

(11) Número de Publicação: **PT 2504934 E**

(51) Classificação Internacional:

H04B 7/06 (2015.01) **H04B 7/04** (2015.01)
H04L 25/49 (2015.01) **H04L 25/03** (2015.01)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: **2010.11.22**

(30) Prioridade(s): **2009.11.25 US 264495 P**

(43) Data de publicação do pedido: **2012.10.03**

(45) Data e BPI da concessão: **2015.01.07**
031/2015

(73) Titular(es):

TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON
(PUBL)

164 83 STOCKHOLM

SE

(72) Inventor(es):

GEORGE JÖNGREN
DAVID HAMMARWALL

SE
SE

(74) Mandatário:

LUÍS MANUEL DE ALMADA DA SILVA CARVALHO
RUA VÍCTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA

PT

(54) Epígrafe: **UM MÉTODO E APARELHO PARA UTILIZAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA**

(57) Resumo:

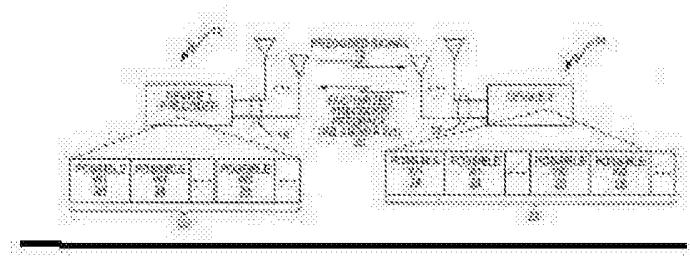
DE ACORDO COM UM OU MAIS ASPETOS, OS PRESENTES ENSINAMENTOS MELHORAM A REALIMENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE ESTADO DO CANAL (CHANNEL STATE INFORMATION ; CSI) DO EQUIPAMENTO DE UTILIZADOR (USER EQUIPMENT - UE), DEIXANDO A PARTE DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE UM RELATÓRIO DE REALIMENTAÇÃO CSI COMPREENDER UMA REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA. NUMA OU MAIS FORMAS DE REALIZAÇÃO, A REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA CORRESPONDE A PELO MENOS DUAS MATRIZES DE PRÉ-CODIFICAÇÃO, INCLUINDO UMA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE ;CONVERSÃO; RECOMENDADA E UMA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE ;AFINAÇÃO; RECOMENDADA. A MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE CONVERSÃO RECOMENDADA RESTRINGE O NÚMERO DE DIMENSÕES DE CANAL CONSIDERADO PELA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE AFINAÇÃO RECOMENDADA E, POR SUA VEZ, A MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE AFINAÇÃO RECOMENDADA FAZ CORRESPONDER A MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO RECOMENDADA A UM CANAL EFETIVO QUE É DEFINIDO EM PARTE PELA REFERIDA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE CONVERSÃO RECOMENDADA.

RESUMO**"UM MÉTODO E APARELHO PARA UTILIZAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA"**

De acordo com um ou mais aspectos, os presentes ensinamentos melhoram a realimentação da Informação de Estado do Canal (Channel State Information - CSI) do Equipamento de Utilizador (User Equipment - UE), deixando a parte de pré-codificação de um relatório de realimentação CSI compreender uma realimentação de pré-codificação fatorizada. Numa ou mais formas de realização, a realimentação de pré-codificação fatorizada corresponde a pelo menos duas matrizes de pré-codificação, incluindo uma matriz de pré-codificação de "conversão" recomendada e uma matriz de pré-codificação de "afinação" recomendada. A matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada e, por sua vez, a matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo que é definido em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada.

PE2504934

- 2 -



DESCRIÇÃO**"UM MÉTODO E APARELHO PARA UTILIZAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA"****PEDIDOS RELACIONADOS**

Este pedido reivindica prioridade a partir do pedido provisório de patente US arquivado em 25 de novembro de 2009 e do Pedido atribuído N.º 61/264.495.

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se genericamente à transmissão de pré-codificação de sinais e em particular refere-se à utilização de pré-codificação fatorizada.

ANTECEDENTES

As técnicas multi-antena podem aumentar significativamente as taxas de dados e a fiabilidade de um sistema de comunicação sem fios. O desempenho é melhorado em particular se tanto o transmissor como o receptor estiverem equipados com múltiplas antenas, o que resulta num canal de comunicação de múltiplas entradas-múltiplas saídas (multiple-input multiple-output – MIMO). Tais sistemas e/ou técnicas relacionadas são tipicamente referidos como MIMO.

A norma LTE está atualmente a evoluir com um suporte MIMO melhorado. Um componente central em LTE é o suporte de implementações de antenas MIMO e de técnicas relacionadas com MIMO. Uma assunção operacional atual em LTE-Advanced é o suporte de um modo de multiplexagem espacial de 8 camadas com possível pré-codificação dependente de canal. O modo de multiplexagem espacial é destinado a elevadas taxas de dados em condições favoráveis de canal. De acordo com esta multiplexagem, um vetor de transporte de informação de símbolos \mathbf{s} é multiplicado por uma matriz $W_{NT} \times r$ de pré-codificação $N_T \times r$, que serve para distribuir a energia de transmissão num subespaço do espaço vetorial dimensional N_T (correspondente aos portos de antena N_T).

A matriz de pré-codificação é tipicamente selecionada a partir de um livro de códigos de matrizes de pré-codificação possíveis, e é indicada geralmente por meio de um indicador de matriz de pré-codificação (precoder matrix indicator - PMI), que especifica uma matriz de pré-codificação única no livro de códigos. Se a matriz de pré-codificação se limita a ter colunas ortonormais, então a conceção do livro de códigos de matrizes de pré-codificação corresponde a um problema de enchimento do subespaço Grassmanniano. Cada um dos símbolos r em \mathbf{s} corresponde a uma camada e r é referido como a posição de transmissão. Desta forma, a multiplexagem espacial é alcançada uma vez que múltiplos símbolos podem ser transmitidos simultaneamente sobre o mesmo elemento de recurso (resource

elemento - RE). O número de símbolos r é tipicamente adaptado para se adequar às propriedades atuais do canal.

O LTE usa OFDM na ligação descendente (downlink) (e OFDM pré-codificado DFT na ligação ascendente (uplink)) e, portanto, o vetor \mathbf{y}_n recebido $N_R \times 1$ para um certo elemento de recurso sobre a subportadora n (ou alternativamente número n dos dados RE), assumindo que não há interferência entre as células, é assim modelado por

$$\mathbf{y}_n = \mathbf{H}_n \mathbf{W}_{N_T \times r} \mathbf{s}_n + \mathbf{e}_n$$

onde \mathbf{e}_n é um vetor de ruído obtido como formas de realização de um processo aleatório. A pré-codificação, $\mathbf{W}_{N_T \times r}$, pode ser uma pré-codificação de banda larga, que é constante ao longo da frequência, ou seletiva na frequência. A matriz de pré-codificação é frequentemente escolhida para coincidir com as características do canal \mathbf{H} MIMO $N_R \times N_T$, resultando na chamada pré-codificação dependente de canal. Isto também é vulgarmente designado por pré-codificação de ciclo fechado e essencialmente esforça-se para focar a energia de transmissão para um subespaço que é forte no sentido de transportar a maior parte da energia transmitida para o UE. Além disso, a matriz de pré-codificação também pode ser selecionada para se esforçar para ortogonalizar o canal, o que significa que após uma equalização linear adequada no UE, a interferência inter-camada é reduzida.

Na pré-codificação de ciclo fechado, o UE transmite, com base em medições de canal na ligação para a frente (ligação descendente), as recomendações para o eNodeB de uma pré-codificação adequada para usar. Uma única pré-codificação que é suposto cobrir uma grande largura de banda (pré-codificação de banda larga) pode ser realimentada. Pode também ser benéfico corresponder às variações de frequência do canal e em vez disso realimentar um relatório de pré-codificação de frequência seletiva, por exemplo, várias pré-codificações, uma por subbanda. Este é um exemplo do caso mais geral de realimentação de informação de estado de canal (channel state information – CSI), que também engloba a realimentação de outras entidades que não pré-codificações para assistir o eNodeB em transmissões posteriores para o UE. Tal outra informação pode incluir indicadores de qualidade de canal (CQIs), bem como indicador de posição de transmissão (rank indicator – RI).

Um problema com a pré-codificação de ciclo fechado é a informação complementar da realimentação causada pela sinalização de um indicador da matriz de pré-codificação (precoder matrix indicator – PMI) e indicador de posição de pré-codificação (ou seja, um RI) – especialmente em sistemas com configurações de antenas grandes onde existem muitas dimensões de canal a caracterizar. Com a conceção de realimentação de estado-da-arte, a informação complementar de realimentação para sistemas com muitas antenas de transmissão em muitos casos

irá resultar numa informação complementar de realimentação não razoável. A complexidade também pode ser um problema se esquemas de realimentação convencionais são usados à medida que as dimensões das matrizes de antenas crescem. Nesta matéria, procurar a "melhor" pré-codificação de entre matrizes de pré-codificação candidatas num grande livro de códigos é computacionalmente exigente, uma vez que essencialmente implica uma pesquisa exaustiva sobre o grande número de entradas do livro de códigos.

O documento WO2007/092539 divulga a utilização de livros de código do tipo *polar-cap* representando desvios no canal com respeito a palavras de código de um livro de códigos do tipo *full-manifold*.

SUMÁRIO

Os problemas acima são resolvidos pelos métodos e equipamentos das reivindicações independentes.

De acordo com um ou mais aspetos, os presentes ensinamentos melhoram a realimentação da Informação de Estado de Canal (Channel State Information - CSI) do equipamento de utilizador (User Equipment - UE), deixando a parte de pré-codificação de um relatório de realimentação CSI compreender realimentação de pré-codificação fatorizada. Em uma ou mais destas formas de realização, a realimentação de pré-codificação fatorizada corresponde a pelo menos duas matrizes de pré-codificação, incluindo uma

matriz de pré-codificação de “conversão” recomendada e uma matriz de pré-codificação de “afinação” recomendada. A matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada e, por sua vez, a matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo que é definido em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada.

Além disso, a matriz de pré-codificação de conversão recomendada tem dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, em que o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão no primeiro dispositivo e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o valor de N_T , para restringir assim o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada. A pré-codificação de conversão é tipicamente, mas não necessariamente, reportada com uma granularidade mais grosseira no tempo e/ou frequência do que a pré-codificação de afinação para poupar informação complementar e/ou complexidade de sinalização.

Um aspeto particular é que a dimensão de conversão k não é necessariamente igual ao número de portas de antena N_T e ou é configurada pelo primeiro dispositivo, o qual, por exemplo, pode ser um eNodeB LTE, ou é

configurado pelo segundo dispositivo, o qual, por exemplo, pode ser um terminal móvel LTE, ou outro tipo de UE. Para um dado N_T , a posição de transmissão r e a dimensão de conversão k estão relacionadas como $N_T \geq k \geq r$, portanto vários valores possíveis de k e r estão disponíveis. Um aspeto particular é que há pelo menos uma combinação de N_T e r para a qual k pode adotar, pelo menos, dois valores diferentes. Especificamente, k pode ser estritamente inferior a N_T , oferecendo a possibilidade de redução de dimensão. Outro aspetto é que há pelo menos uma combinação de N_T e k para o qual r pode adotar, pelo menos, dois valores diferentes.

As recomendações da matriz de pré-codificação de conversão e de afinação, incluindo a seleção da dimensão de conversão k e a posição de transmissão r , são tipicamente feitas pelo segundo dispositivo, de tal modo que o segundo dispositivo utiliza a realimentação de pré-codificação fatorizada para fornecer ao primeiro dispositivo uma matriz de pré-codificação recomendada. Correspondentemente, o primeiro dispositivo recebe a matriz de pré-codificação recomendada por meio de tal realimentação, mas não segue necessariamente tal recomendação, mas pode derivar informação de estado de canal a partir da realimentação que é usada para determinar a operação de pré-codificação aplicada. Uma alternativa aqui contemplada é que algumas partes, ou todos estes parâmetros, são configurados pelo primeiro dispositivo. Estas determinações são sinalizadas a partir do primeiro dispositivo para o segundo dispositivo,

que usa essa informação para determinar os restantes parâmetros representando uma recomendação de pré-codificação.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Fig. 1 é um diagrama de blocos de formas de realização exemplificativas de um primeiro dispositivo e de um segundo dispositivo, em que o segundo dispositivo é configurado para enviar recomendações de pré-codificação para o primeiro dispositivo por meio de realimentação de pré-codificação fatorizada.

A Fig. 2 é um diagrama de blocos de detalhes exemplificativos adicionais para os dispositivos introduzidos na Fig. 1.

As Figs. 3A e 3B ilustram livros de código exemplificativos para manter a informação de pré-codificação de conversão e afinação de acordo com os ensinamentos aqui apresentados.

A Fig. 4 é um diagrama de blocos de uma forma de realização de um circuito de pré-codificação configurado para transmissões de pré-codificação em conformidade com os presentes ensinamentos.

A Fig. 5 é um diagrama de fluxo lógico de uma forma de realização de um método para geração e envio de

realimentação de pré-codificação fatorizada num segundo dispositivo, para fornecer recomendações de pré-codificação a um primeiro dispositivo.

A Fig. 6 é um diagrama de fluxo lógico de uma forma de realização de um método de receção e avaliação de realimentação de pré-codificação fatorizada num primeiro dispositivo, onde essa realimentação de pré-codificação fatorizada fornece recomendações de pré-codificação a partir de um segundo dispositivo.

DESCRICAÇÃO DETALHADA

A Fig. 1 ilustra um primeiro dispositivo 10 ("Dispositivo 1"), que transmite um sinal pré-codificado 12 para um segundo dispositivo 14 ("Dispositivo 2") utilizando um número de antenas de transmissão 16. Por sua vez, o segundo dispositivo 14 inclui um número de antenas 18 para receber o sinal pré-codificado 12 e para transmitir dados e sinalização de retorno para o primeiro dispositivo 10, incluindo a realimentação de pré-codificação fatorizada 20. A realimentação de pré-codificação fatorizada 20 compreende recomendações de pré-codificação para o primeiro dispositivo 10. O primeiro dispositivo 10 considera mas não segue necessariamente as recomendações de pré-codificação incluídas na realimentação de pré-codificação fatorizada 20 ao determinar a operação de pré-codificação que utiliza para gerar o sinal pré-codificado 12. No entanto, um aspecto vantajoso dos ensinamentos aqui apresentados, a

realimentação de pré-codificação fatorizada 20 oferece uma eficiência significativamente melhorada em termos do processamento necessário para determinar a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 e/ou em termos da informação complementar de sinalização necessária para enviar a realimentação de pré-codificação fatorizada 20.

Em pelo menos uma forma de realização, o segundo dispositivo 14 recomenda uma matriz de pré-codificação para o primeiro dispositivo 10, indicando uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada para o primeiro dispositivo 10 e/ou indicando uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada para o primeiro dispositivo 10. Em pelo menos uma tal forma de realização, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 compreende sinalização fornecendo tais indicações para o primeiro dispositivo 10. Por exemplo, em pelo menos uma forma de realização, o segundo dispositivo 14 "mantém" (armazena) um ou mais livros de código 22 que incluem um número de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 e um número de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26. O primeiro dispositivo 10 mantém o mesmo ou os livros de código 22 (ou, de forma equivalente, armazena informação dos livros de código que deriva ou depende das entradas dos livros de códigos mantidas no segundo dispositivo 14).

Em uma ou mais destas formas de realização, o segundo dispositivo 14 envia valores de Índice de Matriz de Pré-Codificação (Precoder Matrix Index - PMI), em que esses

valores identificam as entradas do livro de códigos que representam as recomendações de matriz de pré-codificação a serem consideradas pelo primeiro dispositivo 10 para determinar a operação de pré-codificação a aplicar na geração do sinal pré-codificado 12. Por exemplo, representando a matriz de pré-codificação recomendada por **W**, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 em pelo menos uma forma de realização compreende um valor de índice identificando em particular uma das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 como uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada, denotada como **W₁**, e compreende adicionalmente um valor de índice identificando em particular uma das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 26 como uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada, denotada como **W₂**. O dispositivo 10 é configurado de modo correspondente para formar a matriz de pré-codificação recomendada **W** como o produto (multiplicação de matrizes) da matriz de pré-codificação de conversão recomendada **W₁** e da matriz de pré-codificação de afinação recomendada **W₂**. Isto é, $\mathbf{W} = \mathbf{W}_1 \times \mathbf{W}_2$. O dispositivo 10 considera a matriz de pré-codificação recomendada **W** na determinação da operação de pré-codificação que aplica. Por exemplo, formula uma matriz de pré-codificação usada para gerar o sinal pré-codificado 12 com base pelo menos em parte na pré-codificação recomendada **W**.

Assim, ao receber a realimentação de pré-codificação fatorizada 20, o primeiro dispositivo 10 é informado das matrizes de pré-codificação de conversão e

afinação recomendadas \mathbf{W}_1 e \mathbf{W}_2 , e considera a CSI indicada por essa realimentação para determinar as suas operações de pré-codificação. O primeiro dispositivo 10 avalia \mathbf{W} , por exemplo, para determinar se deve ou não adaptar as suas operações de pré-codificação à matriz de pré-codificação \mathbf{W} . recomendado Ou seja, o primeiro dispositivo 10 recebe e entende a realimentação de pré-codificação fatorizada 20, mas a operação de pré-codificação efetivamente aplicada pelo primeiro dispositivo 10 poderá ou não seguir as recomendações de pré-codificação a partir do segundo dispositivo 14. A real pré-codificação no primeiro dispositivo 10 depende de um número de fatores para além das recomendações recebidas a partir do segundo dispositivo 10.

Como um exemplo não limitativo, a Fig. 2 ilustra uma forma de realização do primeiro e do segundo dispositivos 10 e 14. De acordo com o exemplo ilustrado, o primeiro dispositivo 10 compreende um receptor 34 configurado para receber a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 a partir do segundo dispositivo 14. Tal como discutido, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada (\mathbf{W}_1) e uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada (\mathbf{W}_2), que em conjunto representam uma matriz de pré-codificação recomendada (\mathbf{W}) que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas. Conforme aqui será adicionalmente detalhado mais adiante, a matriz de pré-

codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo que é definido em parte pela matriz de pré-codificação de conversão recomendada.

O primeiro dispositivo 10 compreende ainda um transmissor 36 que inclui um circuito de pré-codificação 38. O transmissor 36 é configurado para determinar uma operação de pré-codificação para gerar o sinal pré-codificado 12, com base pelo menos em parte na avaliação da referida matriz de pré-codificação recomendada. Aqui, a "operação de pré-codificação" será entendida como a pré-codificação que realmente é utilizada pelo primeiro dispositivo 10 para produzir o sinal pré-codificado 12, e que poderá ou não seguir a matriz de pré-codificação recomendada correspondente às matrizes de pré-codificação de conversão e de afinação recomendadas. O transmissor 36 é configurado para transmitir o sinal pré-codificado 12 para o segundo dispositivo 14, onde o sinal pré-codificado 12 é pré-codificado de acordo com a operação de pré-codificação aplicada pelo dispositivo 10.

Na determinação da operação de pré-codificação real a utilizar, o transmissor 36 é configurado, por exemplo, para determinar se deve ou não utilizar a matriz de pré-codificação recomendada como uma matriz de pré-

codificação efetivamente utilizada no circuito de pré-codificação 38 para gerar o sinal pré-codificado 12. Isto é, a operação de pré-codificação efetuada pelo primeiro dispositivo 10 poderá ou não seguir a operação de pré-codificação recomendada, dependendo de uma série de condições. No entanto, será entendido que o primeiro dispositivo 10 pode seguir as recomendações e é, em todo o caso, configurado para entender e considerar a realimentação de pré-codificação fatorizada 20, como a base para a identificação de tais recomendações.

Além disso, em pelo menos uma forma de realização, o primeiro dispositivo 10 é configurado para manter um ou mais livros de código 22 como uma tabela bidimensional 28 de possíveis matrizes de pré-codificação. Ver a Fig. 3A para uma tabela exemplificativa 28, em que a tabela 28 será entendida como sendo, por exemplo, uma estrutura de dados armazenada numa memória do dispositivo 10. A tabela 28 inclui uma série de entradas numéricas individualmente representadas por "**W**" na ilustração. Cada **W** é uma possível matriz de pré-codificação formada como a multiplicação de matrizes de uma combinação particular de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão e de afinação 24 e 26. Isto é, alguns ou todos os **Ws** na tabela 28 representam o produto de um diferente emparelhamento de uma possível matriz de pré-codificação de conversão 24 e de uma possível matriz de pré-codificação de afinação 26. Assim, cada fila (ou coluna) da tabela 28 corresponde a uma em particular numa pluralidade de possíveis matrizes de

pré-codificação de conversão 24 e cada coluna (ou linha) da tabela 28 corresponde a uma em particular numa pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26.

Numa tal forma de realização, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 compreende pelo menos um de um valor de índice de linha e um valor de índice de coluna, para a identificação de uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação na tabela 28 como a matriz de pré-codificação recomendada. Cada valor de índice de linha (ou coluna) pode ser entendido como representando uma recomendação de pré-codificação de conversão específica, e cada valor de índice de coluna (ou linha) pode ser entendido como representando uma recomendação de pré-codificação de afinação específica.

Note-se que os valores de índice de linha e coluna podem ser realimentados com uma granularidade diferente, e note-se que com tais formas de realização as possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 e as possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 não são explicitamente especificadas em livros de códigos separados; em vez disso, o produto de uma possível matriz de pré-codificação de conversão 24 em particular e de uma possível matriz de pré-codificação de afinação 26 em particular é armazenado numa célula da tabela 28.

Deve ser entendido que em tais formas de realização o segundo dispositivo 14 pode também ser

configurado para manter uma tabela similar 28 numa memória do segundo dispositivo 14. Desta maneira, então, o segundo dispositivo 14 determina o(s) valor(es) de índice de tabela correspondente(s) às suas recomendações de pré-codificação e envia indicações desses valores de volta para o primeiro dispositivo 10 por meio da realimentação de pré-codificação fatorizada 20. Ou seja, o segundo dispositivo 14 envia de volta valores de índice de linha e/ou valores de índice de coluna, como a realimentação de pré-codificação fatorizada 20. (Na medida em que o primeiro dispositivo 10 seleciona a pré-codificação de conversão, por exemplo, o segundo dispositivo 14 não tem necessariamente de enviar de volta ambos os valores de índice de linha e coluna).

Numa outra forma de realização, tal como sugerido na Fig. 1, o primeiro dispositivo 10 é configurado para manter um ou mais livros de código 22 de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 e possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26. Correspondentemente, o recetor 34 do primeiro dispositivo 10 é configurado para receber a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 como pelo menos um valor de índice indicando pelo menos uma de: uma em particular das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 como a pré-codificação de conversão recomendada, e uma em particular das possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 como a matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

A Fig. 3B ilustra um exemplo de uma tal forma de realização, em que o primeiro dispositivo 10 é configurado

para manter um ou mais livros de código 22, mantendo um primeiro livro de códigos 30 das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 e um segundo livro de códigos 32 das possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26. Em tais formas de realização, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 compreende pelo menos um de um primeiro valor de índice para o primeiro livro de códigos 30 e um segundo valor de índice para o segundo livro de códigos 32. Deve entender-se que o segundo dispositivo 14 mantém cópias de um ou de ambos os livros de código 30 e 32.

Independentemente da organização do livro de códigos em particular, em pelo menos uma forma de realização, o primeiro dispositivo 10 mantém um ou mais livros de código 22 de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 e de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26, em que cada possível matriz de pré-codificação de conversão 24 tem uma configuração particular. Em particular, cada uma das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão tem dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, em que o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão no primeiro dispositivo 10 e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o valor de N_T para restringir deste modo o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada. Deve entender-se que o segundo dispositivo 14 pode manter livro(s) de código 22 com estrutura similar.

Ver a Fig. 4 para uma implementação exemplificativa do circuito de pré-codificação 38, incluindo uma pré-codificação 50 que pré-codifica sinais para transmissão pelo primeiro dispositivo 10 de acordo com uma operação de pré-codificação que, como referido, é determinada pelo menos em parte com base na avaliação da pré-codificação recomendada conforme determinado a partir da realimentação de pré-codificação fatorizada 20. Em mais detalhe, o circuito de pré-codificação 38 inclui circuitos de processamento de camada 52 que processam símbolos de entrada para um vetor de símbolos \mathbf{s} para cada camada (multiplexagem espacial) em utilização (por exemplo, "Camada 1", "Camada 2", e assim por diante).

Esses vetores de símbolos são pré-codificados de acordo com a matriz de pré-codificação real adotada pela pré-codificação 50 e os vetores pré-codificados são passados para um circuito de processamento 54 de Transformada Rápida Inversa de Fourier (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT), e as saídas desse circuito são então aplicadas às respectivas portas de antena N_T 56. Deve entender-se que o número de portas de antena N_T que estão disponíveis para uso pelo primeiro dispositivo 10 na realização de transmissões pré-codificadas define o número máximo de dimensões de canal considerado pelas operações de pré-codificação do primeiro dispositivo 10. Tal como será explicado em maior detalhe mais adiante, o tamanho e/ou a complexidade de um ou mais livros de código 22 (e do da realimentação de pré-codificação 20) pode ser reduzido

vantajosamente restringindo o número de dimensões de canal considerado como sendo menor do que N_T .

Na forma de realização acima, pelo menos uma das possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 compreende uma matriz de blocos diagonais. Além disso, pelo menos uma das possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 tem linhas da matriz que mudam um faseamento dos blocos na matriz de blocos diagonais. Aqui, cada bloco na matriz de blocos diagonais pode ser entendido num sentido de formação de feixes para gerar um conjunto de feixes que emitem a partir de um subconjunto respetivo dos portos de antena N_T 56, e o "faseamento" em questão aqui representa os desvios de fase entre feixes sobre ambos os blocos da matriz de blocos diagonais.

Além disso, em pelo menos uma forma de realização, a dimensão de conversão k é configurada pelo primeiro dispositivo 10 ou pelo segundo dispositivo 14. Isto é, a dimensão de conversão k é um parâmetro configurável. No caso em que a dimensão de conversão k é configurada pelo primeiro dispositivo 10, o primeiro dispositivo 10 é configurado para sinalizar uma indicação da dimensão de conversão k a partir do primeiro dispositivo 10 para o segundo dispositivo 14. Correspondentemente, o segundo dispositivo 14 é, em tal caso, configurado para receber o valor sinalizado da dimensão de conversão k , e para considerar esse valor ao efetuar as suas recomendações de pré-codificação - ou seja, restringe a sua seleção de

uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada em vista do valor sinalizado de k .

Mais ainda, em pelo menos uma forma de realização, a matriz de pré-codificação de conversão recomendada é selecionada pelo primeiro dispositivo 10, em vez de o ser pelo segundo dispositivo 14. Em tal caso, o primeiro dispositivo 10 é configurado para sinalizar uma indicação da matriz de pré-codificação de conversão recomendada para o segundo dispositivo 14. Correspondentemente, o segundo dispositivo 14 é configurado para receber uma indicação da matriz de pré-codificação de conversão recomendada a partir do primeiro dispositivo 10, e para usar essa indicação sinalizada na sua seleção de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada, ou seja, o segundo dispositivo 14 restringe a sua consideração de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 às matrizes que são apropriadas (em termos de dimensão), para utilização com a matriz de pré-codificação de conversão recomendada.

Como uma vantagem adicional dos presentes ensinamentos, em uma ou mais formas de realização, o um ou mais livros de código 22 inclui um conjunto de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24, de tal modo que o número de vetores únicos formando uma coluna particular do conjunto de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão é maior do que o número de vetores únicos formando uma outra coluna do conjunto de possíveis

matrizes de pré-codificação de conversão.

Além disso, em pelo menos uma forma de realização, o primeiro dispositivo 10 é configurado para receber a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 a partir do segundo dispositivo 14 como primeira sinalização recebida pelo primeiro dispositivo 10 numa primeira granularidade em tempo ou frequência que indica a matriz de pré-codificação de conversão recomendada, e segunda sinalização recebida pelo primeiro dispositivo 10 numa segunda granularidade em tempo ou frequência que indica a matriz de pré-codificação de afinação recomendada. Em particular, a primeira granularidade é mais grosseira que a segunda granularidade. Correspondentemente, o segundo dispositivo 14 é configurado para sinalizar a matriz de pré-codificação de conversão recomendada na primeira granularidade, e para sinalizar a matriz de pré-codificação de afinação recomendada na segunda granularidade.

Mais amplamente, e com referência à Fig. 2, deve entender-se que o segundo dispositivo 14 é configurado para indicar uma matriz de pré-codificação recomendada para o primeiro dispositivo 10. Em suporte dessa configuração, a forma de realização exemplificativa do segundo dispositivo 14 compreende um receptor 40 que é configurado para estimar condições de canal em relação ao primeiro dispositivo 10. A este respeito, o segundo dispositivo 14 recebe, por exemplo, sinais de referência específicos para cada antena para as portas de antena N_T 56. Estes sinais permitem ao

recetor 40 fazer estimativas de canal por antena, que permitem ao segundo dispositivo 14 determinar, por exemplo, o número de camadas de multiplexagem espacial que este pode suportar e deste modo utilizar esta determinação na realização de recomendações de pré-codificação para o primeiro dispositivo 10.

Correspondentemente, o recetor 40 é ainda configurado para determinar a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 com base pelo menos em parte nas condições de canal. Tal como notado antes, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada, em que as matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas representam em conjunto uma matriz de pré-codificação recomendada que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas.

Também como antes, a matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo entre os primeiro e segundo dispositivos 10 e 14, que é definido em parte pela matriz de pré-codificação de conversão recomendada. O segundo dispositivo 14 inclui ainda um

transmissor 42 configurado para enviar a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 para o primeiro dispositivo 10, para indicar a matriz de pré-codificação recomendada para o primeiro dispositivo 10.

Com os exemplos acima do primeiro e segundo dispositivos em mente, a Fig. 5 ilustra uma forma de realização do método implementado no primeiro dispositivo 10 de acordo com os presentes ensinamentos. O método ilustrado 500 fornece transmissões de pré-codificação a partir do primeiro dispositivo 10 para o segundo dispositivo 14. O método 500 inclui a receção de realimentação de pré-codificação fatorizada 20 a partir do segundo dispositivo 14 (Bloco 502), onde essa realimentação indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada (com a estrutura/natureza anteriormente detalhada). O método 500 inclui ainda a determinação de uma operação de pré-codificação (para pré-codificação para o segundo dispositivo 14) com base pelo menos em parte na avaliação da referida matriz de pré-codificação recomendada (Bloco 504). Ainda adicionalmente, o método inclui a transmissão de um sinal pré-codificado 12 para o segundo dispositivo 14 que é pré-codificado de acordo com a operação de pré-codificação determinada (Bloco 506).

A Fig. 6 ilustra um exemplo correspondente de um método 600 implementado no segundo dispositivo 14, em que esse método inclui a estimativa das condições do canal em

relação ao primeiro dispositivo 10 (Bloco 602), e a determinação da realimentação de pré-codificação fatorizada 20 com base pelo menos em parte nas condições do canal (Bloco 604). Tal como antes, a realimentação de pré-codificação fatorizada 20 indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada. O método 600 inclui ainda o envio da realimentação de pré-codificação fatorizada 20 para o primeiro dispositivo 10 (Bloco 606), para indicar a matriz de pré-codificação recomendada para o primeiro dispositivo 10.

Como um exemplo adicional, em uma ou mais formas de realização aqui ensinadas, pelo menos, alguns aspetos das recomendações de pré-codificação são baseados na determinação da raiz quadrada da covariância de canal. Este processamento liga assim com a estimativa das condições de canal entre o primeiro e o segundo dispositivos 10 e 14. Em pelo menos uma tal forma de realização, o primeiro dispositivo 10 é um eNodeB, por exemplo, numa rede de comunicação sem fios baseada em LTE. Correspondentemente, o segundo dispositivo 14 é um terminal móvel ou outro item de equipamento de utilizador (UE) configurado para operação na rede de comunicação sem fios baseada em LTE.

O eNodeB determina uma matriz de pré-codificação a usar para pré-codificação de uma transmissão para o UE, em que essa determinação é feita com base pelo menos em parte na consideração de recomendações de pré-codificação a

partir do UE, fornecidas na forma de realimentação de pré-codificação fatorizada 20 tal como previamente discutido. Em particular, um método para o UE determinar recomendações de pré-codificação para o eNodeB baseia-se no seguinte:

1. O UE estima a matriz \mathbf{H}_n de canal $N_R \times N_T$ para um conjunto de elementos de recursos (Resource Elements – REs) de Multiplexagem Ortogonal por Divisão de Frequências (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM), onde tais estimações são baseadas em sinais de referência específicos para cada antena do eNodeB.

2. O UE forma uma estimativa da matriz de covariância de canal de transmissão $\mathbf{R}_{tr} = E [\mathbf{H}^* \mathbf{H}]$, por exemplo, formando a estimativa de $\hat{\mathbf{R}}_w = \frac{1}{N} \sum_n \hat{\mathbf{H}}_n^* \hat{\mathbf{H}}_n$ amostra onde o somatório é sobre um conjunto de REs. Uma tal média tomada sobre um conjunto de REs no tempo explora o facto de que as propriedades de correlação do canal podem muitas vezes mudar lentamente ao longo do tempo, enquanto uma média semelhante sobre a frequência explora o facto de que as propriedades de correlação podem ser bastante constantes ao longo da frequência. Assim, uma operação típica é que o cálculo da média é realizado ao longo de toda a largura de banda do sistema (por exemplo, a largura de banda global da portadora OFDM envolvida) e envolve múltiplas subtramas ao longo do tempo. Uma média ponderada poderá também ser formada para levar em conta que as propriedades de correlação eventualmente se tornam desatualizadas em termos de tempo ou em termos de

frequência.

3. O UE toma então uma raiz quadrada de matriz de $\hat{\mathbf{R}}_{tr}$, por exemplo, $\hat{\mathbf{R}}_{tr}^{1/2} = \mathbf{V}\mathbf{\Lambda}^{1/2}$, onde \mathbf{V} são os vetores próprios da matriz de covariância de canal de transmissão e a matriz diagonal $\mathbf{\Lambda}^{1/2}$ contém a raiz quadrada dos valores próprios correspondentes classificados por ordem decrescente. (Note-se que existem outras formas de raízes quadradas de matriz e que aqui está contemplado que tais outras formas podem ser utilizadas).

4. O UE agora hipoteticamente assume um determinado valor da dimensão de conversão k (que limita implicitamente a posição de transmissão para k). Isto implica que apenas as primeiras k colunas de $\hat{\mathbf{R}}_{tr}$ são mantidas. Estas colunas são escaladas para alguma norma de Frobenius fixa e em seguida quantizadas em termos de elementos.

5. A matriz de pré-codificação de conversão recomendada (\mathbf{W}_1) é agora fixada para o valor hipotético de k para corresponder à raiz quadrada com colunas reduzidas, quantizada e escalada da matriz de covariância de canal de transmissão.

6. O UE agora hipoteticamente assume um determinado valor da posição de transmissão r dado o hipotético k .

7. O UE enfrenta agora um novo canal efetivo $\mathbf{H}_n \mathbf{W}_1$ para o qual ele tenta selecionar uma hipotética pré-codificação de afinação correspondente (correspondente sobre um conjunto de REs, por exemplo, uma subbanda em LTE) para otimizar alguma métrica de desempenho. Por exemplo, a seleção pode otimizar, por exemplo, um rendimento previsto, ou pode apontar para o maior formato de transporte dando um BLER não superior a 10%. A pré-codificação de afinação pode ser selecionada a partir de um livro de códigos $\mathbf{W}_m = \{\tilde{\mathbf{W}}_{2,1}, \tilde{\mathbf{W}}_{2,2}, \dots\}$. Isto é, a pluralidade de possíveis pré-codificações de afinação 26 mostradas para o livro de códigos 32 na Fig. 3B pode compreender um conjunto finito de escolhas de diferentes pré-codificações de afinação $\mathbf{W}_{2,1}$, $\mathbf{W}_{2,2}$, e assim por diante, para o valor hipotético da dimensão de conversão k e da posição de transmissão r . Vários conjuntos diferentes destes conjuntos podem ser mantidos para diferentes valores ou k e r . O(s) livro(s) de códigos da pré-codificação de afinação poderia(m), por exemplo, corresponder à posição de transmissão relevante do livro de códigos de 2 ou 4 portas de antena disponível em LTE Rel-8.

8. O UE realiza então uma pesquisa ao longo de várias ou de todas as combinações possíveis diferentes de k e r , repetindo as Etapas 4 a 7 acima, e finalmente seleciona a melhor combinação global de matrizes de pré-codificação de conversão e de afinação, incluindo a escolha de k e r . Aqui, a "melhor" combinação pode ser a combinação

de uma possível pré-codificação de conversão 24 e de uma possível pré-codificação de afinação 26 a partir do(s) livro(s) de códigos 22, que apresente(m) o valor mais elevado ou de outro modo melhor da métrica de desempenho escolhida. Como alternativa, a melhor dimensão de conversão k foi selecionada e reportada num instante de tempo anterior mas ainda se aplica e apenas a posição r é determinada, com base na dimensão de conversão previamente determinada, repetindo as Etapas 4-7.

9. Continuando, o UE converte os elementos quantizados escalares da pré-codificação de conversão recomendada para uma sequência de bits que é codificada e enviada para o eNodeB. Da mesma forma, um índice apontando para o livro de códigos da pré-codificação de afinação também é reportado. Este último índice poderia corresponder diretamente ao PMI reportado em LTE. Note-se também que, em vez de quantização escalar a pré-codificação de conversão recomendada pode também ser selecionada a partir de um livro de códigos, por exemplo selecionando a possível pré-codificação de conversão 24 que corresponde à covariância de transmissão, no sentido de maximizar a relação sinal-ruído (Signal-to-Noise Ratio - SNR) de receção ou as medidas de capacidade de canal ergódicas. Além disso, mesmo se a sinalização de realimentação de pré-codificação fatorizada é conduzida usando quantização escalar, o UE pode ainda ter um livro de códigos de pré-codificação de conversão interno, como uma maneira de cumprir as propriedades desejadas sobre a matriz de pré-codificação de

conversão que é selecionada como a matriz de pré-codificação de conversão recomendada, antes do arredondamento para a quantização escalar mais próxima.

Além disso, tal como foi observado anteriormente, o reporte de realimentação real pode ser realizado de várias formas. Por exemplo, em LTE, o reporte de realimentação pode ser realizado no canal de controlo de ligação ascendente PUCCH, para transmitir periodicamente Informação de Estado de Canal (Channel State Information – CSI) para o eNodeB, em que essa CSI pode incluir a realimentação de pré-codificação fatorizada que é de interesse aqui. A CSI pode também ser transmitida requerendo explicitamente reporte de CSI no PUSCH. Em uma ou mais formas de realização, o UE reporta uma única matriz de pré-codificação de conversão recomendada no PUSCH, juntamente com o reporte de múltiplas matrizes de pré-codificação de afinação recomendadas, cada uma de tais pré-codificações de afinação destinada a uma subbanda particular da largura de banda total do sistema. É também contemplada a alteração do conteúdo do reporte baseado no PUSCH, para que por vezes a matriz de pré-codificação de conversão recomendada seja transmitida e para outras subtramas a matriz ou matrizes de pré-codificação de afinação recomendada seja transmitida.

As recomendações a transmitir a partir do UE para o eNodeB são, em uma ou mais formas de realização, assinaladas como parte da concessão de ligação ascendente

no PDCCH. Por exemplo, a concessão inclui um bit ou alguma combinação de bits disponível que o UE interpreta como um indicador de quais as recomendações a enviar. Em suporte a este método, pode ser estabelecida uma relação de temporização rigorosa entre as diferentes recomendações de reportes de pré-codificação a partir do UE, de modo a que seja claro para o UE e para o eNodeB quais os recursos de tempo/frequência correspondem a uma recomendação de matriz de pré-codificação particular pelo UE. Como uma alternativa útil, o UE é configurado para transmitir as suas recomendações de matriz de pré-codificação de conversão em um ponto mais elevado na pilha do protocolo, como um elemento de Controlo de Acesso ao Meio (Medium Access Control – MAC), ou por meio de sinalização do protocolo de Controlo de Recursos de Rádio (Radio Resource Protocol – RRC).

Além disso, o eNodeB não está necessariamente a par de como o UE seleciona as pré-codificações que recomenda. Na verdade, o caso típico é que o UE não sabe, e de facto apenas sabe que o UE de alguma forma prefere as pré-codificações que reporta. Em particular, o eNodeB pode não estar ciente da base sobre a qual o UE recomenda uma matriz de pré-codificação de conversão particular. Uma alternativa contemplada para uma ou mais formas de realização aqui é especificar que a matriz de pré-codificação de conversão deve ser selecionada com base na raiz quadrada da covariância de canal de transmissão, ou mesmo que a matriz de covariância de transmissão como um

todo é realimentada a partir do UE para o eNodeB. Tal abordagem no entanto apresenta certos desafios em termos de testes e de garantir comportamentos de UE semelhantes em vários fornecedores de UE.

Estes desafios surgem porque as propriedades de canal, como a covariância de canal de transmissão vistas apenas internamente no UE não são fáceis de observar do exterior e portanto não existem maneiras fáceis de garantir que a covariância reportada tem os valores corretos, particularmente porque partes da parte frontal do receptor no UE podem afetar a covariância. Uma pré-codificação explicitamente reportada, em contraste, assume uma transmissão hipotética e como tal a consequência, em termos de um formato de transporte com cerca de 10% de BLER para a transmissão hipotética, é reportada por meio de CQI. Isto pode ser observado com a inspeção dos ACK/NACKs do UE e estimando BLER. Estes aspectos de reporte de realimentação não estão limitados a qualquer forma de realização particular aqui descrita, e são aplicáveis aos seguintes detalhes adicionais.

Em pelo menos uma forma de realização, a dimensão de conversão k é adaptada para corresponder a diferentes propriedades de correlação do canal. A este respeito, a seleção da dimensão de conversão k serve como uma forma de confinar estritamente a energia de transmissão a um subespaço de reduzida dimensionalidade do espaço vetorial dimensional N_T . Grosso modo, isto concentra a energia em

determinados “sentidos” preferenciais e evita assim a necessidade da pré-codificação de afinação lidar com um subespaço maior que o necessário. Por exemplo, o(s) livro(s) de códigos 22 inclui(em) uma série de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 que são limitadas (pela dimensão k) a um subespaço do espaço vetorial dimensional N_T , e o(s) conjunto(s) de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 é/são assim simplificado(s).

De outro modo, forçando a matriz de pré-codificação de afinação a considerar todo o espaço vetorial dimensional N_T iria exigir um livro de códigos maior e portanto maior informação complementar de sinalização entre o UE e o eNodeB e/ou requerer maior complexidade na pesquisa de pré-codificação no UE e/ou no eNodeB. Para compreender porque a adaptação do valor da dimensão de conversão k é vantajosa, considere-se um cenário com quatro antenas de transmissão co-polarizadas e espaçadas proximamente (cerca de metade de um comprimento de onda) no eNodeB. Para os fins deste exemplo, o primeiro dispositivo 10 pode ser entendido como o eNodeB e as suas antenas 16 por conseguinte compreendem as quatro antenas de transmissão co-polarizadas e espaçadas proximamente. Se a difusão angular no eNodeB for suficientemente pequena, os canais que correspondem às diferentes antenas de transmissão irão ficar altamente correlacionadas e a covariância de canal de transmissão irá por conseguinte ter um valor próprio muito forte e os valores próprios

remanescentes serão fracos. Para um tal canal, a formação de feixes de camada única é apropriada.

O texto acima pode ser implementado por meio de pré-codificação fatorizada da forma seguinte:

$$\mathbf{W}_1 = \mathbf{W}_{BF} \quad (1)$$

$$\mathbf{W}_2 = 1$$

fornecendo a pré-codificação efetiva

$$\mathbf{W}_{eff} = \mathbf{W}_{BF} \times 1 = \mathbf{W}_{BF}$$

Aqui, a dimensão de conversão k é igual a 1 e a posição de transmissão r também é igual a um, enquanto \mathbf{W}_{BF} é um formador de feixes de camada única que concentra toda a energia de transmissão no "sentido mais forte" do canal, melhorando assim a SINR no lado recetor. Neste caso, o UE iria reportar informação que descreve ou de outro modo indica a matriz de pré-codificação de conversão recomendada, enquanto a matriz de pré-codificação de afinação recomendada correspondente é constante e portanto, nenhum bits precisam de ser gastos para o reporte do mesmo.

O formador de feixes pode ser retirado a partir de um livro de códigos baseado em colunas de matrizes de Transformada Discreta de Fourier (Discrete Fourier

Transform - DFT), formando uma malha de feixes para selecionar. Alternativamente, o formador de feixes pode ser baseado na matriz de covariância de transmissão do canal. No entanto, à medida que a propagação angular aumenta, os valores próprios da matriz de covariância de transmissão do canal tornam-se mais semelhantes. Consequentemente, o valor próprio mais forte já não domina tanto quanto o fazia anteriormente. Pode então ser benéfico alocar alguma energia a mais do que um sentido. Por isso, faz sentido tornar a conversão de dimensão k maior do que 1. Ao mesmo tempo, a posição de transmissão r pode permanecer em 1, por exemplo, porque a SNR não é suficientemente elevada para justificar uma transmissão multi-posição. Em tal caso, $k > 1$ e $r = 1$. Para $k = 2$, a matriz de pré-codificação de afinação recomendada pode ser escolhida a partir da pré-codificação de porta de duas antenas em LTE Rel-8, ou seja, como

$$\mathbf{W}_2 \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \right\} \quad (3)$$

O último caso de dimensão de conversão de dois também faz sentido se a matriz de antenas no eNodeB consistir de várias polarizações cruzadas espaçadas proximamente. Cada polarização então forma um grupo de antenas co-polarizadas e espaçadas proximamente para as quais a correlação canal é elevada se a propagação angular for suficientemente baixa. A formação de feixes em cada

polarização é então razoável e é seguida por uma pré-codificação de afinação que tenta ajustar a fase relativa entre as duas polarizações. A matriz de pré-codificação recomendada \mathbf{W} pode ser adaptada para tal operação determinando \mathbf{W} como uma matriz de pré-codificação efetiva $\mathbf{W}_{\text{eff}} = \mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$, onde a matriz de pré-codificação de conversão recomendada \mathbf{W}_1 e a matriz de pré-codificação de afinação \mathbf{W}_2 recomendada podem assumir a forma de

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_1 &= \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{\text{BF}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_{\text{BF}} \end{bmatrix} \\ \mathbf{W}_2 &\in \left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Os dados acima demonstram que a possibilidade de escolha entre diferentes valores da dimensão de conversão k é benéfica. A seleção efetiva de k pode ser conduzida de uma maneira semelhante à pesquisa conduzida na forma de realização exemplificativa relativa à determinação de quais as possíveis matrizes de pré-codificação de conversão 24 a recomendar com base em raízes quadradas de matriz.

A adaptação da posição de transmissão é um aspecto adicional em uma ou mais formas de realização aqui ensinadas. Ou seja, a posição de transmissão r também é variada. É reconhecido aqui que é importante permitir que r varie, embora a dimensão de conversão k e o número de portas de antena de transmissão N_r permaneçam fixos. Considere-se novamente o caso de uma matriz de antenas de

transmissão com várias polarizações transversais espaçadas proximamente. Tal como mostrado acima, a pré-codificação de conversão \mathbf{w}_1 pode assumir a forma de blocos diagonais

$$\mathbf{w}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{\text{BF}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{w}_{\text{BF}} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

A dimensão de conversão k é aqui igual a dois, o que corresponde às duas polarizações ortogonais, implicando desta forma também que a pré-codificação de afinação apropriada tem duas linhas. A pré-codificação de afinação poderia no entanto ter ou uma ou duas colunas, dependendo da posição de transmissão r que é considerada suportável pelo canal. Por exemplo, se a SINR é baixa, é provável que seja preferida transmissão de camada única. Ainda manter $k = 2$ é benéfico porque permite à pré-codificação de afinação ajustar as fases relativas entre as duas polarizações e assim alcançar uma combinação coerente de sinais de transmissão no lado recetor. No entanto, se a SINR é elevada, a utilização de duas camadas é provavelmente melhor do que a utilização de apenas uma única camada, e a pré-codificação de afinação teria consequentemente duas colunas.

A matriz de pré-codificação de afinação que é recomendada para uso portanto poderia ser selecionada a partir de um livro de códigos de matrizes unitárias 2×2 que se esforçam para ortogonalizar o canal efetivo 2×2 formado pelo produto da matriz de canal e da pré-

codificação de conversão. Argumentos semelhantes aplicam-se para matrizes de antenas em conjunto, onde grupos de antenas têm canais com elevada correlação mas em que a correlação entre os grupos é baixa, exigindo portanto uma pré-codificação de afinação para ajustamentos de fase. Deve ser entendido que um ou mais livros de código 22 pode ser populado com um conjunto maior de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26, em que um ou mais subconjuntos definidos delas possui as propriedades acima descritas. (Em geral, os dados subconjuntos das possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 no(s) livros) de códigos 22 corresponderão a determinados valores da dimensão de conversão k e posição de transmissão r , de modo a que uma matriz de pré-codificação de afinação seja selecionada se for adequada para a matriz de pré-codificação de conversão selecionada.

Outro aspeto em uma ou mais formas de realização aqui ensinadas é a seleção de pré-codificação assistida do eNodeB. Embora as recomendações de pré-codificação sejam tipicamente realizadas pelo UE, porque o UE tem geralmente melhores medições de canal de ligação descendente, a conceção de pré-codificação fatorizada aqui apresentada permite vantajosamente uma conceção em que o eNodeB assiste na seleção da pré-codificação. Esta assistência baseia-se, por exemplo, nas medições de canal na ligação inversa (ligação ascendente) onde a reciprocidade pode ser aplicada para adquirir informação de canal para a ligação descendente. A seleção de pré-codificação assistida do

eNodeB é particularmente adequada para sistemas com duplexação por divisão de tempo (Time Division Duplex – TDD) em que a reciprocidade pode ser utilizada com precisão, mas também os sistemas de duplexação por divisão de frequência (Frequency Division Duplex – FDD) podem beneficiar de tal assistência através da exploração de parâmetros de larga escala do canal, que são recíprocos também sobre distâncias de duplexação superiores.

Uma tal forma de realização exemplificativa é permitir que o eNodeB (e não o UE) selecione a dimensão de conversão k e sinalize a dimensão de conversão selecionada para o UE através de sinalização para a frente, caso em que o UE determina k descodificando a mensagem enviada a partir do eNodeB. Nesta configuração o UE irá estar limitado a reportar uma pré-codificação de conversão satisfazendo a dimensão de conversão configurada. Uma tal configuração tem a vantagem de que um eNodeB poderia levar em conta fatores na seleção que não estão disponíveis no UE, tais como a presença de UEs co-calendarizados no caso de Saída Multi-Utilizador Múltipla Entrada-Múltipla Saída (Multiple User Multiple-Input-Multiple Output – UM-MIMO) de ligação descendente. Uma solução deste tipo, por conseguinte, pode ser benéfica embora as medições de canal sejam tipicamente mais precisas no UE.

Numa forma de realização exemplificativa adicional, o eNodeB adicionalmente faz a recomendação de matriz de pré-codificação de conversão e sinaliza essa

seleção para o UE por meio de sinalização para a frente. Em tais casos, o UE determina k e a seleção de pré-codificação de conversão com base na descodificação dessa sinalização. Numa tal configuração, o UE é limitado à seleção de matriz de pré-codificação de conversão feita pelo eNodeB ao determinar a sua recomendação de pré-codificação de afinação.

Para além de MU-MIMO, durante a calendarização de múltiplos UEs no mesmo recurso tempo-frequência, é essencial que o eNodeB seja capaz de separar espacialmente os fluxos para as transmissões simultâneas. Para tais aplicações, a definição da dimensão de conversão k deve ser menos restritiva, de modo a que não apenas alguns modos próprios dominantes do canal sejam caracterizados, mas também os modos próprios moderadamente fortes em que o UE ainda é sensível a interferências. Esta abordagem pode ser alcançada deixando o eNodeB selecionar a dimensão de conversão k como estando em linha com as formas de realização acima, ou, se o UE selecionar a dimensão de conversão pela seguinte forma de realização: o eNodeB pode configurar a restrição do critério que o UE aplica para selecionar a dimensão de conversão k . Para ser efetiva, uma configuração semelhante deve ser definida para a seleção do posto r .

Como mais uma consideração, note-se que a dimensão de conversão k determina quantas dimensões de canal ($N_T - k$) estão estritamente truncadas (não quantizadas)

em relação à realimentação de pré-codificação fatorizada 20. As colunas da matriz de pré-codificação de conversão recomendada determinam as dimensões de canal reais que devem ser quantizadas. Pode contudo ser útil ter uma transição mais suave entre as dimensões quantizadas e as dimensões truncadas. Uma tal transição suave é conseguida em uma ou mais formas de realização presentes deixando as entradas do livro de códigos para as possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 serem de tal forma que as linhas da matriz de pré-codificação de afinação são quantizadas com uma resolução diferente. Como um exemplo para qualquer uma das dadas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26 num ou mais livros de código 22, a primeira linha da matriz tem a resolução mais elevada, e a resolução diminui com o aumento do índice de linha (a última linha possui uma resolução de quantização mais grosseira).

Com uma tal conceção do livro de códigos de pré-codificação de afinação, a ordenação de colunas da matriz de pré-codificação de conversão torna-se relevante, uma vez que cada coluna é associada a uma linha correspondente da matriz de pré-codificação de afinação. Assim, se uma diminuição da resolução de quantização das linhas de pré-codificação de afinação for implementada, mais bits de realimentação de pré-codificação de afinação serão gastos na seleção das rotações da primeira coluna da matriz de pré-codificação de conversão do que na última coluna da matriz de pré-codificação de conversão. As colunas da

matriz de pré-codificação de conversão portanto devem ser ordenadas de modo a que a primeira coluna represente a dimensão de canal mais importante e a última coluna a menos importante (das k mais importantes) dimensões de canal ("sentidos"). Em termos gerais, então, uma ou mais formas de realização aqui ensinadas usa entradas do livro de códigos que quantizam as linhas das possíveis matrizes de pré-codificação de afinação 26, com diferentes resoluções.

Com as variações acima em mente, os ensinamentos aqui divulgados fornecem uma solução para a operação com multiplexagem espacial em ciclo fechado, bem como com MU-MIMO, e fazem-no usando uma informação complementar de realimentação gerível. O aumento de eficiência e de simplicidade proporcionados pelo uso de realimentação de pré-codificação fatorizada 20 (e o processamento associado) fornecem vantagens particulares para configurações de antenas maiores.

Como outros exemplos não limitativos de diversas vantagens, os ensinamentos divulgados proporcionam: informação complementar de realimentação reduzida para um dado desempenho de ligação descendente; desempenho de ligação descendente melhorado para uma dada informação complementar de realimentação; diminuição da complexidade computacional, reduzindo a dimensionalidade das avaliações utilizadas para o reporte de pré-codificação dinâmico proporcionado pela realimentação de pré-codificação fatorizada 20; boa adequabilidade para transmissões MU-

MIMO, visto que as recomendações de pré-codificação de conversão são reportadas em alta resolução na etapa de quantização.

Além disso, embora a terminologia de 3GPP LTE tenha sido utilizada em diversas secções do presente documento para fornecer exemplos de configuração e operacionais significativos, um tal uso de exemplos de LTE não deve ser visto como limitativo do âmbito dos ensinamentos aqui apresentados. É contemplado que estes ensinamentos sejam estendidos a, por exemplo, WCDMA, WiMax, UMB e GSM. De modo mais geral, deve ser entendido que os detalhes anteriores e as ilustrações acompanhantes fornecem formas de realização exemplificativas não limitativas dos ensinamentos aqui divulgados.

Lisboa, 6 de Fevereiro de 2015

REIVINDICAÇÕES

1. Um método (500) de pré-codificação de transmissões a partir de um primeiro dispositivo (10) para um segundo dispositivo (14), o referido método compreendendo:

recepção (502) de realimentação de pré-codificação fatorizada (20) a partir do segundo dispositivo (14) indicando pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada que em conjunto representam uma matriz de pré-codificação recomendada que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas, em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a referida matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo que é definido em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada;

determinação (504) de uma operação de pré-codificação baseada pelo menos em parte na avaliação da referida matriz de pré-codificação recomendada;

transmissão (506) de um sinal pré-codificado (12) para o segundo dispositivo (14) que é pré-codificado de acordo com a referida operação de pré-codificação; e caracterizado por

manutenção de um ou mais livros de códigos (22) como uma tabela de duas dimensões (28) de possíveis matrizes de pré-codificação, em que cada linha ou coluna da referida tabela (28) corresponde a uma em particular de uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (24) e em que cada linha ou coluna da referida tabela (28) corresponde a uma em particular de uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26) e onde a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um de um valor de índice de linha e um valor de índice de coluna, para identificação de uma em particular de referidas possíveis matrizes de pré-codificação na referida tabela (28) como a referida matriz de pré-codificação recomendada.

2. O método (500) da reivindicação 1, em que a avaliação da referida matriz de pré-codificação recomendada compreende a determinação de utilizar ou não a referida matriz de pré-codificação recomendada na referida operação de pré-codificação para gerar o sinal pré-codificado (12).

3. O método (500) da reivindicação 1 ou 2, que compreende ainda a manutenção de um ou mais livros de código (22) de possíveis matrizes de pré-codificação de

conversão (24) e possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um valor de índice indicando pelo menos um de: uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) como a referida matriz de pré-codificação de afinação (26) recomendada, e uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26) como a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

4. O método (500) da reivindicação 3, em que a referida manutenção de um ou mais livros de código (22) compreende a manutenção de um primeiro livro de códigos (30) das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e um segundo livro de códigos (32) das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um de um primeiro valor de índice para o primeiro livro de códigos (30) e um segundo valor de índice para o segundo livro de códigos (32).

5. O método (500) de qualquer uma das reivindicações 1 a 4, que compreende ainda a manutenção de um ou mais livros de código (22) de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que cada possível

matriz de pré-codificação de conversão (24) tem dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, em que o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão (56) no primeiro dispositivo (10) e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o valor de N_T para restringir assim o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

6. O método (500) da reivindicação 5, em que pelo menos uma das referidas matrizes possíveis de pré-codificação de conversão (24) compreende uma matriz de blocos diagonais.

7. O método (500) da reivindicação 6, em que pelo menos uma das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26) tem linhas da matriz que mudam um faseamento dos blocos na referida matriz de blocos diagonais.

8. O método (500) da reivindicação 7, em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10) ou pelo referido segundo dispositivo (14) e em que, no caso em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10), o referido método (500) compreende ainda a sinalização de uma indicação da referida dimensão de conversão k a partir do referido primeiro dispositivo (10) para o referido segundo dispositivo (14).

9. O método (500) da reivindicação 8, em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10), e em que o referido método (500) comprehende ainda a sinalização de uma indicação da referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada a partir do referido primeiro dispositivo (10) para o referido segundo dispositivo (14).

10. O método (500) de qualquer uma das reivindicações 1-9, em que a referida receção da realimentação de pré-codificação fatorizada (20) a partir do segundo dispositivo (14) comprehende a receção de sinalização numa primeira granularidade em tempo ou frequência que indica a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada, e a receção de sinalização com uma segunda granularidade em tempo ou frequência indicando a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada, e em que a referida primeira granularidade é mais grosseira do que a referida segunda granularidade.

11. Um primeiro dispositivo (10) configurado para pré-codificação de transmissões para um segundo dispositivo (14), em que o referido primeiro dispositivo (10) comprehende:

um recetor (34) configurado para receber realimentação de pré-codificação fatorizada (20) a partir do segundo dispositivo (14) indicando pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada que

representam conjuntamente uma matriz de pré-codificação recomendada que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas, em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a referida matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo que é definido em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada; e

um transmissor (36) que inclui um circuito de pré-codificação (38) e é configurado para:

determinar uma operação de pré-codificação baseada pelo menos em parte na avaliação da referida matriz de pré-codificação recomendada; e

transmitir um sinal pré-codificado (12) para o segundo dispositivo (14) que é pré-codificado de acordo com a referida operação de pré-codificação;

e caracterizado por

o referido primeiro dispositivo (10) ser configurado para manter um ou mais livros de código (22) como uma tabela de duas dimensões (28) de possíveis matrizes de pré-codificação, em que cada linha ou coluna da referida tabela (28) corresponde a uma em particular numa

pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e cada coluna ou linha da referida tabela (28) corresponde a uma em particular numa pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um de um valor de índice de linha e um valor de índice de coluna, para identificação de uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação como a referida matriz de pré-codificação recomendada.

12. O primeiro dispositivo (10) da reivindicação 11, em que o referido transmissor (36) é configurado para avaliar a referida matriz de pré-codificação recomendada determinando se deve ou não utilizar a referida matriz de pré-codificação recomendada na referida operação de pré-codificação utilizada para gerar o sinal pré-codificado (12).

13. O primeiro dispositivo (10) da reivindicação 11 ou 12, em que o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para manter um ou mais livros de códigos (22) de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que o referido receptor (34) é configurado para receber a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) como pelo menos um valor de índice indicando pelo menos um de: uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) como a referida matriz de

pré-codificação de conversão recomendada, e uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26) como a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

14. O primeiro dispositivo (10) da reivindicação 13, em que o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para manter o referido um ou mais livros de códigos (22) mantendo um primeiro livro de códigos (30) das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e um segundo livro de códigos (32) das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um de um primeiro valor de índice para o primeiro livro de códigos (30) e um segundo valor de índice para o segundo livro de códigos (32).

15. O primeiro dispositivo (10) de qualquer uma das reivindicações 11 a 14, em que o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para manter um ou mais livros de códigos (22) de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que cada possível matriz de pré-codificação de conversão (24) tem dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, em que o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão (56) no primeiro dispositivo (10) e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o

valor de N_t para restringir assim o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

16. O primeiro dispositivo (10) da reivindicação 15, em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10) ou pelo referido segundo dispositivo (14) e em que, no caso em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10), o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para sinalizar uma indicação da referida dimensão de conversão k a partir do referido primeiro dispositivo (10) para o referido segundo dispositivo (14).

17. O primeiro dispositivo (10) da reivindicação 16, em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada é selecionada pelo referido primeiro dispositivo (10), e em que o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para sinalizar uma indicação da referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada a partir do referido primeiro dispositivo (10) para o referido segundo dispositivo (14).

18. O primeiro dispositivo (10) de qualquer uma das reivindicações 11-17, em que o referido primeiro dispositivo (10) é configurado para receber a realimentação de pré-codificação fatorizada (20) a partir do segundo dispositivo (14) como a primeira sinalização recebida pelo primeiro dispositivo (10) numa primeira granularidade em

tempo ou frequência que indica a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada, e a segunda sinalização recebida pelo primeiro dispositivo (10) numa segunda granularidade em tempo ou frequência indicando a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada, e em que a referida primeira granularidade é mais grosseira do que a referida segunda granularidade.

19. Um método (600) num segundo dispositivo (14) de indicação de uma matriz de pré-codificação recomendada para um primeiro dispositivo (10), o referido método compreendendo:

estimar as condições de canal em relação ao referido primeiro dispositivo (10);

determinar a realimentação de pré-codificação fatorizada (20) baseada pelo menos em parte nas referidas condições de canal, em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada, as referidas matrizes de pré-codificação de conversão e de afinação conjuntamente representando uma matriz de pré-codificação recomendada que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas, e em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a referida matriz de pré-

codificação de afinação faz corresponder a referida matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo entre os referidos primeiro e segundo dispositivos (10, 14) que são definidos em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada;

enviar a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) para o referido primeiro dispositivo (10) para indicar a referida matriz de pré-codificação recomendada para o referido primeiro dispositivo (10); e caracterizado por

compreender ainda a manutenção de uma tabela de duas dimensões (28) de possíveis matrizes de pré-codificação, cada uma possível para seleção como a referida matriz de pré-codificação recomendada, e em que cada linha ou coluna da referida tabela (28) corresponde a uma em particular de uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e cada coluna ou linha da referida tabela (28) corresponde a uma em particular de uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende pelo menos um de um valor de índice de linha e de um valor de índice de coluna, para a identificação de uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação como a referida matriz de pré-codificação recomendada.

20. O método (600) da reivindicação 19, em que o

referido envio da referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende a sinalização da referida pré-codificação de conversão recomendada numa primeira granularidade em tempo ou frequência e a sinalização da referida pré-codificação de afinação recomendada numa segunda granularidade em tempo ou frequência, em que a referida primeira granularidade é mais grosseira do que a referida segunda granularidade.

21. O método (600) de qualquer uma das reivindicações 19-20, compreendendo ainda a manutenção no referido segundo dispositivo (14) de um ou mais livros de códigos (22) compreendendo uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24), cada uma tendo dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, onde o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão (56) no primeiro dispositivo (10) e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o valor de N_T para restringir assim o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

22. O método (600) da reivindicação 21, em que pelo menos uma das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) compreende uma matriz de blocos diagonais.

23. O método (600) da reivindicação 22, em que o referido um ou mais livros de códigos (22) compreende ainda

uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que pelo menos uma das referidas possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26) tem linhas de matriz que mudam um faseamento dos blocos na referida matriz de blocos diagonais.

24. O método (600) da reivindicação 23, em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10) ou pelo referido segundo dispositivo (14) e em que, no caso em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10), o referido método (600) inclui ainda a receção de uma indicação da referida dimensão de conversão k a partir do referido primeiro dispositivo (10).

25. O método (600) da reivindicação 24, em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada é selecionada pelo referido primeiro dispositivo (10), e em que o referido método (600) também inclui a receção de uma indicação da referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada a partir do referido primeiro dispositivo (10).

26. Um segundo dispositivo (14) configurado para indicar uma matriz de pré-codificação recomendada para um primeiro dispositivo (10), o referido segundo dispositivo (14) compreendendo:

um receptor (40) configurado para:

estimar condições de canal em relação ao referido primeiro dispositivo (10); e

determinar a realimentação de pré-codificação fatorizada (20) com base pelo menos em parte nas referidas condições de canal, em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) indica pelo menos uma de uma matriz de pré-codificação de conversão recomendada e de uma matriz de pré-codificação de afinação recomendada, as referidas matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas representando conjuntamente uma matriz de pré-codificação recomendada que é uma multiplicação de matrizes das matrizes de pré-codificação de conversão e afinação recomendadas, e em que a referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada restringe o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada e a referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada faz corresponder a referida matriz de pré-codificação recomendada a um canal efetivo entre os referidos primeiro e segundo dispositivos (10, 14) que são definidos em parte pela referida matriz de pré-codificação de conversão recomendada; e

um transmissor (42) configurado para enviar a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) para o referido primeiro dispositivo (10) para indicar a referida matriz de pré-codificação recomendada para o referido primeiro dispositivo (10); e caracterizado por

o referido segundo dispositivo (14) sendo configurado para manter uma tabela de duas dimensões (28) de possíveis matrizes de pré-codificação, cada uma possível para seleção como a referida matriz de pré-codificação recomendada, e em que cada linha ou coluna da referida tabela (28) corresponde a uma em particular numa pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24) e cada coluna ou linha da referida tabela (28) corresponde a uma em particular numa pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de afinação (26), e em que a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) compreende um valor de índice de tabela identificando uma em particular das referidas possíveis matrizes de pré-codificação como a referida matriz de pré-codificação recomendada.

27. O segundo dispositivo (14) da reivindicação 26, em que o referido segundo dispositivo (14) é configurado para enviar a referida realimentação de pré-codificação fatorizada (20) sinalizando a referida pré-codificação de conversão recomendada numa primeira granularidade em tempo ou frequência e sinalizando a referida pré-codificação de afinação recomendada numa segunda granularidade em tempo ou frequência, em que a referida primeira granularidade é mais grosseira do que a referida segunda granularidade.

28. O segundo dispositivo (14) das reivindicações 26 ou 27, em que o referido segundo

dispositivo (14) é configurado para manter um ou mais livros de códigos (22) compreendendo uma pluralidade de possíveis matrizes de pré-codificação de conversão (24), cada uma tendo dimensões de linha-coluna de $N_T \times k$, em que o número de linhas N_T é igual a um número de portas de antena de transmissão (56) no primeiro dispositivo (10) e o número de colunas k é igual a uma dimensão de conversão que é menor do que o valor de N_T para restringir assim o número de dimensões de canal considerado pela referida matriz de pré-codificação de afinação recomendada.

29. O segundo dispositivo (14) da reivindicação 28, em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10) ou pelo referido segundo dispositivo (14) e em que, no caso em que a referida dimensão de conversão k é configurada pelo referido primeiro dispositivo (10), o referido segundo dispositivo (14) é configurado para receber uma indicação da referida dimensão de conversão k a partir do referido primeiro dispositivo (10).

Lisboa, 6 de Fevereiro de 2015

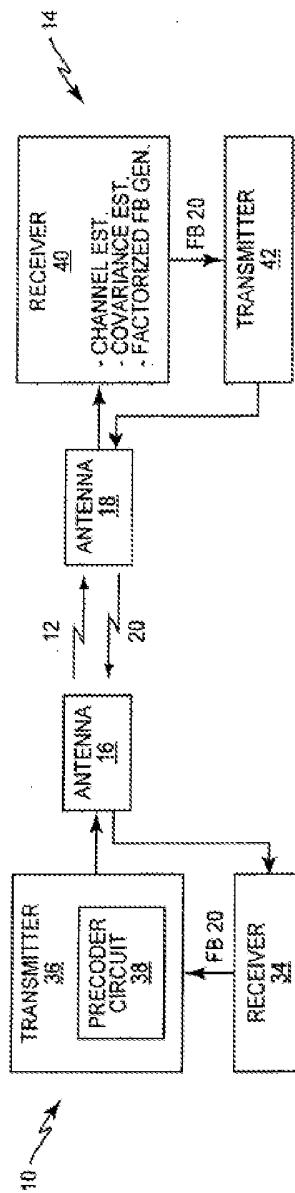
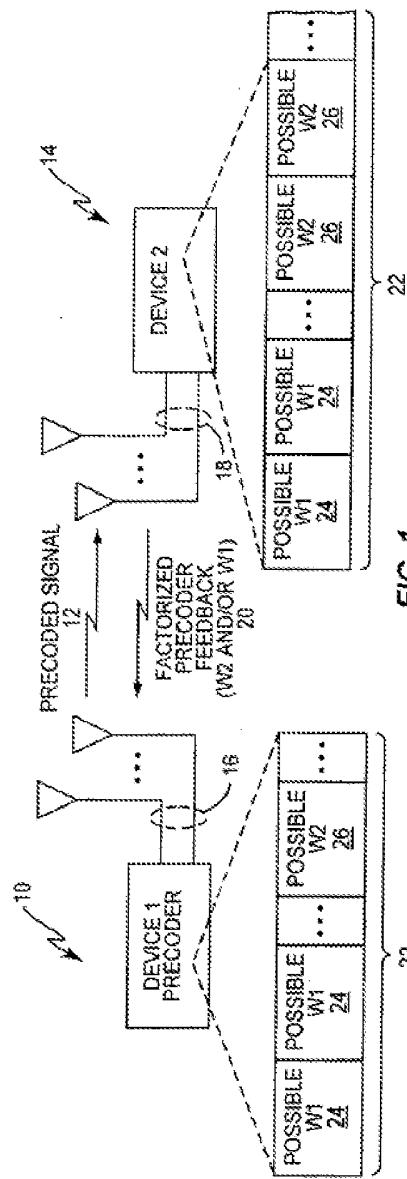


Fig. 1

DEVICE 1 . PRECODER - PRÉ-CODIFICAÇÃO DISPOSITIVO 1
POSSIBLE - POSSÍVEL

12 - SINAL PRÉ-CODIFICADO

20 - REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA (W2 E/OU W1)

DEVICE 2 - DISPOSITIVO 2

Fig. 2

36 - TRANSMISSOR

38 - CIRCUITO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO

34 - RECEPTOR

16 - ANTENA

18 - ANTENA

40 - RECEPTOR

CHANNEL EST - ESTIMATIVA DE CANAL

COVARIANCE EST - ESTIMATIVA DE COVARIÂNCIA

FACTORIZED FB GEN. - GERADOR DE REALIMENTAÇÃO FATORIZADA

42 - TRANSMISSOR

COL	W	W	W	*	*
ROW	W	W	W	*	*
	W	W	W	*	*
	W	W	W	*	*
	:	:	:		

FIG. 3A

28 ↗

POSSIBLE W ₂ <u>26</u>	POSSIBLE W ₂ <u>26</u>	***
30	32	22

FIG. 3B

Fig. 3a

ROW - LINHA

COL - COLUNA

Fig. 3B

POSSIBLE - POSSÍVEL

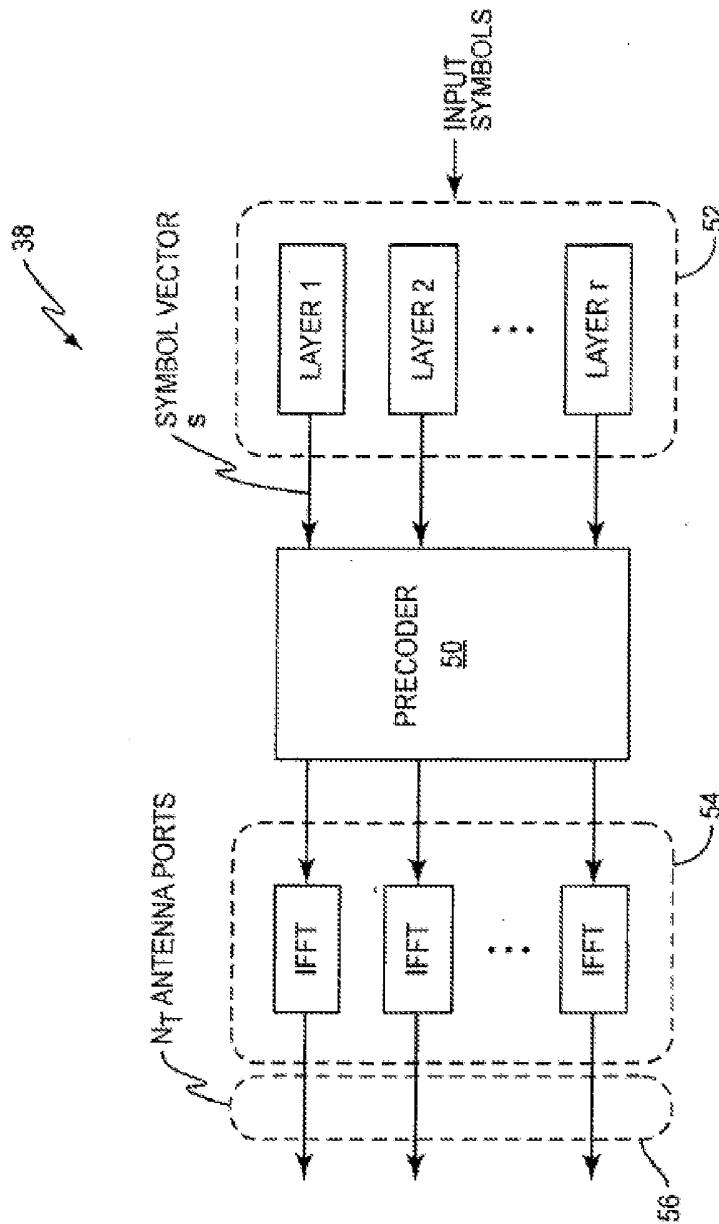


FIG. 4

Fig. 4

N_T ANTENNA PORTS – PORTAS DE ANTENA DE N_T

50 – PRÉ-CODIFICAÇÃO

SYMBOL VECTOR s – VETOR DE SÍMBOLOS s

LAYER – CAMADA

INPUT SYMBOLS – SÍMBOLOS DE ENTRADA

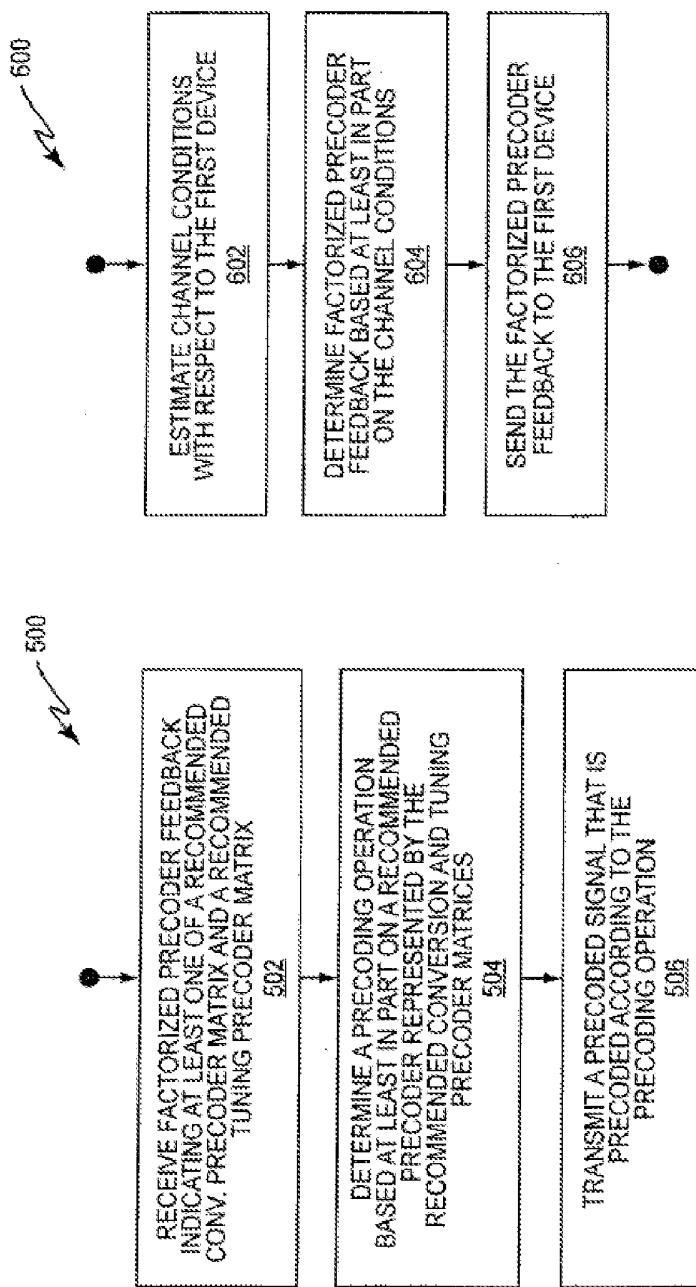


Fig. 5

502 – RECEBER REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA INDICANDO PELO MENOS UMA DE UMA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE CONVERSÃO RECOMENDADA E DE UMA MATRIZ DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE AFINAÇÃO RECOMENDADA

FIG. 6

FIG. 5

504 – DETERMINAR UMA OPERAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO COM BASE EM PELO MENOS PARTE NUMA PRÉ-CODIFICAÇÃO RECOMENDADA REPRESENTADA PELAS MATRIZES DE PRÉ-CODIFICAÇÃO DE CONVERSÃO E AFINAÇÃO RECOMENDADAS

506 – TRANSMITIR UM SINAL PRÉ-CODIFICADO QUE É PRÉ-CODIFICADO DE ACORDO COM A OPERAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO

Fig. 6

602 – ESTIMAR CONDIÇÕES DE CANAL EM RELAÇÃO AO PRIMEIRO DISPOSITIVO

604 – DETERMINAR REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO FATORIZADA COM BASE EM PELO MENOS EM PARTE SOBRE AS CONDIÇÕES DO CANAL

606 – ENVIAR A REALIMENTAÇÃO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO PARA O PRIMEIRO DISPOSITIVO

REFERÊNCIAS CITADAS NA DESCRIÇÃO

Esta lista de referências citadas pelo requerente é apenas para conveniência do leitor. A mesma não faz parte do documento da patente europeia. Ainda que tenha sido tomado o devido cuidado ao compilar as referências, podem não estar excluídos erros ou omissões e o IEP declina quaisquer responsabilidades a esse respeito.

Documentos de patentes citadas na Descrição

- | | |
|--------------------|----------------------|
| * US 61264495 B | * WO 2007092539 A |
|--------------------|----------------------|