



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

(11) PI 0407786-5 B1

(22) Data do Depósito: 24/02/2004

(45) Data de Concessão: 26/12/2017



(54) Título: ESQUEMAS DE TRANSMISSÃO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MULTI-ANTENA UTILIZANDO MODULAÇÃO MULTIPORTADORA

(51) Int.Cl.: H04L 27/04; H04B 1/69

(30) Prioridade Unionista: 25/02/2003 US 10/375,191

(73) Titular(es): QUALCOMM INCORPORATED

(72) Inventor(es): RANGANATHAN KRISHNAN; ANAND SUBRAMANIAM; TAMER KADOUS

**"ESQUEMAS DE TRANSMISSÃO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO
MULTI-ANTENA UTILIZANDO MODULAÇÃO MULTIPORTADORA"**

FUNDAMENTOS

I. CAMPO

5 A presente invenção refere-se, de um modo geral, à comunicação de dados e, mais especificamente, a esquemas de transmissão de piloto e dados para sistemas de comunicação multi-antena utilizando modulação multiportadora.

10 II. FUNDAMENTOS

 Um sistema de comunicação multi-antena emprega múltiplas (T) antenas transmissoras e uma ou mais (R) antenas receptoras para transmissão de pilotos e dados. As T antenas transmissoras podem ser usadas para aumentar a
15 vazão por transmissão de fluxos de dados independentes a partir de tais antenas. As T antenas transmissoras podem também ser usadas para melhorar a confiabilidade por transmissão redundante de um único fluxo de dados a partir de tais antenas.

20 Em um sistema de comunicação multi-antena, pode ser necessário estimar os ganhos de canal entre as T antenas transmissoras e as R antenas receptoras. A estimativa de canal pode ser necessária para determinar um modo particular a ser usado para a transmissão de dados,
25 para processar uma transmissão de dados recebida, e assim por diante. A estimação de canal é tipicamente realizada pela transmissão de símbolos piloto que são conhecidos a priori pelo receptor. O receptor pode, a seguir, estimar os ganhos de canal como a razão dos símbolos piloto recebidos
30 sobre os símbolos piloto conhecidos.

 As estimativas de canal obtidas com base na transmissão de pilotos são normalmente prejudicadas tanto por ruído quanto por interferência. O ruído pode vir de várias fontes, tais como o canal sem fio, eletrônica de

receptor e assim por diante. O problema de ruído pode ser tipicamente atacado projetando-se apropriadamente um sinal piloto e/ou transmitindo o sinal piloto por um período de tempo suficiente tal que possam ser obtidas estimativas de canal com uma particular qualidade desejada pelo receptor.

Para um sistema multi-antena, a interferência pode resultar da transmissão do sinal piloto simultaneamente a partir de todas as T antenas transmissoras. Isto se deve ao fato de que o sinal piloto transmitido a partir de cada antena atua como interferência para os sinais piloto transmitidos a partir das outras antenas.

O mesmo fenômeno de interferência ocorre quando as T antenas transmissoras são usadas para transmissão de dados. Em particular, caso o mesmo sinal seja redundantemente transmitido a partir de múltiplas antenas sem cortar a interferência, pode ocorrer o cancelamento de sinais no receptor, dependendo das condições do canal e da localização específica do receptor. Conseqüentemente, a maior vazão e/ou confiabilidade não seriam alcançadas pela transmissão simultânea de dados a partir de múltiplas antenas.

Existe, portanto, uma demanda na área por esquemas de transmissão que possam efetivamente lidar com interferência em sistemas de comunicação multi-antena.

SUMÁRIO

São aqui providos esquemas de transmissão de pilotos e dados para sistemas de comunicação multi-antena utilizando modulação multiportadora. Em um aspecto, a multiplexação de sub-banda é usada para evitar a interferência resultante da transmissão de múltiplos sinais simultaneamente a partir de múltiplas antenas. Com a multiplexação de sub-banda, M sub-bandas utilizáveis providas por modulação multiportadora (por exemplo, OFDM) são inicialmente dispostas para formar múltiplos grupos de

sub-bandas, com cada grupo incluindo um subconjunto diferente das sub-bandas utilizáveis. Os grupos de sub-bandas podem ser formados de várias maneiras, descritas mais adiante. A seguir, a cada uma dentre as T antenas transmissoras é designado um, ou possivelmente mais, grupo de sub-bandas para transmissão de piloto e tipicamente um grupo de sub-banda para transmissão de dados. Os grupos de sub-bandas usados para transmissão de pilotos podem ser iguais ou diferentes dos grupos de sub-bandas usados para transmissão de dados. Os pilotos e dados podem ser, a seguir, transmitidos a partir de cada antena nas sub-bandas designadas para tal antena para transmissão de piloto e dados. Com a multiplexação de sub-banda, os pilotos e/ou dados podem ser transmitidos simultaneamente a partir de todas as T antenas transmissoras, em todas as sub-bandas utilizáveis sem causar interferência.

Outras técnicas também podem ser usadas para melhorar o desempenho para transmissões de pilotos e dados. Como exemplo, para cada antena transmissora, a potência de transmissão para cada sub-banda designada à antena pode ser escalonada acima de tal forma que a totalidade ou o máximo da potência de transmissão total disponível para tal antena seja usada para transmissão. Para a transmissão de pilotos ocorrendo ao longo de múltiplos períodos de símbolos, as sub-bandas designadas para as T antenas transmissoras podem ser permutadas. A permutação de sub-bandas permite que mais sub-bandas sejam usadas por cada antena e melhores estimativas de canal possam ser obtidas enquanto se evita ainda a interferência.

Vários aspectos e modalidades da invenção serão descritos em maiores detalhes mais adiante.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As características, natureza e vantagens da presente invenção ficarão mais claras através da descrição detalhada apresentada a seguir, quando tomada em conjunto

com os desenhos, nos quais referências numéricas similares identificam itens correspondentes e nos quais:

A Figura 1A apresenta uma estrutura OFDM de sub-bandas;

5 A Figura 1B mostra uma estrutura de sub-bandas que suporta multiplexação de sub-banda;

A Figura 2A ilustra uma transmissão exemplar de piloto/dados a partir de T antenas usando multiplexação de sub-banda;

10 A Figura 2B mostra uma transmissão de piloto exemplar a partir de T antenas usando multiplexação de sub-banda e permutação de sub-bandas;

A Figura 3A mostra uma transmissão de dados exemplar a partir de T antenas usando multiplexação de sub-banda e diversidade de transmissão;

15 A Figura 3B mostra uma transmissão de dados exemplar a partir de T antenas usando multiplexação de sub-banda e diferentes emparelhamentos de antenas para diversidade de transmissão;

20 A Figura 3C mostra uma transmissão de dados exemplar a partir de grupos de W antenas usando multiplexação de sub-banda;

A Figura 4 mostra um fluxograma de um processo para transmissão de pilotos e/ou dados usando multiplexação de sub-banda;

25 A Figura 5 apresenta um diagrama de blocos de uma unidade transmissora e duas unidades receptoras;

A Figura 6 apresenta um diagrama de blocos de um processador espacial de transmissão (TX) que implementa um esquema de diversidade de transmissão espaço-tempo (STTD);

30 A Figura 7A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX que implementa um esquema Walsh-STTD;

35 A Figura 7B mostra um diagrama de blocos de um encodificador Walsh-STTD; e

A Figura 8 apresenta um diagrama de blocos de um modulador OFDM.

DESCRIÇÃO DETALHADA

O termo "exemplar" é aqui usado exclusivamente para significar "servindo como um exemplo, caso, ou ilustração". Qualquer modalidade ou esquema aqui descritos como "exemplar" não devem ser necessariamente considerados como preferidos ou vantajosos em relação a outras modalidades ou esquemas.

Os esquemas de transmissão de pilotos e dados aqui descritos podem ser usados para vários sistemas de comunicação multi-antena e com várias técnicas de modulação multiportadora. Para maior clareza, tais esquemas de transmissão são descritos especificamente para um sistema multi-antena que utiliza multiplexação ortogonal por divisão de frequências (OFDM).

A Figura 1A apresenta uma estrutura de sub-bandas OFDM 100 que pode ser usada para um sistema de comunicação multi-antena. O sistema possui uma largura de banda de sistema total de W MHz, que é particionada em N sub-bandas ortogonais usando-se OFDM. Em um típico sistema OFDM, apenas M dentre as N sub-bandas totais são usadas para transmissão de piloto e dados, em que $M < N$. As $N - M$ sub-bandas restantes não são usadas para transmissão de piloto/dados e servem como sub-bandas de guarda para permitir que o sistema atenda a exigências de máscara espectral. As M sub-bandas utilizáveis incluem as sub-bandas F a $F + M - 1$, em que F é um número inteiro tipicamente selecionado de tal forma que as M sub-bandas utilizáveis fiquem centralizadas no meio da banda de operação.

Para OFDM, os dados ou piloto a serem transmitidos em cada sub-banda utilizável são primeiramente modulados (isto é, mapeados em símbolos de modulação) usando-se um esquema de modulação particular. Um valor de

5 sinal de zero é provido para cada uma das $N - M$ sub-bandas não utilizadas. Para cada período de símbolos OFDM, N símbolos (por exemplo, M símbolos de modulação e $N - M$ zeros) para as N sub-bandas totais são transformados para o domínio do tempo usando-se uma transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) para obter um símbolo "transformado" que compreende N amostras de domínio do tempo. Para combater a interferência inter-simbólica (ISI) causada por desvanecimento seletivo por frequência, uma parte de cada símbolo transformado é repetida para formar um símbolo OFDM correspondente constituído por $N + C$ amostras, em que C é o número de amostras sendo repetidas. A parte repetida é freqüentemente referida como um prefixo cíclico. O símbolo OFDM é a seguir transmitido sobre o canal sem fio. Em um projeto exemplar, a largura de banda de sistema é $W = 20$ MHz, o número total de sub-bandas é $N = 256$, o número de sub-bandas utilizáveis é $M = 224$ e a duração de cada símbolo transformado é de $12,8\mu s$. Um período de símbolo OFDM (ou simplesmente, um período de símbolo) corresponde à duração de um símbolo OFDM.

Como foi acima mencionado, a multiplexação de sub-banda é usada para evitar a interferência resultante a partir da transmissão de múltiplos sinais simultaneamente a partir de múltiplas antenas. Com multiplexação de sub-banda, os pilotos e/ou dados são transmitidos simultaneamente a partir das T antenas em grupos de sub-bandas que estão "desunidas" (em que o termo desunido será descrito mais adiante) de forma a evitar a interferência. Vários esquemas de transmissão de piloto e dados podem ser definidos com multiplexação de sub-banda. Alguns de tais esquemas de transmissão serão descritos a seguir.

A Figura 1B ilustra uma estrutura de sub-bandas 150 que suporta multiplexação de sub-banda. Nesta modalidade, as M sub-bandas utilizáveis são inicialmente divididas em S

conjuntos desunidos, com cada conjunto incluindo T bandas consecutivas, em que $T \cdot S \leq M$. As T sub-bandas em cada conjunto são a seguir designadas para T grupos de tal forma que a i -ésima sub-banda em cada conjunto seja designada ao i -ésimo grupo. Com tal esquema de designação de sub-banda, as S sub-bandas em cada grupo são uniformemente distribuídas através das M sub-bandas utilizáveis, e sub-bandas consecutivas no grupo ficam espaçadas por T sub-bandas. Os T grupos de sub-bandas podem ser designados para as T antenas transmissoras para transmissão de piloto/dados.

De um modo geral, as M sub-bandas utilizáveis podem ser designadas para os T grupos de várias maneiras e isto está dentro do escopo da invenção. Os T grupos podem incluir números iguais ou diferentes de sub-bandas. Ademais, as sub-bandas em cada grupo podem estar distribuídas de modo uniforme ou não uniforme através das M sub-bandas utilizáveis. A única exigência é a de que os T grupos de sub-bandas estejam desunidos uns dos outros de forma que a interferência seja evitada. Para maior simplicidade, a descrição que se segue presume que cada um dentre os T grupos de sub-bandas inclui S sub-bandas, as sub-bandas em cada grupo estão uniformemente distribuídas e espaçadas por T sub-bandas (tal como mostrado na Figura 1B) e $T \cdot S = M$.

A Figura 2A ilustra uma transmissão de piloto/dados exemplar a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda. A cada uma das T antenas é designado um respectivo grupo de sub-bandas. Na Figura 2A, o grupo de sub-bandas 1 é designado para a antena 1, o grupo de sub-bandas 2 é designado para a antena 2, e assim por diante, e o grupo de sub-bandas T é designado para a antena T . Tais T grupos de sub-bandas podem ser formados tal como foi acima descrito para a Figura 1B. Cada grupo

inclui S sub-bandas que são mostradas pelas caixas sombreadas. A transmissão de piloto/dados a partir de cada antena ocorre apenas nas sub-bandas designadas para tal antena.

5 Tal como mostrado na Figura 2A, caso piloto/dados sejam transmitidos a partir de cada antena apenas nas sub-bandas designadas à antena, então não haverá interferência entre as transmissões a partir das T antenas. Isto se deve ao fato de que as sub-bandas são ortogonais entre si e cada
10 sub-banda é usada no máximo por uma antena para transmissão. Dessa forma, a interferência é evitada mesmo que T transmissões sejam enviadas simultaneamente a partir das T antenas.

Em um típico sistema de comunicação sem fio, cada
15 antena pode estar associada a uma potência de transmissão total de P_{antena} , que é a potência de transmissão máxima que pode ser usada para a transmissão de pilotos/dados a partir de tal antena. Tal P_{antena} pode ser ditada pela emissão máxima de um amplificador de potência para a antena, por
20 restrições de regulamentação, e/ou por algumas outras exigências. Um melhor desempenho pode ser alcançado pelo uso de toda, ou tanto quanto possível da totalidade da potência de transmissão total para a transmissão de pilotos/dados a partir de cada antena. Em particular, uma
25 vez que apenas S dentre as M sub-bandas utilizáveis são designadas a cada antena, em que $S = M/T$ para maior simplicidade, a potência de transmissão para cada uma das S sub-bandas designadas a cada antena pode ser aumentada por um fator de T . Isto iria, portanto, permitir que
30 sinal/ruído (SNR) recebida mais elevada seja alcançada para cada uma das S sub-bandas de cada antena.

Em um primeiro esquema de transmissão de piloto, o piloto é transmitido simultaneamente a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda. Os grupos de
35 sub-banda são formados de tal forma que o número de sub-

bandas em cada grupo seja maior do que o espalhamento de retardo máximo do sistema. O espalhamento de retardo para um dado receptor é a diferença entre as ocorrências de chegada de sinal mais precoce e mais tardia no receptor para um sinal transmitido por um transmissor. O espalhamento de retardo (L) do sistema é o espalhamento de retardo de pior caso esperado para todos os receptores no sistema, o qual pode estar disperso por toda a área de cobertura do sistema. Para combater a ISI de forma eficaz, o prefixo cíclico deve ser mais longo que o espalhamento de retardo do sistema (isto é, $C > L$, em que o espalhamento de retardo L é dado em unidades de período de amostra). O número de sub-bandas em cada grupo pode então ser selecionado de modo a ser maior ou igual ao número de amostras para o prefixo cíclico (isto é, $S \geq C$).

A derivação de estimativas de canal para todas as M sub-bandas utilizáveis com base na transmissão de piloto através de um subconjunto de tais M sub-bandas está descrita em detalhes no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 10/340,130, intitulado "CHANNEL ESTIMATION FOR OFDM COMMUNICATION SYSTEMS", depositado em 10 de janeiro de 2003 e no Pedido Provisório de Patente U.S. Nº de Série 60/427.896, intitulado "REDUCED COMPLEXITY CHANNEL ESTIMATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS", depositado em 19 de novembro de 2002, ambos em nome da Requerente do presente pedido e aqui incorporados pela presente referência.

Para melhor desempenho, a potência de transmissão por sub-banda designada a cada uma das T antenas pode ser aumentada por um fator de T . Para cada antena, isto iria resultar, portanto, na energia total da transmissão de piloto através das S sub-bandas designadas para ser a mesma conforme se todas as M sub-bandas utilizáveis fossem usadas para transmissão de piloto. A potência de transmissão mais

10/29

elevada por sub-banda iria permitir ao receptor obter estimativas de canal de qualidade mais elevada.

Caso o número de sub-bandas designadas a cada antena seja igual ou maior que o espalhamento de retardo do sistema (isto é, $S \geq L$), então os ganhos de canal para todas as M sub-bandas utilizáveis para a antena podem ser estimados com base na transmissão de piloto apenas nas S sub-bandas designadas à antena. Além disso, caso a potência de transmissão para cada uma das S sub-bandas designadas para cada antena seja aumentada por um fator de T , então a qualidade das estimativas de canal obtidas com base na transmissão de piloto em apenas S sub-bandas seria aproximadamente a mesma que aquela das estimativas de canal obtidas com base na transmissão de piloto em todas as M sub-bandas utilizáveis com a mesma quantidade de potência de transmissão. Isto é, mantendo-se a mesma energia total de piloto, o receptor seria capaz de estimar os ganhos de canal para todas as M sub-bandas utilizáveis com base na transmissão de piloto em apenas um subconjunto de tais sub-bandas com pouca ou nenhuma perda de qualidade.

O primeiro esquema de transmissão de piloto permite que todas as T antenas transmitam o piloto simultaneamente. Para obter estimativas de canal de qualidade comparável, um esquema convencional que transmite o piloto em todas as M sub-bandas utilizáveis simultaneamente a partir de todas as T antenas iria requerer uma duração de transmissão que é aproximadamente T vezes mais longa do que aquela requerida pelo primeiro esquema de transmissão de piloto. Como exemplo, caso $N_p \cdot T$ símbolos OFDM piloto sejam necessários para obter estimativas de canal de uma qualidade particular usando o esquema convencional, então estimativas de canal de qualidade comparável podem ser obtidas com base em N_p símbolos piloto OFDM transmitidos através de T antenas.

Isto presume que (1) a cada antena é designado um número suficiente de sub-bandas, o qual é igual ou maior que o prefixo cíclico e (2) é usado escalonamento de potência de tal modo que a potência de transmissão total disponível para cada antena seja usada para transmissão de piloto nas sub-bandas designadas. O escalonamento de potência está descrito no acima mencionado Pedido de Patente U.S. Nº de Série 10/340,130. Dessa forma, o primeiro esquema de transmissão de piloto pode reduzir o overhead de piloto por um fator de até T , o qual é o número de antenas transmissoras.

Em um segundo esquema de transmissão de piloto, o piloto é transmitido simultaneamente a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda e permutação de sub-bandas. O piloto pode necessitar ser transmitido durante múltiplos períodos de símbolos OFDM. Este pode ser o caso, por exemplo, caso o piloto necessite ser medido durante um período de tempo mais longo para obter uma estimativa razoavelmente acurada dos ganhos de canal. Em tal caso, uma melhoria adicional nas estimativas de canal pode ser obtida designando-se múltiplos grupos de sub-bandas para cada antena para transmissão de piloto.

A Figura 2B mostra uma transmissão de piloto exemplar a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda e permutação de sub-banda. Para este exemplo, a transmissão de piloto ocorre durante dois períodos de símbolos OFDM. A cada uma das T antenas são designados dois grupos de sub-bandas (por exemplo, os grupos i e $T/2 + i$ são designados à i -ésima antena), com cada grupo contendo as sub-bandas apresentadas pelas caixas sombreadas. Os dois grupos designados a cada antena podem ser selecionados de tal forma que as sub-bandas nestes grupos fiquem espaçadas por $T/2$ sub-bandas. Além disso, os grupos são designados para as T antenas de tal forma que, para cada período de símbolos OFDM, sejam usados grupos desunidos pelas T

antenas para transmissão de piloto. Um dado grupo de sub-banda pode ser designado para múltiplas antenas (por exemplo, o grupo de sub-bandas 1 pode ser designado às antenas 1 e $T/2 + 1$), porém tais antenas iriam usar tal grupo de sub-banda em diferentes períodos de símbolos.

Na Figura 2B, os grupos de sub-bandas 1 e $T/2 + 1$ são designados à antena 1, os grupos de sub-bandas 2 e $T/2 + 2$ são designados à antena 2, e assim por diante, e os grupos de sub-bandas T e $T/2$ são designados à antena T . Para o primeiro período de símbolos OFDM, o grupo de sub-bandas 1 é usado para a antena 1, o grupo de sub-bandas 2 é usado para a antena 2 e assim por diante, e o grupo de sub-bandas T é usado para a antena T . Para o segundo período de símbolos OFDM, o grupo de sub-bandas $T/2 + 1$ é usado para a antena 1, o grupo de sub-bandas $T/2 + 2$ é usado para a antena 2 e assim por diante, e o grupo de sub-bandas $T/2$ é usado para a antena T .

Os ganhos de canal para cada uma dentre as T antenas pode ser a seguir estimado com base nas transmissões de piloto recebidas em dois grupos de sub-bandas. Com a permutação de sub-banda, o número total de sub-bandas usadas para cada antena é de $2S$ em lugar de S , e melhores estimativas de canal podem ser obtidas para todas as M sub-bandas utilizáveis devido ao maior número de sub-bandas usadas para transmissão de piloto.

Para maior simplicidade, a Figura 2B mostra a multiplexação e permutação de sub-bandas para uma transmissão de piloto exemplar que ocorre durante dois períodos de símbolos OFDM. De um modo geral, a transmissão de piloto pode ocorrer através de Q períodos de símbolos OFDM, em que Q pode ser qualquer número inteiro igual a um ou maior. A cada antena podem então ser designados Q grupos de sub-bandas, com cada grupo incluindo S sub-bandas. A cada antena seria então designado um total de $S \cdot Q$ sub-

bandas que pode estar igualmente espaçada por T/Q sub-bandas. Caso $Q \geq 2$, então para cada antena, as sub-bandas em cada um dos Q grupos podem ser "entrelaçadas" com as sub-bandas nos outros $Q - 1$ grupos. O entrelaçamento pode ser tal que Q sub-bandas consecutivas designadas a uma dada antena sejam incluídas nos Q grupos designados à antena. Os Q grupos de sub-bandas designados a cada antena são usados para Q períodos de símbolos OFDM, com um grupo diferente dos Q grupos sendo usados para cada período de símbolos. Para cada período de símbolos, as T antenas iriam transmitir simultaneamente o piloto usando T grupos desunidos de sub-bandas.

Os esquemas de transmissão apresentados nas Figuras 2A e 2B podem ser usados para transmissão de dados, bem como para transmissão de piloto. No entanto, para transmissão de dados é freqüentemente desejável transmitir dados a partir de múltiplas antenas (em lugar de uma única antena) para cada uma das M sub-bandas utilizáveis. O uso de múltiplas antenas para cada sub-banda provê diversidade de transmissão, o que pode aumentar a ordem de diversidade da detecção de sinal no receptor. A diversidade de transmissão pode melhorar a confiabilidade e robustez de transmissão de dados, resultando desse modo em uma taxa de erro mais baixa e/ou maior resistência à perda de percurso.

A diversidade de transmissão pode ser alcançada com vários esquemas de diversidade. Alguns exemplos de tais esquemas de diversidade incluem um esquema de diversidade de transmissão espaço-tempo (STTD) e um esquema Walsh-STTD. Para o esquema STTD, um único fluxo de dados pode ser processado para prover dois fluxos de símbolos que podem ser transmitidos a partir de duas antenas (ou dois conjuntos de antenas com multiplexação de sub-banda). Para o esquema Walsh-STTD, um único fluxo de dados pode ser processado para prover W fluxos de símbolos que podem ser

transmitidos a partir de W antenas (ou W conjuntos de antenas com multiplexação de sub-banda), em que W é duas vezes o comprimento de um código ortogonal (por exemplo, um código Walsh) usado para o processamento Walsh-STTD. Esses
5 dois esquemas de diversidade serão descritos em detalhes a seguir.

Para o esquema STTD, caso múltiplos pares de antenas estejam disponíveis, então a simples transmissão do mesmo par de fluxos de símbolos a partir de cada par de
10 antenas pode resultar em cancelamento de sinal no receptor. Melhor confiabilidade não seria, portanto, obtida pela simples transmissão de dados redundantemente a partir de todas as antenas.

Em um primeiro esquema de transmissão de dados,
15 os dados são transmitidos simultaneamente a partir de pares de antenas usando multiplexação de sub-banda. Tal esquema de transmissão pode ser usado para o esquema STTD e esquemas de diversidade equivalentes. Para tal esquema de transmissão de dados, as M sub-bandas utilizáveis são
20 inicialmente dispostas para formar $T/2$ grupos desunidos de sub-bandas, com cada sub-banda utilizável sendo designada para apenas um grupo. Os $T/2$ grupos podem incluir o mesmo ou diferentes números de sub-bandas. As sub-bandas em cada grupo podem ser distribuídas de maneira uniforme ou não
25 uniforme através das M sub-bandas utilizáveis. As M sub-bandas utilizáveis podem, portanto, ser designadas para os $T/2$ grupos de diversas maneiras, e isto está dentro do escopo da invenção. Em uma modalidade que será descrita a seguir, cada grupo inclui $2S$ sub-bandas que estão
30 uniformemente distribuídas de tal forma que sub-bandas consecutivas no grupo fiquem espaçadas por $T/2$ sub-bandas. Os grupos de $T/2$ sub-bandas são então designados para $T/2$ pares de antenas, um grupo de sub-bandas para cada par de antenas.

A Figura 3A mostra uma transmissão de dados exemplar a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda e diversidade de transmissão. As T antenas são dispostas em $T/2$ pares, em que o i -ésimo par inclui duas antenas que são denotadas como A_i e B_i . A cada um dos $T/2$ pares de antenas é designado um respectivo grupo de sub-bandas, em que os $T/2$ grupos de sub-bandas podem ser formados tal como foi acima descrito. Na Figura 3A, o grupo de sub-bandas 1 é designado para o par 1 compreendido pelas antenas A_1 e B_1 , o grupo de sub-bandas 2 é designado para o par 2 compreendido pelas antenas A_2 e B_2 , e assim por diante, e o grupo de sub-bandas $T/2$ é designado para o par $T/2$ compreendido pelas antenas A_t e B_t (em que $t = T/2$). Os dados podem ser transmitidos a partir de cada par de antenas nas sub-bandas designadas para tal par de antenas.

O esquema STTD pode ser usado para prover um par de fluxos de símbolos, o qual pode ser demultiplexado para prover um par de subfluxos de símbolos para cada par de antenas. $T/2$ pares de subfluxos de símbolos podem assim ser gerados pelo esquema STTD para os $T/2$ pares de antenas. O subfluxo de símbolos para cada antena iria incluir, para cada período de símbolos OFDM, um símbolo de dados para cada uma dentre as sub-bandas designadas à antena e um valor de sinal de zero para cada uma das sub-bandas restantes. Tal como mostrado na Figura 3A, o par de subfluxos de símbolos para o par de antenas 1 é transmitido no grupo de sub-bandas 1, o par de subfluxos de símbolos para o par de antenas 2 é transmitido no grupo de sub-bandas 2 e assim por diante, e o par de subfluxos de símbolos para o par de antenas $T/2$ é transmitido através do grupo de sub-bandas $T/2$. Apesar destes $T/2$ pares de subfluxos de símbolos serem transmitidos simultaneamente a partir dos $T/2$ pares de antenas, eles não interferem uns com os outros pois eles são transmitidos em grupos desunidos de sub-bandas. Dessa forma, são evitados os

efeitos prejudiciais devido à interferência destrutiva entre as transmissões provenientes de diferentes pares de antenas.

Para melhor desempenho, cada subfluxo de símbolos
5 pode ser transmitido a partir da antena associada com a potência de transmissão total P_{antena} disponível para tal antena. Uma vez que apenas $2S$ das M sub-bandas utilizáveis são usadas para cada uma dentre as T antenas (em que $S = M/T$ para maior simplicidade), a potência de transmissão
10 para cada uma das $2S$ sub-bandas designadas a cada antena pode ser aumentada por um fator de $T/2$. Isto iria permitir, portanto, que uma SNR recebida mais elevada pudesse ser alcançada para cada uma dentre as $2S$ sub-bandas designadas para cada antena. A SNR recebida mais elevada para cada
15 sub-banda pode suportar uma taxa de dados mais alta, a qual iria, portanto, melhorar a vazão de sistema total.

A Figura 3A mostra uma designação exemplar das M sub-bandas utilizáveis para as T antenas. As sub-bandas utilizáveis podem também ser designadas para as T antenas
20 de várias outras maneiras, e isto está dentro do escopo da invenção. Como exemplo, as sub-bandas podem ser designadas às antenas de tal forma que diferentes emparelhamentos de antenas sejam usados para a transmissão de dados. Isto pode prover diversidade adicional.

25 A Figura 3B mostra uma transmissão de dados exemplar a partir das T antenas usando multiplexação de sub-banda e diferentes emparelhamentos de antenas para diversidade de transmissão. Para maior simplicidade, a descrição para a Figura 3B presume que $T = 4$ antenas são
30 usadas para transmissão de dados. Seis diferentes emparelhamentos de antenas podem ser formados com quatro antenas e tais emparelhamentos de antenas são denotados como $\{1,2\}$, $\{3,4\}$, $\{1,3\}$, $\{2,4\}$, $\{1,4\}$ e $\{2,3\}$.

As M sub-bandas utilizáveis podem ser
35 inicialmente divididas em $M/6$ conjuntos, com cada conjunto

incluindo 6 sub-bandas. As 6 sub-bandas em cada conjunto podem ser a seguir designadas para os 6 diferentes emparelhamentos de antenas, uma sub-banda para cada emparelhamento. Na Figura 3B, a primeira sub-banda em cada conjunto é designada ao emparelhamento de antenas {1,2}, a segunda sub-banda em cada conjunto é designada ao emparelhamento de antenas {3,4} e assim por diante, e a última sub-banda em cada conjunto é designada ao emparelhamento de antenas {2,3}.

O fluxo de dados a ser transmitido a partir das quatro antenas pode ser processado usando-se o esquema STTD para obter dois fluxos de símbolos. O primeiro fluxo de símbolos pode ser transmitido a partir da primeira antena ou antena esquerda nos 6 emparelhamentos e o segundo fluxo de símbolos pode ser transmitido a partir da segunda antena ou antena direita nos 6 emparelhamentos. Os primeiro e segundo fluxos de símbolos podem ser a seguir demultiplexados para formar quatro subfluxos de símbolos, um subfluxo para cada uma das quatro antenas. Cada subfluxo de símbolos inclui um símbolo de dados para cada uma das sub-bandas designadas à antena associada e um valor de sinal de zero para cada uma das sub-bandas não designadas.

Os quatro subfluxos de símbolos podem ser transmitidos simultaneamente a partir das quatro antenas. No entanto, tais subfluxos de símbolos não interferem uns com os outros pois eles são transmitidos através de quatro grupos "desunidos" de sub-bandas. Os grupos de sub-bandas são desunidos pelo fato de que cada uma das M sub-bandas utilizáveis é designada para apenas um par de antenas, tal como mostrado na Figura 3B.

Em um segundo esquema de transmissão de dados, os dados são transmitidos a partir de grupos de W antenas usando-se multiplexação de sub-banda, em que W pode ser qualquer número inteiro igual a um ou maior. Tal esquema de transmissão pode ser usado para o esquema Walsh-STTD e

outros esquemas de diversidade. Para tal esquema de transmissão de dados, as M sub-bandas utilizáveis são inicialmente dispostas para formar T/W grupos desunidos de sub-bandas, com cada sub-banda sendo designada para apenas um grupo. Os T/W grupos podem incluir números iguais ou diferentes de sub-bandas. As sub-bandas em cada grupo podem estar distribuídas de modo uniforme ou não uniforme através das M sub-bandas utilizáveis. Em uma modalidade que será descrita a seguir, cada grupo inclui $S \cdot W$ sub-bandas (em que $S = M/T$) que estão uniformemente distribuídas de tal forma que sub-bandas consecutivas no grupo estejam separadas por T/W sub-bandas. Para $W > 1$, este segundo esquema de transmissão permite que mais sub-bandas sejam designadas para cada antenna do que o primeiro esquema de transmissão acima descrito. Mais sub-bandas por antenna pode ser vantajoso para algumas aplicações. Os T/W grupos de sub-bandas são designados para T/W grupos de antenas, um grupo de sub-banda para cada grupo de antenna, em que cada grupo de antenna inclui W antenas. Os dados podem ser transmitidos a partir de cada antenna nas sub-bandas designadas à antenna.

Figura 3C mostra uma transmissão de dados exemplar a partir de grupos de W antenas usando multiplexação de sub-banda. As T antenas são dispostas em T/W grupos, em que o i -ésimo grupo inclui W antenas que estão denotadas como A_i, B_i , até W_i . A cada um dos T/W grupos de antenas é designado um respectivo grupo de sub-bandas, em que os T/W grupos de sub-bandas podem ser formados tal como foi acima descrito.

Um único fluxo de dados pode ser processado usando-se o esquema Walsh-STTD para prover W fluxos de símbolos, em que W é duas vezes o comprimento de uma sequência ortogonal (por exemplo, uma sequência Walsh) usada para processamento. Os W fluxos de símbolos podem ser demultiplexados para prover T/W grupos de subfluxos de

símbolos, com cada grupo incluindo W subfluxos de símbolos. Os T/W grupos iriam então incluir coletivamente T subfluxos de símbolos. Um grupo de subfluxos de símbolos é provido a cada grupo de antenas e cada antena é provida com um respectivo subfluxo de símbolos. O subfluxo de símbolos para cada antena iria incluir, para cada período de símbolo OFDM, um símbolo de dados para cada uma das sub-bandas designadas à antena e um valor de sinal de zero para cada uma das sub-bandas restantes. Os T subfluxos de símbolos são transmitidos simultaneamente a partir das T antenas. No entanto, tais subfluxos de símbolos não interferem uns com os outros pois eles são transmitidos em grupos desunidos de sub-bandas, uma vez que cada sub-banda é designada para apenas um grupo.

As Figuras 2A e 2B, e 3A a 3C apresentam alguns esquemas exemplares de multiplexação de sub-banda que podem ser usados para transmissão de pilotos e dados. Vários outros esquemas de multiplexação de sub-banda podem também ser desejados para utilização, e isto está dentro do escopo da invenção. Como exemplo, tanto piloto como dados podem ser transmitidos em um período de símbolos OFDM. Em tal caso, algumas das M sub-bandas utilizáveis podem ser usadas para transmissão de piloto e as sub-bandas utilizáveis restantes podem ser usadas para transmissão de dados. As sub-bandas de pilotos podem ser multiplexadas, por exemplo, tal como mostrado nas Figuras 2A ou 2B. As sub-bandas de dados podem ser multiplexadas, por exemplo, tal como mostrado nas Figuras 3A, 3B, ou 3C.

A Figura 4 mostra um fluxograma de uma modalidade de um processo 400 para transmissão de pilotos e/ou dados usando multiplexação de sub-banda. Inicialmente, as M sub-bandas utilizáveis são dispostas para formar múltiplos grupos de sub-banda, em que cada grupo inclui um subconjunto diferente das M sub-bandas utilizáveis (etapa

412). Os grupos de sub-bandas podem ser formados tal como foi acima descrito.

A cada uma das T antenas é a seguir designado um ou possivelmente mais grupos de sub-bandas para transmissão de pilotos e dados (etapa 414). Os grupos de sub-bandas usados para transmissão de pilotos podem ser os mesmos ou diferentes dos grupos de sub-bandas usados para transmissão de dados. Para a transmissão de pilotos, a cada antena pode ser designado um grupo diferente de sub-bandas (tal como acima descrito para a Figura 2A). Alternativamente, a cada antena podem ser designados dois ou mais grupos de sub-bandas para permutação de sub-bandas (tal como descrito para a Figura 2B). Para a transmissão de dados, a cada par de antenas pode ser designado um grupo diferente de sub-bandas (tal como descrito para a Figura 3A), a cada antena pode ser designado um grupo diferente de sub-bandas (tal como descrito na Figura 3B), a cada grupo de W antenas pode ser designado um grupo diferente de sub-bandas (tal como descrito para a Figura 3C), e assim por diante.

Os pilotos e/ou dados a serem transmitidos são a seguir processados (etapa 416). Como exemplo, os dados podem ser processados usando encodificação STTD, encodificação Walsh-STTD, ou algum outro tipo de encodificação. A quantidade de potência de transmissão a ser usada para cada sub-banda designada para cada uma das T antenas também é determinada (etapa 418). Em particular, a potência de transmissão para cada sub-banda designada pode ser escalonada acima de uma potência média que seria usada caso a transmissão fosse ocorrer através de todas as M sub-bandas utilizáveis. O fator de escalonamento depende do número de sub-bandas designadas para cada antena e do número de sub-bandas utilizáveis.

Os pilotos e/ou dados são a seguir transmitidos a partir das T antenas simultaneamente usando os múltiplos grupos de sub-bandas e na potência de transmissão

determinada (etapa 420). A transmissão a partir de cada antena ocorre apenas no grupo (ou grupos) de sub-bandas designados à antena. Para transmissão do piloto, somente uma das T antenas é tipicamente utilizada em qualquer dado período de símbolos para cada uma das M sub-bandas utilizáveis. Para a transmissão de dados, um grupo particular de duas (ou possivelmente mais) antenas é tipicamente usado para cada uma das M sub-bandas utilizáveis.

10 A Figura 5 apresenta um diagrama de blocos de uma modalidade de uma unidade transmissora 500 e duas unidades receptoras 550x e 550y em um sistema de comunicação multi-antena com modulação multiportadora (por exemplo, OFDM). A unidade transmissora 500 está equipada com T antenas, a
15 unidade receptora 550x está equipada com uma única antena e a unidade receptora 550y está equipada com R antenas.

Na unidade transmissora 500, um processador de dados de transmissão (TX) 510 recebe dados de tráfego provenientes de uma fonte de dados 508 e outros dados
20 provenientes de um controlador 530. O processador de dados TX 510 codifica, intercala e modula os dados para prover símbolos de modulação, os quais são também referidos como símbolos de dados. Um processador espacial TX 520 recebe e multiplexa os símbolos de dados com símbolos piloto (por
25 exemplo, usando multiplexação por divisão de tempo ou multiplexação de sub-banda) e pode realizar o processamento espacial para transmissão de dados. Como exemplo, o processador espacial TX 520 pode implementar o esquema STTD, o esquema Walsh-STTD, ou algum outro esquema. O
30 processador espacial TX 520 provê um fluxo de símbolos de transmissão para cada uma das T antenas (um fluxo de símbolos de transmissão é referido como um subfluxo de símbolos na descrição acima). Cada modulador (MOD) 522 recebe e processa um respectivo fluxo de símbolos de
35 transmissão para prover um correspondente sinal de rádio

freqüência (RF) modulado. T sinais RF modulados são gerados por T moduladores 522a a 522t e transmitidos a partir de T antenas 524a a 524t, respectivamente.

Em cada unidade receptora 550, os sinais RF
5 modulados transmitidos são recebidos por uma ou mais antenas 552, e cada antena provê um sinal recebido para um respectivo demodulador (DEMOD) 554. Cada demodulador 554 realiza o processamento complementar àquele efetuado pelo modulador 522 e provê símbolos recebidos. Um processador
10 espacial de recepção (RX) 560 a seguir realiza o processamento espacial nos símbolos recebidos a partir de todos os moduladores 554 para prover símbolos recuperados, os quais são estimativas dos símbolos de dados enviados pela unidade transmissora. Um processador de dados RX 570
15 também processa (por exemplo, demodula, deintercala e decodifica) os símbolos recuperados para prover dados decodificados, os quais podem ser providos a um depósito de dados 572 para armazenamento e/ou a um controlador 580 para processamento adicional. O processador espacial RX 560 pode
20 também estimar os ganhos de canal com base no piloto recebido e pode prover estimativas de canal (denotadas como uma matriz de resposta de canal $\hat{H}$) para o controlador 580.

Os controladores 530 e 580 controlam a operação de várias unidades de processamento dentro da unidade
25 transmissora e da unidade receptora, respectivamente. As unidades de memória 532 e 582 armazenam dados e códigos de programa usados pelos controladores 530 e 580, respectivamente.

A Figura 6 apresenta um diagrama de blocos de um
30 processador espacial TX 520a, que implementa o esquema STTD e é uma modalidade do processador espacial TX 520 na Figura 5. Os símbolos de dados $s(n)$ provenientes do processador de dados TX 510 são providos a um demultiplexador 610, o qual demultiplexa os símbolos de dados para 2M subfluxos de

símbolos de dados (denotados como $s_{k,1}(n)$ e $s_{k,2}(n)$, para $k \in \{1 \dots M\}$), um par de subfluxos de símbolos de dados para cada uma das M sub-bandas utilizáveis. Cada subfluxo de símbolos de dados inclui um símbolo de dados para cada intervalo de dois períodos de símbolos OFDM. Os M pares de subfluxos de símbolos de dados para as M sub-bandas utilizáveis são providos para M encodificadores espaço-tempo 620a a 620m.

Cada encodificador espaço-tempo 620 recebe e processa seu par de subfluxos de símbolos de dados para prover dois subfluxos de símbolos encodificados por espaço-tempo para a sub-banda associada. Para cada par de símbolos de dados (por exemplo, $s_{k,1}$ e $s_{k,2}$) nos dois subfluxos de entrada, o encodificador espaço-tempo 620 provê dois vetores $\underline{x}_{k,1}$ e $\underline{x}_{k,2}$, com cada vetor incluindo dois símbolos encodificados espaço-tempo (ou simplesmente, símbolos encodificados) que devem ser transmitidos seqüencialmente em dois períodos de símbolos OFDM a partir de uma antena associada. Em particular, o vetor $\underline{x}_{k,1}$ é transmitido na k -ésima sub-banda a partir de uma antena e o vetor $\underline{x}_{k,2}$ é transmitido na k -ésima sub-banda a partir de outra antena. Em uma modalidade, os vetores são definidos como $\underline{x}_{k,1} = [s_{k,1} \ s_{k,2}^*]^T$ e $\underline{x}_{k,2} = [s_{k,2} \ -s_{k,1}^*]^T$ tal como mostrado na Figura 6. Em outra modalidade, os vetores são definidos como $\underline{x}_{k,1} = [s_{k,1} \ s_{k,2}]^T$ e $\underline{x}_{k,2} = [s_{k,2}^* \ -s_{k,1}^*]^T$. Os dois símbolos encodificados em cada vetor possuem a mesma magnitude que os símbolos de dados, porém podem estar girados em fase. Cada encodificador espaço-tempo 620 provê dois subfluxos de símbolos encodificados para dois multiplexadores/demultiplexadores 630a e 630b.

Cada multiplexador/demultiplexador 630 recebe símbolos piloto e M subfluxos de símbolos encodificados a

partir de M encodificadores espaço-tempo 620a a 620m, multiplexa os símbolos encodificados e símbolos piloto com base em um esquema de transmissão particular de dados/pilotos e provê T/2 fluxos de símbolos de transmissão para T/2 antenas. Cada fluxo de símbolos de transmissão inclui símbolos piloto durante a transmissão de piloto e símbolos encodificados durante a transmissão de dados, em que os símbolos piloto e encodificados são enviados nas sub-bandas designadas à antena e usadas para transmitir tal fluxo.

Durante a transmissão do piloto, os multiplexadores/demultiplexadores 630a e 630b provêm coletivamente T fluxos de símbolos de transmissão para as T antenas. Cada fluxo de símbolos de transmissão inclui símbolos piloto para as sub-bandas designadas à antena associada e valores de sinal de zero para as sub-bandas não designadas. Para o esquema de transmissão apresentado na Figura 2A, o fluxo $x_{A1}(n)$ iria incluir símbolos piloto para as sub-bandas no grupo 1, o fluxo $x_{A2}(n)$ iria incluir símbolos piloto para as sub-bandas no grupo 2, e assim por diante, e o fluxo $x_{BT}(n)$ iria incluir símbolos piloto para as sub-bandas no grupo T.

Durante a transmissão de dados, multiplexadores/demultiplexadores 630a e 630b provêm cada um T/2 fluxos de símbolos de transmissão para T/2 antenas, em que cada fluxo inclui símbolos encodificados para as sub-bandas designadas à antena associada e valores de sinal de zero para as sub-bandas não designadas. Para o esquema de transmissão apresentado na Figura 3A, os fluxos $x_{A1}(n)$ e $x_{B1}(n)$ iriam incluir símbolos encodificados para as sub-bandas no grupo 1, os fluxos $x_{A2}(n)$ e $x_{B2}(n)$ iriam incluir símbolos encodificados para as sub-bandas no grupo 2, e assim por

diante, e os fluxos $x_{A_i}(n)$ e $x_{B_i}(n)$ iriam incluir símbolos encodificados para as sub-bandas no grupo T/2.

Cada modulador 522 processa um respectivo fluxo de símbolos de transmissão da maneira descrita a seguir
5 para prover um sinal RF modulado para uma antena associada.

O esquema STTD está descrito em maiores detalhes por S. M. Alamouti em um trabalho intitulado "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 16,
10 Nº 8, outubro de 1998, páginas 1451 a 1458, o qual é aqui incorporado pela presente referência. O esquema STTD está também descrito no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 10/179.439, intitulado "DIVERSITY TRANSMISSION MODES FOR MIMO OFDM COMMUNICATION SYSTEM", depositado em 24 de junho
15 de 2002, em nome da Requerente da presente invenção e aqui incorporado pela presente referência.

O esquema Walsh-STTD emprega uma combinação de (1) STTD para alcançar ortogonalidade em um par de antenas e (2) diversidade Walsh para alcançar ortogonalidade
20 através de múltiplos pares de antenas. O esquema Walsh-STTD pode ser usado em sistemas com mais de duas antenas (por exemplo, 4, 6, 8 e assim por diante).

A Figura 7A mostra um diagrama de blocos de um processador espacial TX 520b, que implementa o esquema
25 Walsh-STTD e é outra modalidade do processador espacial TX 520 na Figura 5. Em tal modalidade, seqüências Walsh de 2 chips são usadas para processamento, e $W = 4$. Os símbolos de dados $s(n)$ são providos para um demultiplexador 710, que demultiplexa os símbolos em 4M subfluxos de símbolos de
30 dados (denotados por $s_{k,1}(n)$ a $s_{k,4}(n)$, para $k \in \{1 \dots M\}$), um conjunto de quatro subfluxos para cada uma das M sub-banda utilizáveis. Os M conjuntos de subfluxos de símbolos de dados para as M sub-bandas utilizáveis são providos para M encodificadores Walsh-STTD 720a a 720m.

Cada encodificador Walsh-STTD 720 recebe e processa seu conjunto de quatro subfluxos de símbolos de dados, $s_{k,1}(n)$ a $s_{k,4}(n)$, e provê quatro subfluxos de símbolos encodificados por Walsh-STTD, $z_{k,1}(n)$ a $z_{k,4}(n)$, para quatro
 5 multiplexadores/demultiplexadores 730a a 730d. O processamento pelo encodificador 720 será descrito a seguir. Cada multiplexador/demultiplexador 730 recebe símbolos piloto e M subfluxos de símbolos encodificados a partir de M encodificadores Walsh-STTD 720a a 720m,
 10 multiplexa os símbolos encodificados e símbolos piloto com base em um esquema de transmissão de dados/piloto particular, e provê T/4 fluxos de símbolos de transmissão para T/4 antenas. Cada fluxo de símbolos de transmissão inclui símbolos piloto/encodificados para as sub-bandas
 15 designadas à antena usada para transmitir tal fluxo.

A Figura 7B mostra um diagrama de blocos de um encodificador Walsh-STTD 720x, o qual pode ser usado para cada um dos encodificadores 720a a 720m na Figura 7A. No interior do encodificador Walsh-STTD 720x, um encodificador
 20 espaço-tempo 722a recebe o primeiro par de subfluxos de símbolos de dados, $s_{k,1}$ e $s_{k,2}$, e um encodificador espaço-tempo 722b recebe o segundo par de subfluxos de símbolos de dados, $s_{k,3}$ e $s_{k,4}$. Para cada par de símbolos de dados nos dois subfluxos no primeiro par, o encodificador espaço-
 25 tempo 722a provê dois vetores $\underline{x}_{k,1} = [s_{k,1} \ s_{k,2}^*]^T$ e $\underline{x}_{k,2} = [s_{k,2} \ -s_{k,1}^*]^T$ para os multiplicadores 724a e 724b, respectivamente. De forma similar, para cada par de símbolos de dados nos dois subfluxos no segundo par, o encodificador espaço-tempo 722b
 provê dois vetores $\underline{x}_{k,3} = [s_{k,3} \ s_{k,4}^*]^T$ e $\underline{x}_{k,4} = [s_{k,4} \ -s_{k,3}^*]^T$ para os
 30 multiplicadores 724c e 724d, respectivamente.

Os multiplicadores 724a e 724b também recebem, cada um, uma primeira sequência Walsh de 2 chips $W_1^2 = [0 \ 1]$ e

os multiplicadores 724c e 724d também recebem, cada um, uma segunda sequência Walsh de 2 chips $W_2^2 = [1 \ 0]$. Cada multiplicador 724 a seguir multiplica cada símbolo em seu vetor $\underline{x}_{k,i}$ por sua sequência Walsh para prover dois símbolos

5 encodificados por Walsh STTD para serem transmitidos sequencialmente em dois períodos de símbolos OFDM consecutivos através da k-ésima sub-banda da antena associada. Os quatro multiplicadores 724a a 724d provêm quatro subfluxos de símbolos encodificados para quatro

10 multiplexadores/demultiplexadores 730a a 730d, respectivamente.

O esquema Walsh-STTD pode também ser implementado de forma que apenas um par de subfluxos de símbolos de dados, $s_{k,1}$ e $s_{k,2}$, seja provido a cada encodificador Walsh-

15 STTD 720 e processado para prover os quatro subfluxos de símbolos encodificados, $z_{k,1}(n)$ a $z_{k,4}(n)$. Isto pode ser usado para alcançar maior diversidade às custas de uma taxa de dados mais baixa. O esquema Walsh-STTD está também descrito em maiores detalhes no Pedido de Patente U.S. Nº de Série

20 10/179.439 acima mencionado.

A Figura 8 apresenta um diagrama de blocos de uma modalidade de um modulador OFDM 522x, o qual pode ser usado para cada um dos T moduladores 522a a 522t na Figura 5. No interior do modulador OFDM 522x, uma unidade de

25 transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) 812 recebe um fluxo de símbolos de transmissão, $x_i(n)$, para a i-ésima antena e converte cada sequência de N símbolos de transmissão em um símbolo transformado do domínio do tempo usando uma transformada rápida inversa de Fourier de N

30 pontos, em que N corresponde ao número total de sub-bandas. Cada sequência de N símbolos de transmissão inclui símbolos de dados/piloto para as sub-bandas designadas para a i-ésima antena e valores de sinal de zero para as sub-bandas

não designadas. Cada símbolo transformado compreende N amostras de domínio do tempo. Para cada símbolo transformado, um gerador de prefixo cíclico 814 repete uma parte (ou C amostras) do símbolo transformado para formar
5 um símbolo OFDM correspondente constituído por $N + C$ amostras. Um transmissor (TMTR) 816 recebe e converte o fluxo de símbolos OFDM proveniente do gerador 814 para um ou mais sinais analógicos, e também amplifica, filtra e converte ascendentemente em frequência o(s) sinal(is)
10 analógico(s) para gerar um sinal RF modulado para a i-ésima antena.

Os esquemas de transmissão de piloto e dados aqui descritos podem ser implementados por vários meios. Como exemplo, tais técnicas podem ser implementadas em hardware,
15 software, ou uma combinação de tais. Para uma implementação em hardware, os elementos usados para realizar o processamento nas unidades transmissoras e receptora podem ser implementados dentro de um ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), processadores de sinais
20 digitais (DSPs), dispositivos de processamento de sinal digital (DSPDs), dispositivos lógicos programáveis (PLDs), arranjos de porta programáveis em campo (FPGAs), processadores, controladores, microcontroladores, microprocessadores, outras unidades eletrônicas projetadas
25 para realizar as funções aqui descritas, ou uma combinação de tais.

Para uma implementação em software, o processamento nas unidades transmissora e receptora para os esquemas de transmissão aqui descritos pode ser
30 implementado com módulos (por exemplo, procedimentos, funções e assim por diante) que realizam as funções aqui descritas. Os códigos de software podem ser armazenados em unidades de memória (por exemplo, as unidades de memória 532 e 582 na Figura 5) e executados por processadores (por
35 exemplo, os controladores 530 e 580). As unidades de

memória podem ser implementadas dentro do processador ou externas ao processador, caso este em que elas podem estar acopladas em comunicação com os processadores via vários meios, tal como é do conhecido na técnica.

5 A descrição acima das modalidades preferidas é provida para permitir que os versados na técnica efetivem ou façam uso da presente invenção. As diferentes modificações dessas modalidades ficarão prontamente claras para os versados na técnica e os princípios gerais aqui
10 definidos podem ser aplicados a outras modalidades sem se afastar do espírito ou escopo da invenção. Dessa forma, a presente invenção não deve ser limitada às modalidades aqui apresentadas, mas deve ser acordado o escopo mais amplo, consistente com os princípios e novas características aqui
15 descritos.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de transmissão em um sistema de comunicação multi-antena, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

5 formar (412) uma pluralidade de grupos de sub-bandas (110) com uma pluralidade de sub-bandas (110), em que cada um dentre a pluralidade de grupos inclui um subconjunto diferente da pluralidade de sub-bandas (110);

 designar (414) a cada uma dentre uma pluralidade
10 de antenas (524a-524t) um grupo diferente dentre a pluralidade de grupos; e

 transmitir (420) a partir da pluralidade de antenas (524a-524t) simultaneamente usando a pluralidade de grupos de sub-bandas (110), em que a transmissão a partir
15 de cada antena (524a-524t) ocorre no grupo de sub-bandas (110) designado à antena.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um piloto é transmitido a partir de cada antena (524a-524t) no grupo de sub-bandas
20 (110) designado à antena (524a-524t).

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que cada um dentre a pluralidade de grupos inclui o mesmo número de sub-bandas (110).

4. Método, de acordo com a reivindicação 1,
25 caracterizado pelo fato de que as sub-bandas (110) em cada um dentre a pluralidade de grupos estão uniformemente distribuídas através da pluralidade de sub-bandas (110).

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que, para cada antena (524a-
30 524t), potência de transmissão usada para cada uma dentre as sub-bandas (110) no grupo designado à antena é escalonada acima de uma potência média obtida por distribuição de potência de transmissão total através da pluralidade de sub-bandas (110).

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de comunicação multi-antena utiliza multiplexação ortogonal por divisão de frequências (OFDM).

5 7. Equipamento de transmissão em um sistema de comunicação multi-antena, caracterizado pelo fato de que compreende:

meios para designar a cada uma dentre uma pluralidade de antenas (524a-524t) pelo menos um dentre uma
10 pluralidade de grupos de sub-bandas (110), em que a pluralidade de grupos de sub-bandas (110) é formada a partir de uma pluralidade de sub-bandas (110) e em que cada um dentre a pluralidade de grupos inclui um subconjunto diferente da pluralidade de sub-bandas (110); e

15 meios para transmitir a partir da pluralidade de antenas (524a-524t) simultaneamente usando a pluralidade de grupos de sub-bandas (110), em que a transmissão a partir de cada antena (524a-524t) ocorre no pelo menos um grupo de sub-bandas (110) designado à antena (524a-524t) e de uma
20 maneira a evitar interferência entre a pluralidade de antenas (524a-524t).

8. Equipamento, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a cada uma dentre a pluralidade de antenas (524a-524t) é designado um grupo
25 diferente dentre a pluralidade de grupos.

9. Equipamento, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a cada uma dentre a pluralidade de antenas (524a-524t) são designados pelo menos dois dentre a pluralidade de grupos, e em que cada um
30 dentre os pelo menos dois grupos é usado por um período de símbolos diferente.

10. Equipamento, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que para cada período de símbolos a transmissão para cada uma dentre a pluralidade

de sub-bandas (110) ocorre a partir de uma dentre a pluralidade de antenas (524a-524t).

11. Equipamento, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que, para cada antena, 5 potência de transmissão usada para cada uma dentre as sub-bandas (110) no grupo designado à antena é escalonada acima de uma potência média obtida por distribuição de potência de transmissão total através da pluralidade de sub-bandas (110).

10

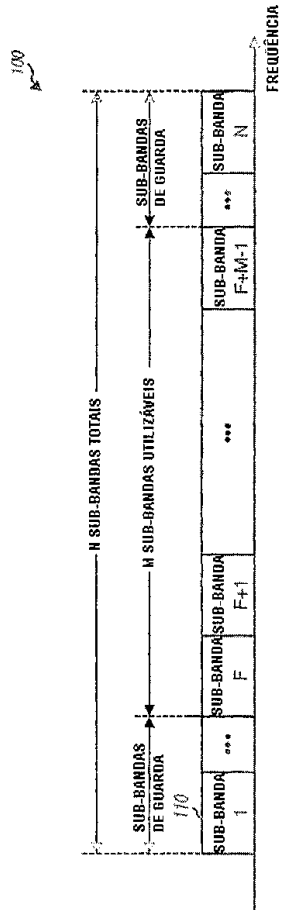


FIGURA 1A

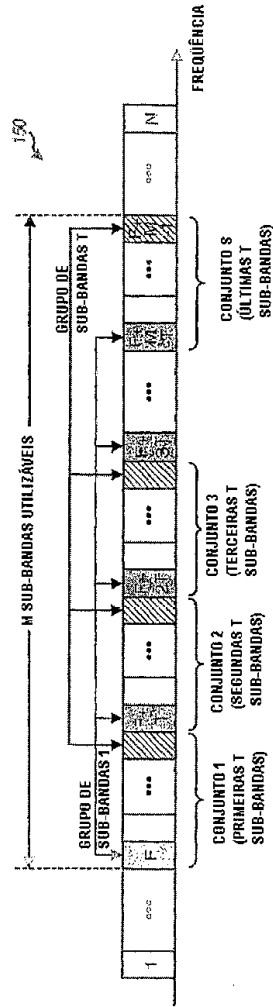


FIGURA 1B

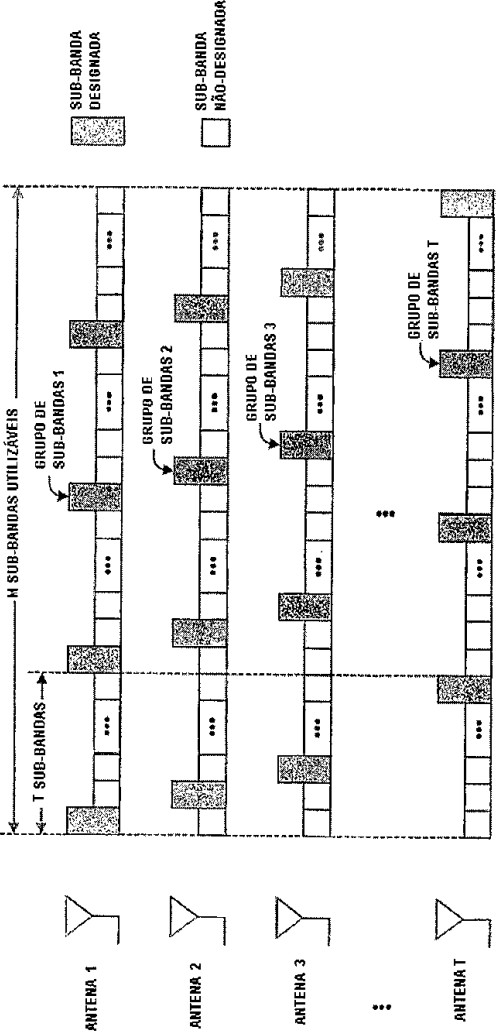


FIGURA 2A

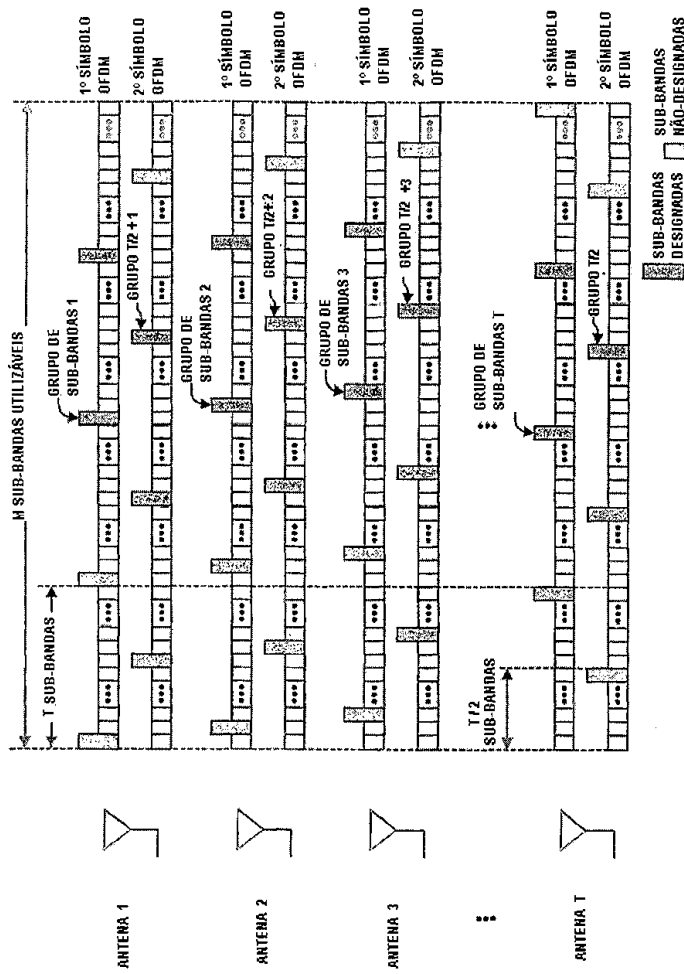


FIGURA 2B

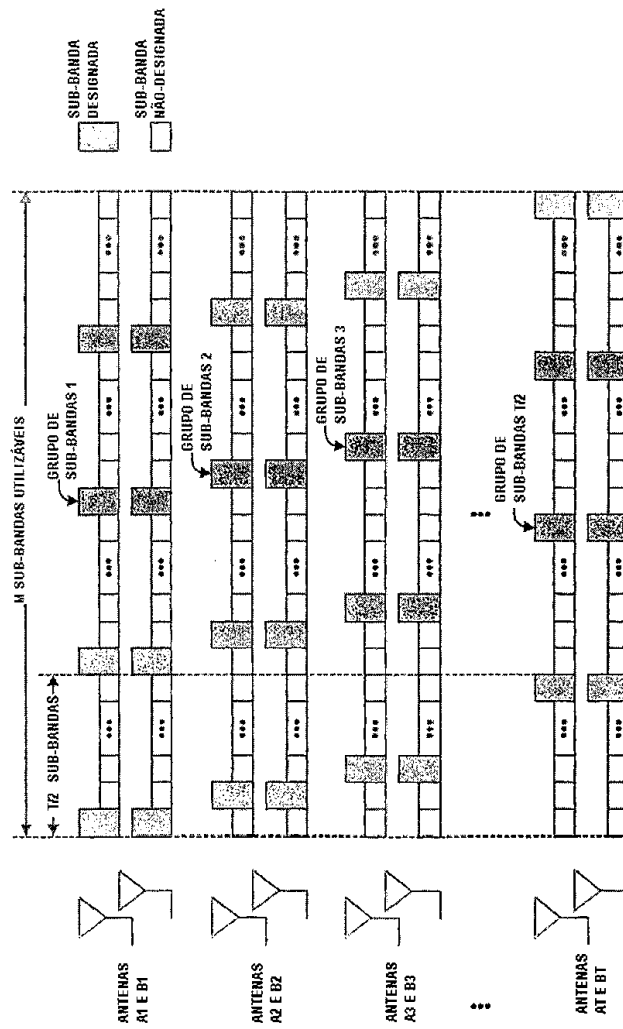


FIGURA 3A

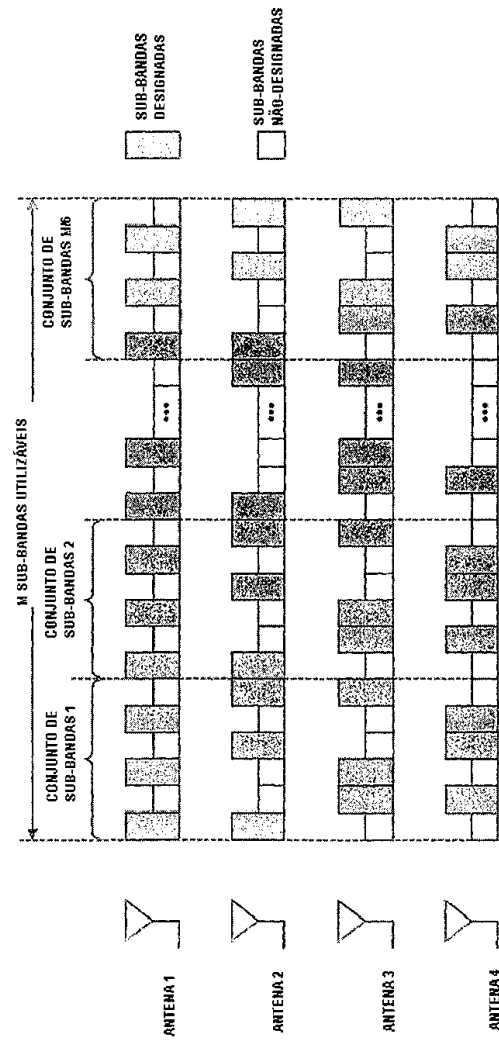


FIGURA 3B

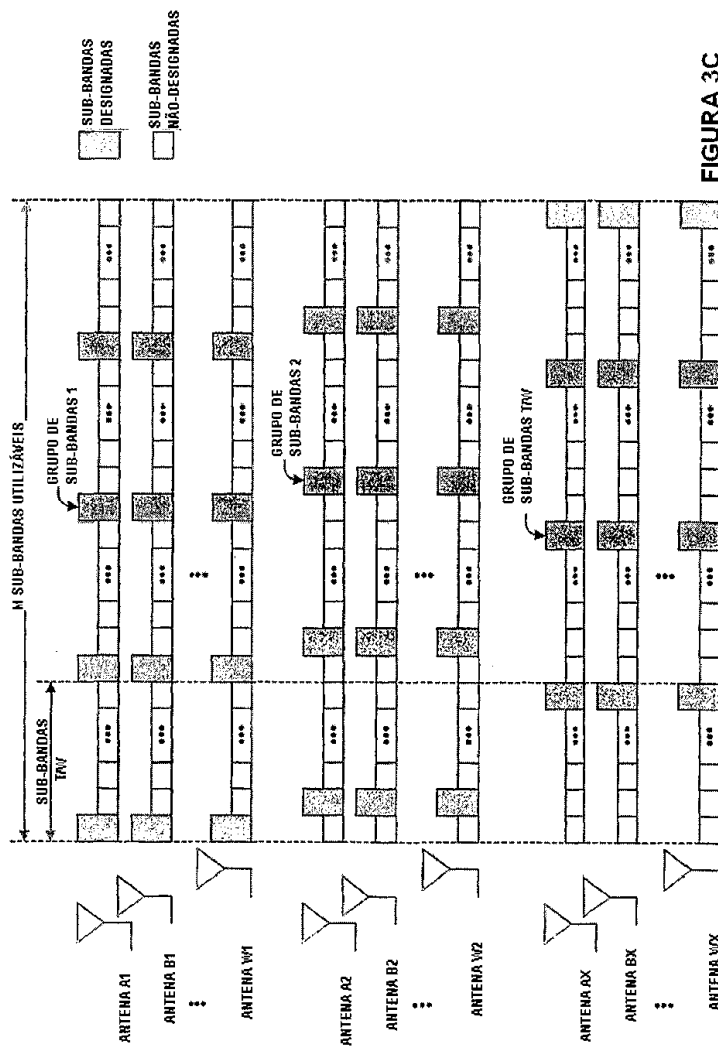


FIGURA 3C

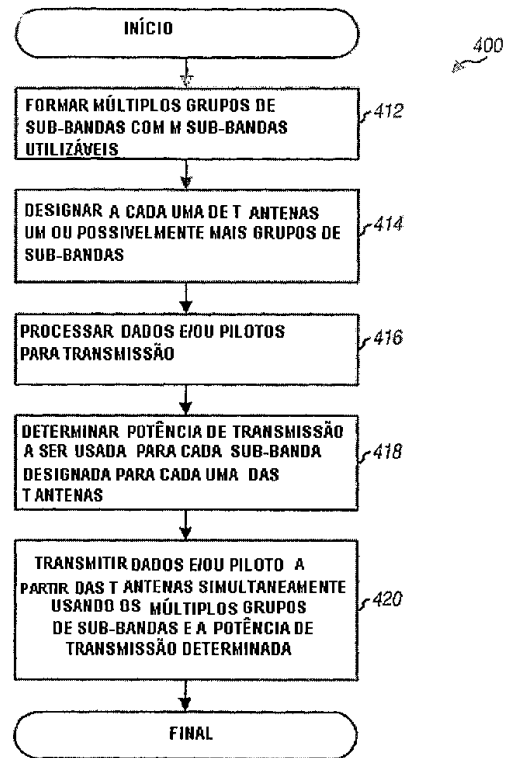


FIGURA 4

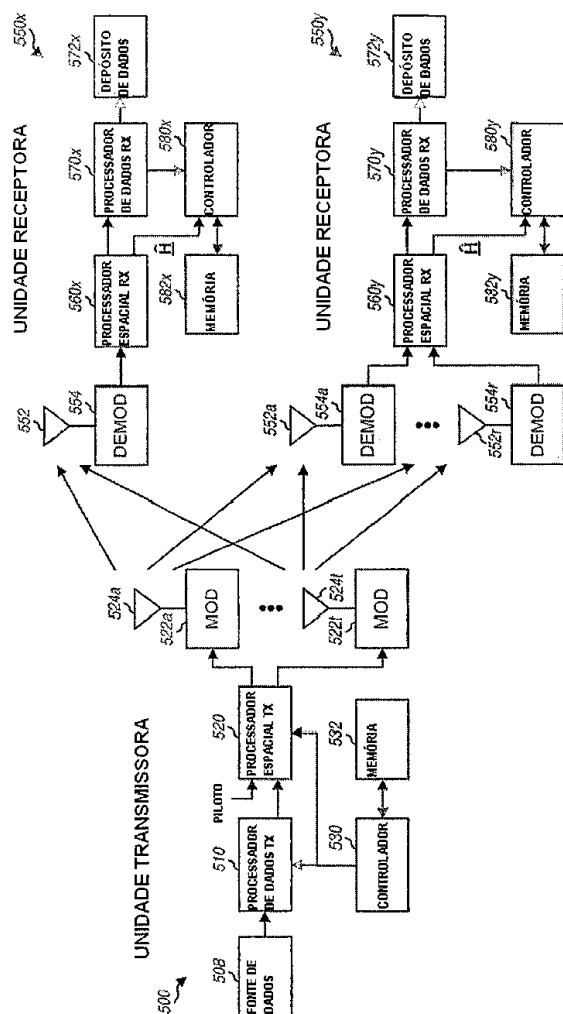


FIGURA 5

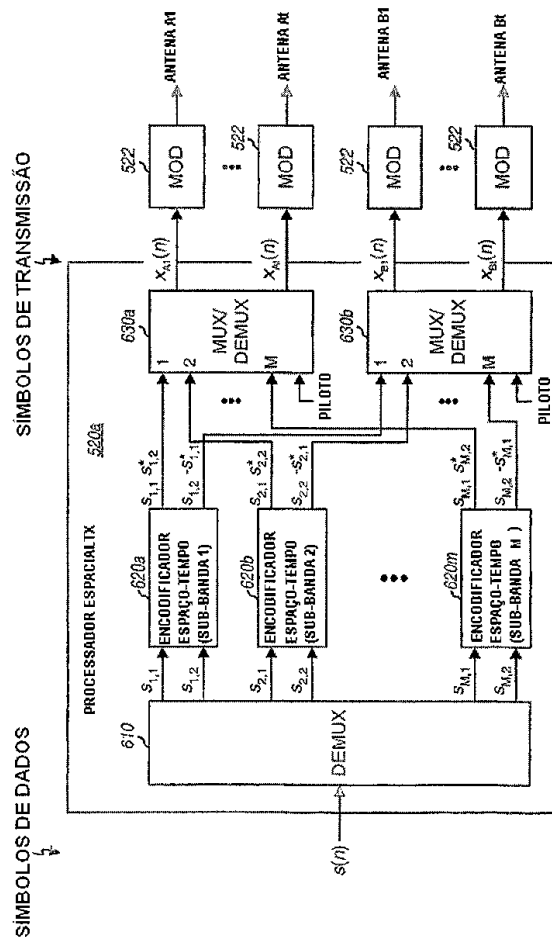
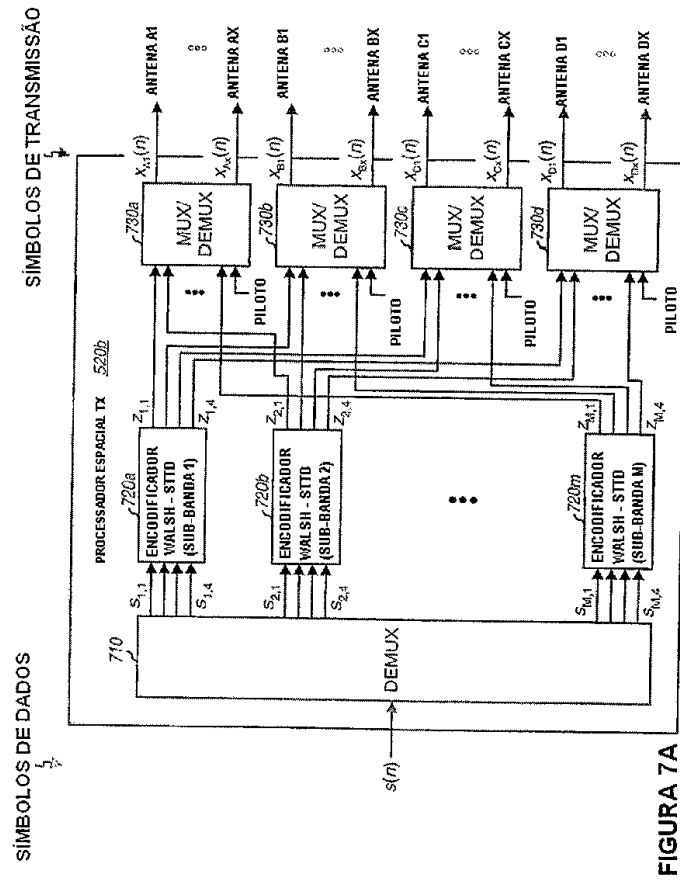


FIGURA 6



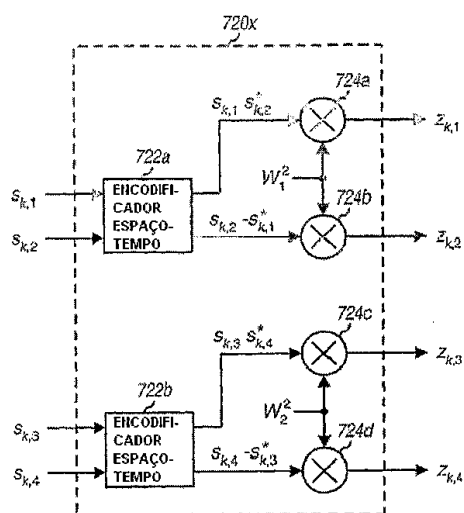


FIGURA 7B

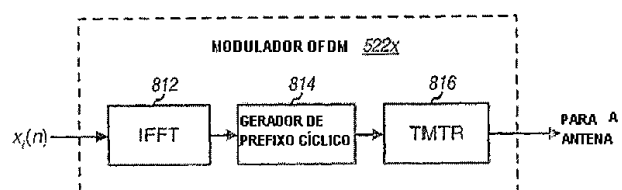


FIGURA 8

RESUMO

**"ESQUEMAS DE TRANSMISSÃO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO
MULTI-ANTENA UTILIZANDO MODULAÇÃO MULTIPORTADORA"**

São providos esquemas de transmissão de piloto e
5 dados para sistemas de comunicação multi-antena utilizando
modulação multiportadora. A multiplexação de sub-banda é
usada para evitar a interferência resultante da transmissão
de múltiplos sinais simultaneamente a partir de múltiplas
antenas. M sub-bandas utilizáveis são inicialmente
10 dispostas para formar múltiplos grupos de sub-bandas, com
cada grupo incluindo um subconjunto diferente das sub-
bandas utilizáveis. A cada uma de T antenas transmissoras é
designado um ou possivelmente mais grupos de sub-bandas
para transmissão de piloto e tipicamente um grupo de sub-
15 bandas para transmissão de dados. O piloto e os dados podem
ser a seguir transmitidos a partir de cada antena nas sub-
bandas designadas para tal antena para transmissão de
piloto e dados. Para cada antena transmissora, a potência
de transmissão para cada sub-banda designada pode ser
20 escalonada mais alta de tal forma que toda a potência de
transmissão total disponível para a antena seja usada para
transmissão. Os piloto e/ou dados podem ser transmitidos
simultaneamente a partir de todas as T antenas em todas as
sub-bandas utilizáveis sem causar interferência mútua.