

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: 2006.06.20	(73) Titular(es): HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. HUAWEI ADMINISTRATION BUILDING BANTIAN LONGGANG DISTRICT, SHENZHEN GUANGDONG 518129 CN
(30) Prioridade(s):	
(43) Data de publicação do pedido: 2010.02.24	
(45) Data e BPI da concessão: 2012.07.04 178/2012	(72) Inventor(es): JAAP VAN DE BEEK SE MATTIAS WENNSTROM SE
	(74) Mandatário: MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **MÉTODO PARA REDUÇÃO DE SOBRECARGA DE INFORMAÇÃO DE RETORNO EM SISTEMAS MIMO-OFDM PRÉ-CODIFICADOS**

(57) Resumo:

É DIVULGADO UM MÉTODO MELHORADO PARA REDUZIR A QUANTIDADE DE INFORMAÇÃO DE RETORNO DE PRÉ-CODIFICAÇÃO NUM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MULTITRANSPORTADOR DE MÚLTIPLA ENTRADA MÚLTIPLA SAÍDA (MIMO - MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT) USANDO PRÉ-CODIFICAÇÃO. NO FINAL DA RECEÇÃO, O MÉTODO SELECIONA EM CONJUNTO, ENQUANTO CONSIDERA A QUALIDADE DE TRANSMISSÃO PARA CADA COMBINAÇÃO RELEVANTE DE SUB-BANDAS E MATRIZES, UM NÚMERO LIMITADO DE P ÍNDICES DO LIVRO DE CÓDIGOS E NUM NÚMERO LIMITADO DE K_i SUB-BANDAS PARA SEREM INCLUÍDAS NUM SUBCONJUNTO () DE UM CONJUNTO DAS SUB-BANDAS PERMITIDAS. K_i É AQUI DEFINIDO PARA UM VALOR $K_i < K$ E P É DEFINIDO PARA UM VALOR $P < K_i$. OS P ÍNDICES DO LIVRO DE CÓDIGOS E INFORMAÇÃO QUE IDENTIFICA O SUBCONJUNTO SÃO ENTÃO TRANSPORTADOS PARA O FINAL DA TRANSMISSÃO.

RESUMO

"MÉTODO PARA REDUÇÃO DE SOBRECARGA DE INFORMAÇÃO DE RETORNO EM SISTEMAS MIMO-OFDM PRÉ-CODIFICADOS"

É divulgado um método melhorado para reduzir a quantidade de informação de retorno de pré-codificação num sistema de comunicação multitransportador de múltipla entrada múltipla saída (MIMO - Multiple-Input Multiple-Output) usando pré-codificação. No final da receção, o método selecciona em conjunto, enquanto considera a qualidade de transmissão para cada combinação relevante de sub-bandas e matrizes, um número limitado de P índices do livro de códigos e um número limitado de K' sub-bandas para serem incluídas num subconjunto $\omega(m_1, \dots, m_K)$ de um conjunto Ω das sub-bandas permitidas. K' é aqui definido para um valor $K' < K$ e P é definido para um valor $P \leq K'$. Os P índices do livro de códigos e informação que identifica o subconjunto ω são então transportados para o final da transmissão.

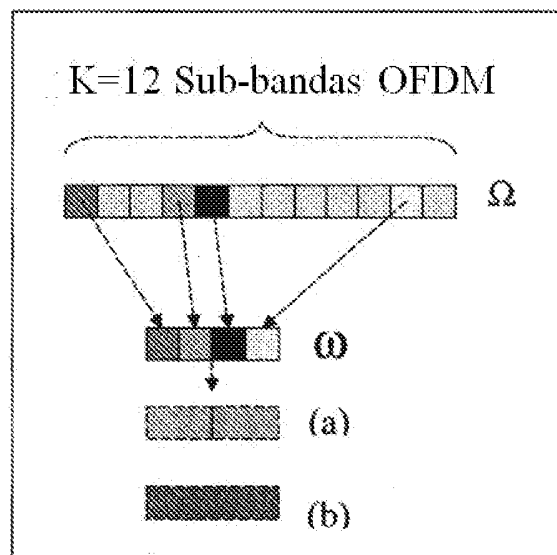


Fig. 2

DESCRIÇÃO

"MÉTODO PARA REDUÇÃO DE SOBRECARGA DE INFORMAÇÃO DE RETORNO EM SISTEMAS MIMO-OFDM PRÉ-CODIFICADOS"

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se ao campo das tecnologias de comunicação, e em particular a um método, a uma unidade de recepção e a uma unidade transmissora para reduzir a quantidade de informação de retorno de pré-codificação no final da recepção e/ou final da transmissão de um sistema de comunicação.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Em sistemas de comunicação sem fios que utilizam múltiplas antenas quer no transmissor quer no recetor, vulgarmente conhecidos como sistemas de múltipla entrada múltipla saída (MIMO), é bem conhecido no estado da técnica que o desempenho melhora bastante se puder ser usada a pré-codificação no lado do transmissor. Tal pré-codificação linear foi implementada no padrão IEEE 802.16-2005 e é também sugerida pela 3GPP E-UTRA.

A multiplexação ortogonal de divisão de frequência (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) combinada com MIMO permite uma extensão da pré-codificação MIMO para canais MIMO de frequência seletiva. Em MIMO-OFDM, um canal de banda larga é convertido em vários canais de banda estreita correspondendo a subtransportadoras OFDM. Pode-se assumir que cada canal de banda estreita é de desvanecimento plano.

Além disso, são formados grupos de igual tamanho de subtransportadoras OFDM adjacentes para obter sub-bandas OFDM. Um valor comum, usado em 3GPP E-UTRA, é de 25 subtransportadoras OFDM adjacentes que formam uma sub-banda OFDM. Assim, a largura de banda total é dividida em K sub-bandas. A largura de cada sub-banda é escolhida de modo a que o canal seja aproximadamente de desvanecimento plano dentro de cada sub-banda. Isto implica que a mesma melhor matriz de pré-codificação seja aproximadamente válida para todas as subtransportadoras dentro de uma sub-banda.

Um problema decorrente no MIMO-OFDM é que, devido à programação de frequência seletiva, a sobrecarga de retorno aumenta dado que a qualidade do canal torna-se uma função de um número de sub-bandas OFDM. Adicionalmente, quando é aplicada a pré-codificação MIMO linear baseada no livro de códigos, o recetor necessita também de indicar o índice matricial de pré-codificação (PMI - precoding matrix index) ao livro de códigos para cada sub-banda OFDM. Isto significa que a sobrecarga de sinalização torna-se significativa e que devem ser encontrados métodos para reduzir esta sobrecarga.

Para o MIMO-OFDM pré-codificado baseado no livro de códigos, existem algumas técnicas do estado da técnica, em que todas exploram a correlação de matrizes de pré-codificação ideais em subtransportadoras adjacentes ou sub-bandas para reduzir o retorno de informação de pré-codificação.

No final desta especificação, é listada uma série de documentos do estado da técnica.

No documento “[6] 3GPP R1-061441, *Feedback Reduction for Rank-1 Pre-coding for E-UTRA Downlink*, Texas Instruments, Shanghai, maio 2006” e no documento “[7] 3GPP R1-061439, *Evaluation of Codebook-based Precoding for LTE MIMO Systems*, Texas Instruments, Shanghai, maio 2006”, é descrita uma abordagem de agrupamento onde o retorno da informação de pré-codificação é reduzida através da criação de grupos maiores de subtransportadoras adjacentes e da procura de uma matriz de pré-codificação que seja válida em média para este grupo maior. Por exemplo, é recomendado no documento [6] que o índice matricial de pré-codificação para cada segunda sub-banda OFDM é suficiente somente com uma pequena degradação de desempenho em relação a retornar um índice matricial de pré-codificação para cada sub-banda OFDM. Desta forma a sobrecarga de retorno para a matriz de pré-codificação é reduzida para metade.

A mesma abordagem básica é feita no documento “[3] J.Choi, R.W.Heath Jr., *Interpolation Based Unitary Precoding for Spatial Multiplexing MIMO-OFDM with Limited Feedback*, IEEE Globecom Conferente 2004, Dallas, USA, novembro 2004, páginas 214-218)” e no documento “[4] (J.Choi, R.W.Heath Jr., *Interpolation Based Transmit Beamforming for MIMO-OFDM with Limited Feedback*, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.53, No. 11, novembro 2005, páginas 4125-4135”. Os autores aqui sugerem reportar índices matriciais de pré-codificação para cada subtransportadora L :th OFDM, de amostragem uniforme ao longo de toda a largura de banda. No transmissor, é efetuada uma reconstrução dos índices matriciais de pré-codificação intermédios utilizando interpolação.

No documento "[5] B.Mondahl, R.W.Heath Jr., *Algorithms for Quantized Precoding in MIMO-OFDM Beamforming Systems*, Proceedings of the SPIE, Volume 5847, pp. 80-87, 2005", é sugerida uma abordagem alternativa, onde o canal de informação (informação matricial de pré-codificação) é quantizado no domínio do tempo, em vez de no domínio da frequência, em que a transformação decorrelaciona a informação de canal. A ideia é decorrelacionar a informação matricial de pré-codificação antes da quantização. O desempenho deste método mostra ser similar à proposta de agrupamento no documento [4].

US 2006/093065 A1 divulga um método para comunicar uma pluralidade de fluxos de dados entre um dispositivo de transmissão com múltiplas antenas de transmissão e um dispositivo de recepção. O método compreende a determinação de um conjunto de coeficientes de correção de potência, quantizando eficientemente os coeficientes de correção de potência, e fornecendo um conjunto de coeficientes de correção de potência ao dispositivo de transmissão. Outro aspecto deste pedido de patente compreende o transmissor implicitamente a assinalar o número de fluxo de dados a que o recetor deve dar informação de retorno através da quantidade de retorno solicitado. Um aspecto adicional da invenção é um meio de determinar as melhores ponderações do livro de códigos por combinação do critério de potência máxima e capacidade máxima.

Os métodos de redução de sinalização de retorno de índice matricial de pré-codificação do estado da técnica têm todos a desvantagem de que estes enviam frequentemente informação de retorno que não é usada numa finalização de transmissão do sistema. As soluções do estado da técnica para reduzirem

a sobrecarga de retorno de índice matricial de pré-codificação não têm em consideração, no final da transmissão, que alguma informação é mais vulnerável do que outra.

Existe assim a necessidade de um método que inteligentemente escolha qual a informação para retorno de modo a reduzir ainda mais a quantidade de sobrecarga de sinalização de retorno do índice matricial de pré-codificação.

SUMÁRIO

É uma finalidade da presente invenção fornecer métodos, uma unidade de recepção e uma unidade de transmissão para reduzir a quantidade de informação de retorno pré-codificada no final da recepção e transmissão de um sistema de comunicação.

Em particular, é uma finalidade da presente invenção fornecer métodos, uma unidade de recepção e uma unidade de transmissão para reduzir a quantidade de sinalização de retorno de índice matricial mais do que os métodos no estado da técnica.

É também uma finalidade da presente invenção fornecer métodos, uma unidade de recepção e uma unidade de transmissão que limite a sinalização de retorno de índice matricial para informação que será útil no sistema.

Estas finalidades são alcançadas através de um sistema para reduzir a informação de retorno de pré-codificação de acordo com a parte caracterizante da reivindicação 1.

Estas finalidades são também alcançadas através de um processo para reduzir a informação de retorno de pré-codificação de acordo com a parte caracterizante da reivindicação 2.

Os métodos, a unidade de recepção, e a unidade de transmissão de acordo com a invenção fazem com que seja possível, no final da recepção, decidir efetivamente qual a informação que será necessária no final da transmissão, e retorna depois esta informação.

Isto é alcançado pelos métodos, pela unidade de recepção, e pela unidade de transmissão de acordo com a invenção visto que estes não desperdiçam recursos de comunicação na informação de sinalização em relação a sub-bandas com má qualidade.

Devido a isto, os métodos, a unidade de recepção, e a unidade de transmissão de acordo com a invenção limita a informação de retorno para somente incluir informação sobre sub-bandas que têm a probabilidade de serem programadas para transmissão. A quantidade de informação de retorno pode deste modo ser reduzida.

A invenção apresenta uma solução que tem um bom equilíbrio entre a taxa de transferência e a redução de retorno.

Numa forma de realização da presente invenção, pode ser realizada uma adaptação de classificação, isto é um número de fluxos podem também ser selecionados em conjunto com um subconjunto e um vetor de índices do livro de códigos de pré-codificação. Isto pode ser vantajoso para maximizar a taxa de transferência de uma ligação.

Numa forma de realização da presente invenção, o número de elementos num vetor de índices do livro de códigos de pré-codificação pode ser definido para um valor muito baixo, por exemplo o valor um. Isto é uma alternativa muito eficaz para reduzir a sinalização de retorno. Esta forma de realização é também vantajosa para situações onde a performance das matrizes pré-codificadas esteja bastante correlacionada ao longo das sub-bandas OFDM.

Numa forma de realização da presente invenção, um índice matricial de pré-codificação pode ser retornado para um subconjunto complementar que consiste nas sub-bandas que não foram selecionadas pelo método. Como alternativa, a matriz de pré-codificação usada para o subconjunto complementar pode ser fixa. Isto tem a vantagem de que muito pouca informação necessita de ser retornada se o programador decidir programar uma sub-banda dentro do subconjunto complementar para a transmissão.

Numa forma de realização da presente invenção, é usado um mapa de bits para identificar os subconjuntos selecionados. A representação do mapa de bits é um eficiente método de compressão que reduz ainda mais a quantidade de informação de retorno transmitida.

Formas de realização detalhadas de exemplo e vantagens dos métodos, unidade recetora, e unidade de transmissão para reduzir a quantidade de sinalização de retorno de índice matricial de acordo com a presente invenção serão agora descritas com referência aos desenhos em anexo que ilustram algumas formas de realização preferidas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Fig. 1 mostra a seleção de um subconjunto Ω e a identificação do subconjunto ω usando o mapa de bits B.

A Fig. 2 mostra a seleção de um subconjunto ω de um conjunto de todas as sub-bandas disponíveis Ω e depois, em (a) e (b) utilizando abordagens de agrupamento para o subconjunto ω .

A Fig. 3 mostra um exemplo de um lote SNR (Signal to Noise Ratio - Relação Sinal/Ruído) para matrizes de pré-codificação e sub-bandas no espectro OFDM.

A Fig. 4 mostra outro exemplo de um lote SNR para matrizes de pré-codificação e sub-bandas no espectro da sub-banda OFDM.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Num desvanecimento plano, sistemas MIMO não pré-codificados com antenas de transmissão N_T e antenas de recepção N_R , a relação de entrada-saída pode ser descrita como

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} . \quad (1)$$

Na equação (1), \mathbf{x} é o $N_T \times 1$ vetor dos símbolos transmitidos, \mathbf{y} , \mathbf{n} são respectivamente os $N_R \times 1$ vetores dos símbolos recebidos e o ruído, e \mathbf{H} é a $N_R \times N_T$ matriz dos coeficientes do canal. Os símbolos de transmissão são assim N_T vezes espacialmente multiplexados sobre o MIMO canal \mathbf{H} , ou por outras palavras, os fluxos N_T são transmitidos em paralelo, levando a um teórico aumento de N_T vezes na eficiência espectral.

A pré-codificação linear implica que uma matriz de pré-codificação $N_T \times N_S$ seja introduzida em (1) para pré-codificar os símbolos no vetor \mathbf{x} . A dimensão da coluna N_S pode ser selecionada para ser menor do que N_T em que neste caso \mathbf{x} é modificado para a dimensão $N_S \times 1$. Consequentemente, os fluxos N_S são transmitidos em paralelo, o que é conhecido como classificação de adaptação e implica que menos símbolos sejam espacialmente multiplexados sobre o canal. A classificação de adaptação é útil uma vez que é reduzida a probabilidade de erro do símbolo, embora menos símbolos sejam espacialmente multiplexados. A relação de entrada-saída para o MIMO pré-codificado é assim descrita como

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{W}\mathbf{x} + \mathbf{n} . \quad (2)$$

Para selecionar a melhor matriz de pré-codificação \mathbf{W} em (2), é necessário conhecimento sobre o canal \mathbf{H} e sobre as estatísticas de recepção de ruído. Portanto, a escolha é feita de preferência no recetor dado que esta informação está imediatamente disponível. O pré-codificador selecionado \mathbf{W} é então sinalizado para o transmissor, que implementa a pré-codificação de acordo com a preferência do recetor. Para reduzir a carga de sinalização entre o recetor e o transmissor é vulgarmente assumido que a matriz de pré-codificação \mathbf{W} pertence a um conjunto fixo de matrizes de pré-codificação, conhecido como livro de códigos de pré-codificação. Se o livro de códigos tem N elementos, são necessários $\bar{N} = \lceil \log_2(N) \rceil$ bits para indicar um elemento no livro de códigos e assim somente o índice matricial de pré-codificação (PMI) necessita de ser sinalizado a partir do recetor para o transmissor.

A multiplexação ortogonal de divisão de frequência (OFDM) combinada com MIMO permite uma extensão da pré-codificação MIMO para canais MIMO de seleção de frequência. Em MIMO-OFDM, um canal de banda larga é convertido em múltiplos canais de banda estreita correspondentes a subtransportadoras OFDM. Pode-se assumir que cada canal de banda estreita é de desvanecimento plano. Utilizando OFDM, as equações (1) e (2) são assim válidas para cada canal de banda estreita.

Além disso, os grupos de igual tamanho de subtransportadoras OFDM adjacentes são formados para obter sub-bandas OFDM. Um valor comum, usado em 3GPP E-UTRA, são 25 subtransportadoras OFDM adjacentes que formam uma sub-banda OFDM. Por isso, a largura de banda total é dividida em K sub-bandas. A largura de cada sub-banda é escolhida de forma a que o canal seja aproximadamente desvanecido plano em cada sub-banda. Isto implica que a mesma melhor matriz de pré-codificação W em (2) seja aproximadamente válida para todas as subtransportadoras de uma sub-banda. Por isso a granularidade mínima necessária no retorno de PMI é uma sub-banda e é somente necessária para retornar um PMI por sub-banda.

Em sistemas OFDM, é feita programação de frequência seletiva. Uma vez que a qualidade do canal, assim como o sinal para a taxa de interferência, varia ao longo da largura de banda da transmissão, é aplicada a programação de frequência seletiva e a programação de multiutilizador, por exemplo, em sistemas como E-UTRA e IEEE 802.16.

Para efetuar a programação de frequência seletiva, um recetor indica, num canal de retorno, quais as sub-bandas Q

nas K sub-bandas OFDM que se aplicam melhor para receber dados, e indica também os indicadores de qualidade para estas sub-bandas Q . Uma escolha natural para o recetor é indicar as sub-bandas Q que têm a maior relação sinal interferência entre as K sub-bandas OFDM. Isso é mostrado no documento do estado da técnica "[1] 3GPP R1-061246, *Unified uplink CQI signalling by efficient labeling*, Huawei, Shanghai, maio 2006".

O documento do estado da técnica "[2] PCT/CN/2006/0004, *Method for sub-band indicator signaling*, Huawei, Pedido de Patente, março 2006" mostra ainda um método eficiente para sinalizar o subconjunto de Q sub-bandas de K sub-bandas disponíveis.

Na presente invenção, é adotada uma abordagem que combina o comportamento da camada física de pré-codificação com as ações da camada de programação. Consequentemente, é feita uma abordagem de camada transversal.

Os inventores da presente invenção fizeram uma observação em que um utilizador não será programado nas suas sub-bandas OFDM onde a qualidade do canal é pobre devido por exemplo à competição de outros utilizadores.

Os inventores da presente invenção descobriram ainda que índices matriciais de pré-codificação para as sub-bandas OFDM com as maiores qualidades de canal estão correlacionados. Isto significa que uma matriz de pré-codificação que funciona bem para uma sub-banda com alta qualidade é provável que funcione bem de igual forma para outra sub-banda de alta qualidade. Os inventores perceberam

então que esta descoberta pode ser útil para reduzir o número de matrizes de pré-codificação usadas.

Portanto, não existe ganho em retornar informação matricial de pré-codificação para todas as sub-bandas OFDM, dado que esta informação não será usada pelo transmissor, a menos que todas as sub-bandas estejam programadas para o utilizador neste caso não é obtido nenhum ganho de programação de frequência.

Consequentemente, a presente invenção difere dos documentos do estado da técnica [3], [4], [5], [6] e [7] no aspeto em que não é feita nenhuma tentativa para descrever completamente o índice matricial de pré-codificação para toda a largura de banda. Em vez disso, a invenção descreve apenas os índices matriciais de pré-codificação para aquelas sub-bandas OFDM onde é provável que ocorra a transmissão devido à alta qualidade do canal.

As bandas que o recetor deseja programar poderiam eficientemente ser sinalizadas utilizando a técnica de etiquetagem do documento [1], e o indicador de sinalização matricial de pré-codificação poderia preferencialmente coincidir com a sinalização da informação da qualidade do canal.

A largura de banda OFDM pode ser dividida em sub-bandas de igual frequência de largura de banda entre as quais K estão permitidas e disponíveis para programação. Este conjunto de K sub-bandas é denotado Ω . Um recetor decide gerar um relatório de índice matricial de pré-codificação para um menor subconjunto ω constituído por K' fora do total de K sub-bandas em Ω .

Uma etiqueta que define unicamente o conjunto ω pode ser gerada utilizando um mapa de bits B . Isto é mostrado na Fig. 1, em que a largura de banda é dividida em K ($K=12$) sub-bandas de frequência. As sub-bandas K' ($K'=4$) são selecionadas e podem ser etiquetadas pelo mapa de bits de máscara B . Pode também ser utilizado um método eficiente de compressão de mapa de bits, ver documentos [1] e [2].

O relatório de índice matricial de pré-codificação pode agora ser gerado para o subconjunto ω das sub-bandas OFDM. Isto é mostrado na Fig. 2, em que é efetuada uma compressão eficiente da informação de pré-codificação usando o subconjunto ω das K' ($K'=4$) sub-bandas. A informação matricial de pré-codificação em ω pode ser ainda compactada utilizando por exemplo uma abordagem de agrupamento (a) ou um único índice matricial de pré-codificação para todo o subconjunto ω como mostrado no exemplo (b).

De acordo com a presente invenção, para a seleção do subconjunto ω de sub-bandas K' é usado um critério de otimização

$$\{\Pi, \omega\} = \arg \max_{\hat{\Pi}, \hat{\omega}} f(\hat{\Pi}, \hat{\omega}, N_s) \quad (3)$$

onde Π é um vetor que contém os índices matriciais de pré-codificação para as correspondentes sub-bandas no vetor ω , em que os elementos são selecionados a partir de Ω , constituindo o conjunto completo de sub-bandas de frequências permitidas. Além disso, N_s é a classificação da transmissão, i.e. o número de fluxos transmitidos. A função f é um escalar métrico que mapeia o fluxo múltiplo e mede múltiplas sub-bandas num único número real.

Numa forma de realização da presente invenção, são encontradas as melhores K' bandas, que maximizam a métrica f como na equação (3), onde cada banda está a utilizar o seu melhor índice matricial de pré-codificação e em que K' é um dado número. Nesta forma de realização, Π contém um número de elementos P que podem ir até ao número de sub-bandas K' selecionadas. Assim, nesta forma de realização, não podem ser escolhidos diferentes índices matriciais de pré-codificação para cada uma das K' sub-bandas selecionadas para ω . Até P ($P = K'$) índices matriciais de pré-codificação e um conjunto de K' sub-bandas no vetor ω são encontrados conjuntamente o que resolve equação (3) nesta forma de realização.

Numa forma de realização alternativa, para reduzir ainda mais o retorno, é escolhido o vetor Π dos índices matriciais de pré-codificação para ter menos elementos que a correspondente sub-banda do vetor ω . Um exemplo é agrupar as sub-bandas no vetor ω e reportar um índice matricial de pré-codificação para cada grupo de sub-bandas. Consequentemente é utilizado um método de agrupamento idêntico ao que é utilizado no documento do estado da técnica [6] embora aqui o agrupamento seja realizado sobre as sub-bandas ω selecionadas e não sobre todo o conjunto de sub-bandas Ω . Nesta forma de realização, Π contém um número de elementos P que é menor que o número de sub-bandas K' selecionadas. Até um número $P < K'$ de índices matriciais de pré-codificação e um conjunto de K' sub-bandas no vetor ω são conjuntamente encontrados o que resolve a equação (3) nesta forma de realização. Ver exemplo (a) na Fig. 2, onde P é definido como dois, isto é, $P = 2$.

Numa forma de realização alternativa da presente invenção, o vetor Π dos índices matriciais de pré-codificação têm um único elemento. Nesta forma de realização, Π contém um número de elementos P sendo igual a um. Por isso, um único índice matricial de pré-codificação e um conjunto de K' sub-bandas no vetor ω são conjuntamente encontrados o que resolve a equação (3). Ver exemplo (b) na Fig. 2.

A Fig. 3 mostra um exemplo de um lote de relação de sinal ruído (SNR) para pré-codificar matrizes e sub-bandas no espectro de sub-bandas OFDM. O lote na Fig. 3 irá depois disto ser usado para ilustrar como é que combinações de índices matriciais de pré-codificação e sub-bandas podem ser conjuntamente selecionadas de acordo com a presente invenção.

No primeiro exemplo de acordo com a presente invenção com referência à Fig. 3, o número de elementos P em Π é definido como um, ou seja, $P = 1$, e o número de sub-bandas a serem selecionadas K' é definido como quatro, ou seja, $K' = 4$. O método de acordo com a presente invenção procura depois por todas as combinações possíveis de índices e sub-bandas, neste caso particular procura pela matriz que dá a melhor qualidade de transmissão quando utilizada por quatro sub-bandas, e para cada conjunto de quatro sub-bandas é usada esta matriz. Aqui a matriz 3 e as sub-bandas 4, 5, 6 e 12 são selecionadas.

No segundo exemplo de acordo com a presente invenção com referência à Fig. 3, P e K' estão definidos para, $P = 2$ e $K' = 4$. A seleção neste exemplo difere da seleção no exemplo anterior em que a sub-banda 7 e a matriz 1 irão ser

escolhidas em vez da sub-banda 12. Isto é apropriado uma vez que dois índices matriciais podem ser selecionados e a matriz 1 tem maior SNR na sub-banda 7 do que a matriz 3 tem na sub-banda 12.

Métodos do estado da técnica para redução de sinalização de índice matricial de pré-codificação tiveram soluções que enviavam índices matriciais de pré-codificação para um subconjunto fixo de sub-bandas, por exemplo cada segunda sub-banda. Isto pode ter o efeito de que uma grande quantidade de sinalização de índice matricial de pré-codificação é feita para sub-bandas com uma qualidade tão má que estes não devem ser programados pelo programador. Os métodos das técnicas anteriores são portanto subótimos.

No exemplo na Fig. 3, se um método do estado da técnica usando todas as segundas sub-bandas poderia, por exemplo, usando um subconjunto fixo de sub-bandas 1, 3, 5, 7, 9, e 11, o método do estado da técnica teria então escolhido a melhor matriz de pré-codificação possível para cada uma destas sub-bandas e teria transmitido a sinalização de índice matricial de pré-codificação para as matrizes de pré-codificação encontradas em cada sub-banda. As sub-bandas 1, 3 e 11 têm, como pode ser visto na Fig. 3, muito mau SNR para todas as matrizes, especialmente a sub-banda 3, e provavelmente não seria programada de qualquer forma. A sinalização referente a essas sub-bandas nas soluções do estado da técnica seria portanto um desperdício de recursos de comunicações.

Quando são selecionados índices matriciais de pré-codificação e um conjunto de K' sub-bandas de acordo com a presente invenção, ou seja, através do uso da equação (3),

para procura conjunta de índices matriciais de pré-codificação e um conjunto de K' sub-bandas dando o número de índices matriciais de pré-codificação disponíveis e o número K' , são selecionadas as melhores combinações possíveis de sub-bandas e índices matriciais de pré-codificação para usar nestas sub-bandas.

Esta equação (3) percorre todas as possíveis combinações de sub-bandas disponíveis e índices matriciais de pré-codificação e seleciona as combinações que maximizam a função f . A função f dá uma medida da qualidade de transmissão. A equação (3) seleciona assim a combinação que resulta na maior qualidade de transmissão possível. A equação (3) portanto seleciona também combinações que são prováveis de serem programadas pelo programador. A função f irá ainda ser descrita mais à frente.

A Fig. 4 mostra outro lote SNR (relação sinal ruído) para pré-codificar matrizes e sub-bandas no espectro da sub-banda OFDM. Como pode ser visto na Fig. 4, algumas vezes algumas das matrizes de pré-codificação são geralmente melhores do que as outras. Numa situação igual a esta, a forma de realização da presente invenção em que o vetor Π dos índices matriciais de pré-codificação tem um único elemento, $P = 1$, pode ser especialmente vantajoso. Uma vez que uma particular matriz de pré-codificação é a melhor matriz sobre mais ou menos toda a largura de banda, o método de acordo com a presente invenção, onde $P = 1$, é então mais ou menos simplificado para uma escolha de sub-bandas.

A seleção de sub-bandas e matrizes de pré-codificação podem também ser estendidas para classificar a adaptação, onde a

classificação, ou seja, o número de fluxos N_s é selecionado como

$$\{\Pi, \omega, N_s\} = \arg \max_{\hat{\Pi}, \hat{\omega}, \hat{N}_s} f(\hat{\Pi}, \hat{\omega}, \hat{N}_s) \quad (4)$$

Quando é usada a equação (4), os índices matriciais de pré-codificação, um conjunto de K' sub-bandas no vetor ω e o número de fluxos N_s são conjuntamente encontrados o que resolve a equação (4). Isto pode, da mesma forma como para a equação (3), ser feito para diferentes números P de elementos em Π . Quando a equação (4) é usada, as decisões de adaptação de classificação são feitas no final da recepção. Isto pode ser vantajoso em relação às possibilidades de maximização do rendimento para uma ligação. Quando é usada a equação (3), N_s é definido na BTS/Nó B.

A função métrica f nas equações (3) e (4) acima descritas é uma função das sub-bandas no vetor ω , dos seus comprimentos correspondentes K' e do(s) índice(s) matricial(ais) de pré-codificação Π . Esta pode ser implementada de várias formas. Uma forma de realização é usar o mapeamento SIR exponencial efetivo (EESM - effective exponential SIR mapping - mapeamento exponencial efectivo SIR) no documento "[8] (3GPP R1-031304, *System-level evaluation of OFDM - initial evaluation*, Ericsson, nov. 17-21, 2003)" para cada fluxo, assumindo um certo conjunto de sub-bandas ω e um vetor PMI ou um único PMI usado para todas as sub-bandas em ω , e que utiliza depois a seguinte expressão para f :

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \min\left(EESM_1(\Pi, \omega, N_s), \Lambda, EESM_{N_s}(\Pi, \omega, N_s)\right) \quad (5)$$

onde N_s é o número de fluxos e $EESM_s(\Pi, \omega, N_s)$ é o EESM para fluxos s assumindo N_s fluxos e o uso de matrizes de pré-codificação com índices no vetor Π e as sub-bandas ω . O EESM é também uma função da matriz \mathbf{H} de canal e da matriz de covariância de interferência, mas foi aqui omitido na notação para uma maior clareza.

Uma outra alternativa é mapear o EESM para informação mútua para cada fluxo assumindo um determinado conjunto de sub-bandas ω e um vetor de PMI, ou um único PMI, e depois soma a taxa de transferência ou informação mútua para cada fluxo e sub-banda para obter o resultado escalar da função métrica f como

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \sum_{s=1}^{N_s} \log_2 (1 + EESM_s(\Pi, \omega, N_s)) \quad (6)$$

Uma outra alternativa é considerar f para refletir a soma espetável de taxa de transferência num dado bloco de taxa de erro (BLER)

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \sum_{s=1}^{N_s} g_{BLER}(EESM_s(\Pi, \omega, N_s)) \quad (7)$$

onde $g_{BLER}(x)$ é uma função que mapeia os valores EESM para um maior possível correspondente tamanho de bloco de código (número de bits de informação) que dá a BLER menos do que um valor desejável prescrito. Por isso, a equação (7) dá a soma do tamanho dos blocos de código para cada fluxo e este número é proporcional à taxa de transferência esperada.

A abordagem nas equações (5), (6) e (7) assume múltiplas palavras de código, onde cada fluxo transmite um bloco separado de informação codificado. Uma outra alternativa é usar uma única (maior) palavra-chave, que é intercalada e

mapeada sobre todos os fluxos, em que neste caso é obtido um único valor EESM para toda a palavra-chave

$$f(\Pi, \omega, N_s) = EESM_{1\dots N_s}(\Pi, \omega, N_s) \quad (8)$$

Como será entendido por um perito na técnica, esta função métrica f pode ser calculada de várias formas. Existe um número de definições diferentes para qualidade de transmissão e também um número de formas diferentes para estimar a qualidade da transmissão. As equações (5) e (8) dão uma medida SNR, a equação (6) dá uma medida de capacidade e a equação (7) dá uma medida realística da taxa de transferência. Estas são todas medidas diferentes de qualidade de transmissão, mas existe também um número de outras medidas de qualidade de transmissão conhecidas no campo das comunicações. As equações (5)-(8) acima descritas são assim para serem vistas como quatro exemplos de um número de maneiras possíveis para realizar esta estimativa. O âmbito da presente invenção não é limitado às equações (5)-(8) acima descritas.

Numa forma de realização, o recetor pode retornar um índice matricial de pré-codificação para o conjunto complementar $\bar{\omega}$ de sub-bandas adicionalmente ao(s) índice(s) matricial(ais) de pré-codificação para o subconjunto ω , onde $\bar{\omega} \cup \omega = \Omega$. Se o programador decidir transmitir usando sub-bandas no subconjunto $\bar{\omega}$ este pode utilizar o índice matricial de pré-codificação para o conjunto complementar de sub-bandas.

Em alternativa, a matriz de pré-codificação para as sub-bandas em $\bar{\omega}$ pode ser fixa. Não é então necessária nenhuma sinalização para a indicação matricial de pré-codificação

destas sub-bandas. Especificamente, a matriz fixa de pré-codificação, neste caso, pode ser uma matriz de identidade, ou se a matriz de pré-codificação não é quadrada, podem ser selecionadas colunas de uma matriz de identidade.

Em todas as formas de realização acima descritas a compressão do índice matricial de pré-codificação no subconjunto ω pode ser feita com um método de compressão arbitrário, tal como uma codificação da média de utilização ou qualquer outro método de compressão conhecido na técnica.

As sub-bandas em ω podem também ser adicionalmente divididas em múltiplas sub-bandas onde cada sub-sub-banda tem um determinado índice matricial de pré-codificação único. A abordagem mais recente necessita também de uma etiqueta para assinalar como é que é feita a divisão de ω em sub-sub-bandas.

Numa forma de realização, o final da transmissão é uma BTS/Nó B e o final da receção é uma estação/UE móvel. Nesta forma de realização, a estação/UE móvel transmite o vetor Π de pré-codificação, o conjunto ω e os números possíveis de fluxos N_s para uma BTS/Nó B. A BTS/Nó B aqui diz respeito a esta informação de transmissão como uma recomendação, mas não tem de seguir estritamente esta recomendação. Nesta forma de realização K' pode ser definido pela BTS/Nó B, e pode também ser definido pela estação/UE móvel.

Nesta forma de realização, o final da transmissão é uma estação/UE móvel e o final da receção é uma BTS/Nó B. Nesta

forma de realização, a BTS/Nó B transmite a concessão de programação contendo o vetor Π de pré-codificação, o subconjunto ω e números possíveis de fluxos N_s para a estação/UE móvel. A estação/UE móvel aqui tem de seguir estritamente a informação transmitida.

Numa forma de realização, o número de elementos P em Π é definido no sistema padrão e o valor de P pode possivelmente ser definido com base em variações de tipos de dados, tais como largura de banda do sistema, estatísticas de comunicação ou semelhantes.

O método de acordo com a invenção é implementado na unidade de recepção e/ou na unidade de transmissão, tal como a estação/UE móvel ou uma BTS/Nó B, realizado em software. Preferencialmente, um DSP (Digital Signal Processor - processador de sinal digital) ou qualquer outro processador equivalente é usado para executar os diferentes passos de um método.

Na Tabela 1, é feita uma comparação do retorno necessário para a presente invenção para retornar completamente e para retornar no estado da técnica usando grupos de tamanho L OFDM de sub-bandas. As duas últimas colunas na Tabela 1 mostram o retorno necessário para a presente invenção.

Técnica de Compressão de Retorno	Número de Bits de Retorno para Sinalizar Informação Matricial de Pré-codificação	Número de Bits de Retorno para Etiqueta de Sinalização	Retorno Total	Exemplo com $K=24$, $K'=4$, $N=3$, $L=2$ (como sugerido no documento [6])
Nenhum (completo)	$K \cdot \bar{N}$	0	$K \cdot \bar{N}$	72 bit
Agrupamento de L sub-bandas, como nos documentos [6][7][3][4][5]	$\frac{K \cdot \bar{N}}{L}$	0	$\frac{K \cdot \bar{N}}{L}$	36 bit
Sub-bandas selecionadas com $P=K'$	$K' \cdot \bar{N}$	$\lceil \log_2 \binom{K}{K'} \rceil$	$\lceil \log_2 \binom{K}{K'} \rceil + K' \cdot \bar{N}$	26 bit
Sub-bandas selecionadas com um índice matricial de pré-codificação, $P=1$. (Exemplo (b) na fig.2.)	\bar{N}	$\lceil \log_2 \binom{K}{K'} \rceil$	$\lceil \log_2 \binom{K}{K'} \rceil + \bar{N}$	17 bit

Tabela 1. Comparação da sobrecarga de sinalização necessária para retornar o índice matricial de pré-codificação. (\bar{N} é o número de bits necessários para indicar um elemento no livro de códigos.)

Foi também efetuada uma simulação por computador para comparar a performance de usar um retorno completo e o retorno das bandas selecionadas com um único índice matricial de pré-codificação (exemplo (b) na Figura 3).

Os resultados podem ser vistos na Tabela 2. A perda na taxa de transferência está dentro de uma pequena percentagem enquanto que o retorno é reduzido aproximadamente um terço o que demonstra que a compressão de índice matricial de pré-codificação da invenção é muito eficiente.

Configuração MIMO	K	K'	Taxa de transferência		Carregamento de retorno	
			Completo	Invenção	Completo	Invenção
4x2	12	3	2,14 Mb/s	2,10 Mb/s	36 bit	11 bit
2x2	12	6	3,39 Mb/s	3,33 Mb/s	36 bit	13 bit

Tabela 2 Exemplo de simulação. A taxa de transferência e o carregamento de retorno são comparados entre o retorno completo e a presente invenção. Foi simulado um sistema de largura de banda OFDM de 5 MHz num canal TU (Típico Urbano) com um único utilizador com um tamanho do livro de códigos de 8 elementos.

O método, a unidade de receção e a unidade de transmissão para reduzir a quantidade de informação de retorno pré-codificada de acordo com a invenção podem ser modificados pelos peritos na técnica, em comparação com as formas de realização exemplares acima descritas.

Como é obvio para uma pessoa especializada, um número de outras implementações, modificações, variações e/ou adições podem ser efetuadas às formas de realização exemplares acima descritas. Entende-se que a invenção inclui todas as outras implementações, modificações, variações e/ou adições fornecidas que caiam dentro do âmbito das reivindicações.

Documentos de Referência

- [1] 3GPP R1-061246, *Unified uplink CQI signaling by efficient labeling*, Huawei, Shanghai, maio 2006.
- [2] PCT/CN/2006/0004, *Method for sub-band indicator signalling*, Huawei, Pedido de Patente, março 2006.
- [3] J.Choi, R.W.Heath Jr., *Interpolation Based Unitary Precoding for Spatial Multiplexing MIMO-OFDM with Limited Feedback*, IEEE Globecom Conference 2004, Dallas, EUA, novembro 2004, páginas 214-218.

- [4] J.Choi, R.W.Heath Jr., *Interpolation Based Transmit Beainfonning for MIMO-OFDM with Limited Feedback*, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.53, No. 11, novembro 2005, páginas 4125-4135.
- [5] B.Mondahl, R.W.Heath Jr., *Algorithms for Quantized Precoding in MIMO OFDM Beamfonning Systems*, Proceedings of the SPIE, Volume 5847, pp. 80-87 (2005).
- [6] 3GPP R1-061441, *Feedback Reduction for Rank-1 precoding for E-UTRA downlink*, Texas Instruments, Shanghai, maio 2006.
- [7] 3GPP R1-061439, *Evaluation of Codebook-based Precoding for LTE MIMO Systems*, Texas Instruments, Shanghai, maio 2006.
- [8] 3GPP R1-031303, *System-level evaluation of OFDM - initial evaluation*, Ericsson, nov. 17-21, 2003.

Lisboa, 7 de Setembro de 2012

REIVINDICAÇÕES

1. Um sistema de comunicação multitransportador de múltipla entrada múltipla saída (MIMO) compreendendo uma unidade de transmissão em comunicação com uma unidade de recepção, sendo o sistema disposto para reduzir a quantidade de informação de retorno de pré-codificação no sistema, em que a informação é transportada num número de fluxos N_s usando múltiplos subtransportadores sendo agrupados juntos num conjunto Ω de K sub-bandas permitidas (n_1, \dots, n_K) , a unidade de transmissão é disposta para selecionar uma matriz de pré-codificação adequada para ser usada pelo livro de códigos de pré-codificação baseado em índices do livro de códigos retornados a partir de uma unidade de recepção, e caracterizado por a unidade de transmissão compreender: meios para receber informação, retorno a partir da unidade, identificar um número limitado de K' sub-bandas num subconjunto ω $(m_1, \dots, m_{K'})$ de um conjunto Ω e um número limitado de P índices do livro de códigos para serem usados para as K' sub-bandas no subconjunto ω , em que K' é definido para um valor $K' < K$ e P é definido para um valor $P \leq K'$, sendo a informação e os P índices do livro de códigos seletivamente agrupados, enquanto se considera a qualidade de transmissão para cada combinação relevante de sub-bandas e matrizes, e sendo retornado pela unidade de recepção, e meios para transmissão nas K' sub-bandas usando os P índices do livros de códigos.

2. Pelo menos um processador configurado para realizar um método para reduzir uma quantidade de informação de retorno de pré-codificação num sistema de comunicação multitransportador MIMO (múltipla entrada múltipla saída), em que o sistema é disposto para transportar informação num número de fluxos N_s usando subtransportadores sendo agrupados juntos num conjunto Ω de K sub-bandas permitidas (n_1, \dots, n_K) , caracterizado por o método compreender:
selecionar juntamente no final da receção, enquanto considera a qualidade de transmissão para cada combinação relevante de sub-bandas e matrizes, um número limitado de índices do livros de códigos P e um número de K' sub-bandas para serem incluídas num subconjunto ω $(m_1, \dots, m_{K'})$ do conjunto Ω , em que K' é definido para um valor $K' < K$ e P é definido para um valor $P \leq K'$, e
transmitir os P índices do livro de códigos e informação que identifica o subconjunto ω para um final de transmissão.
3. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que os P índices do livro de códigos estão incluídos no vetor Π .
4. O processador de acordo com a reivindicação 3, em que as seleções dos índices do livro de códigos e as correspondentes sub-bandas a serem usadas para o subconjunto ω são realizadas por forma a que a função de qualidade de transmissão seja maximizada.

5. O processador de acordo com a reivindicação 4, em que o subconjunto $\omega (m_1, \dots, m_{K'})$ e os P índices do livro de códigos no vetor Π preenchem:

$$\{\Pi, \omega\} = \arg \max_{\hat{\Pi}, \hat{\omega}} f(\hat{\Pi}, \hat{\omega}, N_s), \text{ em que}$$

Π é um vetor contendo P índices matriciais de pré-codificação correspondentes às sub-bandas ou grupos de sub-bandas no subconjunto de sub-bandas ω ,

f é uma função escalar de qualidade de transmissão que leva a qualidade de transmissão sobre múltiplos fluxos e múltiplas medidas de sub-bandas em consideração,

K' é um dado número que define o número de sub-bandas nos quais os índices do livros de códigos são para ser transmitidos, $K' < K$, e

N_s é um dado número de fluxos.

6. O processador de acordo com a reivindicação 3, em que índices do livro de códigos, sub-bandas para serem usados de um subconjunto ω e um número de fluxos são em conjunto selecionados com respeito a uma função de qualidade de transmissão.

7. O processador de acordo com a reivindicação 6, em que os índices do livro de códigos e sub-bandas para serem usados no subconjunto ω e o número de fluxos N_s , são em conjunto selecionados para que a função de qualidade de transmissão seja maximizada.

8. O processador conforme reivindicado na reivindicação 7, em que o subconjunto $\omega (m_1, \dots, m_{K'})$, os P índices do livro de códigos no vetor Π e o número de fluxos N_s preenchem:

$$\{\Pi, \omega, N_s\} = \arg \max_{\hat{\Pi}, \hat{\omega}, \hat{N}_s} f(\hat{\Pi}, \hat{\omega}, \hat{N}_s), \text{ em que}$$

$\hat{\Pi}$ é um vetor contendo P índices matriciais de pré-codificação correspondendo às sub-bandas ou grupos de sub-bandas no sub-conjunto ω ,

f é uma função escalar de qualidade de transmissão que leva a qualidade de transmissão sobre os múltiplos fluxos e múltiplas medidas de sub-bandas em consideração,

K' é um dado número que define o número de sub-bandas para as quais os índices do livro de códigos são para serem transmitidos, $K' < K$, e

N_s é um número de fluxos.

9. O processador de acordo com a reivindicação 5 ou 8, em que a função f é definida como:

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \min\left(EESM_1(\Pi, \omega, N_s), \Lambda, EESM_{N_s}(\Pi, \omega, N_s)\right), \text{ em que}$$

$EESM$ é uma função efetiva de mapeamento exponencial SIR.

10. O processador de acordo com a reivindicação 5 ou 8, em que a função f é definida como:

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \sum_{s=1}^{N_s} \log_2\left(1 + EESM_s(\Pi, \omega, N_s)\right), \text{ em que}$$

$EESM$ é uma função efetiva de mapeamento exponencial SIR.

11. O processador de acordo com a reivindicação 5 ou 8, em que a função f é definida como

$$f(\Pi, \omega, N_s) = \sum_{s=1}^{N_s} g_{BLER}\left(EESM_s(\Pi, \omega, N_s)\right), \text{ em que}$$

$EESM$ é um função efetiva de mapeamento exponencial SIR, e

$g_{BLER}(x)$ é uma função que mapeia os valores $EESM$ num maior correspondente possível tamanho de bloco de

código (número de bits de informação) que dá BLER menor do que um valor desejável prescrito.

12. O processador de acordo com a reivindicação 5 ou 8, em que a função f é definida como:

$$f(\Pi, \omega, N_s) = EESM_{1, \dots, N_s}(\Pi, \omega, N_s), \text{ em que}$$

$EESM$ é uma função de mapeamento SIR exponencial efetiva.

13. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que o final da transmissão é uma BTS/Nó B e um correspondente final de receção é uma estação/UE móvel, ou

o final de transmissão é uma estação/UE móvel e um correspondente sinal de receção é uma BTS/Nó B.

14. O processador de acordo com a reivindicação 13, se o final da transmissão for uma BTS/Nó B e o final da receção for uma estação/UE móvel,

em que o número de sub-bandas K' para os quais os índices do livro de códigos são para serem transmitidos é definido por uma BTS/Nó B, ou

o número de sub-bandas K' para os quais os índices do livro de códigos são para serem transmitidos é definido por uma estação/UE móvel.

15. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que o número de índices P do livro de códigos é um, $P = 1$, ou

o número de índices P do livro de códigos é definido para um predeterminado valor, preferencialmente dado num sistema padrão.

16. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que um índice matricial de pré-codificação para um conjunto complementar $\bar{\omega}$ é transmitido para a transmissão final adicionalmente aos índices matriciais de pré-codificação P para o subconjunto ω , em que $\bar{\omega}Y\omega = \Omega$ e Ω é o conjunto total de sub-bandas permitidas.
17. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que um índice matricial de pré-codificação para um conjunto complementar $\bar{\omega}$ é fixo, em que $\bar{\omega}Y\omega = \Omega$ e Ω é o conjunto total de sub-bandas permitidas.
18. O processador de acordo com a reivindicação 17, em que a matriz de pré-codificação fixa é uma matriz de identidade, ou a matriz de pré-codificação fixa inclui colunas selecionadas a partir de uma matriz de identidade.
19. O processador de acordo com a reivindicação 2, em que a informação que identifica o subconjunto está incluída na representação do mapa de bits.

Lisboa, 7 de Setembro de 2012

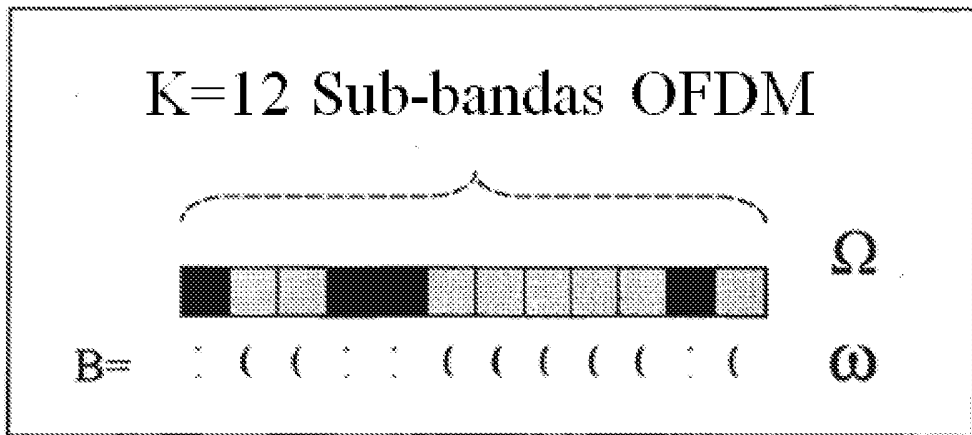


Fig. 1

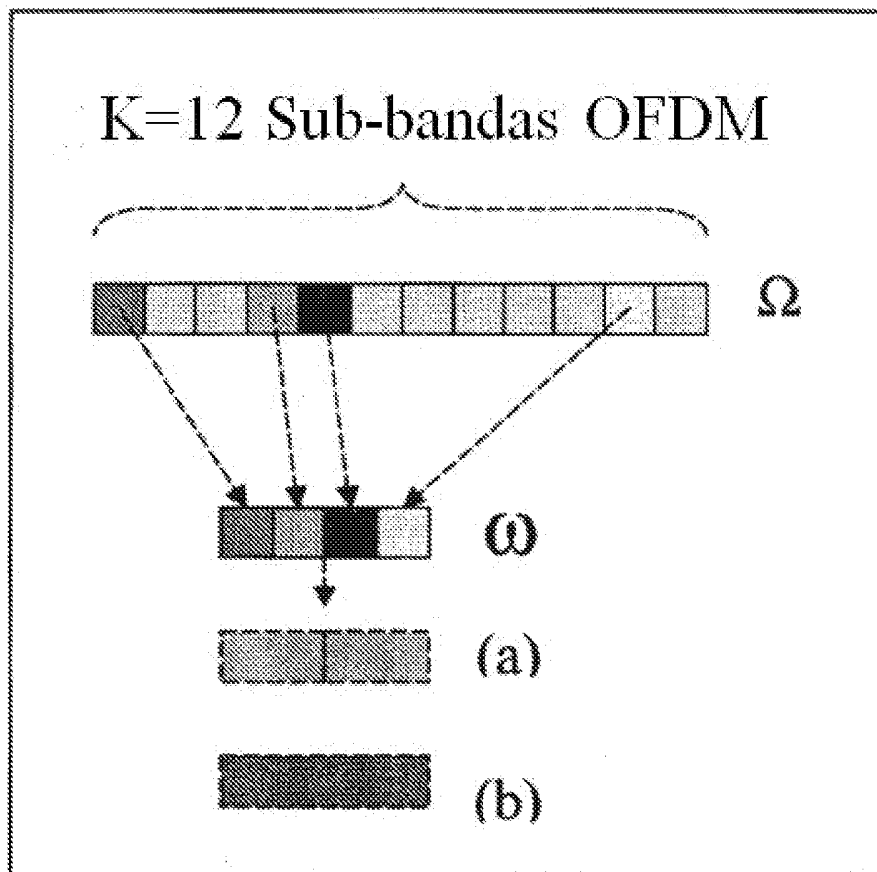


Fig. 2

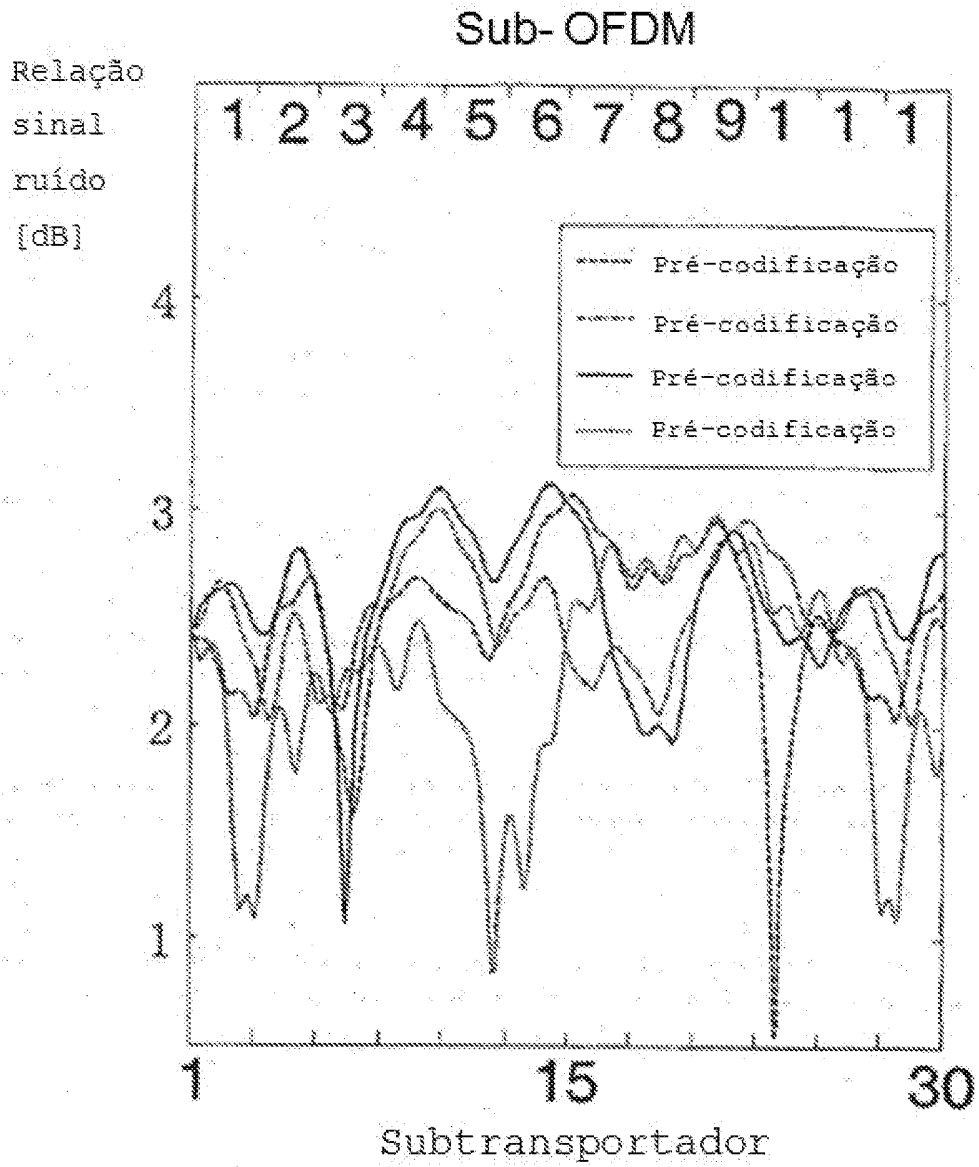


Fig. 3

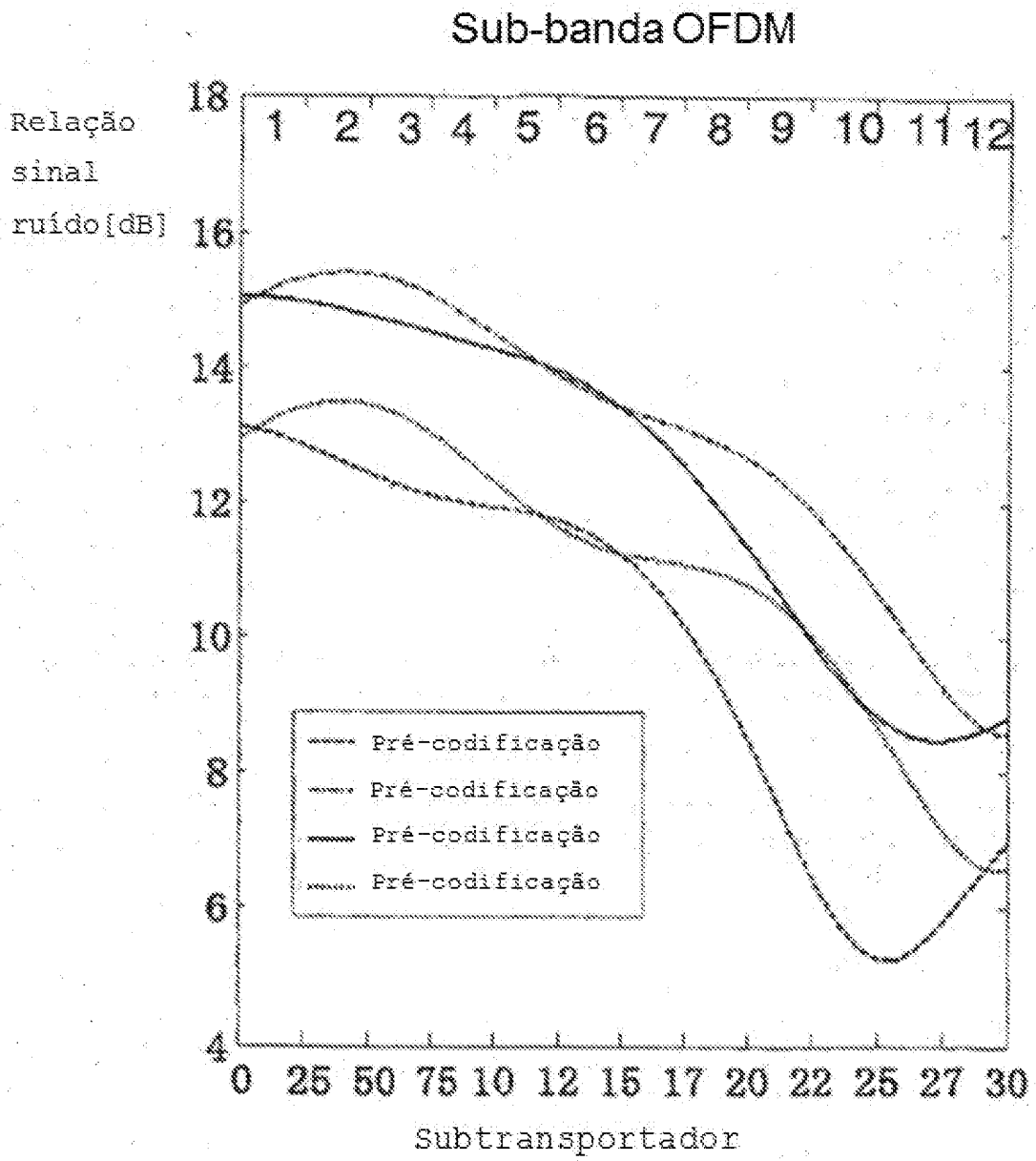


Fig. 4