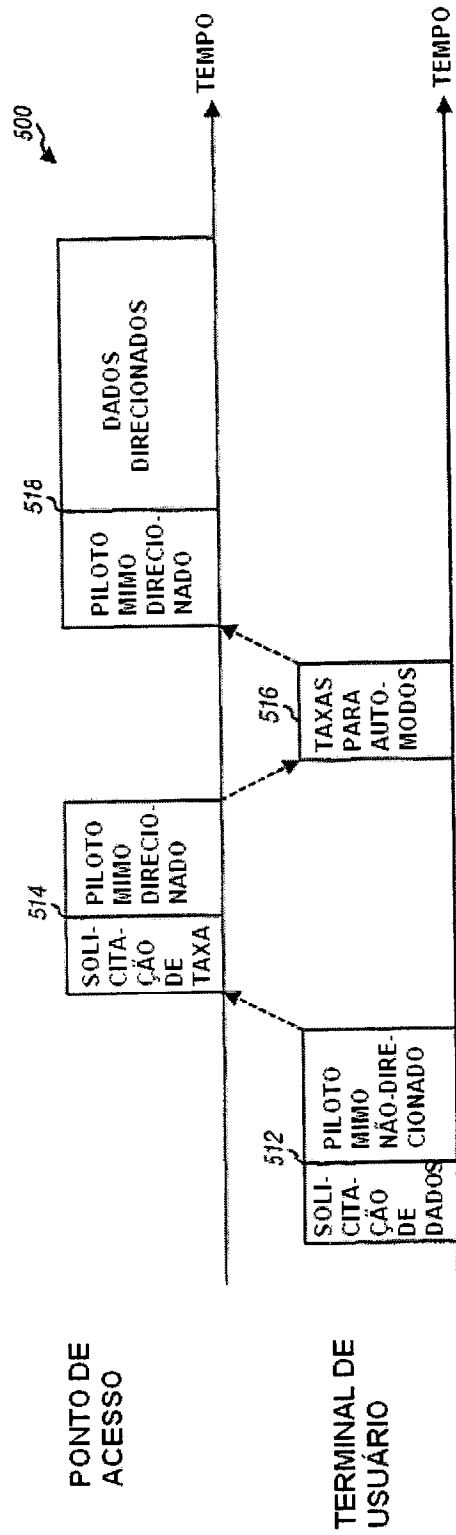


FIG. 5

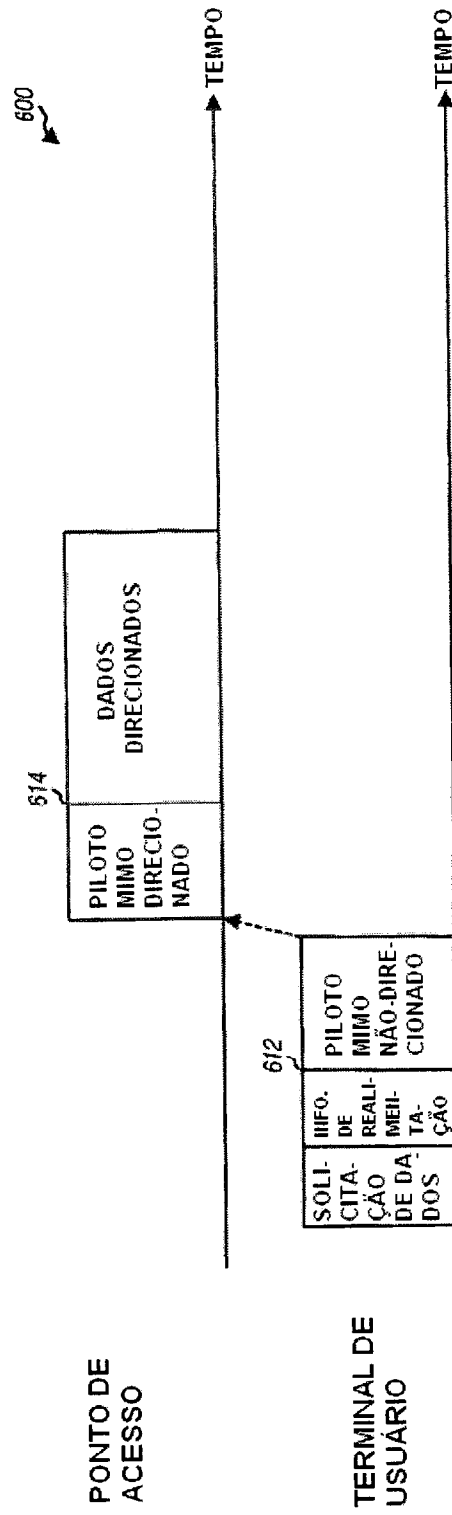
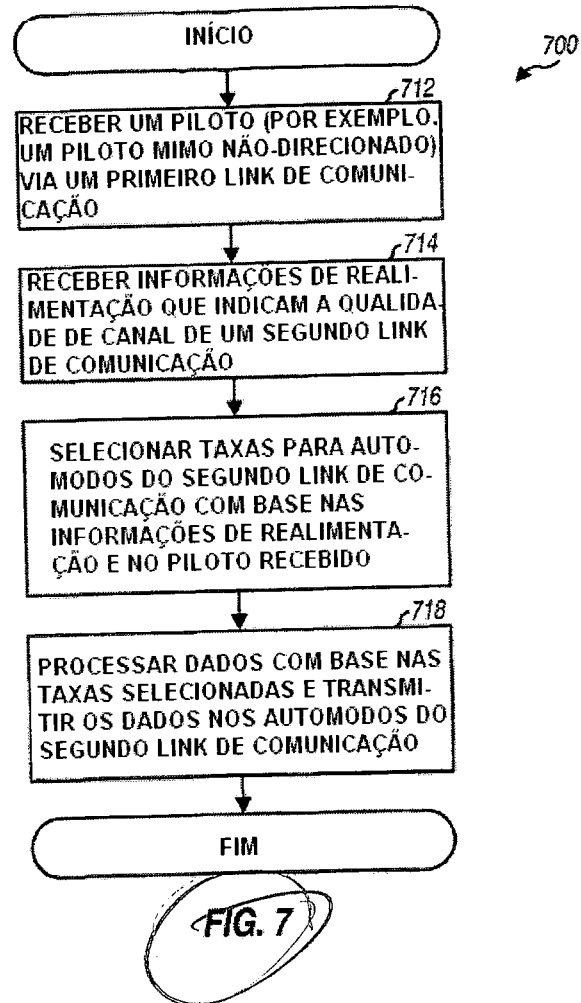
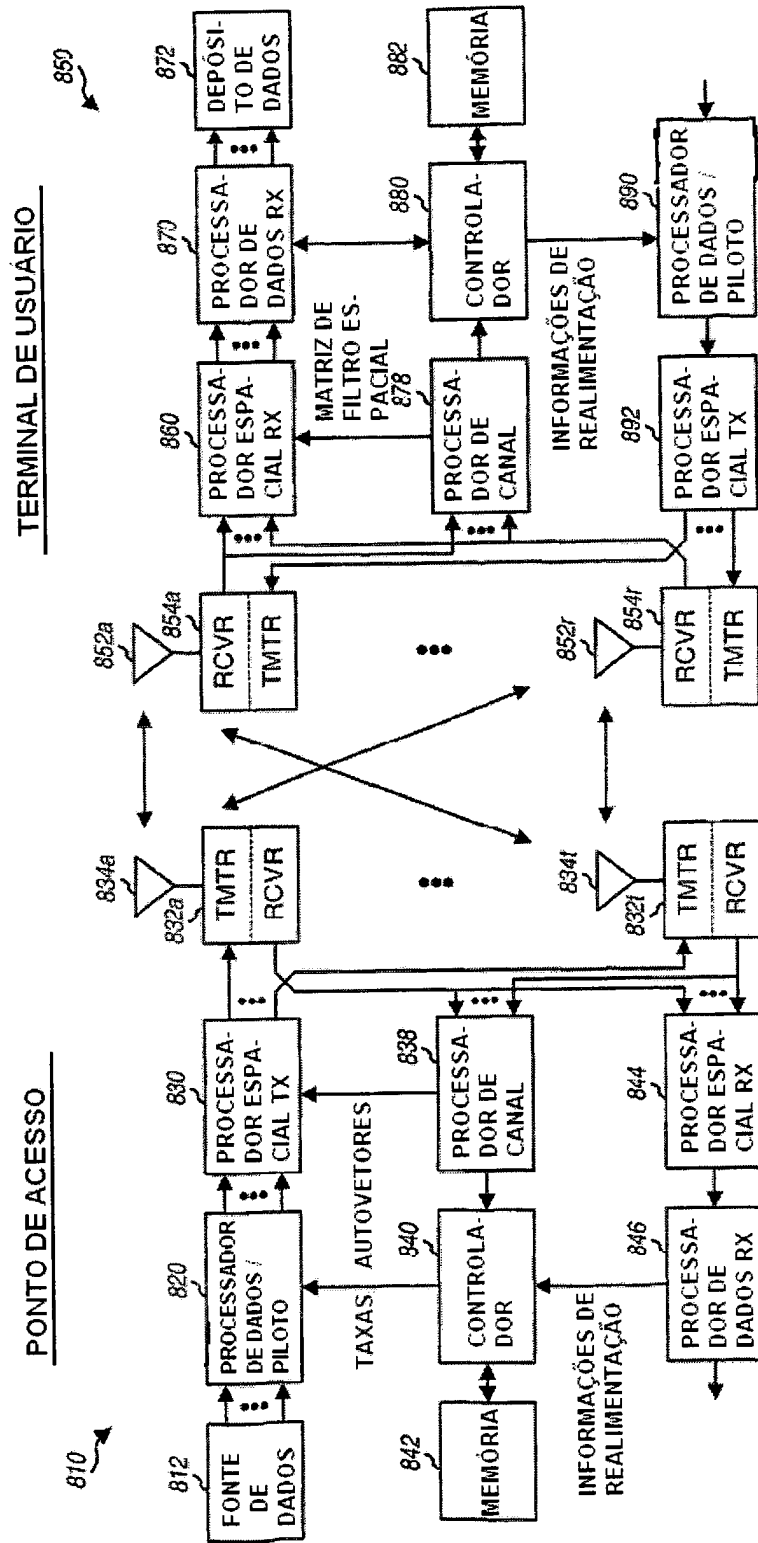


FIG. 6





RESUMO

"SELEÇÃO DE TAXA PARA AUTODIRECIONAMENTO EM UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MIMO".

Técnicas para selecionar taxas para transmissão de dados em auto-modos de um canal MIMO são descritas. Um ponto de acesso transmite um piloto MIMO não-direcionado por meio do downlink. Um terminal de usuário estima a qualidade de canal de downlink com base no piloto MIMO não-direcionado de downlink e transmite um piloto MIMO não-direcionado e informação de realimentação por meio do uplink. A informação de realimentação é indicativa da qualidade do canal de downlink. O ponto de acesso estima a qualidade do canal de uplink e obtém uma matriz de resposta de canal com base no piloto MIMO não-direcionado de uplink, decompõe a matriz de resposta de canal para obter auto-vetores e ganhos de canal para os auto-modos do downlink, e seleciona taxas para os auto-modos com base na qualidade de canal de uplink estimada, nos ganhos de canal para os auto-modos, e na informação de realimentação. O ponto de acesso processa os dados com base nas taxas selecionadas e transmite dados direcionados e um piloto MIMO direcionado nos auto-modos com os auto-vetores.