



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112015016275-4 B1**



**(22) Data do Depósito:** 07/01/2014

**(45) Data de Concessão:** 02/02/2021

**(54) Título:** MÉTODO PARA ESTIMAR UMA PRIMEIRA AMOSTRA DE UM PRIMEIRO SINAL DE SUB-BANDA EM UMA PRIMEIRA SUB-BANDA DE UM SINAL DE ÁUDIO, MÉTODO PARA CODIFICAR UM SINAL DE ÁUDIO, MÉTODO PARA DECODIFICAR UM SINAL DE ÁUDIO CODIFICADO, SISTEMA, CODIFICADOR DE ÁUDIO E DECODIFICADOR DE ÁUDIO

**(51) Int.Cl.:** G10L 19/093.

**(30) Prioridade Unionista:** 08/01/2013 US 61/750,052; 09/09/2013 US 61/875,528.

**(73) Titular(es):** DOLBY INTERNATIONAL AB.

**(72) Inventor(es):** LARS VILLEMOS.

**(86) Pedido PCT:** PCT EP2014050139 de 07/01/2014

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/108393 de 17/07/2014

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 07/07/2015

**(57) Resumo:** PREVISÃO COM BASE EM MODELO EM UM BANCO DE FILTROS CRITICAMENTE AMOSTRADO. A presente invenção refere-se a sistemas de codificação de fonte de áudio. Em particular, o presente documento se refere a sistemas de codificação de fonte de áudio que usam previsão linear em combinação com um banco de filtros. Um método para estimar uma primeira amostra (615) de um primeiro sinal de sub-banda em uma primeira sub-banda de um sinal de áudio é descrito. O primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio é determinado com o uso de um banco de filtros de análise (612) que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas a partir do sinal de áudio, respectivamente. O método compreende determinar um parâmetro de modelo (613) de um modelo de sinal; determinar um coeficiente de previsão a ser aplicado a uma amostra anterior (614) de primeiros sinais de sub-banda decodificados derivados a partir do primeiro sinal de sub-banda, com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo (613) e com base no banco de filtros de análise (612); em que um período de tempo da amostra anterior (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA ESTIMAR UMA PRIMEIRA AMOSTRA DE UM PRIMEIRO SINAL DE SUB-BANDA EM UMA PRIMEIRA SUB-BANDA DE UM SINAL DE ÁUDIO, MÉTODO PARA CODIFICAR UM SINAL DE ÁUDIO, MÉTODO PARA DECODIFICAR UM SINAL DE ÁUDIO CODIFICADO, SISTEMA, CODIFICADOR DE ÁUDIO E DECODIFICADOR DE ÁUDIO"**.

### **CAMPO DA TÉCNICA**

[0001] O presente documento refere-se a sistemas de codificação de fonte de áudio. Em particular, o presente documento refere-se a sistemas de codificação de fonte de áudio que fazem uso de previsão linear em combinação com um banco de filtros.

### **ANTECEDENTES**

[0002] Há duas ferramentas de processamento de sinal importantes aplicadas em sistemas para codificação de fonte de sinais de áudio, a saber bancos de filtros criticamente amostrados e previsão linear. Os bancos de filtros criticamente amostrados (por exemplo, bancos de filtros com base em transformação modificada discreta de cosseno, MDCT) permitem acesso direto a representações de tempo-frequência em que irrelevância perceptual e redundância de sinal podem ser explorados. A previsão linear permite a modelagem de fonte eficiente de sinais de áudio, em particular, de sinais de fala. A combinação das duas ferramentas, isto é, o uso de previsão nas sub-bandas de um banco de filtros, tem sido principalmente usada para codificação de áudio de taxa de bits alta. Para codificação de taxa de bits baixa, um desafio com previsão nas sub-bandas é manter o custo (isto é, a taxa de bits) para a descrição dos preditores baixo. Outro desafio é controlar a formação de ruído resultante do sinal de erro de previsão obtido por um preditor de sub-banda.

[0003] O documento nº U.S. 2006/0015329A1 descreve um méto-

do para codificação de áudio que usa um sintetizador de forma de onda para gerar um conjunto de amostras previstas de um sinal de áudio.

[0004] Para o desafio de codificação, a descrição do preditor de sub-banda de uma maneira eficaz quanto a bits, um caminho possível é estimar o preditor a partir de porções anteriormente decodificadas do sinal de áudio e para, desse modo, evitar o custo de uma descrição de predito completamente. Se o preditor puder ser determinado a partir de porções anteriormente decodificadas do sinal de áudio, o preditor pode ser determinado no codificador e no decodificador, sem a necessidade de transmitir uma descrição de preditor do codificador para o decodificador. Esse esquema é chamado de um esquema de previsão adaptativa para trás. No entanto, o esquema de previsão adaptativa para trás tipicamente degrada de modo significativo quando a taxa de bits do sinal de áudio codificado diminui. Um caminho alternativo ou adicional para a codificação eficiente de um preditor de sub-banda é identificar uma descrição de preditor mais natural, por exemplo, uma descrição que explora a estrutura inerente do sinal de áudio a ser codificado. Por exemplo, codificação de fala de taxa de bits baixa tipicamente aplica um esquema adaptativo para frente com base em uma representação compacta de um preditor a curto prazo (explorar correlações a curto prazo) e um preditor a longo prazo (explorar correlações a longo prazo devido a um tom subjacente do sinal de fala).

[0005] Para o desafio de controlar a formatação de ruído do sinal de erro de previsão, é observado que embora a formatação de ruído de um preditor possa ser bem controlada dentro de uma sub-banda, o sinal de áudio de saída final do codificador tipicamente exhibe artefatos de réplica (exceto para sinais de áudio que exibem um formato de ruído espectral substancialmente plano).

[0006] Um caso importante de um preditor de sub-banda é a implantação de previsão a longo prazo em um banco de filtros com jane-

las sobrepostas. Um preditor a longo prazo tipicamente explora as redundâncias em sinais de áudio periódicos ou próximos a periódicos (como sinais de fala que exibem um tom inerente) e pode ser descrito com um número único ou um baixo de parâmetros de previsão. O preditor a longo prazo pode ser definido em tempo contínuo por meio de um atraso que reflete a periodicidade do sinal de áudio. Quando esse atraso é grande comparado ao comprimento da janela de banco de filtros, o preditor a longo prazo pode ser implantado no domínio de tempo discreto por meio de um deslocamento ou a atraso fracionário e pode ser convertido novamente em um preditor causal no domínio de sub-banda. Tal preditor a longo prazo tipicamente não exhibe artefatos de réplica, mas há uma penalidade significativa em complexidade computacional ocasionada pela necessidade por operações de banco de filtros adicionais para a conversão a partir do domínio de tempo para o domínio de sub-banda. Além disso, a abordagem de determinar o atraso no domínio de tempo e de converter o atraso em um preditor de sub-banda não é aplicável para o caso em que o período do sinal de áudio a ser codificado é comparável ou menor que o tamanho de janela de banco de filtros.

[0007] O presente documento contempla as deficiências mencionadas acima de previsão de sub-banda. Em particular, o presente documento descreve métodos e sistemas que permitem uma descrição eficiente de taxa de bits de preditores de sub-banda e/ou que permitem uma redução de artefatos de réplica ocasionada por preditores de sub-banda. Em particular, o método e os sistemas descritos no presente documento permitem a implantação de codificadores de áudio de taxa de bits baixa com o uso de previsão de sub-banda, que ocasiona um nível reduzido de artefatos de réplica.

## **SUMÁRIO**

[0008] O presente documento descreve métodos e sistemas que

aprimoram a qualidade de previsão de emprego de codificação de fonte de áudio no domínio de sub-banda de um banco de filtros criticamente amostrado. Os métodos e sistemas podem fazer uso de uma descrição compacta de preditores de sub-banda, em que a descrição tem como base em modelos de sinal. Alternativamente ou além disso, os métodos e sistemas podem fazer uso de uma implantação eficiente de preditores diretamente no domínio de sub-banda. Alternativamente ou além disso, os métodos e sistemas podem fazer uso de preditor transversal de termos de sub-banda, conforme descrito no presente documento, para permitir uma redução de artefatos de réplica.

[0009] Conforme ressaltado no presente documento, a descrição compacta de preditores de sub-banda pode compreender a frequência de um senoide, o período de um sinal periódico, um espectro levemente inarmônico conforme encontrado para a vibração de uma cadeia rígida e/ou a multiplicidade de tons para um sinal polifônico. É mostrado que para o caso de um preditor a longo prazo, o modelo de sinal periódico fornece preditores causais de alta qualidade para uma faixa de parâmetros de latência (ou atrasos) que inclui valores que são menores e/ou maiores que o tamanho de janela do banco de filtros. Isso significa que um modelo de sinal periódico pode ser usado para implantar um preditor a longo prazo de sub-banda de uma maneira eficiente. Uma transição contínua é fornecida a partir de previsão com base em modelo sinusoidal para a aproximação de um atraso arbitrário.

[0010] A implantação direta de preditores no domínio de sub-banda permite acesso explícito a características perceptíveis das distorções de quantificação produzidas. Além disso, a implantação de preditores no domínio de sub-banda permite acesso a propriedades numéricas como o ganho de previsão e a dependência dos preditores nos parâmetros. Por exemplo, uma análise com base em modelo de

sinal pode revelar que o ganho de previsão é apenas significativo em um subconjunto das sub-bandas consideradas e a variação dos coeficientes de preditor como uma função do parâmetro escolhido para transmissão pode ser útil no projeto de formatos de parâmetro, bem como algoritmos eficientes de codificação. Além disso, a complexidade computacional pode ser reduzida de modo significativo comparada a implantações de preditor que depende do uso de algoritmos que operam tanto no domínio de tempo quanto no domínio de sub-banda. Em particular, os métodos e sistemas descritos no presente documento podem ser usados para implantar previsão de sub-banda diretamente no domínio de sub-banda sem a necessidade por determinar e aplicar um preditor (por exemplo, um atraso a longo prazo) no domínio de tempo.

[0011] O uso de termos de sub-banda transversais nos preditores de sub-banda permite propriedades de formatação de ruído de domínio de frequência aprimorada de modo significativo comparados a preditores em banda (que dependem somente da previsão em banda). Ao fazer isso, artefatos de réplica podem ser reduzidos permitindo, desse modo, o uso de previsão de sub-banda para sistemas de codificação de áudio de taxa de bits relativamente baixa.

[0012] De acordo com um aspecto, um método para estimar uma primeira amostra de uma primeira sub-banda de um sinal de áudio é descrito. A primeira sub-banda do sinal de áudio pode ter sido determinada com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas, respectivamente, a partir do sinal de áudio. O sinal de áudio de domínio de tempo pode ser submetido a um banco de filtros de análise produzindo, desse modo, uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas. Cada uma dentre a pluralidade de sub-bandas

tipicamente cobre uma faixa de frequência diferente do sinal de áudio fornecendo, desse modo, acesso a componentes de frequência diferentes do sinal de áudio. A pluralidade de sub-bandas pode ter um espaçamento de sub-banda igual ou uniforme. A primeira sub-banda corresponde a uma dentre a pluralidade de sub-bandas fornecidas pelo banco de filtros de análise.

[0013] O banco de filtros de análise pode ter diversas propriedades. O banco de filtros de síntese que compreende uma pluralidade de filtros de síntese pode ter as mesmas propriedades ou similares. As propriedades descritas para o banco de filtros de análise e os filtros de análise também são aplicáveis às propriedades do banco de filtros de síntese e dos filtros de síntese. Tipicamente, a combinação de banco de filtros de análise e banco de filtros de síntese permite uma reconstituição perfeita do sinal de áudio. Os filtros de análise do banco de filtros de análise podem ser invariantes por deslocamento em relação uns aos outros. Alternativamente ou, além disso, os filtros de análise do banco de filtros de análise podem compreender uma função de janela comum. Em particular, os filtros de análise do banco de filtros de análise podem compreender versões moduladas de modo diferente da função de janela comum. Em uma modalidade, a função de janela comum é modulada com o uso de uma função de cosseno produzindo, desse modo, um banco de filtros de análise modulado por cosseno. Em particular, o banco de filtros de análise pode compreender (ou pode corresponder a) um ou mais dentre: uma MDCT, uma QMF e/ou uma transformação ELT. A função de janela comum pode ter uma duração finita  $K$ . A duração da função de janela comum pode ser para que amostras posteriores de um sinal de sub-banda sejam determinadas com o uso de segmentos sobrepostos do sinal de áudio de domínio de tempo. Como tal, o banco de filtros de análise pode compreender uma transformação sobreposta. Os filtros de análise do banco de

filtros de análise podem formar uma base ortogonal e/ou uma ortonormal. Como uma propriedade adicional, o banco de filtros de análise pode corresponder a um banco de filtros criticamente amostrado. Em particular, o número de amostras da pluralidade de sinais de sub-banda pode corresponder ao número de amostras do sinal de áudio de domínio de tempo.

[0014] O método pode compreender determinar um parâmetro de modelo de um modelo de sinal. Deve ser verificado que o modelo de sinal pode ser descrito com o uso de uma pluralidade de parâmetros de modelo. Como tal, o método pode compreender determinar a pluralidade de parâmetros de modelo do modelo de sinal. O(s) parâmetro(s) de modelo pode(m) ser extraído(s) a partir de um fluxo de bits recebido que compreende ou que é indicativo do parâmetro de modelo e de um sinal de erro de previsão. Alternativamente, o(s) parâmetro(s) de modelo pode ser determinado ajustando-se o modelo de sinal ao sinal de áudio (por exemplo, em um quadro por base de quadro), por exemplo, com o uso de uma abordagem de erro quadrático de meio.

[0015] O modelo de sinal pode compreender um ou mais componentes de modelo sinusoidal. Em tal caso, o parâmetro de modelo pode ser indicativo das uma ou mais frequências dos um ou mais componentes de modelo sinusoidal. A título de exemplificação, o parâmetro de modelo pode ser indicativo de uma frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal multissinusoidal, em que o sinal multissinusoidal compreende componentes de modelo sinusoidal em frequências que correspondem a múltiplos  $q\Omega$  da frequência fundamental  $\Omega$ . Como tal, o modelo de sinal multissinusoidal pode compreender um componente de sinal periódico, em que o componente de sinal periódico compreende uma pluralidade de componentes sinusoidais e em que a pluralidade de componentes sinusoidais têm uma frequência que é um múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$ . Conforme será mostrado no pre-



sente documento, tal componente de sinal periódico pode ser usado para modelar um atraso no domínio de tempo (conforme usado, por exemplo, para preditores a longo prazo). O modelo de sinal pode compreender um ou mais parâmetros de modelo que são indicativos de um deslocamento e/ou um desvio do modelo de sinal de um modelo de sinal periódico. O deslocamento e/ou desvio podem ser indicativos de um desvio das frequências da pluralidade de componentes sinusoidais do modelo de sinal periódico de respectivos múltiplos  $q\Omega$  da frequência fundamental  $\Omega$ .

[0016] O modelo de sinal pode compreender uma pluralidade de componentes de sinal periódico. Cada um dos componentes de sinal periódico pode ser descrito com o uso de um ou mais parâmetros de modelo. Os parâmetros de modelo podem ser indicativos de uma pluralidade de frequências fundamentais  $\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_{M-1}$  da pluralidade de componentes de sinal periódico. Alternativamente ou além disso, o modelo de sinal pode ser descrito por um parâmetro de relaxação predeterminado e/ou ajustável (que pode ser um dos parâmetros de modelo). O parâmetro de relaxação pode ser configurado para nivelar ou atenuar o espectro de linha de um componente de sinal periódico. Os exemplos específicos de modelos de sinal e parâmetros de modelo associados são descritos na seção de modalidade do presente documento.

[0017] O(s) parâmetro(s) de modelo pode(m) ser determinado(s) para que um valor médio de um sinal de erro de previsão quadrático seja reduzido (por exemplo, minimizado). O sinal de erro de previsão pode ser determinado com base na diferença entre a primeira amostra e a estimativa da primeira amostra. Em particular, o valor médio do sinal de erro de previsão quadrático pode ser determinado com base em uma pluralidade de primeiras amostras posteriores do primeiro sinal de sub-banda e com base em uma pluralidade correspondente de

primeiras amostras estimadas. Em particular, é proposto no presente documento, modelar o sinal de áudio ou pelo menos o primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio com o uso de um modelo de sinal que é descrito por um ou mais parâmetros de modelo. Os parâmetros de modelo são usados para determinar os um ou mais coeficientes de previsão de um preditor linear que determina um primeiro sinal de sub-banda estimado. A diferença entre o primeiro sinal de sub-banda e o primeiro sinal de sub-banda estimado produz um sinal de sub-banda de erro de previsão. Os um ou mais parâmetros de modelo podem ser determinados para que o valor médio do sinal de sub-banda de erro de previsão quadrático seja reduzido (por exemplo, minimizado).

[0018] O método pode compreender adicionalmente determinar um coeficiente de previsão para ser aplicado a uma amostra anterior de um primeiro sinal de sub-banda decodificado derivado do primeiro sinal de sub-banda. Em particular, a amostra anterior pode ser determinada adicionando-se uma (versão quantificada) do sinal de erro de previsão para uma amostra correspondente do primeiro sinal de sub-banda. O primeiro sinal de sub-banda decodificado pode ser idêntico ao primeiro sinal de sub-banda (por exemplo, no caso de um codificador sem perda). Um período de tempo da amostra anterior é tipicamente anterior a um período de tempo da primeira amostra. Em particular, o método pode compreender determinar um ou mais coeficientes de previsão de um filtro de previsão recursivo (resposta de impulso finito) que é configurado para determinar a primeira amostra do primeiro sinal de sub-banda de uma ou mais amostras anteriores.

[0019] Os um ou mais coeficientes de previsão podem ser determinados com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo e com base no banco de filtros de análise. Em particular, um coeficiente de previsão pode ser determinado com base em uma avaliação analítica do modelo de sinal e do banco de filtros de análise. A

avaliação analítica do modelo de sinal e do banco de filtros de análise pode levar a determinação de uma tabela de consulta e/ou de uma função analítica. Como tal, o coeficiente de previsão pode ser determinado com o uso da tabela de consulta e/ou da função analítica, em que a tabela de consulta e/ou a função analítica podem ser determinadas com base no modelo de sinal e com base no banco de filtros de análise. A tabela de consulta e/ou a função analítica podem fornecer o(s) coeficiente(s) de previsão como uma função de um parâmetro derivado do(s) parâmetro(s) de modelo. O parâmetro derivado do parâmetro de modelo pode, por exemplo, ser o parâmetro de modelo ou pode ser obtido a partir do parâmetro de modelo com o uso de uma função predeterminada. Como tal, os um ou mais coeficientes de previsão podem ser determinados de uma maneira eficiente de modo computacional com o uso de uma tabela de consulta e/ou função analítica predeterminada que fornecem os um ou mais coeficientes de previsão em dependência (apenas) dos um ou mais parâmetros derivados (apenas) dos um ou mais parâmetros de modelo. Consequentemente, a determinação de um coeficiente de previsão pode ser reduzida à procura simples de uma entrada dentro de uma tabela de consulta.

[0020] Conforme indicado acima, o banco de filtros de análise pode compreender ou pode exibir uma estrutura modulada. Como resultado de tal estrutura modulada, é observado que o valor absoluto dos um ou mais coeficientes de previsão é independente de um número índice da primeira sub-banda. Isso significa que a tabela de consulta e/ou a função analítica podem ser invariante por deslocamento (para além de um valor de sinal) em relação ao número índice da pluralidade de sub-bandas. Em tais casos, o parâmetro derivado do parâmetro de modelo, isto é, o parâmetro que é inserido na tabela de consulta e/ou na função analítica a fim de determinar o coeficiente de previsão pode

ser derivado expressando-se o parâmetro de modelo de uma maneira relativa em relação a uma sub-banda da pluralidade de sub-bandas.

[0021] Conforme ressaltado acima, o parâmetro de modelo pode ser indicativo de uma frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal multissinusoidal (por exemplo, de um modelo de sinal periódico). Em tais casos, determinar o coeficiente de previsão pode compreender determinar um múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$  que está situada na primeira sub-banda. Se um múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$  estiver situado na primeira sub-banda, uma compensação relativa do múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$  de uma frequência central da primeira sub-banda pode ser determinada. Em particular, a compensação relativa do múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$  que é mais próxima à frequência central da primeira sub-banda pode ser determinada. A tabela de consulta e/ou a função analítica podem ser predeterminadas para que a tabela de consulta e/ou a função analítica forneçam o coeficiente de previsão como uma função de compensações relativas possíveis a partir de uma frequência central de uma sub-banda (por exemplo, como uma função de uma frequência normalizada  $f$  e/ou como uma função de um parâmetro de deslocamento  $\theta$ , conforme descrito no presente documento). Como tal, o coeficiente de previsão pode ser determinado com base na tabela de consulta e/ou com base na função analítica com o uso da compensação relativa determinada. Uma compensação relativa predeterminada pode compreender um número limitado de entradas para um número limitado de compensações relativas possíveis. Em tal caso, a compensação relativa determinada pode ser arredondada para a compensação relativa mais próxima possível do número limitado de compensações relativas possíveis, antes de consultar o coeficiente de previsão da tabela de consulta.

[0022] Por outro lado, se nenhum múltiplo da frequência funda-

mental  $\Omega$  estiver situado na primeira sub-banda, ou em vez disso, dentro de uma faixa de frequência estendida ao redor da primeira sub-banda, o coeficiente de previsão pode ser definido como zero. Em tais casos, a estimativa da primeira amostra também pode ser zero.

[0023] Determinar o coeficiente de previsão pode compreender selecionar uma dentre uma pluralidade de tabelas de consulta com base no parâmetro de modelo. A título de exemplificação, o parâmetro de modelo pode ser indicativo de uma frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal periódico. A frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal periódico corresponde a uma periodicidade  $T$  do modelo de sinal periódico. É mostrado no presente documento que no caso de periodicidades relativamente pequenas  $T$ , um modelo de sinal periódico converge em direção a um modelo sinusoidal único. Além disso, é mostrado no presente documento que no caso de periodicidades relativamente grandes  $T$ , as tabelas de consulta estão variando lentamente com o valor absoluto de  $T$  e depende principalmente da compensação relativa (isto é, do parâmetro de deslocamento  $\theta$ ). Como tal, uma pluralidade de tabelas de consulta pode ser predeterminada para uma pluralidade de valores diferentes da periodicidade  $T$ . O parâmetro de modelo (isto é, a periodicidade  $T$ ) pode ser usado para selecionar uma apropriada dentre a pluralidade de tabelas de consulta e o coeficiente de previsão pode ser determinado com base na uma selecionada dentre a pluralidade de tabelas de consulta (com o uso da compensação relativa, por exemplo, com o uso do parâmetro de deslocamento  $\theta$ ). Como tal, um parâmetro de modelo (que representa, por exemplo, a periodicidade  $T$ ) que pode ter uma precisão relativamente alta pode ser decodificado em um par de parâmetros (por exemplo, a periodicidade  $T$  e a compensação relativa) em uma precisão reduzida. O primeiro parâmetro (por exemplo, a periodicidade  $T$ ) do par de parâmetros pode ser usado para selecionar uma tabela de consulta particular

e o segundo parâmetro (por exemplo, a compensação relativa) pode ser usada para identificar uma entrada dentro da tabela de consulta selecionada.

[0024] O método pode compreender adicionalmente determinar uma estimativa da primeira amostra aplicando-se o coeficiente de previsão à amostra anterior. Aplicar o coeficiente de previsão à amostra anterior pode compreender multiplicar o coeficiente de previsão com o valor da amostra anterior produzindo, desse modo, a estimativa da primeira amostra. Tipicamente, uma pluralidade de primeiras amostras do primeiro sinal de sub-banda é determinada aplicando-se o coeficiente de previsão a uma sequência de amostras anteriores. Determinar uma estimativa da primeira amostra pode compreender adicionalmente aplicar um ganho escalonado ao coeficiente de previsão e/ou à primeira amostra. O ganho escalonado (ou uma indicação do mesmo pode ser usado, por exemplo, para previsão a longo prazo (LTP). Em outras palavras, o ganho escalonado pode resultar de um preditor diferente (por exemplo, de um preditor a longo prazo). O ganho escalonado pode ser diferente para sub-bandas diferentes. Além disso, o ganho escalonado pode ser transmitido como parte do sinal de áudio codificado.

[0025] Como tal, uma descrição eficiente de um preditor de sub-banda (que compreende um ou mais coeficientes de previsão) é fornecida usando-se um modelo de sinal que é descrito por um parâmetro de modelo. O parâmetro de modelo é usado para determinar os um ou mais coeficientes de previsão do preditor de sub-banda. Isso significa que um codificador de áudio não precisa transmitir uma indicação dos um ou mais coeficientes de previsão, mas uma indicação do parâmetro de modelo. Tipicamente, o parâmetro de modelo pode ser codificado de modo mais eficiente (isto é, com um número inferior de bits) que os um ou mais coeficientes de previsão. Consequentemente, o uso de previsão com base em modelo permite codificação de sub-banda de

taxa de bits baixa.

[0026] O método pode compreender adicionalmente determinar uma máscara de previsão indicativa de uma pluralidade de amostras anteriores em uma pluralidade de sub-bandas de máscara de previsão de suporte. A pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão pode compreender pelo menos uma dentre a pluralidade de sub-bandas, que é diferente da primeira sub-banda. Como tal, o preditor de sub-banda pode ser configurado para estimar uma amostra do primeiro sinal de sub-banda de amostras de um ou mais outros sinais de sub-banda da pluralidade de sinais de sub-banda, que são diferentes do primeiro sinal de sub-banda. Isso é chamado no presente documento como previsão de sub-banda transversal. A máscara de previsão pode definir a disposição da pluralidade de amostras anteriores (por exemplo, um intervalo em relação ao período de tempo da primeira amostra e/ou uma latência de índice de sub-banda em relação ao número índice da primeira sub-banda) que são usados para estimar a primeira amostra do primeiro sinal de sub-banda.

[0027] O método pode prosseguir com a determinação de uma pluralidade de coeficientes de previsão a serem aplicados à pluralidade de amostras anteriores. A pluralidade de coeficientes de previsão pode ser determinada com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo e com base no banco de filtros de análise (por exemplo, com o uso da previsão com base em esquemas de modelo ressaltados acima e no presente documento). Como tal, a pluralidade de coeficientes de previsão pode ser determinada com o uso de um ou mais parâmetros de modelo. Em outras palavras, um número limitado de parâmetros de modelo pode ser suficiente para determinar a pluralidade de coeficientes de previsão. Isso significa que se usando previsão com base em modelo de sub-banda, previsão de sub-banda transversal pode ser implantada de uma maneira eficiente de taxa de bits.

[0028] O método pode compreender determinar uma estimativa da primeira amostra aplicando-se a pluralidade de coeficientes de previsão à pluralidade de amostras anteriores, respectivamente. Determinar uma estimativa da primeira amostra tipicamente compreende determinar a soma da pluralidade de amostras anteriores ponderadas pela pluralidade de respectivos coeficientes de previsão.

[0029] Conforme ressaltado acima, o parâmetro de modelo pode ser indicativo de uma periodicidade  $T$ . A pluralidade de tabelas de consulta, que é usada para determinar os um ou mais coeficientes de previsão, pode compreender tabelas de consulta para valores diferentes de periodicidade  $T$ . Em particular, a pluralidade de tabelas de consulta pode compreender tabelas de consulta para valores diferentes de periodicidade  $T$  dentro da faixa de  $[T_{max} T_{min}]$  em um tamanho de etapa predeterminado  $\Delta T$ . Conforme será ressaltado no presente documento,  $T_{min}$  pode estar na faixa de 0,25 e  $T_{max}$  pode estar na faixa de 2,5.  $T_{min}$  pode ser selecionado para que para  $T < T_{min}$ , o sinal de áudio possa ser modulado com o uso de um modelo de sinal que compreende um único componente de modelo sinusoidal.  $T_{max}$  pode ser selecionado para que para  $T > T_{max}$ , as tabelas de consulta para as periodicidades  $T_{max}$  a  $T_{max} + 1$  correspondam substancialmente às tabelas de consulta para as periodicidades  $T_{max} - 1$  a  $T_{max}$ . O mesmo se aplica tipicamente para as periodicidades  $T_{max} + n$  a  $T_{max} + n + 1$ , para  $n \geq 0$  em geral.

[0030] O método pode compreender determinar a tabela de consulta selecionada como a tabela de consulta para a periodicidade  $T$  indicada pelo parâmetro de modelo. Após ter selecionado a tabela de consulta que compreende ou indica os um ou mais coeficientes de previsão, um parâmetro de consulta pode ser usado para identificar as



uma ou mais entradas apropriadas dentro da tabela de consulta selecionada, que indica os um ou mais coeficientes de previsão, respectivamente. O parâmetro de consulta pode corresponder a ou pode ser derivado do parâmetro de deslocamento  $\theta$ .

[0031] O método pode compreender, para um parâmetro de modelo indicativo de uma periodicidade  $T > T_{max}$ , determinar uma periodicidade residual  $T_r$  subtraindo-se um valor de número inteiro de  $T$ , para que a periodicidade residual  $T_r$  esteja na faixa  $[T_{max} - 1, T_{max}]$ . A tabela de consulta para determinar o coeficiente de previsão pode, então, ser determinada como a tabela de consulta para a periodicidade residual  $T_r$ .

[0032] O método pode compreender, para um parâmetro de modelo indicativo de a periodicidade  $T < T_{min}$ , selecionar a tabela de consulta para determinar os um ou mais coeficientes de previsão como a tabela de consulta para a periodicidade  $T_{min}$ . Além disso, o parâmetro de consulta (por exemplo, o parâmetro de deslocamento  $\theta$ ) para identificar as uma ou mais entradas da tabela de consulta selecionada que fornece os um ou mais coeficientes de previsão, pode ser escalado de acordo com a razão  $T_{min}/T$ . Os um ou mais coeficientes de previsão pode, então, ser determinado com o uso da tabela de consulta selecionada e o parâmetro de consulta escalado. Em particular, os um ou mais coeficientes de previsão podem ser determinados com base nas uma ou mais entradas da tabela de consulta selecionada que correspondem ao parâmetro de consulta escalado.

[0033] Como tal, o número de tabelas de consulta pode ser limitado a uma faixa predeterminada  $[T_{min}, T_{max}]$  limitando, desse modo, as exigências de memória de um codificador de áudio/decodificador. Não

obstante, os coeficientes de previsão podem ser determinados para todos os valores possíveis da periodicidade  $T$  com o uso das tabelas de consulta predeterminadas permitindo, desse modo, uma implantação computacionalmente eficiente de um codificador/decodificador de áudio.

[0034] De acordo com um aspecto adicional, um método para estimar uma primeira amostra de um primeiro sinal de sub-banda de um sinal de áudio é descrito. Conforme ressaltado acima, o primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio pode ser determinado com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas, respectivamente, do sinal de áudio. Os recursos descritos acima também são aplicáveis ao método descrito abaixo.

[0035] O método compreende determinar uma máscara de previsão indicativa de uma pluralidade de amostras anteriores em uma pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão. A pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão compreende pelo menos uma dentre a pluralidade de sub-bandas, que é diferente da primeira sub-banda. Em particular, a pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão pode compreender a primeira sub-banda e/ou a pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão pode compreender uma ou mais dentre a pluralidade de sub-bandas diretamente adjacentes à primeira sub-banda.

[0036] O método pode compreender adicionalmente determinar uma pluralidade de coeficientes de previsão a ser aplicadas à pluralidade de amostras anteriores. A pluralidade de amostras anteriores é tipicamente derivada da pluralidade de sinais de sub-banda do sinal de áudio. Em particular, a pluralidade de amostras anteriores tipicamente corresponde às amostras de a pluralidade de sinais de sub-banda de-

codificados. A pluralidade de coeficientes de previsão pode corresponder aos coeficientes de previsão de um filtro de previsão recursivo (resposta de impulso finito) que também leva em consideração uma ou mais amostras de sub-bandas que são diferentes da primeira sub-banda. Uma estimativa da primeira amostra pode ser determinada aplicando-se a pluralidade de coeficientes de previsão à pluralidade de amostras anteriores, respectivamente. Como tal, o método permite previsão de sub-banda com o uso de uma ou mais amostras de outras sub-bandas (por exemplo, adjacentes). Ao fazer isso, artefatos de réplica ocasionados por codificadores com base em previsão de sub-banda podem ser reduzidos.

[0037] O método pode compreender adicionalmente determinar um parâmetro de modelo de um modelo de sinal. A pluralidade de coeficientes de previsão pode ser determinada com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo e com base no banco de filtros de análise. Como tal, a pluralidade de coeficientes de previsão pode ser determinada com o uso de previsão com base em modelo conforme descrito no presente documento. Em particular, a pluralidade de coeficientes de previsão pode ser determinada com o uso de uma tabela de consulta e/ou uma função analítica. A tabela de consulta e/ou a função analítica pode ser predeterminada com base no modelo de sinal e com base no banco de filtros de análise. Além disso, a tabela de consulta e/ou a função analítica pode fornecer pluralidade de coeficientes de previsão (apenas) como uma função de um parâmetro derivado do parâmetro de modelo. Consequentemente, o parâmetro de modelo pode fornecer diretamente pluralidade de coeficientes de previsão com o uso da tabela de consulta e/ou a função analítica. Como tal, o parâmetro de modelo pode ser usado para descrever de modo eficiente o coeficiente de um preditor de sub-banda transversal.

[0038] De acordo com um aspecto adicional, um método para codi-

ficar um sinal de áudio é descrito. O método pode compreender determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda do sinal de áudio com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise. O método pode prosseguir com a estimação de amostras da pluralidade de sinais de sub-banda com o uso de qualquer um dos métodos de previsão descritos no presente documento produzindo, desse modo, uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados. Além disso, amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão podem ser determinadas com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda e amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados. O método pode prosseguir com a quantificação da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão, e ao gerar um sinal de áudio codificado. O sinal de áudio codificado pode ser indicativo de (por exemplo, pode compreender) a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados. Além disso, o sinal codificado pode ser indicativo de (por exemplo, pode compreender) um ou mais parâmetros usados para estimar as amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados, por exemplo, indicativos de um ou mais parâmetros de modelo usados para determinar um ou mais coeficientes de previsão que são, então, usados para estimar as amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados.

[0039] De acordo com outro aspecto, um método para decodificar um sinal de áudio codificado é descrito. O sinal de áudio codificado é tipicamente indicativo de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados e de um ou mais parâmetros a ser usados para estimar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados. O método pode compreender não quantificação da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados produzindo, desse modo, uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de

previsão não quantificados. Além disso, o método pode compreender estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados com o uso de qualquer um dos métodos de previsão descritos no presente documento. Amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda decodificados podem ser determinadas com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda estimados e com base em amostras da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão não quantificados. Um sinal de áudio decodificado pode ser determinado a partir da pluralidade de sinais de sub-banda decodificados com o uso de um banco de filtros de síntese que compreende uma pluralidade de filtros de síntese.

[0040] De acordo com um aspecto adicional, é descrito um sistema configurado para estimar uma ou mais primeiras amostras de um primeiro sinal de sub-banda de um sinal de áudio. O primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio pode ser determinado com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornecem uma pluralidade de sinais de sub-banda a partir do sinal de áudio em uma pluralidade de respectivas sub-bandas. O sistema pode compreender um calculador preditor configurado para determinar um parâmetro de modelo de um modelo de sinal. Além disso, o calculador preditor pode ser configurado para determinar um ou mais coeficientes de previsão a ser aplicados a uma ou mais amostras anteriores de um primeiro sinal de sub-banda decodificado derivado do primeiro sinal de sub-banda. Como tal, o calculador preditor pode ser configurado para determinar um ou mais coeficientes de previsão de um filtro de previsão recursivo, notavelmente de um filtro de previsão de sub-banda recursivo. Os um ou mais coeficientes de previsão podem ser determinados com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo e com base no banco de filtros de análise (por exemplo, com o uso dos métodos de previsão com base em

modelo descritos no presente documento). Os períodos de tempo das uma ou mais amostras anteriores são tipicamente anteriores a períodos de tempo das uma ou mais primeiras amostras. O sistema pode compreender adicionalmente um preditor de sub-banda configurado para determinar uma estimativa das uma ou mais primeiras amostras aplicando-se os um ou mais coeficientes de previsão à uma ou mais amostras anteriores.

[0041] De acordo com outro aspecto, é descrito um sistema configurado para estimar uma ou mais primeiras amostras de um primeiro sinal de sub-banda de um sinal de áudio. O primeiro sinal de sub-banda corresponde a uma primeira sub-banda de uma pluralidade de sub-bandas. O primeiro sinal de sub-banda é tipicamente determinado com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda para a pluralidade de sub-bandas, respectivamente. O sistema compreende um calculador de preditor configurado para determinar uma máscara de previsão indicativa de uma pluralidade de amostras anteriores em uma pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão. A pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão compreende pelo menos uma dentre a pluralidade de sub-bandas, que é diferente da primeira sub-banda. O calculador de preditor é adicionalmente configurado para determinar uma pluralidade de coeficientes de previsão (ou um filtro de previsão recursivo) a ser aplicada à pluralidade de amostras anteriores. Além disso, o sistema compreende um preditor de sub-banda configurado para determinar uma estimativa das uma ou mais primeiras amostras aplicando-se a pluralidade de coeficientes de previsão à pluralidade de amostras anteriores, respectivamente.

[0042] De acordo com outro aspecto, é descrito um codificador de áudio configurado para codificar um sinal de áudio. O codificador de

áudio compreende um banco de filtros de análise configurado para determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda a partir do sinal de áudio com o uso de uma pluralidade de filtros de análise. Além disso, o codificador de áudio compreende um calculador de preditor e um preditor de sub-banda conforme descrito no presente documento, os quais são configurados para estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda, produzindo, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados. Além disso, o codificador pode compreender uma unidade de diferença configurada para determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda e da pluralidade de sinais de sub-banda estimados. Uma unidade de quantificação pode ser usada para quantificar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão. Além disso, uma unidade de geração de fluxo de bits pode ser configurada para gerar um sinal de áudio codificado indicativo da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados e de um ou mais parâmetros (por exemplo, um ou mais parâmetros de modelo) usados para estimar as amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados.

[0043] De acordo com um aspecto adicional, é descrito um decodificador de áudio configurado para decodificar um sinal de áudio codificado. O sinal de áudio codificado é indicativo de (por exemplo, compreende) a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados e um ou mais parâmetros usados para estimar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados. O decodificador de áudio pode compreender um quantificador inverso configurado para desquantificar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantificados, produzindo, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantificados. Além disso, o decodificador compreende um calculador de preditor e um preditor de sub-

banda conforme descrito no presente documento, os quais são configurados para estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados. Uma unidade de soma pode ser usada para determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda decodificados com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda estimados e com base em amostras da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantificados. Além disso, um banco de filtros de síntese pode ser usado para determinar um sinal de áudio decodificado a partir da pluralidade de sinais de sub-banda decodificados com o uso de uma pluralidade de filtros de síntese.

[0044] De acordo com um aspecto adicional, é descrito um programa de software. O programa de software pode ser adaptado para a execução em um processador e para realizar as etapas do método descritas no presente documento, quando realizadas no processador.

[0045] De acordo com outro aspecto, é descrito um meio de armazenamento. O meio de armazenamento pode compreender um programa de software adaptado para a execução em um processador e para realizar as etapas do método descritas no presente documento, quando realizadas no processador.

[0046] De acordo com um aspecto adicional, é descrito um produto de programa de computador. O programa de computador pode compreender instruções executáveis para realizar as etapas do método descritas no presente documento, quando executadas em um computador.

[0047] Deve ser verificado que os métodos e sistemas que incluem suas modalidades preferenciais, conforme descrito no presente pedido de patente, podem ser usados independentemente ou em combinação com os outros métodos e sistemas revelados nesse documento. Além disso, todos os aspectos dos métodos e sistemas descritos no presen-



te pedido de patente podem ser arbitrariamente combinados. Em particular, os recursos das concretizações podem ser combinados uns com os outros em qualquer maneira arbitrária.

### **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

[0048] A presente invenção é descrita abaixo a título de exemplo ilustrativo, sem limitar o escopo ou espírito da invenção, com referência aos desenhos em anexo, nos quais:

[0049] A Fig. 1 representa o diagrama de blocos de um decodificador de áudio de exemplo que aplica previsão linear em um domínio de bancos de filtros (isto é, em um domínio de sub-banda);

[0050] A Fig. 2 mostra máscaras de previsão de exemplo em uma grade de frequência de tempo;

[0051] A Fig. 3 ilustra dados em tabela de exemplo para um calculador de preditor baseado em modelo sinusoidal;

[0052] A Fig. 4 ilustra formatação de ruído de exemplo que resulta da previsão em banda de sub-banda;

[0053] A Fig. 5 ilustra formatação de ruído de exemplo que resulta da previsão de sub-banda de banda cruzada; e

[0054] A Fig. 6a representa uma grade de quantificação bidimensional de exemplo subjacente aos dados em tabela para um cálculo de preditor baseado em modelo periódico;

[0055] A Fig. 6b ilustra o uso de máscaras de previsão diferentes para faixas diferentes de periodicidades de sinal; e

[0056] As Figuras 7a e 7b mostram fluxogramas de métodos de codificação e decodificação de exemplo com o uso de previsão de sub-banda baseada em modelo.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

[0057] As modalidades descritas abaixo são somente ilustrativas para os princípios da presente invenção para a previsão baseada em modelo em um banco de filtros criticamente amostrado. Entende-se

que as modificações e variações das disposições e dos detalhes descritos no presente documento serão evidentes para outros elementos versados na técnica. Pretende-se, portanto, que sejam limitados somente pelo escopo das concretizações impendentes e não pelos detalhes específicos apresentados a título de descrição e explicação das modalidades no presente documento.

[0058] A Fig. 1 representa o diagrama de blocos de um decodificador de áudio de exemplo 100 que aplica previsão linear em um domínio de banco de filtros (também mencionado como domínio de sub-banda). O decodificador de áudio 100 recebe um fluxo de bits que compreende informações relacionadas a um sinal de erro de previsão (também mencionado como o sinal residual) e possivelmente informações relacionadas a uma descrição de um preditor usado por um codificador correspondente para determinar o sinal de erro de previsão a partir de um sinal de áudio de entrada original. As informações relacionadas ao sinal de erro de previsão podem se referir a sub-bandas do sinal de áudio de entrada e as informações relacionadas a uma descrição do preditor podem se referir a um ou mais preditores de sub-banda.

[0059] Dadas as informações de fluxo de bits recebidas, o quantificador inverso 101 pode emitir amostras 111 dos sinais de sub-banda de erro de previsão. Essas amostras podem ser adicionadas à saída 112 do preditor de sub-banda 103 e a soma 113 pode ser passada para um armazenamento temporário de sub-banda 104 que mantém um registro de amostras decodificadas anteriormente 113 das sub-bandas do sinal de áudio decodificado. A saída do preditor de sub-banda 103 pode ser mencionada como os sinais de sub-banda estimados 112. As amostras decodificadas 113 das sub-bandas do sinal de áudio decodificado podem ser submetidas a um banco de filtros de síntese 102 o qual converte as amostras de sub-banda para o domínio de tempo,

produzindo, assim, amostras de domínio de tempo 114 do sinal de áudio decodificado.

[0060] Em outras palavras, o decodificador 100 pode operar no domínio de sub-banda. Em particular, o decodificador 100 pode determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados 112 com o uso do preditor de sub-banda 103. Além disso, o decodificador 100 pode determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda residuais 111 com o uso do quantificador inverso 101. Os pares respectivos da pluralidade de sinais de sub-banda estimados 112 e a pluralidade de sinais de sub-banda residuais 111 podem ser adicionados para produzir uma pluralidade correspondente de sinais de sub-banda decodificados 113. A pluralidade de sinais de sub-banda decodificados 113 pode ser submetida a um banco de filtros de síntese 102 para produzir o sinal de áudio decodificado por domínio de tempo 114.

[0061] Em uma modalidade do preditor de sub-banda 103, uma determinada amostra de um determinado sinal de sub-banda estimado 112 pode ser obtida por uma combinação linear de amostras de sub-banda no armazenamento temporário 104, o qual corresponde a um tempo diferente e a uma frequência diferente (isto é, sub-banda diferente) da determinada amostra do determinado sinal de sub-banda estimado 112. Em outras palavras, uma amostra de um sinal de sub-banda estimado 112 em um primeiro instante de tempo e em uma primeira sub-banda pode ser determinada com base em uma ou mais amostras dos sinais de sub-banda decodificados 113, os quais se referem a um segundo instante de tempo (diferente do primeiro instante de tempo) e os quais se referem a uma segunda sub-banda (diferente da primeira sub-banda). A coleção de coeficientes de previsão e sua fixação a uma máscara de tempo e frequência podem definir o preditor 103, e essas informações podem ser proporcionadas pelo calculador de preditor 105 do decodificador 100. O calculador de preditor 105

emite as informações que definem o preditor 103 por meio de uma conversão de dados de modelo de sinal incluídos no fluxo de bits recebido. Um ganho adicional pode ser transmitido, o qual modifica o dimensionamento da saída do preditor 103. Em uma modalidade do calculador de preditor 105, os dados de modelo de sinal são fornecidos sob a forma de um espectro de linha parametrizado de maneira eficaz, em que cada linha no espectro de linha parametrizado, ou um grupo de linhas subsequentes do espectro de linha parametrizado, é usada para apontar para valores de coeficientes de preditor tabulados. Como tal, os dados de modelo de sinal fornecidos dentro do fluxo de bits recebido podem ser usados para identificar entradas dentro de uma compensação relativa predeterminada, em que as entradas a partir da tabela de consulta fornecem um ou mais valores para os coeficientes de preditor (também mencionados como os coeficientes de previsão) a serem usados pelo preditor 103. O método aplicado para a consulta de tabela pode depender das compensações entre exigências de memória e complexidade. Por exemplo, uma consulta do tipo vizinho mais próximo pode ser usada para alcançar a complexidade menor, enquanto que um método de consulta de interpolação pode fornecer desempenho similar com um tamanho de tabela menor.

[0062] Conforme indicado acima, o fluxo de bits recebido pode compreender um ou mais ganhos transmitidos explicitamente (ou indicações de ganhos transmitidos explicitamente). Os ganhos podem ser aplicados como parte da ou após a operação de preditor. Os um ou mais ganhos transmitidos explicitamente podem ser diferentes para diferentes sub-bandas. Os (/as indicações de) ganhos adicionais explicitamente transmitidos são fornecidos, além disso a um ou mais parâmetros de modelo que são usados para determinados coeficientes de previsão do preditor 103. Como tal, os ganhos adicionais podem ser usados para escalar os coeficientes de previsão do preditor 103.

[0063] A Fig. 2 mostra exemplos de suportes de máscara de previsão em uma grade de frequência de tempo. Os suportes de máscara de previsão podem ser usados para preditores 103 que operam em um banco de filtros com resolução uniforme de frequência de tempo como um banco de filtros modulado por cosseno (por exemplo, um banco de filtros MDCT). A notação é ilustrada pelo diagrama 201, em que uma amostra de sub-banda-alvo em sombra escura 211 é a saída da previsão com base em uma amostra de sub-banda em sombra clara 212. Nos diagramas 202 a 205, a coleção de amostras de sub-banda em sombra clara indica o suporte de máscara de preditor. A combinação de amostras de sub-banda-fonte 212 e amostras de sub-banda-alvo 211 será denominada como uma máscara de previsão 201. Uma grade de frequência de tempo pode ser usada para dispor amostras de sub-banda na proximidade da amostra de sub-banda-alvo. O índice de período de tempo está aumentando da esquerda para direita e o índice de frequência de sub-banda está aumentando de baixo para cima. A Fig. 2 mostra casos de exemplo de máscaras de previsão e suportes de máscara de preditor e deve ser verificado que várias outras máscaras de previsão e suportes de máscara de preditor podem ser usados. Os exemplos de máscaras de previsão são:

- A máscara de previsão 202 define a previsão em banda de uma amostra sub-banda 221 estimada em um instante de tempo  $k$  a partir de duas amostras de sub-banda decodificadas 222 nos instantes de tempo  $k-1$  e  $k-2$ .
- A máscara de previsão 203 define a previsão de banda cruzada de uma amostra de sub-banda 231 estimada em um instante de tempo  $k$  e na sub-banda  $n$  com base em três amostras de sub-banda decodificadas anteriormente 232 em um instante de tempo  $k-1$  e em sub-bandas  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$ .
- A máscara de previsão 204 define a previsão de banda

cruzada de três amostras de sub-banda 241 estimadas no instante de tempo  $k$  e em três sub-bandas diferentes  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$  com base em amostras de sub-banda decodificadas anteriormente 242 no instante de tempo  $k-1$  e nas sub-bandas  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$ . A previsão de banda cruzada pode ser realizada para que cada amostra de sub-banda estimada 241 possa ser determinada com base em todas as três amostras de sub-banda decodificadas anteriormente 242 nas sub-bandas  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$ .

- A máscara de previsão 205 define a previsão de banda cruzada de uma amostra de sub-banda 251 estimada no instante de tempo  $k$  e na sub-banda  $n$  com base em doze amostras de sub-banda decodificadas anteriormente 252 nos instantes de tempo  $k-2$ ,  $k-3$ ,  $k-4$ ,  $k-5$  e nas sub-bandas  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$ .

[0064] A Fig. 3 ilustra dados tabulados para um modelo sinusoidal com base no calculador preditor 105 que opera em um banco de filtros modulado por cosseno. O suporte de máscara de previsão é o do diagrama 204. Para um dado parâmetro de frequência, a sub-banda com a frequência central de sub-banda mais próxima pode ser selecionada como sub-banda-alvo central. A diferença entre o parâmetro de frequência e a frequência central da sub-banda-alvo central pode ser calculada em unidades do espaçamento de frequência do banco de filtro (bins). Isso resulta em valor entre -0,5 e 0,5 que pode ser arredondado para a entrada disponível mais próxima nos dados tabulados, representados pelas abscissas dos nove gráficos 301 da Fig. 3. Isso produz uma matriz de coeficientes 3 x 3 que deve ser aplicada aos valores mais recentes da pluralidade de sinais de sub-banda 113 decodificados no armazenamento temporário de sub-banda 104 da sub-banda-alvo e suas duas sub-bandas adjacentes. O vetor resultante 3 x 1 constitui a contribuição do preditor de sub-banda 103 a essas três sub-bandas para o parâmetro de frequência dado. O processo pode

ser repetido de modo adicional para todos os componentes sinusoidais no modelo de sinal.

[0065] Em outras palavras, a Fig. 3 ilustra um exemplo de uma descrição com base em um modelo de um preditor de sub-banda. Supõe-se que o sinal de áudio de entrada compreende um ou mais componentes sinusoidais em frequência básicas  $\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_{M-1}$ . Para cada um dos ou mais componentes sinusoidais, pode ser predeterminado um preditor de sub-banda com o uso de uma máscara de previsão predeterminada (por exemplo, a máscara de previsão 204). A frequência fundamental  $\Omega$  do sinal de áudio de entrada pode estar entre uma das sub-bandas do banco de filtros. Essa sub-banda pode denominada como sub-banda central para essa frequência fundamental  $\Omega$ , em particular. A frequência fundamental  $\Omega$  pode ser expressa como um valor na faixa de -0,5 e 0,5 em relação à frequência central da sub-banda central. Um codificador de áudio transmite informações referentes à frequência fundamental  $\Omega$  ao decodificador 100. O calculador preditor 105 do decodificador 100 pode usar a matriz três-por-três de Figura 3 para determinar uma matriz três-por-três de coeficientes de previsão através da determinação do valor de coeficiente 302 para o valor de frequência relativa 303 da frequência fundamental  $\Omega$ . Isso significa que o coeficiente para um preditor de sub-banda 103 com o uso de a máscara de previsão 204 pode ser determinado com o uso apenas das informações recebidas referentes a frequência fundamental  $\Omega$ , em particular. Em outras palavras, através da modelagem de um sinal de áudio de entrada com o uso de, por exemplo, um modelo de um dos mais dos componentes sinusoidais, uma descrição eficiente de taxa de bits de um preditor de sub-banda pode ser fornecida.

[0066] A Fig. 4 ilustra um exemplo de formatação de ruído que resulta de previsão em banda de sub-banda em um banco de filtros modulado por cosseno. O modelo de sinal usado para realizar a previsão

de sub-banda em banda é um processo estocástico autorregressivo de segunda ordem com uma ressonância de pico, conforme descrito por uma equação diferencial de segunda ordem movida pelo ruído branco gaussiano aleatório. A curva 401 mostra o espectro de magnitude medido para uma realização do processo. Para esse exemplo, a máscara de previsão 202 de Fig. 2 é aplicada. Ou seja, o calculador preditor 105 dota o preditor de sub-banda 103 para um dada sub-banda-alvo 221 com base em amostras de sub-banda anteriores 222 apenas na mesma sub-banda. Substituir o quantificador inverso 101 por um gerador de ruído branco gaussiano leva a um espectro de magnitude sintetizada 402. Como pode ser visto, fortes artefatos de réplica ocorrem na síntese visto que o espectro sintetizado 402 compreende picos que não coincidem com o espectro original 401.

[0067] A Fig. 5 ilustra um exemplo de formatação de ruído que resulta da previsão de sub-banda de banda cruzada. O cenário é o mesmo da Fig. 4, exceto para o fato de que a máscara de previsão 203 é aplicada. Consequentemente, o calculador 105 dota o preditor 103 para uma dada sub-banda-alvo 231 com base em amostras de sub-banda anteriores 232 na sub-banda-alvo e em suas duas sub-bandas adjacentes. Como pode ser visto a partir da Figura 5, o espectro 502 do sinal sintetizado coincide substancialmente com o espectro 501 do sinal original, isto é, os problemas de réplica são substancialmente suprimidos for a previsão de sub-banda de banda cruzada for usada.

[0068] Como tal, as Figuras 4 e 5 ilustram que quando ao usar a previsão de sub-banda de banda cruzada, isto é, ao prever uma amostra de sub-banda com base em amostras de sub-banda anteriores de um ou mais sub-bandas adjacentes, artefatos de réplica causados pela previsão de sub-banda podem ser reduzidos. Como resultado, a previsão de sub-banda também pode ser aplicada em um contexto de codi-



ficadores de baixa taxa de bits de áudio sem o risco de causar artefatos de réplica audíveis. O uso da previsão de sub-banda de banda cruzada tipicamente aumenta o número de coeficientes de previsão. No entanto, como mostrado no contexto da Fig. 3, o uso de modelos para o sinal de áudio de entrada (por exemplo, o uso de um modelo sinusoidal ou um modelo periódico) permite uma descrição eficiente do preditor de sub-banda, permitindo, através disso, o uso de previsão de sub-banda de banda cruzada para codificadores de áudio de baixa taxa de bits.

[0069] A seguir, uma descrição dos princípios do modelo com base na previsão em um banco de filtros criticamente amostrado será destacada com referência às Figuras 1 a 6, e adicionando-se terminologia matemática adequada.

[0070] Um modelo de sinal possível subjacente à previsão linear é o de um processo estocástico fracamente estacionário de média zero  $x(t)$  cujas estatísticas são determinadas pela sua função de autocorrelação  $r(\tau) = E\{x(t)x(t-\tau)\}$ . Como um bom modelo para os bancos de filtros criticamente amostrados a serem considerados aqui, um deixa  $\{w_\alpha : \alpha \in A\}$  ser uma coleção de formas de onda de síntese de validadas de modo real  $w_\alpha(t)$  que constituem uma base ortonormal. Em outras palavras, o banco de filtros pode ser representado pelas formas de onda  $\{w_\alpha : \alpha \in A\}$ . Amostras de sub-bandas de um sinal de domínio de tempo  $s(t)$  são obtidas por produtos internos

$$\langle s, w_\alpha \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) w_\alpha(t) dt, \quad (1)$$

[0071] e o sinal é recuperado por

$$s(t) = \sum_{\alpha \in A} \langle s, w_\alpha \rangle w_\alpha(t), \quad (2)$$

[0072] As amostras de sub-banda  $\langle x, w_\alpha \rangle$  do processo  $x(t)$  são variáveis aleatórias, cuja matriz de covariância  $R_{\alpha\beta}$  é determinada pela função de autocorrelação  $r(\tau)$  a seguir

$$R_{\alpha\beta} = E\{\langle x, w_\alpha \rangle \langle x, w_\beta \rangle\} = \langle W_{\alpha\beta}, r \rangle, \quad (3)$$

[0073] em que  $W_{\alpha\beta}(\tau)$  é a correlação cruzada de duas formas de onda de síntese

$$W_{\alpha\beta}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w_\alpha(t) w_\beta(t - \tau) dt. \quad (4)$$

[0074] Uma previsão linear da amostra de sub-banda  $\langle x, w_\alpha \rangle$  de uma coleção ou amostras de sub-banda decodificadas  $\{\langle x, w_\beta \rangle : \beta \in B\}$  é definida por

$$\sum_{\beta \in B} c_\beta \langle x, w_\beta \rangle. \quad (5)$$

[0075] Na equação (5), o conjunto  $B$  define as amostras de sub-banda-fonte, isto é, o conjunto  $B$  define o suporte de máscara de previsão. O valor médio do erro de previsão quadrado é dado por

$$E\left\{\left(\sum_{\beta \in B} c_\beta \langle x, w_\beta \rangle - \langle x, w_\alpha \rangle\right)^2\right\} = \sum_{\beta, \gamma \in B} c_\gamma R_{\gamma\beta} c_\beta - 2 \sum_{\beta \in B} R_{\alpha\beta} c_\beta + R_{\alpha\alpha}, \quad (6)$$

[0076] e a solução de erro quadrado de menor média (MSE) é obtida resolvendo-se equações normais para os coeficientes de previsão  $c_\beta$ ,

$$\sum_{\beta \in B} R_{\gamma\beta} c_\beta = R_{\gamma\alpha}, \quad \gamma \in B. \quad (7)$$

[0077] Quando os coeficientes de previsão satisfazem a equação (7), o lado direito da equação (6) reduz para  $R_{\alpha\alpha} - \sum_{\beta} R_{\alpha\beta} c_{\beta}$ . As equações normais (7) podem ser resolvidas de uma maneira eficiente com o uso de, por exemplo, o algoritmo de Levinson-Durbin.

[0078] Propõe-se no presente documento transmitir uma representação paramétrica de um modelo de sinal a partir do qual os coeficientes de previsão  $\{c_{\beta} : \beta \in B\}$  podem ser derivados no calculador preditor 105. Por exemplo, o modelo de sinal pode fornecer uma representação paramétrica da função de autocorrelação  $r(\tau)$  do modelo de sinal. O decodificador 100 pode derivar a função de autocorrelação  $r(\tau)$  com o uso da representação paramétrica recebida e pode combinar a função de autocorrelação  $r(\tau)$  com a correlação cruzada de forma de onda de síntese  $W_{\alpha\beta}(\tau)$  a fim de derivar a entrada da matriz de covariância solicitada para as equações normais (7). Essas equações podem, então, ser resolvidas para obter os coeficientes de previsão.

[0079] Em outras palavras, o sinal de áudio- a ser conectado pode ser modelado por um processo  $x(t)$  que pode ser descrito com o uso de um número limitado de parâmetros de modelo. Em particular, o processo de modelagem  $x(t)$  pode ser de tal modo que sua função de autocorrelação  $r(\tau) = E\{x(t)x(t-\tau)\}$  pode ser descrita com o uso de um número limitado de parâmetros. O número limitado de parâmetros para descrever a função de autocorrelação  $r(\tau)$  pode ser transmitido ao decodificador 100. O calculador preditor 105 do decodificador 100 pode determinar a função de autocorrelação  $r(\tau)$  dos parâmetros recebidos e pode usar a equação (3) para determinar a matriz de covariância  $R_{\alpha\beta}$  dos sinais de sub-banda a partir dos quais a equação normal (7) pode ser determinada. A equação normal (7) pode, então, ser resolvida pelo calculador preditor 105, produzindo, através da mesma, os co-

eficientes de previsão  $c_\beta$ .

[0080] A seguir, são descritos os exemplos de modelos de sinal que podem ser usados para aplicar o esquema de previsão com base em um modelo descrito acima de uma maneira eficiente. Os modelos de sinal descritos a seguir são, de forma típica, altamente relevantes para codificação de sinais de áudio, por exemplo, para codificar sinais de fala.

[0081] Um exemplo de um modelo de sinal é dado pelo processo sinusoidal

$$x(t) = a \cos(\xi t) + b \sin(\xi t), \quad (8)$$

[0082] em que variáveis aleatórias  $a, b$  não são correlacionadas, têm média zero e variação um. A função de autocorrelação desse processo sinusoidal é dada por

$$r(\tau) = \cos(\xi \tau). \quad (9)$$

[0083] Uma generalização de tal processo sinusoidal é um modelo multisseno que compreende um conjunto de frequências (angulares)  $S$ , isto é, que compreende uma pluralidade de diferentes frequências (angulares)  $\xi$ ,

$$x(t) = \sum_{\xi \in S} a_\xi \cos(\xi t) + b_\xi \sin(\xi t). \quad (10)$$

[0084] Considerando-se que todas as variáveis aleatórias  $a_\xi, b_\xi$  são não correlacionadas em relação ao par, têm significado zero e variância um, o processo multisseno tem a função de autocorrelação

$$r(\tau) = \sum_{\xi \in S} \cos(\xi \tau). \quad (11)$$

[0085] A densidade de potência espectral (PSD) do processo mul-

tisseno (que corresponde à transformada de Fourier da função de autocorrelação), é o espectro de linha

$$P(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{\xi \in S} (\delta(\omega - \xi) + \delta(\omega + \xi))$$

(12)

[0086] As correlações numéricas podem levar à substituição do processo multisseno puro pela função de autocorrelação do processo de equação com um processo multisseno relaxado que tem a função

de autocorrelação  $r(\tau) = \exp(-\varepsilon|\tau|) \sum_{\xi \in S} \cos(\xi\tau)$ , em que  $\varepsilon > 0$  é um parâmetro de relaxação relativamente pequeno. Tal modelo leva a uma PSD estritamente positiva sem funções de impulso.

[0087] Os exemplos de descrições compactas do conjunto  $S$  de frequências de um modelo multisseno são da seguinte forma

[0088] 1. Uma frequência fundamental única  $\Omega$ :  $S = \{\Omega\nu : \nu = 1, 2, \dots\}$

[0089] 2.  $M$  frequências fundamentais:  $\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_{M-1}$ :  
 $S = \{\Omega_k\nu : \nu = 1, 2, \dots, k = 0, 1, \dots, M-1\}$

[0090] 3. Uma frequência fundamental deslocada de banda lateral única  $\Omega, \theta$ :  $S = \{\Omega(\nu + \theta) : \nu = 1, 2, \dots\}$

[0091] 4. Um modelo ligeiramente inarmônico:  $\Omega, a$ :  
 $S = \{\Omega\nu \cdot (1 + a\nu^2)^{1/2} : \nu = 1, 2, \dots\}$ , sendo que  $a$  descreve o componente inarmônico do modelo.

[0092] De tal modo, um modelo multisseno (possivelmente relaxado) que exhibe uma PSD fornecida pela equação (12) pode ser descrito de uma maneira eficaz com o uso de uma das descrições de exemplo listadas acima. A título de exemplo, um conjunto completo  $S$  de frequências do espectro de linha da equação (12) pode ser descrito com o uso de apenas uma frequência fundamental única  $\Omega$ . Se o sinal de áudio de entrada a ser codificado puder ser bem descrito com o uso de

um modelo multisseno que exibe uma frequência fundamental única  $\Omega$ , o preditor com base em modelo pode ser descrito por um único parâmetro (isto é, através da frequência fundamental  $\Omega$ ), independentemente da quantidade de coeficientes de previsão (isto é, independentemente da máscara de previsão 202, 203, 204, 205) usada pelo preditor de sub-banda 103.

[0093] O caso 1 para descrever o conjunto  $S$  de frequências produz um processo  $x(t)$  que modela sinais de áudio de entrada com um período  $T = 2\pi/\Omega$ . Mediante a inclusão da frequência zero (DC) a contribuição com a variância 0,5 para a equação (11) e sujeita ao redimensionamento do resultado pelo fator  $2/T$ , a função de autocorrelação do processo de modelo periódico  $x(t)$  pode ser escrita como

$$r(\tau) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \delta(\tau - kT) \quad (13)$$

[0094] Com a definição de um fator de relaxação  $\rho = \exp(-T\varepsilon)$ , a função de autocorrelação da versão relaxada do modelo periódico é determinada por

$$r(\tau) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \rho^{|k|} \delta(\tau - kT) \quad (14)$$

[0095] A equação (14) também corresponde à função de autocorrelação de um processo definido por um único enlace de atraso alimentado com ruído branco  $z(t)$ , ou seja, do processo de modelo

$$x(t) = \rho x(t-T) + \sqrt{1-\rho^2} z(t) \quad (15)$$

[0096] Isso significa que o processo periódico que exibe uma frequência fundamental única  $\Omega$  corresponde a um atraso no domínio de tempo, sendo que o atraso é  $T = 2\pi/\Omega$ .

[0097] Os modelos de sinais globais mencionados acima têm, tipi-

camente, um espectro de potência de grande escala plana, devido à premissa de variância de unidade dos parâmetros de amplitude sinusoidal  $a_\xi, b_\xi$ . Deve-se observar, entretanto, que os modelos de sinais, tipicamente, são considerados apenas localmente para um subconjunto de sub-bandas de um banco de filtros criticamente amostrado, em que o banco de filtros é instrumental na formatação do espectro geral. Em outras palavras, para um sinal que tem um formato espectral com variação lenta em comparação com as larguras de sub-banda, os modelos de espectro de potência plana irão fornecer uma boa compatibilidade com o sinal e, subsequentemente, os preditores com base em modelo irão oferecer níveis adequados de ganho de previsão.

[0098] De modo mais geral, o modelo de PSD pode ser descrito em termos de parametrizações de padrão de processos autorregressivos (AR) ou de média de movimento autorregressivo (ARMA). Isso aumentaria o desempenho da previsão com base em modelo possivelmente dependente de um aumento nos parâmetros de modelo descritivos.

[0099] Outra variação é obtida através do abandono da premissa estacionária para o modelo de sinal estocástico. A função de autocorrelação se torna, então, uma função de duas variáveis  $r(t, s) = E\{x(t)x(s)\}$ . Por exemplo, os modelos sinusoidais não estacionários relevantes podem incluir modulação de amplitude (AM) e modulação de frequência (FM).

[00100] Ademais, um modelo de sinal mais determinista pode ser empregado. Conforme será percebido em alguns dos exemplos abaixo, a previsão pode ter um erro evanescente em alguns casos. Em tais casos, a abordagem probabilística pode ser evitada. Quando a previsão é perfeita para todos os sinais em um espaço de modelo, não há a necessidade de realizar um valor médio de desempenho de previsão por meio de uma medida de probabilidade no espaço de modelo con-

siderado.

[00101] A seguir, vários aspectos relacionados aos bancos de filtros modulados são descritos. Em particular, os são descritos os aspectos que têm uma influência sobre a determinação da matriz de covariância, fornecendo, portanto, meios eficazes para determinar os coeficientes de previsão de um preditor de sub-banda.

[00102] Um banco de filtros modulado pode ser descrito de modo que tenha um conjunto de índice bidimensional de formas de onda de síntese  $\alpha = (n, k)$ , em que  $n = 0, 1, \dots$  é o índice de sub-banda (banda de frequência) e em que  $k \in \mathbb{Z}$  é o índice de amostra de sub-banda (período de tempo). A título de facilidade de exposição, presume-se que as formas de onda de síntese sejam determinadas em tempo contínuo e sejam normalizadas a um passo de tempo de unidade,

$$w_{n,k}(t) = u_n(t - k), \quad (16)$$

[00103] em que

$$u_n(t) = v(t) \cos \left[ \pi \left( n + \frac{1}{2} \right) \left( t + \frac{1}{2} \right) \right], \quad (17)$$

[00104] no caso de um banco de filtros modulado por cosseno. Presume-se que a função de janela  $v(t)$  tenha um valor real e seja nivelada. Até variações mínimas da regra de modulação, isso cobre uma faixa de casos altamente relevantes, tais como MDCT (Transformada de Cosseno Discreta Modificada), QMF (Filtro Em Espelho de Quadratura), e ELT (Transformadas com Sobreposição Estendida) com  $L$  sub-bandas mediante a amostragem em um escalonamento de tempo  $1/L$ . A janela deve ter uma duração ou comprimento finitos com suporte incluído no intervalo  $[-K/2, K/2]$ , em que  $K$  é o fator de sobreposição da transformada sobreposta e em que  $K$  indica o comprimento da função de janela.



[00105] Devido à estrutura invariante quanto ao deslocamento, é possível constatar que a função de correlação cruzada da forma de onda de síntese (conforme definido na equação (4)) pode ser escrita como

$$W_{n,k,m,l}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w_{n,k}(t) w_{m,l}(t - \tau) dt = \int_{-\infty}^{\infty} u_n(t) u_m(t - l + k - \tau) dt \quad (18)$$

[00106] Ou seja,  $W_{n,k,m,l}(\tau) = U_{n,m}(\tau - l + k)$ , com a definição  $U_{n,m}(\tau) = W_{n,0,m,0}(\tau)$ . A estrutura de modulação (17) permite uma expansão adicional em

$$U_{n,m}(\tau) = \frac{1}{2} \kappa_{n-m}(\tau) \cos \frac{\pi}{2} [(n+m+1)\tau + (n-m)] + \frac{1}{2} \kappa_{n+m+1}(\tau) \cos \frac{\pi}{2} [(n-m)\tau + (n+m+1)]. \quad (19)$$

[00107] onde a função de kernel  $\kappa_v$  representa uma amostragem com o escalonamento de sub-banda de banco de filtros na variável de frequência da distribuição de Wigner-Ville da janela de banco de filtros

$$\kappa_v(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v\left(t + \frac{\tau}{2}\right) v\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \cos(\pi v t) dt \quad (20)$$

[00108] A kernel é real e nivelada tanto em  $v$  quanto em  $\tau$ , devido às premissas mencionadas acima na função de janela  $v(t)$ . Sua transformada de Fourier é o produto das respostas de janela deslocadas,

$$\hat{\kappa}_v(\omega) = \hat{v}\left(\omega + \frac{\pi}{2} v\right) \hat{v}\left(\omega - \frac{\pi}{2} v\right) \quad (21)$$

[00109] É possível perceber, a partir das equações (20) e (21), que a kernel  $\kappa_v(\tau)$  esvanece para  $|\tau| > K$  e tem uma decaída rápida como uma função de  $|v|$  para escolhas típicas de janelas de banco de filtros

$v(t)$ . Como uma consequência, o segundo termo da equação (19) que envolve  $v = n + m + 1$  pode, frequentemente, ser ignorado com a exceção das sub-bandas mais inferiores.

[00110] Para a função de autocorrelação  $r(\tau)$  de um determinado modelo de sinal, as fórmulas mencionadas acima podem ser inseridas na definição da matriz de covariância de amostra de sub-banda determinada pela equação (3). É possível obter  $R_{n,k,m,l} = R_{n,m}[k-l]$  com a definição

$$R_{n,m}[\lambda] = \int_{-\infty}^{\infty} U_{n,m}(\tau) r(\tau + \lambda) d\tau \quad (22)$$

[00111] Como uma função da densidade de potência espectral  $P(\omega)$  do determinado modelo de sinal (que corresponde à transformada de Fourier da função de autocorrelação  $r(\tau)$ ), é possível constatar que

$$R_{n,m}[\lambda] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{U}_{n,m}(\omega) P(\omega) \exp(-i\omega\lambda) d\omega \quad (23)$$

[00112] Em que  $\hat{U}_{n,m}(\omega)$  é a transformada de Fourier de  $U_{n,m}(\tau)$ , em que  $n, m$  identifica os índices de sub-banda e em que  $\lambda$  representa uma latência de período de tempo ( $\lambda = k - l$ ). A expressão da equação (23) pode ser reescrita como

$$R_{n,m}[\lambda] = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{K}_{n-m} \left( \omega - \frac{\pi}{2}(n+m+1) \right) P(\omega) \cos \left( \omega\lambda - \frac{\pi}{2}(n-m) \right) d\omega \\ + \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{K}_{n+m+1} \left( \omega - \frac{\pi}{2}(n-m) \right) P(\omega) \cos \left( \omega\lambda - \frac{\pi}{2}(n+m+1) \right) d\omega. \quad (24)$$

[00113] Uma importante observação é que o primeiro termo da equação (24) tem, essencialmente, uma propriedade de invariância em relação a deslocamentos de frequência. Se o segundo termo da equa-

ção (24) for ignorado e  $P(\omega)$  for deslocado por um número inteiro  $\nu$  vezes o espaçamento de sub-banda  $\pi$  para  $P(\omega - \pi\nu)$ , é possível constatar um deslocamento correspondente nas covariâncias  $R_{n,m}[\lambda] = \pm R_{n-\nu, m-\nu}[\lambda]$ , em que o sinal depende dos valores (inteiros) da latência de tempo  $\lambda$ . Isso reflete a vantagem do uso de um banco de filtros com uma estrutura de modulação, em comparação com o caso de banco de filtro geral.

[00114] A equação (24) fornece meios eficazes para determinar os coeficientes de matriz da matriz de covariância de amostra de sub-banda quando se sabe a PSD do modelo de sinal subjacente. A título de exemplo, no caso de um esquema de previsão com base em modelo sinusoidal que usa um modelo de sinal  $x(t)$  que compreende uma única senoide na frequência  $\xi$  (angular), a PSD é determinada por  $P(\omega) = \frac{1}{2}(\delta(\omega - \xi) + \delta(\omega + \xi))$ . Inserir  $P(\omega)$  na equação (24) oferece quatro termos dos quais três podem ser ignorados sob a premissa de que  $n + m + 1$  é grande. O termo restante se torna

$$\begin{aligned} R_{n,m}[\lambda] &\approx \frac{1}{8\pi} \hat{\kappa}_{n-m} \left( \xi - \frac{\pi}{2}(n+m+1) \right) \cos \left( \xi\lambda - \frac{\pi}{2}(n-m) \right) \\ &= \frac{1}{8\pi} \hat{v} \left( \xi - \pi(n + \frac{1}{2}) \right) \hat{v} \left( \xi - \pi(m + \frac{1}{2}) \right) \cos \left( \xi\lambda - \frac{\pi}{2}(n-m) \right). \end{aligned}$$

(25)

[00115] A equação (25) fornece meios eficazes para determinar a matriz de covariância de sub-banda  $R_{n,m}$ . Uma amostra de sub-banda

$\langle x, w_{p,0} \rangle$  pode ser confiavelmente prevista por uma coleção de amostras de sub-banda circundantes  $\{ \langle x, w_{n,k} \rangle : (n,k) \in B \}$  que se presumem ser influenciadas significativamente pela frequência considerada. A frequência absoluta  $\xi$  pode ser expressada em termos relativos, em relação à

frequência central  $\pi(p + \frac{1}{2})$  de uma sub-banda, como  $\xi = \pi(p + \frac{1}{2} + f)$ , em que  $p$  é o índice de sub-banda da sub-banda que compreende a frequência  $\xi$  e em que  $f$  é um parâmetro de frequência normalizada que admite valores entre - 0,5 e + 0,5 e que indica a posição da frequência  $\xi$  em relação à frequência central da sub-banda  $p$ . Determinando-se a matriz de covariância de sub-banda  $R_{n,m}$ , os coeficientes preditores  $c_m[l]$  que são aplicados a uma amostra de sub-banda na sub-banda  $m$  no índice de amostra  $l$  para estimar uma amostra de sub-banda na sub-banda  $n$  no índice de amostra  $k$  são encontrados através da solução das equações normais (7), que, para o caso em questão, podem ser escritas:

$$\sum_{(m,l) \in B} R_{n,m}[k-l]c_m[l] = R_{n,p}[k], \quad (n,k) \in B$$

(26)

[00116] Na equação (26), o conjunto  $B$  descreve o suporte de máscara de previsão conforme ilustrado, por exemplo, na Figura 2. Em outras palavras, o conjunto  $B$  identifica as sub-bandas  $m$  e os índices de amostra  $l$  que são usados para prever uma amostra-alvo.

[00117] A seguir, as soluções das equações normais (26) para diferentes suportes de máscara de previsão (conforme mostrado na Fig. 2) são fornecidos de uma maneira exemplificativa. O exemplo de um preditor em banda de segunda ordem causal é obtido através da seleção do suporte de máscara de previsão  $B = \{(p, -1), (p, -2)\}$ . Tal suporte de máscara de previsão corresponde à máscara de previsão 202 da Fig. 2. As equações normais (26) para essa previsão de dois toques, com o uso da aproximação da equação (25), se tornam

$$\hat{v}\left(\xi - \pi\left(p + \frac{1}{2}\right)\right)^2 \sum_{l=-1,-2} \cos(\xi(k-l))c_p[l] = \hat{v}\left(\xi - \pi\left(p + \frac{1}{2}\right)\right)^2 \cos(-\xi k), \quad k = -1, -2$$

(27)

[00118] Uma solução para a equação (27) é fornecida por  $c_p[-1] = 2\cos(\xi)$ ,  $c_p[-2] = -1$  e é exclusiva contanto que a frequência  $\xi = \pi(p + \frac{1}{2} + f)$  não seja escolhida de modo que  $\hat{v}(f) = 0$ . Constatase que o valor médio do erro de previsão ao quadrado de acordo com a equação (6) esvanece. Consequentemente, a previsão sinusoidal é perfeita, até a aproximação da equação (25). A propriedade de invariância para os deslocamentos de frequência é ilustrada neste documento pelo fato de que com o uso da definição  $\xi = \pi(p + \frac{1}{2} + f)$ , o coeficiente de previsão  $c_p[-1]$  pode ser reescrito em termos da frequência normalizada  $f$ , como  $c_p[-1] = -2(-1)^p \sin(\pi f)$ . Isso significa que os coeficientes de previsão são dependentes, apenas, da frequência normalizada  $f$  em uma sub-banda específica. Os valores absolutos dos coeficientes de previsão são, entretanto, independentes do índice de sub-banda  $p$ .

[00119] Conforme discutido acima para a Fig. 4, a previsão em banda tem determinadas deficiências em relação aos artefatos de réplica na formação de ruído. O próximo exemplo se refere ao comportamento aprimorado conforme ilustrado pela Figura 5. Uma previsão de banda cruzada causal conforme ensinado no presente documento é obtida através da seleção do suporte de máscara de previsão  $B = \{(p-1, -1), (p, -1), (p+1, -1)\}$ , que exige apenas um período de tempo anterior em vez de dois e que realiza uma formação de ruído com menos contribuições de frequência de réplica do que a máscara de previsão clássica 202 do primeiro exemplo. O suporte de máscara de previsão  $B = \{(p-1, -1), (p, -1), (p+1, -1)\}$  corresponde à máscara de previsão 203 da Figura 2. As equações normais (26) com base na aproximação da equação (25) são reduzidas nesse caso a duas equações

para os três coeficientes desconhecidos  $c_m[-1]$ ,  $m = p-1, p, p+1$ ,

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{v}(\pi f) c_p[-1] = (-1)^{p+1} \hat{v}(\pi f) \sin(\pi f) \\ \hat{v}(\pi(f+1)) c_{p-1}[-1] - \hat{v}(\pi(f-1)) c_{p+1}[-1] = (-1)^p \hat{v}(\pi f) \cos(\pi f) \end{array} \right\} \quad (28)$$

[00120] Constata-se que qualquer solução para as equações (28) leva a um valor médio evanescente do erro de previsão ao quadrado de acordo com equação (6). Uma possível estratégia para selecionar uma solução dentre a quantidade infinita de soluções para as equações (28) é minimizar a soma de quadrados dos coeficientes de previsão. Isso leva aos coeficientes determinados por

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{p-1}[-1] = \frac{(-1)^p \hat{v}(\pi f) \hat{v}(\pi(f+1)) \cos(\pi f)}{\hat{v}(\pi(f-1))^2 + \hat{v}(\pi(f+1))^2} \\ c_p[-1] = (-1)^{p+1} \sin(\pi f) \\ c_{p+1}[-1] = \frac{(-1)^{p+1} \hat{v}(\pi f) \hat{v}(\pi(f-1)) \cos(\pi f)}{\hat{v}(\pi(f-1))^2 + \hat{v}(\pi(f+1))^2} \end{array} \right\} \quad (29)$$

[00121] É claro a partir das fórmulas (29) que os coeficientes de previsão dependem apenas da frequência normalizada  $f$  em relação ao ponto médio da sub-banda-alvo  $p$  e dependem adicionalmente da paridade da sub-banda-alvo  $p$ .

[00122] Através do uso do mesmo suporte de máscara de previsão  $B = \{(p-1, -1), (p, -1), (p+1, -1)\}$  para prever as três amostras de sub-banda  $\langle x, w_{m,0} \rangle$  para  $m = p-1, p, p+1$ , conforme ilustrado pela máscara de previsão 204 da Fig. 2, uma matriz de previsão de  $3 \times 3$  é obtida. Mediante a introdução de uma estratégia mais natural para evitar a ambiguidade nas equações normais, designadamente através da inserção do modelo sinusoidal relaxado  $r(\tau) = \exp(-\varepsilon|\tau|) \cos(\xi\tau)$  correspondente a  $P(\omega) = \varepsilon \left( (\varepsilon^2 + (\omega - \xi)^2)^{-1} + (\varepsilon^2 + (\omega + \xi)^2)^{-1} \right)$ , computações numéricas levam a elementos de matriz de previsão de  $3 \times 3$  da Fig. 3. Os elementos de

matriz de previsão são mostrados como função da frequência normalizada  $f \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}]$  no caso de uma sobreposição  $K=2$  com uma função de janela sinusoidal  $v(t) = \cos(\pi t / 2)$  e no caso de uma sub-banda prima  $P$ .

[00123] De tal modo, foi mostrado que modelos de sinais  $x(t)$  podem ser usados para descrever características subjacentes do sinal de áudio de entrada a ser codificado. Os parâmetros que descrevem a função de autocorrelação  $r(\tau)$  podem ser transmitidos para um decodificador 100, possibilitando, assim, que o decodificador 100 calcule o preditor a partir dos parâmetros transmitidos e a partir do conhecimento do modelo de sinal  $x(t)$ . Mostrou-se que para os bancos de filtros modulados, meios eficazes para determinar a matriz de covariância de sub-banda do modelo de sinal e para solucionar as equações normais para determinar os coeficientes preditores podem ser derivados. Em particular, foi mostrado que os coeficientes preditores resultantes são invariantes para deslocamentos de sub-banda e são tipicamente dependentes, apenas, de uma frequência normalizada em relação a uma sub-banda específica. Como um resultado, as tabelas de consulta predeterminadas (conforme ilustrado por exemplo na Fig. 3) podem ser fornecidos, os quais permitem a determinação de coeficientes preditores através do conhecimento da frequência normalizada  $f$  que é independente (com a exceção de um valor de paridade) do índice de sub-banda  $P$  para o qual os coeficientes preditores são determinados.

[00124] A seguir, a previsão com base em modelo periódico, por exemplo, com o uso de uma frequência fundamental única  $\Omega$ , é descrita em detalhes adicionais. A função de autocorrelação  $r(\tau)$  de tal modelo periódico é determinada através da equação (13). A PSD ou espectro de linha equivalente é determinado através de

$$P(\omega) = \Omega \sum_{q \in \mathbb{Z}} \delta(\omega - q\Omega)$$

(30)

[00125] Quando o período  $T$  do modelo periódico é suficientemente pequeno, por exemplo,  $T \leq 1$ , a frequência fundamental  $\Omega = 2\pi/T$  é suficientemente grande para permitir a aplicação de um modelo sinusoidal conforme derivado acima com o uso da frequência parcial  $\xi = q\Omega$  mais próxima da frequência central  $\pi(p + \frac{1}{2})$  da sub-banda  $p$  da amostra de sub-banda-alvo que deve ser prevista. Isso significa que os sinais periódicos que têm um período  $T$  pequeno, isto é, um período que é pequeno em relação ao passo de tempo do banco de filtros, podem ser bem modelados e previstos com o uso do modelo sinusoidal descrito acima.

[00126] Quando o período  $T$  é suficientemente grande em comparação com a duração  $K$  da janela de banco de filtros  $v(t)$ , o preditor é reduzido a uma aproximação de um atraso por  $T$ . Conforme será mostrado, os coeficientes de tal preditor podem ser lidos diretamente a partir da função de correlação cruzada de forma de onda determinada pela equação (19).

[00127] A inserção do modelo de acordo com equação (13) na equação (22) leva a

$$R_{n,m}[\lambda] = \sum_{q \in \mathbb{Z}} U_{n,m}(qT - \lambda), \quad (31)$$

[00128] Uma importante observação é que, se  $T \geq 2K$ , então, no máximo, um termo da equação (31) é diferente de zero para cada  $\lambda$ , devido ao fato de que  $U_{n,m}(\tau) = 0$  para  $|\tau| > K$ . Através da escolha de um suporte de máscara de previsão  $B = I \times J$  com um diâmetro de período de tempo  $D = |J| \leq T - K$ , é possível observar que  $(n,k), (m,l) \in B$  implica que  $|k - l| \leq T - K$  e, portanto, o único termo da equação (31) é que para  $q = 0$ . Segue que  $R_{n,m}[k - l] = U_{n,m}(k - l)$ , que é o produto interno de formas de onda ortogonais e que esvanecem exceto se tanto  $n = m$  quanto



$k=l$ . De qualquer forma, as equações normais (7) se tornam

$$c_n[k] = R_{n,p}[k], \quad (n,k) \in B.$$

(32)

[00129] O suporte de máscara de previsão pode ser escolhido para ser centralizado ao redor de  $k=k_0 \approx -T$ , sendo que nesse caso, o lado direito da equação (32) tem sua única contribuição a partir de  $q=-1$ . Então, os coeficientes são fornecidos por

$$c_n[k] = U_{n,p}[-k-T], \quad (n,k) \in B,$$

(33)

[00130] em que a expressão explícita da equação (19) puder ser inserida. A geometria do suporte de máscara de previsão para tal caso pode ter a aparência do suporte de máscara de previsão da máscara de previsão 205 da Figura 2. O valor médio do erro de previsão ao quadrado fornecido pela equação (6) é igual à norma quadrática da projeção de  $u_p(t+T)$  no espaço abrangido pelo complemento das formas de ondas aproximadas  $w_{m,l}(t)$ ,  $(m,l) \notin B$ .

[00131] Em vista do mencionado acima, é ensinado pelo presente documento que a amostra de sub-banda  $\langle x, w_{p,0} \rangle$  (da sub-banda  $p$  e no índice de tempo 0) pode ser prevista através do uso de um suporte de máscara de previsão adequado  $B$  centralizado ao redor de  $(p, -T)$  com um diâmetro de tempo aproximadamente igual a  $T$ . As equações normais podem ser solucionadas para cada valor de  $T$  e  $P$ . Em outras palavras, para cada periodicidade  $T$  de um sinal de áudio de entrada e par cada sub-banda  $p$ , os coeficientes de previsão para um determinado suporte de máscara de previsão  $B$  podem ser determinados com o uso das equações normais (33).

[00132] Com uma grande quantidade de sub-bandas  $p$  e uma ampla faixa de períodos  $T$ , uma tabulação direta de todos os coeficientes preditores não é prática. Mas de maneira similar ao modelo sinusoidal,

a estrutura de modulação do banco de filtros oferece uma redução significativa do tamanho de tabela necessário, através da propriedade de invariância em relação aos deslocamentos de frequência. Tipicamente, será suficiente estudar o modelo harmônico deslocado com o parâmetro de deslocamento  $-1/2 < \theta \leq 1/2$  centralizado ao redor do centro de uma sub-banda  $p$ , isto é, centralizado ao redor de  $\pi(p + \frac{1}{2})$ , definido pelo subconjunto  $S(\theta)$  de frequências positivas dentre a coleção de frequências  $\pi(p + \frac{1}{2}) + (q + \theta)\Omega$ ,  $q \in \mathbf{Z}$ ,

$$P(\omega) = \Omega \sum_{\xi \in S(\theta)} (\delta(\omega - \xi) + \delta(\omega + \xi))$$

(34)

[00133] De fato, considerando-se  $T$  e um índice de sub-banda suficientemente grande  $p$ , o modelo periódico de acordo com equação (30) pode ser recuperado com uma boa aproximação através do modelo deslocado de acordo com a equação (34) através de uma escolha adequada do parâmetro de deslocamento  $\theta$ . A inserção da equação (34) na equação (24) com  $n = p + \nu$  e  $m = p + \mu$  (em que  $\nu$  e  $\mu$  definem os índices de sub-banda ao redor da sub-banda  $p$  do suporte de máscara de previsão) e manipulações com base na análise de Fourier levam à seguinte expressão para a matriz de covariância,

$$R_{p+\nu, p+\mu}[\lambda] \approx \frac{(-1)^{p\lambda}}{2} \sum_{l \in \mathbf{Z}} \kappa_{\nu-\mu}(Tl - \lambda) \cos\left(2\pi l\theta + \frac{\pi}{2}((\nu + \mu)(\lambda - Tl) + \lambda - \nu + \mu)\right)$$

(35)

[00134] Conforme pode ser percebido, a expressão (35) depende do índice-alvo de sub-banda  $p$  apenas através do fator  $(-1)^{p\lambda}$ . Para o caso de um período  $T$  grande e uma latência temporal  $\lambda$  pequena, apenas o termo para  $l=0$  contribui para a expressão (35) e é possível constatar, novamente, que a matriz de covariância é a matriz identidade. O lado direito das equações normais (26) para um suporte de máscara de previsão adequado  $B$  centralizado ao redor de  $(p, -T)$  for-

nece, então, os coeficientes de previsão diretamente como

$$c_{p+v}[k] = \frac{(-1)^{pk}}{2} \kappa_v(-T-k) \cos\left(-2\pi\theta + \frac{\pi}{2}(\nu(k+T)+k-\nu)\right), \quad (p+v, k) \in B$$

(36)

[00135] Isso recupera a contribuição do primeiro termo das equações (19) a (33) com a escolha canônica do deslocamento  $\theta = -\pi(p + \frac{1}{2})/\Omega$ .

[00136] A equação (36) permite a determinação dos coeficientes de previsão  $c_{p+v}[k]$  para uma sub-banda  $(p+v)$  em um índice de tempo  $k$ , em que a amostra a ser prevista é uma amostra da sub-banda  $p$  no índice de tempo 0. Conforme pode ser percebido a partir da equação (36), os coeficientes de previsão  $c_{p+v}[k]$  dependem do índice-alvo de sub-banda  $p$  apenas através do fator  $(-1)^{pk}$  que tem um impacto sobre o sinal do coeficiente de previsão. O valor absoluto do coeficiente de previsão é, entretanto, independente do índice-alvo de sub-banda  $p$ . Por outro lado, o coeficiente de previsão  $c_{p+v}[k]$  é dependente da periodicidade  $T$  e o parâmetro de deslocamento  $\theta$ . Ademais, o coeficiente de previsão  $c_{p+v}[k]$  é dependente de  $\nu$  e  $k$ , isto é, do suporte de máscara de previsão  $B$ , usado para prever a amostra-alvo na sub-banda-alvo  $p$ .

[00137] No presente documento, é proposto o fornecimento de uma tabela de consulta que permite uma consulta de um conjunto de coeficientes de previsão  $c_{p+v}[k]$  para um suporte de máscara de previsão predeterminado  $B$ . Para um determinado suporte de máscara de previsão  $B$ , a tabela de consulta fornece um conjunto de coeficientes de previsão  $c_{p+v}[k]$  para um conjunto de valores predeterminados da peri-

odicidade  $T$  e valores do parâmetro de deslocamento  $\theta$ . A fim de limitar a quantidade de entradas de tabela de consulta, a quantidade de valores predeterminados da periodicidade  $T$  e a quantidade de valores predeterminados do parâmetro de deslocamento  $\theta$  devem ser limitadas. Conforme pode ser observado a partir da expressão (36), um tamanho de escalonamento de quantização adequado para os valores predeterminados de periodicidade  $T$  e o parâmetro de deslocamento  $\theta$  devem ser dependentes da periodicidade  $T$ . Em particular, é possível observar que para periodicidades  $T$  relativamente grandes (em relação à duração  $K$  da função de janela), escalonamentos de quantização relativamente grandes para a periodicidade  $T$  e para o parâmetro de deslocamento  $\theta$  podem ser usados. Por outro lado, para periodicidades  $T$  relativamente pequenos que tendem a zero, apenas uma contribuição sinusoidal deve ser considerada, de modo que a periodicidade  $T$  perca sua importância. Por outro lado, as fórmulas para a previsão sinusoidal de acordo com a equação (29) exigem que o deslocamento de frequência normalizada absoluta  $f = \Omega\theta / \pi = \frac{1}{2}\theta / T$  seja lentamente variável, de modo que o tamanho de escalonamento de quantização para o parâmetro de deslocamento  $\theta$  seja dimensionado com base na periodicidade  $T$ .

[00138] De qualquer maneira, é proposto no presente documento o uso de uma quantização uniforme da periodicidade  $T$  com um tamanho de escalonamento fixo. O parâmetro de deslocamento  $\theta$  pode, também, ser quantizado de uma maneira uniforme, entretanto, com um tamanho de escalonamento que é proporcional a  $\min(T, A)$ , em que o valor de  $A$  depende das especificações da função de janela de banco de filtros. Ademais, para  $T < 2$ , a faixa de parâmetro de deslocamentos  $\theta$  pode ser limitada a  $|\theta| \leq \min(CT, 1/2)$  para alguma constante  $C$ , de modo a refletir um limite nos deslocamentos de frequência absolutos

$f$ .

[00139] A Fig. 6a ilustra um exemplo de uma grade de quantização resultante no plano  $(T, \theta)$  para  $A=2$ . Apenas na faixa intermediária de  $0,25 \leq T \leq 1,5$  a dependência bidimensional completa é considerada, enquanto as parametrizações essencialmente unidimensionais conforme fornecidas pelas equações (29) e as equações (36) podem ser usadas para a faixa de interesse restante. Em particular, para as periodicidades  $T$  que tendem a zero (por exemplo  $T < 0,25$ ) a previsão com base em modelo periódico corresponde substancialmente à previsão com base em modelo sinusoidal e os coeficientes de previsão podem ser determinados com o uso de fórmulas (29). Por outro lado, para as periodicidades  $T$  que excedem substancialmente a duração  $K$  de janela (por exemplo  $T > 1,5$ ) o conjunto de coeficientes de previsão  $c_{p+v}[k]$  com o uso da previsão com base em modelo periódico pode ser determinado com o uso da equação (36). Tal equação pode ser reinterpretada por meio da substituição  $\theta = \varphi + \frac{1}{4}T\nu$ . Constata-se que

$$c_{p+v}[k] = \frac{(-1)^{pk}}{2} \kappa_{\nu}(-T-k) \cos\left(-2\pi\varphi + \frac{\pi}{2}((\nu+1)k - \nu)\right), \quad (p+\nu, k) \in B$$

(37)

[00140] Determinando-se  $\varphi$ , o papel determinado para o parâmetro  $\theta$  na tabulação, uma estrutura essencialmente separável é obtida no plano equivalente  $(T, \varphi)$ . Até alterações de sinal que dependem de índices de sub-banda e de período de tempo, a dependência de  $T$  é contida em um primeiro fator de variação lenta e a dependência de  $\varphi$  é contida em um segundo fator 1-periódico na equação (37).

[00141] É possível interpretar o parâmetro compensado modificado  $\varphi$  como o deslocamento das séries harmônicas nas unidades da frequência fundamental conforme medidas a partir do ponto médio dos pontos médios de bins-fonte e bins-alvo. É vantajoso manter tal para-

metrização modificada  $(T, \varphi)$  para todos os valores de periodicidades  $T$ , devido ao fato de que as simetrias na equação (37) que são aparentes em relação a alterações de sinal simultâneas de  $\varphi$  e  $\nu$  serão mantidas, em geral, e podem ser exploradas a fim de reduzir os tamanhos de tabelas.

[00142] Conforme indicado acima, a Fig. 6a representa uma grade de quantização bidimensional subjacente aos dados tabulados para um cálculo de preditor com base em modelo periódico em um banco de filtros modulado por cosseno. O modelo de sinal é o de um sinal com período  $T = 602$ , medido nas unidades de escalonamento de tempo de banco de filtros. De modo equivalente, o modelo compreende as linhas de frequência dos múltiplos inteiros, também conhecidos como parciais, da frequência fundamental que corresponde ao período  $T$ . Para cada sub-banda-alvo, o parâmetro de deslocamento  $\theta = 601$  indica a distância da parcial mais próxima até a frequência central medida em unidades da frequência fundamental  $\Omega$ . O parâmetro de deslocamento  $\theta = 601$  tem um valor entre  $-0,5$  e  $0,5$ . As cruzes pretas 603 da Figura 6a ilustram uma densidade adequada de pontos de quantização para a tabulação de preditores com um alto ganho de previsão com base no modelo periódico. Para períodos  $T$  grandes (por exemplo  $T > 2$ ), a grade é uniforme. Uma densidade aumentada no parâmetro de deslocamento  $\theta$  é, tipicamente, exigida conforme o período  $T$  diminui. Entretanto, na região fora das linhas 604, a distância  $\theta$  é maior que uma frequência bin (índice de frequência) do banco de filtros, de modo que a maioria dos pontos de grade em tal região possam ser ignorados. O polígono 605 delimita uma região que é suficiente para uma tabulação completa. Além das linhas inclinadas ligeiramente fora das linhas 604, os contornos em  $T = 0,25$  e  $T = 1,5$  são introduzidos. Isso é possibilitado pelo fato de que os pequenos períodos 602 podem ser tratados como sinusoides separadas e que os preditores para grandes períodos

602 podem ser aproximados através de tabelas essencialmente unidimensionais que dependem, principalmente, do parâmetro de deslocamento  $\theta$ , (ou no parâmetro de deslocamento modificado  $\varphi$ ). Para a modalidade ilustrada na Figura 6a, o suporte de máscara de previsão é tipicamente similar à máscara de previsão 205 da Figura 2 para grandes períodos  $T$ .

[00143] A Fig. 6b ilustra a previsão com base em modelo periódico no caso de períodos  $T$  relativamente grandes e no caso de períodos  $T$  relativamente pequenos. É possível observar, a partir do diagrama superior, que para grandes períodos  $T$ , isto é, para frequências fundamentais relativamente pequenas  $\Omega$  613, a função de janela 612 do banco de filtros captura uma quantidade relativamente grande de linhas ou pulsos de Dirac 616 da PSD do sinal periódico. Os pulsos de Dirac 616 estão localizados nas frequências 610  $\omega = q\Omega$ , sendo que  $q \in \mathbb{Z}$ . As frequências centrais das sub-bandas do banco de filtros estão localizadas nas frequências  $\omega = \pi(p + \frac{1}{2})$ , com  $p \in \mathbb{Z}$ . Para uma determinada sub-banda  $p$ , a localização de frequência do pulso 616 com a frequência  $\omega = q\Omega$  mais próxima à frequência central da determinada sub-banda  $\omega = \pi(p + \frac{1}{2})$  pode ser descrita em termos relativos como  $q\Omega = \pi(p + \frac{1}{2}) + \theta\Omega$ , sendo que o parâmetro de deslocamento  $\theta$  varia de  $-0,5$  a  $+0,5$ . De tal modo, o termo  $\theta\Omega$  reflete a distância (em frequência) a partir da frequência central  $\omega = \pi(p + \frac{1}{2})$  para o componente de frequência mais próximo 616 do modelo harmônico. Isso é ilustrado no diagrama superior da Figura 6b, em que a frequência central 617 é  $\omega = \pi(p + \frac{1}{2})$  e em que a distância 618  $\theta\Omega$  é ilustrada para o caso de um período  $T$  relativamente grande. É possível observar que o parâmetro

de deslocamento  $\theta$  permite descrever toda a série harmônica visualizada a partir da perspectiva do centro da sub-banda  $p$ .

[00144] O diagrama inferior da Fig. 6b ilustra o caso para períodos  $T$  relativamente pequenos, isto é, para frequências fundamentais relativamente grandes  $\Omega$  623, de modo notável, as frequências fundamentais 623 que são maiores que a largura da janela 612. É possível observar que em tais casos, uma função de janela 612 pode compreender apenas um único pulso 626 do sinal periódico, de modo que o sinal possa ser visualizado como um sinusoidal sinal na janela 612. Isso significa que para períodos  $T$  relativamente pequenos, o esquema de previsão com base em modelo periódico converge em direção a um esquema de previsão com base em modelo sinusoidal.

[00145] A Fig. 6b também ilustra máscaras de previsão 611, 621 exemplificativas que podem ser usadas para o esquema de previsão com base em modelo periódico e para o esquema de previsão com base em modelo sinusoidal, respectivamente. A máscara de previsão 611 usada para o esquema de previsão com base em modelo periódico pode corresponder à máscara de previsão 205 da Figura 2 e pode compreender o suporte de máscara de previsão 614 para estimar a amostra de sub-banda-alvo 615. A máscara de previsão 621 usada para o esquema de previsão com base em modelo sinusoidal pode corresponder à máscara de previsão 203 da Figura 2 e pode compreender o suporte de máscara de previsão 624 para estimar a amostra de sub-banda-alvo 625.

[00146] A Fig. 7a ilustra um método de codificação exemplificativo 700 que envolve a previsão de sub-banda com base em modelo com o uso de um modelo periódico (que compreende, por exemplo, uma frequência fundamental única  $\Omega$ ). Um quadro de um sinal de áudio de entrada é considerado. Para tal quadro, uma periodicidade  $T$  ou uma frequência fundamental  $\Omega$  pode ser determinada (etapa 701). O codifi-



cador de áudio pode compreender os elementos do decodificador 100 ilustrado na Figura 1, em particular, o codificador de áudio pode compreender um calculador preditor 105 e um preditor de sub-banda 103. A periodicidade  $T$  ou a frequência fundamental  $\Omega$  pode ser determinada de modo que o valor médio dos sinais de sub-banda de erro de previsão ao quadrado 111 de acordo com a equação (6) seja reduzido (por exemplo, minimizado). A título de exemplo, o codificador de áudio pode aplicar uma abordagem de força bruta que determina os sinais de sub-banda de erro de previsão 111 com o uso de diferentes frequências fundamentais  $\Omega$  e que determina a frequência fundamental  $\Omega$  para a qual o valor médio dos sinais de sub-banda de erro de previsão ao quadrado 111 é reduzido (por exemplo, minimizado). O método prossegue com a quantização dos sinais resultantes de sub-banda de erro de previsão 111 (etapa 702). Ademais, o método compreende a etapa de gerar 703 um fluxo de bits que compreende informações indicativas da frequência fundamental determinada  $\Omega$  e dos sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados 111.

[00147] Ao determinar a frequência fundamental  $\Omega$  na etapa 701, o codificador de áudio pode usar as equações (36) e/ou (29), a fim de determinar os coeficientes de previsão para uma frequência fundamental específica  $\Omega$ . O conjunto de frequências fundamentais possíveis  $\Omega$  pode ser limitado pela quantidade de bits que estão disponíveis para a transmissão das informações indicativas da frequência fundamental determinada  $\Omega$ .

[00148] Deve-se observar que o sistema de codificação de áudio pode usar um modelo predeterminado (por exemplo, um modelo periódico que compreende uma frequência fundamental única  $\Omega$  ou qualquer outro dentre os modelos fornecidos no presente documento) e/ou uma máscara de previsão predeterminada 202, 203, 204, 205. Por outro lado, o sistema de codificação de áudio pode ser fornecido com

graus adicionais de liberdade através da habilitação do codificador de áudio para determinar um modelo adequado e/ou uma máscara de previsão adequada para um sinal de áudio a ser codificado. As informações a respeito do modelo selecionado e/ou da máscara de previsão selecionada são, em seguida, codificadas no fluxo de bits e fornecidas para o decodificador correspondente 100.

[00149] A Fig. 7b ilustra um método de exemplo 710 para decodificar um sinal de áudio que foi codificado com o uso da previsão com base em modelo. Presume-se que o decodificador 100 tenha ciência do modelo de sinal e da máscara de previsão usados pelo codificador (tanto através do fluxo de bits recebido quanto devido às configurações predeterminadas). Ademais, é presumido, para os propósitos ilustrativos, que um modelo de previsão periódica tenha sido usado. O decodificador 100 extrai informações a respeito da frequência fundamental  $\Omega$  a partir do fluxo de bits recebido (etapa 711). Com o uso de informações a respeito da frequência fundamental  $\Omega$ , o decodificador 100 pode determinar a periodicidade  $T$ . A frequência fundamental  $\Omega$  e/ou a periodicidade  $T$  podem ser usadas para determinar um conjunto de coeficientes de previsão para os diferentes preditores de sub-banda (etapa 712). Os preditores de sub-banda podem ser usados para determinar sinais de sub-banda estimados (etapa 713) que são combinados (etapa 714) com os sinais de sub-banda de erro de previsão desquantizados 111 para produzir os sinais de sub-banda decodificados 113. Os sinais de sub-banda decodificados 113 podem ser filtrados (etapa 715) com o uso de um banco de filtros de síntese 102 produzindo, assim, o sinal de áudio de domínio de tempo decodificado 114.

[00150] O calculador preditor 105 pode usar as equações (36) e/ou (29) para determinar os coeficientes de previsão do preditor de sub-bandas 103 com base nas informações recebidas a respeito da frequência fundamental  $\Omega$  (etapa 712). Isso pode ser realizado de uma

maneira eficaz com o uso de uma tabela de consulta conforme ilustrado nas Figuras 6a e 3. A título de exemplo, o calculador preditor 105 pode determinar a periodicidade  $T$  e determinar se a periodicidade está situada abaixo de um limiar inferior predeterminado (por exemplo,  $T = 0,25$ ). Se, nesse caso, um esquema de previsão com base em modelo sinusoidal for usado, isso significa que, com base na frequência fundamental recebida  $\Omega$ , as sub-bandas  $p$  são determinadas, as quais compreendem um múltiplo  $\omega = q\Omega$ , sendo que  $q \in \mathbb{Z}$ , da frequência fundamental. Então, a frequência normalizada  $f$  é determinada com o uso da relação  $\xi = \pi(p + \frac{1}{2} + f)$ , em que a frequência  $\xi$  corresponde ao múltiplo  $\omega = q\Omega$  que está situado na sub-banda  $p$ . O calculador preditor 105 pode, em seguida, usar a equação (29) ou uma tabela de consulta pré-calculada para determinar o conjunto de coeficientes de previsão (com o uso, por exemplo, da máscara de previsão 203 da Fig. 2 ou da máscara de previsão 621 da Fig. 6b).

[00151] Deve-se observar que um conjunto diferente de coeficientes de previsão pode ser determinado para cada sub-banda. Entretanto, no caso de um esquema de previsão com base em modelo sinusoidal, um conjunto de coeficientes de previsão é, tipicamente, determinado apenas para as sub-bandas  $p$  que são significativamente afetadas por um múltiplo  $\omega = q\Omega$ , sendo que  $q \in \mathbb{Z}$ , da frequência fundamental. Para as outras sub-bandas, nenhum coeficiente de previsão é determinado, o que significa que os sinais de sub-banda estimados 112 por tais outras sub-bandas são zero.

[00152] A fim de reduzir a complexidade de computação do decodificador 100 (e do codificador com o uso do mesmo calculador preditor 105), o calculador preditor 105 pode usar uma tabela de consulta predeterminada que fornece o conjunto de coeficientes de previsão, sujeita a valores para  $T$  e  $\theta$ . Em particular, o calculador preditor 105 pode

usar uma pluralidade de tabelas de consulta para uma pluralidade de diferentes valores para  $T$ . Cada uma dentre a pluralidade de tabelas de consulta fornece um conjunto diferente de coeficientes de previsão para uma pluralidade de diferentes valores do parâmetro de deslocamento  $\Theta$ .

[00153] Em uma implantação prática, uma pluralidade de tabelas de consulta pode ser fornecida para diferentes valores do período parâmetro  $T$ . A título de exemplo, as tabelas de consulta podem ser fornecidas para valores de  $T$  na faixa de 0,25 e 2,5 (conforme ilustrado na Fig. 6a). As tabelas de consulta podem ser fornecidas para uma granularidade predeterminada ou tamanho de escalonamento de diferentes parâmetros de período  $T$ . Em uma implantação exemplificativa, o tamanho de escalonamento para o parâmetro de período normalizado  $T$  é  $1/16$  e diferentes tabelas de consulta para os coeficientes de previsão quantizados são fornecidas para  $T = 8/32$  até  $T = 80/32$ . Por esse motivo, um total de 37 tabelas de consulta diferentes podem ser fornecidas. Cada tabela pode fornecer os coeficientes de previsão quantizados como uma função do parâmetro de deslocamento  $\Theta$  ou como uma função do parâmetro de deslocamento modificado  $\varphi$ . As tabelas de consulta para  $T = 8/32$  até  $T = 80/32$  podem ser usadas para uma faixa que é aumentada pela metade de um tamanho de escalonamento, isto é,  $[\frac{9}{32}, \frac{81}{32}]$ . Para uma determinada periodicidade que difere das periodicidades disponíveis, para a qual uma tabela de consulta foi definida, a tabela de consulta para a periodicidade mais próxima disponível pode ser usada.

[00154] Conforme esboçado acima, para períodos  $T$  longos (por exemplo, para períodos  $T$  que excedem o período para o qual uma tabela de consulta é definida), a equação (36) pode ser usada. Alternativamente, para os períodos  $T$  que excedem os períodos para os quais

as tabelas de consulta foram definidas, por exemplo, para períodos  $T > 81/32$ , o período  $T$  pode ser separado em um atraso inteiro  $T_i$  e um atraso residual  $T_r$ , de modo que  $T = T_i + T_r$ . A separação pode ser de modo que o atraso residual  $T_r$  esteja situado no intervalo ao qual a equação (36) é aplicável e para o qual as tabelas de consulta estão disponíveis, por exemplo, no intervalo  $[1,5, 2,5]$  ou  $[49/32, 81/32]$  para o exemplo acima. De tal modo, os coeficientes de previsão podem ser determinados com o uso da tabela de consulta para o atraso residual  $T_r$  e o preditor de sub-banda 103 pode operar em um armazenamento temporário de sub-banda 104 que foi atrasado pelo atraso inteiro  $T_i$ . Por exemplo, se o período for  $T = 3,7$ , o atraso inteiro pode ser  $T_i = 2$ , seguido por um atraso residual de  $T_r = 1,7$ . O preditor pode ser aplicado com base nos coeficientes para  $T_r = 1,7$  em um armazenamento temporário de sinal que é atrasado por  $T_i = 2$  (adicional).

[00155] A abordagem de separação depende da premissa razoável de que o extrator aproxima um atraso em  $T$  na faixa de  $[1,5, 2,5]$  ou  $[49/32, 81/32]$ . A vantagem do procedimento de separação em comparação com o uso da equação (36) é que os coeficientes de previsão podem ser determinados com base em operações de consulta a tabela computacionalmente eficazes.

[00156] Conforme esboçado acima, para períodos curtos ( $T < 0,25$ ) a equação (29) pode ser usada para determinar os coeficientes de previsão. Alternativamente, pode ser benéfico usar as tabelas de consulta (já disponíveis) (a fim de reduzir a complexidade computacional). Observa-se que o parâmetro de deslocamento modificado  $\varphi$  é limitado à faixa  $|\varphi| \leq T$  com um tamanho de escalonamento de amostragem de  $\Delta\varphi = \frac{T}{32}$  (para  $T < 0,25$ , e para  $C = 1$ ,  $A = 1/2$ ).

[00157] Propõe-se, no presente documento, reutilizar a tabela de consulta para o período mais inferior  $T = 0,25$ , por meio de um dimensi-

onamento do parâmetro de deslocamento modificado  $\varphi$  com  $T_i/T$ , em que  $T_i$  corresponde ao período mais inferior para o qual uma tabela de consulta está disponível (por exemplo  $T_i=0.25$ ). A título de exemplo, com  $t = 0,1$  e  $\varphi = 0,07$ , a tabela para  $T = 0,25$  pode ser consultada com um parâmetro de deslocamento redimensionado  $\varphi = \left(\frac{0.25}{0.1}\right) \cdot 0.07 = 0.175$ . De tal modo, os coeficientes de previsão para períodos curtos (por exemplo,  $T < 0,25$ ) também podem ser determinados de uma maneira computacionalmente eficaz com o uso de operações de consulta à tabela. Ademais, as exigências de memória para o preditor podem ser reduzidas, conforme a quantidade de tabelas de consulta pode ser reduzida.

[00158] No presente documento, foi descrito um esquema de previsão de sub-banda com base em modelo. O esquema de previsão de sub-banda com base em modelo possibilita uma descrição eficaz de preditor de sub-bandas, isto é, uma descrição que exige apenas uma quantidade relativamente baixa de bits. Como um resultado de uma descrição eficaz para o preditor de sub-bandas, os esquemas de previsão de sub-banda cruzada podem ser usados, o que leva a artefatos de réplica reduzidos. Em geral, isso permite o fornecimento de codificadores de áudio de taxa de bits baixa com o uso de previsão de sub-banda.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para estimar uma primeira amostra (615) de um primeiro sinal de sub-banda em uma primeira sub-banda de um sinal de áudio; em que o primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio é determinado com o uso de um banco de filtros de análise (612) que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornecem uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas a partir do sinal de áudio, respectivamente, o método **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

- determinar um parâmetro de modelo (613) de um modelo de sinal;

- determinar um coeficiente de previsão a ser aplicado a uma amostra anterior (614) de um primeiro sinal de sub-banda decodificado derivado a partir do primeiro sinal de sub-banda, com base no modelo de sinal, com base no parâmetro de modelo (613) e com base no banco de filtros de análise (612); em que um período de tempo da amostra anterior (614) é anterior a um período de tempo da primeira amostra (615); e

- determinar uma estimativa da primeira amostra (615) aplicando o coeficiente de previsão à amostra anterior (614);

em que

- determinar o coeficiente de previsão compreende determinar o coeficiente de previsão com o uso de uma tabela de consulta ou uma função analítica;

- a tabela de consulta ou a função analítica fornece o coeficiente de previsão como uma função de um parâmetro derivado do parâmetro modelo; e

- a tabela de consulta ou a função analítica são predeterminadas com base no modelo de sinal e com base no banco de filtros de análise.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que**

- o modelo de sinal compreende um ou mais componentes de modelo sinusoidal;
- o parâmetro de modelo (613) é indicativo de uma frequência do um ou mais componentes de modelo sinusoidal; e opcionalmente em que
- o parâmetro de modelo (613) é indicativo de uma frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal multissinusoidal;
- o modelo de sinal multissinusoidal compreende um componente de sinal periódico;
- o componente de sinal periódico compreende uma pluralidade de componentes sinusoidais; e
- a pluralidade de componentes sinusoidais tem uma frequência que é um múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$ .

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que** determinar o parâmetro de modelo (613) compreende extrair o parâmetro de modelo (613) a partir de um fluxo de bits recebido indicativo do parâmetro de modelo (613) e um sinal de erro de previsão.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que**

- determinar o parâmetro de modelo (613) compreende determinar o parâmetro de modelo (613) de modo que um valor médio de um sinal de erro de previsão ao quadrado seja reduzido;
- o sinal de erro de previsão é determinado com base na diferença entre a primeira amostra (615) e a estimativa da primeira amostra (615); e opcionalmente em que o valor médio do sinal de erro de previsão ao quadrado é determinado com base em uma pluralidade de primeiras amostras subsequentes do primeiro sinal de sub-banda.



5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo fato de que**

- o parâmetro de modelo é indicativo de uma frequência fundamental  $\Omega$  de um modelo de sinal multissinusoidal; e
- determinar o coeficiente de previsão compreende determinar um múltiplo da frequência fundamental  $\Omega$  que está situado na primeira sub-banda.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pelo fato de que** determinar o coeficiente de previsão compreende

- selecionar uma dentre uma pluralidade de tabelas de consulta com base no parâmetro de modelo; e
- determinar o coeficiente de previsão com base na selecionada dentre a pluralidade de tabelas de consulta.

7. Método, de acordo a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que**

- o parâmetro de modelo é indicativo de uma periodicidade  $T$ ;
- a pluralidade de tabelas de consulta compreende tabelas de consulta para diferentes valores de periodicidade  $T$ ;
- o método compreende determinar a tabela de consulta selecionada como a tabela de consulta para a periodicidade  $T$  indicada pelo parâmetro de modelo; e opcionalmente em que
  - a pluralidade das tabelas de consulta compreende tabelas de consulta para diferentes valores de periodicidade  $T$  dentro da faixa de  $[T_{min}, T_{max}]$  em um tamanho de escalonamento predeterminado  $\Delta T$ ;
  - $T_{min}$  é de tal modo que para  $T < T_{min}$ , o sinal de áudio possa ser modelado com o uso de um modelo de sinal que compreende um componente de modelo sinusoidal único; e/ou
  - $T_{max}$  é de tal modo que para  $T > T_{max}$ , as tabelas de con-

sulta para as periodicidades  $T_{max}$  a  $T_{max} + 1$  correspondam às tabelas de consulta para as periodicidades  $T_{max} - 1$  a  $T_{max}$ .

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado pelo fato de que**

- a pluralidade de sub-bandas tem um espaçamento de sub-banda igual; e
- a primeira sub-banda é uma dentre a pluralidade de sub-bandas; e/ou
- os filtros de análise do banco de filtros de análise são invariantes quanto ao deslocamento um em relação ao outro; e/ou
- os filtros de análise do banco de filtros de análise compreendem uma função de janela comum; e/ou
- os filtros de análise do banco de filtros de análise compreendem versões diferentemente moduladas da função de janela comum; e/ou
- a função de janela comum é modulada com o uso de uma função de cosseno; e/ou
- a função de janela comum tem uma duração finita  $K$ ; e/ou
- os filtros de análise do banco de filtros de análise formam uma base ortogonal; e/ou
- os filtros de análise do banco de filtros de análise formam uma base ortonormal; e/ou
- o banco de filtros de análise compreende um banco de filtros modulado por cosseno; e/ou
- o banco de filtros de análise é um banco de filtros criticamente amostrado; e/ou
- o banco de filtros de análise compreende uma transformada sobreposta; e/ou
- o banco de filtros de análise compreende uma ou mais dentre: uma MDCT, uma transformada QMF, uma transformada de

ELT; e/ou

- o banco de filtros de análise compreende uma estrutura de modulação.

9. Método para estimar uma primeira amostra de um primeiro sinal de sub-banda em uma primeira sub-banda de um sinal de áudio; em que o primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio é determinado com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda em uma pluralidade de sub-bandas a partir do sinal de áudio, respectivamente; em que o banco de filtros de análise é um banco de filtros criticamente amostrado, o método **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de

- determinar uma máscara de previsão (203, 205) indicativa de uma pluralidade de amostras anteriores em uma pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão; em que a pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão compreende pelo menos uma dentre a pluralidade de sub-bandas diferentes da primeira sub-banda;

- determinar uma pluralidade de coeficientes de previsão a ser aplicada à pluralidade de amostras anteriores; e

- determinar uma estimativa da primeira amostra através da aplicação da pluralidade de coeficientes de previsão à pluralidade de amostras anteriores, respectivamente.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de sub-bandas de suporte de máscara de previsão

- compreende a primeira sub-banda; e/ou
- compreende uma ou mais dentre a pluralidade de sub-bandas diretamente adjacentes à primeira sub-banda.

11. Método para codificar um sinal de áudio, o método **ca-**

**racterizado pelo fato de que** compreende as etapas de

- determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda a partir do sinal de áudio com o uso de um banco de filtros de análise que compreende uma pluralidade de filtros de análise;

- estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda com o uso do método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, de modo a produzir, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados;

- determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda e nas amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados;

- quantizar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão; e

- gerar um sinal de áudio codificado indicativo da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados e de um ou mais parâmetros usados para estimar as amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados.

12. Método para decodificar um sinal de áudio codificado; em que o sinal de áudio codificado é indicativo de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados e de um ou mais parâmetros a serem usados para estimar as amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados, o método **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de

- desquantizar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados, de modo a produzir, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantizados;

- estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados com o uso do método, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10;

- determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda decodificados com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda estimados e amostras da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantizados; e

- determinar um sinal de áudio decodificado a partir da pluralidade de sinais de sub-banda decodificados como uso de um banco de filtros de síntese que compreende uma pluralidade de filtros de síntese.

13. Sistema (103, 105) configurado para estimar uma ou mais primeiras amostras de um primeiro sinal de sub-banda de um sinal de áudio; em que o primeiro sinal de sub-banda do sinal de áudio é determinado com o uso de um banco de filtros de análise **caracterizado pelo fato de que** compreende uma pluralidade de filtros de análise que fornece uma pluralidade de sinais de sub-banda a partir do sinal de áudio, respectivamente; em que o sistema (103, 105) é configurado para estimar as uma ou mais primeiras amostras usando o método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

14. Codificador de áudio configurado para codificar um sinal de áudio **caracterizado pelo fato de que** compreende:

- um banco de filtros de análise configurado para determinar uma pluralidade de sinais de sub-banda a partir do sinal de áudio com o uso de uma pluralidade de filtros de análise;

- um sistema (103, 105), conforme definido na reivindicação 13, configurado para estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda, de modo a produzir, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados (112);

- uma unidade de diferença configurada para determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda e da pluralidade de sinais de sub-banda estimados

(112);

- uma unidade de quantização configurada para quantizar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão; e

- uma unidade de geração de fluxo de bits configurada para gerar um sinal de áudio codificado indicativo da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados e de um ou mais parâmetros usados para estimar as amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados.

15. Decodificador de áudio (100) configurado para decodificar um sinal de áudio codificado; em que o sinal de áudio codificado é indicativo da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados e um ou mais parâmetros usados para estimar amostras dentre uma pluralidade de sinais de sub-banda estimados, **caracterizado pelo fato de que** compreende

- um quantizador inverso (101) configurado para desquantizar a pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão quantizados, de modo a produzir, assim, uma pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantizados (111);

- um sistema (105, 103), conforme definido na reivindicação 13, configurado para estimar amostras da pluralidade de sinais de sub-banda estimados (112);

- uma unidade de soma configurada para determinar amostras de uma pluralidade de sinais de sub-banda decodificados (113) com base em amostras correspondentes da pluralidade de sinais de sub-banda estimados (112) e com base em amostras da pluralidade de sinais de sub-banda de erro de previsão desquantizados (111); e

- um banco de filtros de síntese (102) configurado para determinar um sinal de áudio decodificado (114) a partir da pluralidade de sinais de sub-banda decodificados (113) com o uso de uma pluralidade de filtros de síntese.

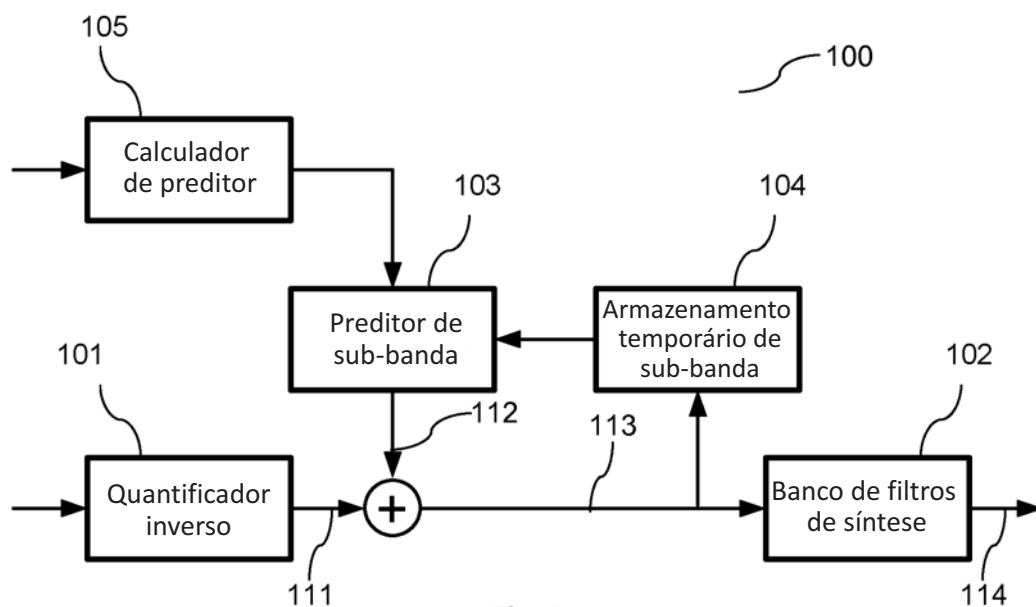


Fig. 1

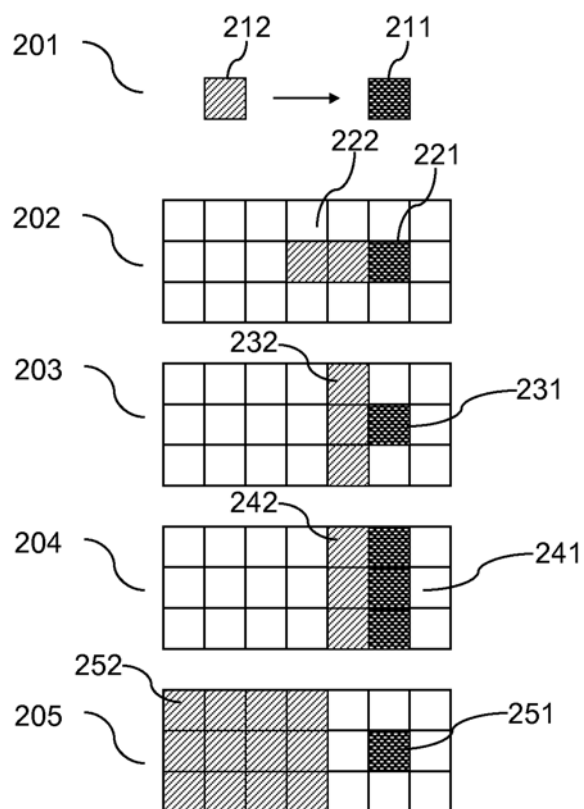


Fig. 2

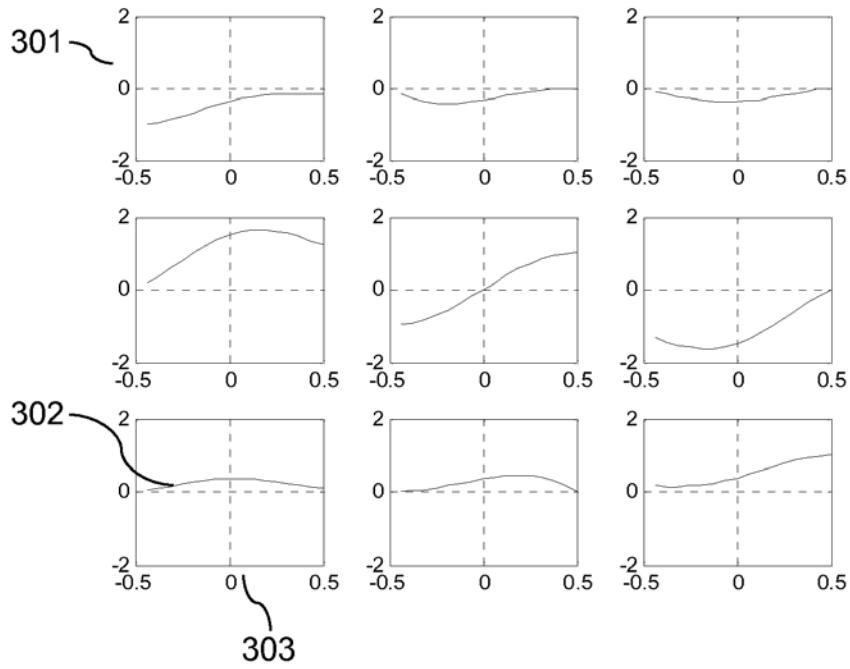


Fig. 3

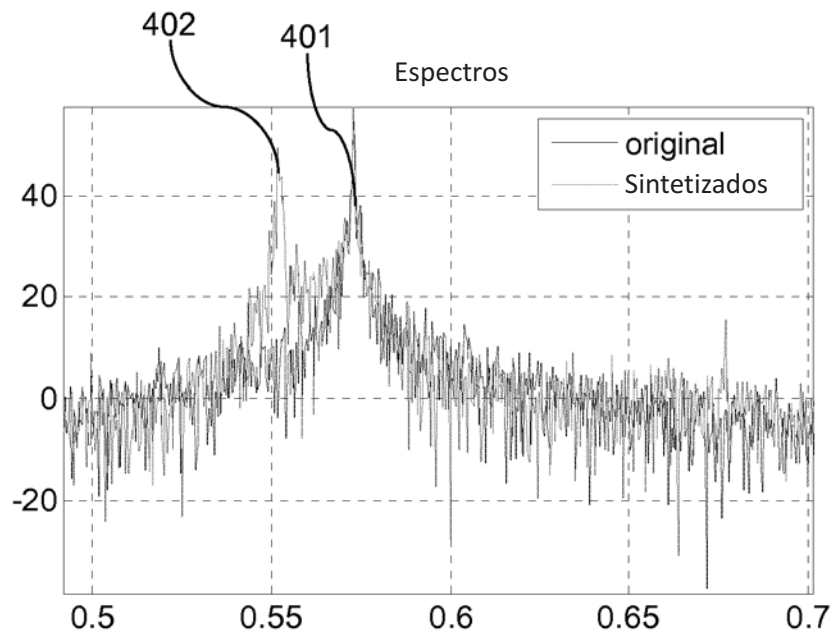


Fig. 4



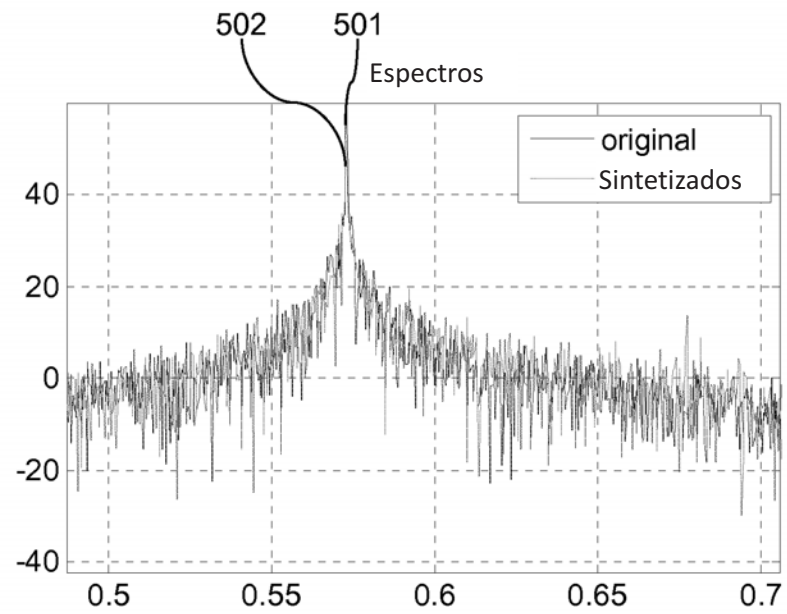


Fig. 5

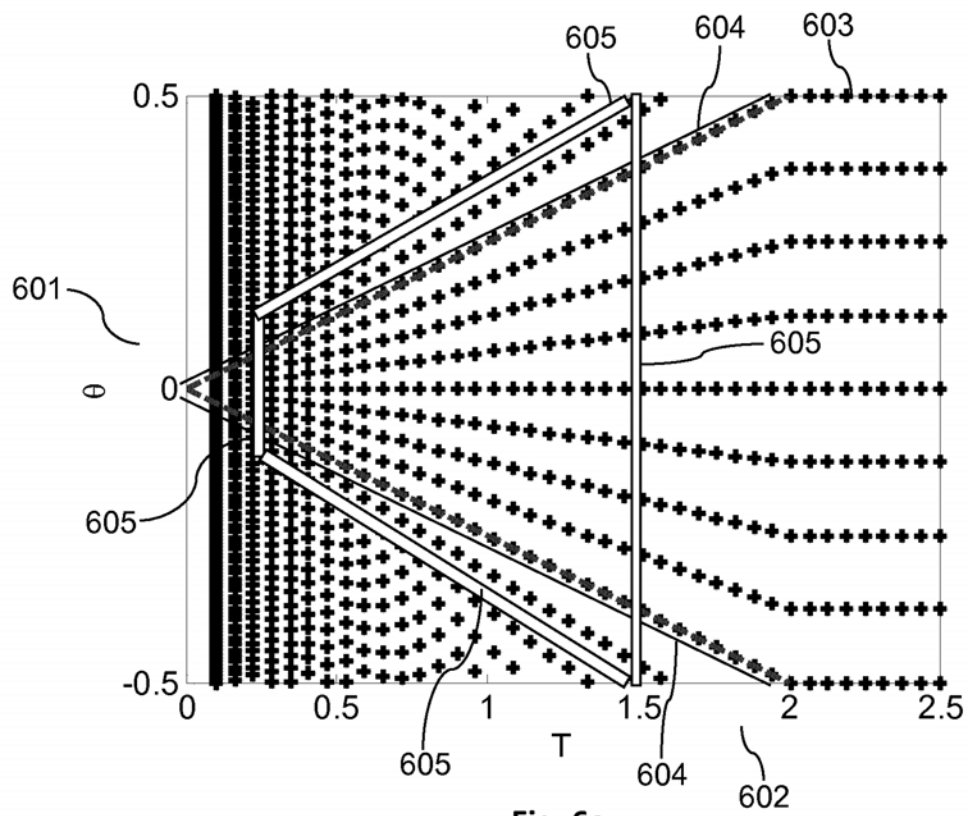


Fig. 6a

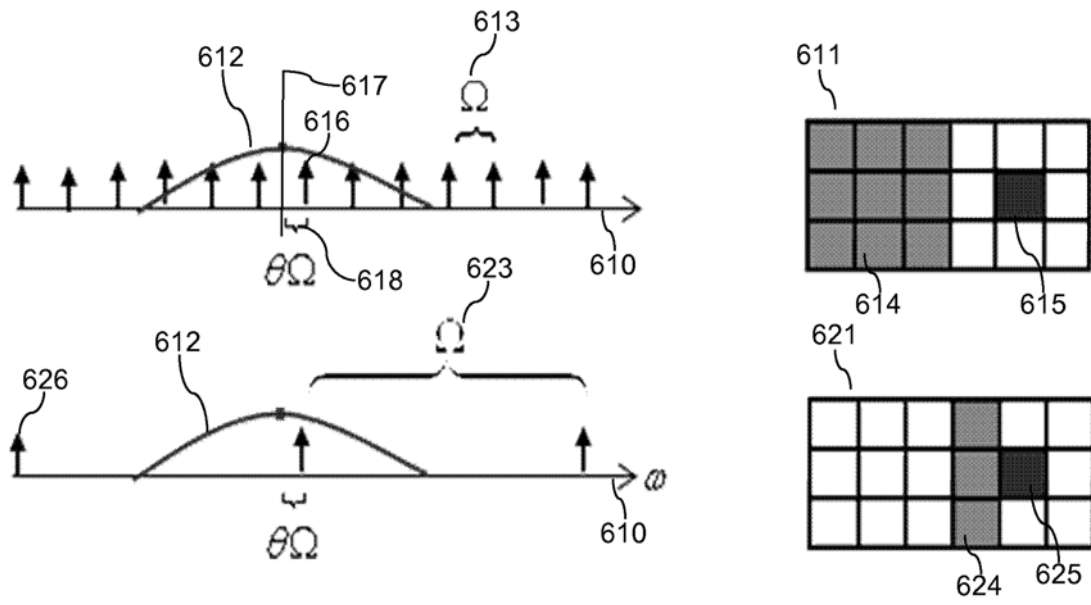


Fig. 6b

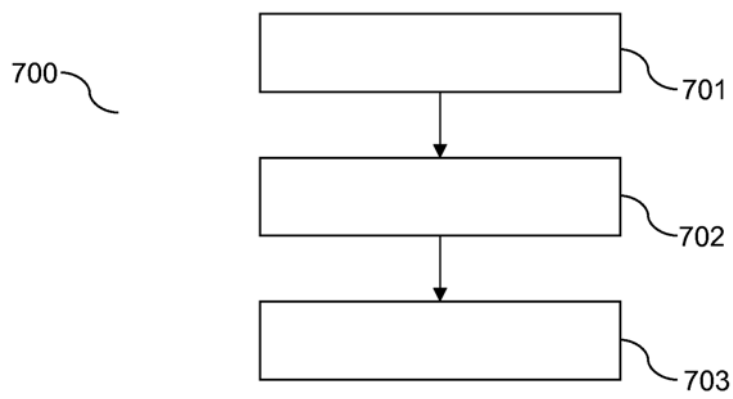
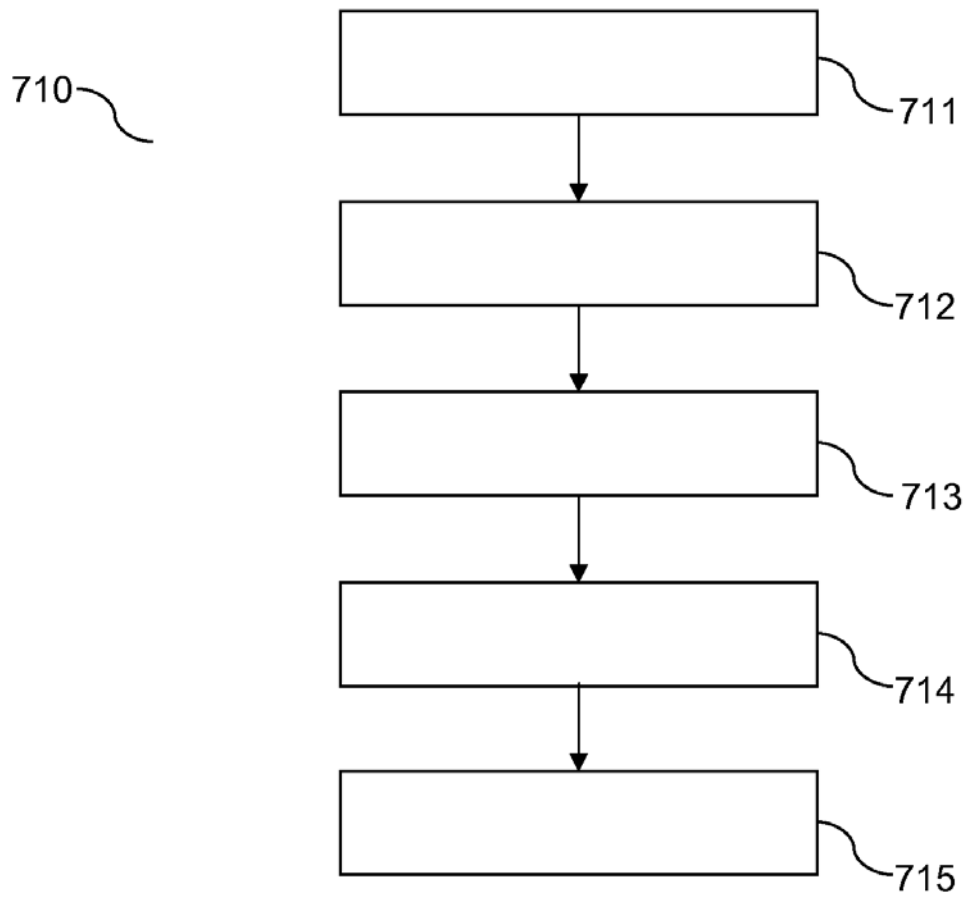


Fig. 7a



**Fig. 7b**