



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

(11) BR 112016015557-2 B1



(22) Data do Depósito: 27/02/2015

(45) Data de Concessão: 29/11/2022

(54) Título: MÉTODO PARA RESTAURAR CONTINUIDADE DE UM SINAL DE ÁUDIO

(51) Int.Cl.: G10L 19/005.

(30) Prioridade Unionista: 28/02/2014 US 14/194,192.

(73) Titular(es): GOOGLE LLC.

(72) Inventor(es): WILLEM BASTIAAN KLEIJN; TURAJ ZAKIZADEH SHABESTARY.

(86) Pedido PCT: PCT US2015017992 de 27/02/2015

(87) Publicação PCT: WO 2015/131040 de 03/09/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 01/07/2016

(57) Resumo: MÉTODO PARA RESTAURAR CONTINUIDADE DE UM SINAL DE ÁUDIO. São fornecidos métodos e sistemas para ocultar segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio, restaurando desse modo a continuidade do sinal. Os métodos e sistemas são projetados e direcionados para sinais de áudio, são baseados em operações de interpolação e extrapolação para senoides, e não contam com a suposição de que as senoides são harmônicas. Os métodos e sistemas são melhoramentos em relação às abordagens de ocultação de áudio existentes em que, entre outras vantagens, os métodos e sistemas facilitam interpolação assíncrona, usam um procedimento de interpolação que corresponde à interpolação de forma de onda no domínio do tempo se o sinal for harmônico, e têm um procedimento de seleção de pico que é efetivo para sinais de áudio.

"MÉTODOS PARA RESTAURAR CONTINUIDADE DE UM SINAL DE ÁUDIO"ANTECEDENTES

[001] Perda de pacote e desvio de relógio entre dispositivos diferentes podem resultar em segmentos perdidos ou descontinuidades em sinais de áudio. Tanto a inserção de zeros quanto as descontinuidades no sinal são claramente audíveis para indivíduos. Embora várias abordagens tenham sido propostas para restaurar a continuidade do sinal, tais abordagens de uma maneira geral visam somente sinais de fala, e não trabalham bem para áudio de uma maneira geral.

SUMÁRIO

[002] Este Sumário introduz uma seleção de conceitos em uma forma simplificada a fim de fornecer um entendimento básico de alguns aspectos da presente revelação. Este Sumário não é uma vista geral extensiva da revelação, e não é pretendido para identificar elementos chaves ou críticos da revelação ou para delinear o escopo da revelação. Este Sumário apresenta meramente alguns dos conceitos da revelação como uma introdução para a Descrição Detalhada fornecida a seguir.

[003] A presente revelação de uma maneira geral diz respeito a métodos e sistemas para processamento de sinal. Mais especificamente, os aspectos da presente revelação dizem respeito a ocultar segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio usando operações de interpolação e extrapolação.

[004] Uma modalidade da presente revelação diz respeito a um método implementado por computador compreendendo: computar espectros de segmentos de um sinal de áudio, os segmentos localizados em lados opostos de um segmento perdido

do sinal de áudio; determinar picos de magnitude dos espectros computados; ordenar os picos determinados de acordo com magnitude; determinar picos vizinhos no lado oposto do segmento perdido dos picos, formando desse modo pares de picos espectrais; e executar interpolação através do segmento perdido do sinal de áudio usando os pares de picos espectrais para gerar dados de restauração para o segmento perdido.

[005] Em uma outra modalidade, o método implementado por computador compreende adicionalmente desvanecer os dados de restauração com dados dos segmentos localizados em lados opostos do segmento perdido.

[006] Em uma outra modalidade, o método implementado por computador compreende adicionalmente: atenuar um espectro de magnitude do sinal; determinar um sinal da inclinação local do espectro atenuado; gerar estimativas dos picos com base em pontos onde o sinal da inclinação local muda de positivo para negativo; e determinar localizações verdadeiras para cada um dos picos ao pesquisar o sinal não atenuado em uma vizinhança do pico estimado correspondente.

[007] Em uma outra modalidade, um nível da interpolação executada é selecionado de uma faixa de intervalos de interpolação para maximizar uma medida de alinhamento de uma forma de onda instantânea produzida pelo interpolador e uma forma de onda instantânea estimada a partir de um segmento de sinal conhecido.

[008] Uma outra modalidade da presente revelação diz respeito a um método implementado por computador compreendendo: computar um espectro de um primeiro segmento de um sinal de áudio e um espectro de um segundo segmento do

sinal de áudio, em que o primeiro segmento está localizado em um primeiro lado de um segmento perdido do sinal e o segundo segmento está localizado em um segundo lado do segmento perdido do sinal; identificar uma pluralidade de objetos nos espectros do primeiro segmento e do segundo segmento, em que a pluralidade de objetos corresponde a picos; classificar os objetos identificados de acordo com amplitudes dos picos correspondentes; determinar um índice dos objetos classificados; e identificar, para pelo menos um dos objetos, um objeto de casamento.

[009] Também em uma outra modalidade, a etapa de identificar a pluralidade de objetos nos espectros do primeiro segmento e do segundo segmento no método implementado por computador inclui criar uma lista de objetos, um objeto para cada pico de ambos de os espectros do primeiro segmento e os espectros do segundo segmento.

[0010] Ainda em uma outra modalidade, a etapa de identificar, para pelo menos um dos objetos, um objeto de casamento no método implementado por computador inclui: identificar, para um objeto, objetos de casamento candidatos ao executar uma pesquisa entre todos os outros objetos; eliminar dos objetos de casamento candidatos todos os objetos que já têm um objeto de casamento; avaliar, para cada um dos objetos de casamento candidatos remanescentes, um critério de casamento; e selecionar um dos objetos de casamento candidatos remanescentes como o objeto de casamento para o objeto com base no critério de casamento avaliado.

[0011] Também em uma outra modalidade, o método implementado por computador compreende adicionalmente restringir os objetos de casamento candidatos remanescentes

a objetos com picos do espectro complementar e objetos com picos que estão próximos em frequência.

[0012] Ainda em uma outra modalidade, o método implementado por computador compreende adicionalmente identificar um objeto sem objetos de casamento candidatos, e criar um pico virtual tendo uma frequência idêntica à frequência do objeto e tendo amplitude zero ou uma amplitude do espectro complementar na frequência idêntica.

[0013] Em uma outra modalidade, o método implementado por computador compreende adicionalmente identificar um objeto sem objetos de casamento candidatos, e eliminar o objeto da pluralidade de objetos.

[0014] Também uma outra modalidade da presente revelação diz respeito a um método implementado por computador compreendendo: computar espectros de segmentos de um sinal de áudio, os segmentos localizados em lados opostos de um segmento perdido do sinal de áudio; determinar picos de magnitude dos espectros computados; ordenar os picos determinados de acordo com magnitude; determinar picos vizinhos no lado oposto do segmento perdido dos picos, formando desse modo pares de picos espectrais; e executar interpolação através de um intervalo do segmento perdido do sinal de áudio, em que um comprimento do intervalo é determinado com base em alinhar conjuntos correspondentes de deslocamentos de fase ponderados de acordo com amplitudes dos deslocamentos de fase.

[0015] Em uma ou mais outras modalidades, os métodos e sistemas descritos neste documento podem incluir opcionalmente um ou mais dos seguintes recursos adicionais: a interpolação é interpolação senoidal; cada par de picos é

compreendido de um primeiro pico em um primeiro lado do segmento perdido e um segundo pico em um segundo lado do segmento perdido; picos vizinhos são determinados para cada um dos picos começando com o pico mais alto; os dados de restauração são desvanecidos com dados dos segmentos localizados em lados opostos do segmento perdido usando uma operação de adição de sobreposição; o espectro de magnitude do sinal é atenuado ao aplicar um filtro passa-baixa ao espectro; a faixa de intervalos de interpolação é escolhida para encher um buffer para variação do atraso de um dispositivo de recebimento para um nível consistente com perdas de pacotes esperadas; um objeto de casamento é identificado para o pelo menos um dos objetos começando com o objeto com o maior pico e continuando para o objeto com o menor pico, de acordo com o índice dos objetos classificados; a lista de objetos inclui, para cada um dos objetos na lista, uma amplitude do pico correspondente, uma frequência onde o pico correspondente está localizado, um rótulo especificando se o pico correspondente pertence ao primeiro ou segundo espectro, e uma localização de um pico de casamento no espectro complementar para o espectro ao qual o pico correspondente pertence; e/ou o um dos objetos de casamento candidatos remanescentes é selecionado como o objeto de casamento com base no objeto de casamento candidato tendo um valor mais alto para o critério de casamento avaliado.

[0016] Escopo adicional de aplicabilidade da presente revelação se tornará aparente com a Descrição Detalhada dada a seguir. Entretanto, deve ser entendido que a Descrição Detalhada e exemplos específicos, embora indicando modalidades preferidas, são dados somente a título de

ilustração, uma vez que várias mudanças e modificações dentro do espírito e escopo da revelação se tornarão aparentes para os versados na técnica a partir desta Descrição Detalhada.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

[0017] Estes e outros objetivos, recursos e características da presente revelação se tornarão mais aparentes para os versados na técnica a partir de um estudo da Descrição Detalhada seguinte em associação com as reivindicações e desenhos anexos, todos os quais formam uma parte deste relatório descritivo. Nos desenhos:

a figura 1 é um diagrama esquemático ilustrando uma aplicação de exemplo para ocultar segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio usando operações de interpolação e extrapolação de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 2 é um diagrama esquemático ilustrando um exemplo simplificado de operações de interpolação e extrapolação em um sinal de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 3 é um fluxograma ilustrando um método de interpolação de exemplo onde dados estão disponíveis em ambas as extremidades passada e futura de um segmento de um sinal de áudio a ser restaurado de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 4 é um fluxograma ilustrando um método de exemplo para extração de pico de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 5 é um fluxograma ilustrando um método de exemplo para selecionar pares de picos complementares de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 6 é um fluxograma ilustrando um método de exemplo para casar objetos de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 7 é uma tabela ilustrando dados de exemplo para objetos correspondendo a picos senoidais em espectros passados e futuros de um segmento perdido de um sinal de áudio de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

a figura 8 é um diagrama de blocos ilustrando um dispositivo de computação de exemplo arranjado para ocultar segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio com base em interpolação e extrapolação de senoides de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

[0018] Os títulos fornecidos neste documento são somente para conveniência e não afetam necessariamente o escopo ou significado do que é reivindicado na presente revelação.

[0019] Nos desenhos, os mesmos números de referência e quaisquer acrônimos identificam elementos ou procedimentos com estrutura ou funcionalidade igual ou similar para facilidade de entendimento e conveniência. Os desenhos serão descritos detalhadamente no curso da Descrição Detalhada seguinte.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Vista Geral

[0020] Vários exemplos e modalidades serão descritos agora. A descrição a seguir fornece detalhes específicos para um entendimento completo e capacitando descrição destes exemplos. Os versados na técnica entenderão, entretanto, que uma ou mais modalidades descritas neste documento podem ser praticadas sem muitos destes detalhes. Igualmente, os

versados na técnica também entenderão que uma ou mais modalidades da presente revelação podem incluir muitos outros recursos óbvios não descritos detalhadamente neste documento. Adicionalmente, algumas estruturas ou funções bem conhecidas podem não estar mostradas ou descritas detalhadamente a seguir, a fim de evitar obscurecer desnecessariamente a descrição relevante.

[0021] Modalidades da presente revelação dizem respeito a métodos e sistemas para ocultar (por exemplo, restaurar) segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio e restaurar desse modo a continuidade do sinal. Os métodos e sistemas são baseados em operações de interpolação e extrapolação, e também podem ser usados para alongar ou encurtar segmentos de áudio.

[0022] Métodos que restauram segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio algumas vezes são referidos como métodos de ocultação de perda de pacotes. Métodos de ocultação de perda de pacotes convencionais tipicamente têm visado somente fala, já que sinais de fala são predominantes em aplicações em tempo real onde retransmissão não é possível. Entretanto, com a proliferação das aplicações baseadas na Internet, ocultação de perda de pacotes para sinais de áudio gerais tem se tornado mais importante. Métodos de ocultação de perda de pacotes existentes que visam somente fala dependem muito da estrutura de alturas do sinal de fala e, como um resultado, estes métodos não funcionam bem para música, onde a estrutura de sinal de uma maneira geral é mais complexa e não é bem representada pelo modelo simples que pode ser usado para fala. Portanto, os métodos e sistemas da presente revelação

são projetados para funcionar bem para aplicações de áudio (no sentido mais geral quando comparado a somente fala).

[0023] Em virtude das deficiências de abordagens existentes descritas anteriormente, modalidades da presente revelação fornecem métodos e sistemas para ocultar perda de pacotes e descontinuidades em sinais de áudio que são capazes de operar em tempo real.

[0024] Tal como será descrito com mais detalhes neste documento, uma extrapolação é seguida por uma interpolação e uma interpolação é seguida por dados observados. Tanto as operações de interpolação quanto as de extrapolação representam o sinal como uma soma de senoides. De acordo com uma ou mais modalidades, para extrapolação, um conjunto de senoides pode ser detectado nos últimos dados observados, enquanto que para interpolação um primeiro conjunto de senoides pode ser detectado nos dados observados ou gerados antes do segmento perdido e um segundo conjunto de senoides pode ser detectado nas observações após o segmento de dados perdido.

[0025] De acordo com pelo menos uma modalidade descrita neste documento, o método de interpolação da presente revelação classifica as senoides por sua amplitude antes de casar senoides observadas antes e depois do segmento perdido. As senoides são descritas como a parte real de uma exponencial complexa. O ganho complexo e a frequência da senoide são interpolados linearmente.

[0026] Tal como será descrito com mais detalhes a seguir, o método de interpolação pode operar em dois modos: um modo síncrono e um modo assíncrono. No modo síncrono o comprimento do segmento de dados perdidos é fixado (e normalmente

consistente com o sinal original). Se o modelo de interpolação não encaixar bem os dados no modo síncrono, as exponenciais complexas terão excursões em sua amplitude, o que pode ser audível. No modo assíncrono o comprimento do segmento de dados perdido é ajustado para reduzir a importância destas excursões.

[0027] A figura 1 ilustra uma aplicação de exemplo para a extrapolação e interpolação de sinais de áudio de acordo com uma ou mais modalidades da presente revelação. Por exemplo, os dois usuários (por exemplo, músicos) 120a e 120b podem estar tocando música em localizações físicas diferentes (por exemplo, ambientes remotos), onde o usuário 120a está na "Localização 1" e o usuário 120b está na "Localização 2". Além do mais, os usuários 120a e 120b podem ficar em comunicação um com o outro, por exemplo, por meio de uma conexão ou rede com fio, e cada um dos usuários 120a e 120b pode ter um alto-falante 105 e um microfone 110 para renderizar e capturar, respectivamente, sinais de áudio (por exemplo, música). Uma pluralidade das fontes de sinais 105 (por exemplo, alto-falantes) pode ficar localizada entre uma pluralidade dos sensores 120 (por exemplo, microfones, indivíduos, outros dispositivos de captura de áudio, etc).

[0028] Ao transmitir pacotes de dados (por exemplo, áudio) através de uma rede de comunicações, pacotes algumas vezes podem ficar perdidos durante um período de tempo estendido, ou podem ficar totalmente perdidos, antes de serem recebidos em uma extremidade de recebimento da rede. Quando pacotes são perdidos durante transmissão, alguma coisa deve ser feita para compensar tal perda de dados. Por exemplo, uma abordagem existente é inserir zeros no lugar dos dados

perdidos. Entretanto, uma abordagem como esta fornece uma solução inadequada já que usuários ficam sujeitos a desempenho e qualidade de áudio prejudicados.

[0029] Outros métodos de ocultação de perda de pacotes convencionais, os quais visam a restauração de sinais de fala, tipicamente extrapolam um segmento recebido do sinal por meio de um modelo autorregressivo (AR) (por exemplo, um filtro), ou alguma aproximação do mesmo. Modelos autorregressivos para fala usualmente podem ser vistos como uma concatenação de um modelo de curto prazo e um modelo de longo prazo. O modelo de curto prazo descreve a envoltória espectral e o modelo de longo prazo descreve a estrutura de alturas. Mais importante para ocultação de perda de pacote é o modelo de longo prazo, o qual tipicamente captura correlações variando de 2,5 a 15 milissegundos (ms). Em alguns casos o modelo de longo prazo é designado com um ganho de filtro de unidade. Algumas abordagens existentes para ocultação de perda de pacotes fazem estimativas de extrapolação de erro quadrático médio mínimo dos segmentos perdidos ao executar os modelos AR (por exemplo, filtros) com excitação zero sobre o intervalo de amostras perdidas, o estado de filtro inicial sendo baseado no sinal antes do intervalo.

[0030] Se tanto um segmento passado quanto um segmento futuro do sinal forem conhecidos quando a operação de ocultação é iniciada, então interpolação pode ser usada. Abordagens interpolativas têm sido usadas convencionalmente em restauração de sinal (por exemplo, para gravações danificadas), o qual tipicamente envolvia intervalos menores.

[0031] Um método interpolativo existente baseado no modelo de sinal AR descreve um esquema de codificação completo que considera o codificador como um conjunto de medições para um estimador de Kalman, o qual naturalmente resulta em interpolação ideal quando pacotes são perdidos e pode considerar dados conhecidos no futuro e no passado em relação ao intervalo. Entretanto, esta abordagem existente não é compatível para operação em associação com codificadores existentes.

[0032] Algumas abordagens existentes exploram métodos a não ser modelos AR para extrapolação ou interpolação em segmentos onde dados estão perdidos. Por exemplo, uma abordagem usa um modelo senoidal bem conhecido para interpolação entre senoides identificadas a partir de espectros do sinal antes e depois do intervalo. Outras abordagens modelam o sinal como uma soma de vetores de base apropriada e um modelo AR e então simultaneamente otimizam o ganho dos vetores base e da contribuição de sinal de modelo AR. Os vetores de base podem ser senoides, mas nenhum processo de seleção efetivo para os vetores de base não é fornecido em tais métodos.

[0033] De uma maneira geral, métodos de interpolação existentes são caros em termos de computação. Por exemplo, uma abordagem tenta prever a trilha de tempo-frequência das senoides através de segmentos muito longos de dados perdidos com um preditor linear. Na prática, a predição de tais trilhas não pode ser tornada confiável. Em uma outra abordagem, um modelo senoidal harmônico é usado para interpolar entre segmentos de fala conhecidos, em associação com um modelo oculto de Markov (HMM) para rastrear a evolução

de recursos de fala. A suposição harmônica implica em que um método como este não é efetivo para sinais de áudio.

[0034] Para superar as várias deficiências de abordagens existentes para ocultação de áudio, modalidades da presente revelação fornecem métodos e sistemas aperfeiçoados para extrapolação e interpolação sobre segmentos perdidos. Tal como será descrito com mais detalhes neste documento, os métodos e sistemas são projetados e direcionados para sinais de áudio, são baseados na interpolação e extrapolação de senoides, e não contam com a suposição de que as senoides são harmônicas.

[0035] Entre outras vantagens e melhoramentos em relação às abordagens existentes, os métodos e sistemas da presente revelação (i) facilitam interpolação assíncrona, (ii) usam um procedimento de interpolação que corresponde à interpolação de forma de onda no domínio do tempo se o sinal for harmônico, e (iii) têm um procedimento de seleção de pico que é efetivo para sinais de áudio.

[0036] O exposto a seguir apresenta a motivação para a abordagem baseada em senoides para interpolação e extrapolação da presente revelação, fornece detalhes a respeito da arquitetura total do método, e descreve adicionalmente os vários componentes compreendendo o sistema.

[0037] Uma transformada de Fourier representa um sinal (por exemplo, um sinal de áudio) em uma base de exponenciais complexas. Uma vez que o sinal é real, a expansão em exponenciais complexas pode ser rearranjada como uma expansão em senoides. Como tal, os picos espectrais podem ser interpretados como ganhos de senoides na frequência de

pico. Considerando que uma transformada de Fourier expande o sinal em termos de senoides de estado estável (no caso de uma transformada discreta de Fourier, as senoides se estendem sobre um segmento de tempo finito), uma extensão natural desta vista é ver o sinal como uma soma de senoides que têm ganho e frequência mudando continuamente. Uma transformada de Fourier em um segmento de sinal provido de janelas pode então ser interpretada como um instantâneo aproximado do estado destas senoides, com cada pico representando uma senoide. O aumento de atenuação gradual da magnitude dos picos neste instantâneo (que também pode ser considerado como a resolução finita do instantâneo) é um efeito colateral de usar um comprimento de janela finito. É então possível interpolar as senoides individuais entre os instantâneos. Este princípio forma parte da base dos métodos e sistemas para interpolação em segmento perdidos de sinais de áudio de acordo com uma ou mais das modalidades descritas neste documento.

[0038] Tal como será descrito com mais detalhes a seguir, os algoritmos da presente revelação visam restaurar um segmento de amostras de dados perdidos consecutivos (onde tal segmento pode ser um segmento perdido ou uma descontinuidade no sinal de áudio). Embora dados quase sempre estejam disponíveis na extremidade passada de um segmento de dados perdido, tal não é necessariamente o caso para o lado futuro do segmento. De acordo com pelo menos uma modalidade, o comprimento do segmento de dados a ser restaurado pode ser especificado antes de o algoritmo ser iniciado. O segmento de restauração pode ser menor que o segmento de dados perdidos, permitindo assim o caso onde dados para o lado

futuro do segmento perdido ainda não tenham sido recebidos. Nesse caso, o algoritmo pode executar extrapolação. Em um cenário onde dados estão disponíveis para o lado futuro do segmento perdido, então interpolação pode ser executada sobre o segmento perdido. Como tal, de acordo com pelo menos uma modalidade do método, um conjunto subsequente de operações de extrapolação é seguido por uma operação de interpolação e uma operação de interpolação conclui a restauração de um segmento de dados perdido.

[0039] A figura 2 é um exemplo simplificado de operações de interpolação (220) e de extrapolação (210) em um sinal 205 (por exemplo, sinal de áudio) de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento. A aplicação de extrapolação (210) difere daquela usada comumente em sistemas baseados em modelos AR, onde o sinal extrapolado está sujeito a uma operação de fusão entre os dados extrapolados e dados de sinal no lado futuro do segmento de dados perdido.

[0040] A figura 3 ilustra uma operação de interpolação de exemplo 300, onde dados estão disponíveis em ambas as extremidades passada e futura de um segmento de um sinal de áudio a ser restaurado (por exemplo, sequencialmente antes e depois de um segmento perdido de um sinal de áudio), de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

[0041] No bloco 305, se ainda não disponíveis, espectros de curto prazo complexos de segmentos (por exemplo, primeiro e segundo segmentos) do sinal de áudio localizados antes e depois de um segmento perdido (por exemplo, localizados imediatamente ou sequencialmente antes e depois do segmento perdido) podem ser computados. Em pelo menos um exemplo,

segmentos do sinal de áudio chegando sequencialmente antes de (por exemplo, mais cedo no tempo do que) o segmento perdido podem ser considerados em um primeiro lado (ou extremidade passada) do segmento perdido enquanto que segmentos chegando sequencialmente após (por exemplo, mais tarde no tempo do que) o segmento perdido pode ser considerados em um segundo lado (ou extremidade futura) do segmento perdido.

[0042] No bloco 310, picos de magnitude dos espectros computados no bloco 305 podem ser determinados.

[0043] No bloco 315, os picos determinados no bloco 310 podem ser ordenados (por exemplo, arranjados, listados, etc) de acordo com magnitude. Por exemplo, de acordo com pelo menos uma modalidade, os picos determinados no bloco 310 podem ser colocados na forma de lista e classificados por magnitude decrescente/crescente. Deve ser notado que picos da extremidade passada e da extremidade futura do segmento perdido podem ser contidos em uma única lista. Por exemplo, a lista no bloco 310 pode incluir informação para cada pico, se o pico pertence à extremidade passada ou futura do segmento perdido.

[0044] No bloco 320, para cada pico, começando do pico mais alto, vizinhos no outro lado do segmento de dados perdido (do sinal de áudio) podem ser determinados, sujeitos a algumas condições. De acordo com pelo menos uma modalidade, picos que já tenham sido selecionados como um vizinho podem ser omitidos durante a execução do bloco 320. A classificação dos picos de acordo com magnitude assegura que os picos mais altos têm vizinhos apropriados. Deve ser notado que as operações no bloco 320 podem deixar alguns picos pequenos

que não são críticos para desempenho audível sem pares (um método para lidar com estes picos remanescentes é descrito com mais detalhes a seguir).

[0045] No bloco 325, os pares de picos espectrais resultantes nas extremidades futura e passada do segmento de dados perdido podem ser usados como uma base para interpolação através do segmento.

[0046] No bloco 330, os dados podem ser desvanecidos com os dados existentes por meio de uma operação de adição de sobreposição nas extremidades passada e futura do estágio de interpolação.

[0047] De acordo com uma ou mais modalidades, a operação de extrapolação da presente revelação é similar à operação de interpolação exceto que o espectro de extremidade futura é substituído pelo espectro de extremidade passada com precessão apropriada da fase. As frequências senoidais são assumidas como sendo constantes durante extrapolação. De acordo com pelo menos uma modalidade, a operação de desvanecimento pode ser omitida na extremidade futura de uma operação de extrapolação se ela for seguida por uma outra extrapolação. Por outro lado, se ela for seguida por uma interpolação, desvanecimento pode ser necessário para considerar picos pequenos que não são parte de um par de picos futuro-passado.

[0048] A descrição a seguir fornece detalhes adicionais a respeito dos componentes do método de ocultação de perda de pacotes da presente revelação.

[0049] Estimativa Espectral e Extração de Pico

[0050] Para ser capaz de interpolar senoides, elas precisam ser detectadas em ambas as extremidades (a

extremidade futura e a extremidade passada) do segmento perdido, enquanto que extrapolação conta com senoídes sendo detectadas na extremidade passada do segmento. Embora esta detecção possa ser executada usando vários métodos, é importante que a amplitude e frequência de pico sejam descobertas com uma precisão que facilite de forma perceptiva interpolação precisa das senoídes. Por exemplo, uma resolução de frequência de pelo menos 8 Hz funciona bem para este propósito.

[0051] De acordo com pelo menos uma modalidade, uma janela de 32 milissegundos (ms) pode ser usada. Em 16 kHz esta janela corresponde a 512 amostras. O sinal pode ser provido de janelas com uma janela de Hann e preenchido com zeros para obter uma sequência de 2.048 amostras, em que a Transformada Rápida de Fourier (FFT) pode ser executada.

[0052] A figura 4 ilustra um processo de exemplo para extração de pico. O processo de extração de pico 400 opera no espectro de magnitude e, de acordo com pelo menos uma modalidade, inclui os blocos 405-420. No bloco 405, o espectro de magnitude pode ser filtrado com filtro passa-baixa (por exemplo, atenuado) para assegurar que picos locais pequenos não são considerados. Em pelo menos uma implementação, esta filtragem passa-baixa no espectro no bloco 405 pode ser executada com uma largura de banda de aproximadamente 0,02 segundo.

[0053] No bloco 410, o sinal da inclinação local do espectro atenuado do bloco 405 pode ser determinado.

[0054] No bloco 415, estimativas iniciais dos picos podem ser geradas com base nos pontos onde o sinal de inclinação muda de positivo para negativo.

[0055] No bloco 420, a localização de pico verdadeira pode ser procurada no sinal original não atenuado, em uma vizinhança da estimativa de pico inicial. Por exemplo, de acordo com pelo menos uma modalidade, a região que pode ser pesquisada no bloco 420 pode ser metade da largura da largura de banda inversa (por exemplo, 25 Hz).

Seleção de Par

[0056] Para o caso de interpolação, as senoides significativas identificadas nas extremidades passada e futura do segmento de sinal perdido podem ser dispostas em pares. De acordo com pelo menos uma modalidade, o método da presente revelação ordena os picos e então, começando dos picos mais altos, descobre picos complementares adequados. Começar dos picos maiores é uma indicação de que o número de casamentos sem êxito importantes é pequeno (por exemplo, casamentos sem êxito de uma maneira geral ocorrem, se de qualquer modo, somente em picos menores).

[0057] A figura 5 ilustra um processo de exemplo 500 para selecionar pares de picos complementares de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento. No bloco 505, o processo 500 identifica uma pluralidade de objetos (por exemplo, cria uma lista ou coleção de objetos), em que um objeto é identificado para cada pico dos espectros passados e futuros. O objetivo agora é descobrir casamentos para os objetos. De acordo com pelo menos uma modalidade, cada objeto identificado pode ter quatro rótulos: (1) a amplitude de pico; (2) a frequência onde o pico está localizado; (3) o rótulo especificando se o pico pertence a espectro futuro ou passado; e (4) a localização do pico de casamento no espectro complementar (vazio ou zero se não existir casamento).

[0058] A figura 7 ilustra uma tabela de exemplo 700 contendo dados para cada um dos objetos identificados no bloco 505 do processo de exemplo 500, descrito anteriormente e ilustrado na figura 5. De acordo com pelo menos uma modalidade, a tabela 700 pode incluir os números de entrada (ou de linha) 705 identificando cada uma das entradas compreendendo a tabela 700. Cada entrada 705 na tabela 700 pode ser um objeto diferente 710 (por exemplo, os objetos identificados no bloco 505 no processo de exemplo 500) e pode incluir, para cada um dos objetos 710, a amplitude de objeto (por exemplo, amplitude de pico) 715, a frequência onde o objeto está localizado 720, um rótulo indicando se o objeto pertence a espectro futuro ou passado 725, e a localização na tabela 700 (por exemplo, número de entrada 705) do pico de casamento no espectro complementar (que pode ficar vazia ou incluir zero se não existir casamento). Deve ser entendido que em uma ou mais modalidades descritas neste documento a tabela 700 pode incluir vários outros dados, arranjados em vários outros formatos, além de ou em vez de os dados e formatos de exemplo descritos anteriormente, os quais são fornecidos somente para propósitos de ilustração.

[0059] Referindo-se de novo ao processo de exemplo 500 da figura 5, no bloco 510, os índices dos objetos quando classificados pela amplitude de seus picos podem ser determinados. No bloco 515, o casamento real é executado para cada objeto separadamente, indo do objeto com o maior pico para o objeto com o menor pico, usando a sequência de índices para a lista classificada. Detalhes adicionais a respeito do casamento de objetos no bloco 515 serão descritos a seguir com referência para a figura 6. No bloco 520, os

pares de picos nas extremidades futura e passada do segmento de dados perdido (formados no bloco 515) podem ser usados como uma base para interpolação através do segmento.

[0060] A figura 6 ilustra um processo de exemplo para casar objetos. De acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento, o processo de exemplo 600 (blocos 605-630) pode ser parte do bloco 515 no processo de exemplo 500 descrito anteriormente e ilustrado na figura 5, onde casamento é executado separadamente para cada objeto na lista de objetos criada no bloco 505, começando com o objeto com o maior pico para o objeto com o menor pico, de acordo com a sequência de índices para a lista classificada.

[0061] Deve ser entendido que, de acordo com pelo menos uma modalidade da presente revelação, o processo de exemplo 600 (por exemplo, os blocos 605-630 do processo 600) pode ser executado em um modo iterativo para cada um dos objetos na lista de objetos criada no bloco 505 do processo de exemplo 500 (por exemplo, um objeto para cada pico tanto dos espectros passados quanto dos futuros).

[0062] Para cada objeto, uma determinação pode ser feita no bloco 605 tal como para verificar se o objeto sendo avaliado (referido algumas vezes no exposto a seguir como o "objeto corrente" meramente para propósito de clareza) tem um objeto de casamento. Se for determinado no bloco 605 que o objeto corrente tem um objeto de casamento, então o objeto corrente pode ser omitido no bloco 610.

[0063] Por outro lado, se for determinado no bloco 605 que o objeto corrente não tem um objeto de casamento, então no bloco 615 uma pesquisa para casar objetos pode ser executada em todos os outros objetos para identificar objetos

de casamento candidatos.

[0064] No bloco 620, objetos de casamento candidatos que já têm um objeto de casamento podem ser eliminados como objetos de casamento candidatos (por exemplo, removidos da lista de objetos de casamento candidatos).

[0065] No bloco 625, um critério de casamento pode ser avaliado para cada um dos objetos de casamento candidatos remanescentes. Um critério de casamento de exemplo é fornecido com mais detalhes a seguir na equação (1).

[0066] No bloco 630, um dos objetos de casamento candidatos pode ser selecionado como o objeto de casamento para o objeto corrente com base no critério de casamento avaliado. Por exemplo, de acordo com uma modalidade descrita neste documento, o objeto de casamento candidato tendo um valor mais alto (por exemplo, máximo) para o critério de casamento (tal como comparado com os valores de critério de casamento dos outros objetos de casamento candidatos com base, por exemplo, na avaliação executada no bloco 625) pode ser selecionado no bloco 630 como o objeto de casamento para o objeto corrente. Deve ser entendido, entretanto, que pode existir o caso em que nenhum objeto de casamento não é descoberto (por exemplo, que não existe pico de casamento) para o objeto corrente. Por exemplo, o espectro complementar pode não ter objetos remanescentes para seleção como um objeto de casamento, ou o critério de casamento pode não permitir a seleção de um pico remanescente do espectro complementar. Vantajosamente, o sistema da presente revelação é projetado de tal maneira que um cenário como este (isto é, não existindo objeto de casamento) de uma maneira geral somente ocorrerá para picos menores.

[0067] Embora não mostrado na figura 6, seguinte à seleção do objeto de casamento no bloco 630, a localização de lista do objeto de casamento pode ser identificada (por exemplo, gravada, introduzida, inserida, etc) no quarto rótulo do objeto corrente e a localização do objeto corrente pode ser identificada de forma similar no quarto rótulo do objeto de casamento selecionado (por exemplo, na tabela 700 de exemplo descrita anteriormente e mostrada na figura 7).

[0068] Tal como descrito anteriormente, o processo de exemplo 600 pode ser executado em um modo iterativo para cada um dos objetos (por exemplo, o processo 600 pode ser executado em laços em todos os objetos) na lista de objetos criada no bloco 505 do processo de exemplo 500 (descrito anteriormente e ilustrado na figura 5).

[0069] De acordo com pelo menos uma modalidade do método, "próximo em frequência" é estabelecido para 100 Hz. O critério é proporcional ao valor de pico multiplicado por uma ponderação dependente de distância que favorece picos próximos. Isto é, deixando j identificar o candidato objeto, $a(j)$ denota seu valor de pico, e $f(j)$ denota a frequência do candidato objeto. O critério é então:

$$\eta = a(k) - w\{f(k), f(j)\} \quad (1)$$

onde $f(k)$ é a frequência do objeto corrente e $w : \mathbb{R}_0^+ \times \mathbb{R}_0^+ \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ é uma função que mapeia as frequências reais não negativas para um valor de penalidade de distância real não negativo. Uma escolha razoável para w é um decaimento linear com distância, sujeito a um piso f_y .

$$w(f(k), 0) = \max(f_y, A - |f(k) - f(j)|) \quad (2)$$

De acordo com pelo menos uma modalidade, f_1 é 100 Hz, e $f_0=1$.
[0070] Deve ser notado que em algumas situações nem todos os picos identificados pelo algoritmo de identificação de pico descrito anteriormente obterão um casamento uma vez que alguns objetos podem ser deixados sem objetos de casamento candidatos adequados. De acordo com pelo menos uma modalidade descrita neste documento, tais objetos podem ser casados ao criar um pico "virtual" com frequência idêntica e amplitude zero ou a amplitude do espectro complementar nessa frequência (por exemplo, se o sinal puder ser interpretado como uma soma simples de senoides então a abordagem de amplitude zero é mais razoável).

Interpolação

[0071] A interpolação de senoides pode ser executada em uma variedade de modos diferentes. Portanto, o seguinte delinea alguns princípios básicos das diferentes abordagens de interpolação e descreve os detalhes do método de interpolação utilizado de acordo com as modalidades da presente revelação.

[0072] Os parâmetros de uma senoide são sua amplitude, sua frequência e sua fase. No exposto a seguir, o termo "deslocamento de fase" se refere ao valor da fase em um instante de tempo de referência particular. Cada um destes parâmetros é especificado para um pico do espectro. Entretanto, um fator de complicação é que a frequência é a derivada da fase. Assim, ao executar interpolação linear de amplitude, frequência e deslocamento de fase, a frequência sofre um desvio por causa de o deslocamento de fase não ser constante. Este desvio de frequência é constante através do

intervalo de interpolação e igual a uma metade do inverso do intervalo de interpolação ou menos.

[0073] Interpolação linear do deslocamento de fase implica em que as frequências nos pontos finais do intervalo de interpolação não se igualam aos valores que foram estimados nos pontos finais do intervalo. Uma primeira abordagem de interpolação existente evita este problema ao executar interpolação polinomial de terceira ordem da fase, com seu valor e derivada (a frequência) determinados pelas medições em ambos os pontos finais. Está claro que isto deve resultar em excursões de frequência maiores, porém mais breves, do que interpolação de deslocamento linear de fase já que a precessão de fase total deve ser idêntica àquela do caso de interpolação de deslocamento linear de fase. Uma desvantagem adicional desta primeira abordagem de interpolação é que ela resulta em uma amostragem irregular da função seno, o que impede a construção de implementações eficientes em termos de computação.

[0074] Na prática, a primeira abordagem de interpolação descrita anteriormente foi constatada como sofrendo de uma natureza reverberativa para fala, o que provavelmente pode ser atribuído às excursões de frequência indesejáveis. Para fala, a natureza reverberativa pode ser removida em uma segunda abordagem de interpolação existente que não usa o deslocamento de fase observado e em vez disto usa um modelo de fase de mínima harmônica. Entretanto, esta segunda abordagem não é apropriada para música onde as senoides podem não ser harmônicas. Além do mais, esta segunda abordagem também não preserva a forma de onda de fala para sinais harmônicos.

[0075] Ao considerar uma senoide como a parte real de uma exponencial complexa, uma terceira abordagem de interpolação surge naturalmente. Por exemplo, consideram $\cos(\omega t + \phi) = \text{Re}(\alpha \exp(i\omega t))$ onde ω é frequência, t é tempo, ϕ é o deslocamento de fase, α é um coeficiente complexo, $i = \sqrt{-1}$, e o operador Re extrai o componente real. É então possível executar uma interpolação linear de ambos de a frequência ω e o coeficiente complexo α no tempo. Em contraste com as primeira e segunda abordagens de interpolação existentes descritas anteriormente, a interpolação de coeficientes complexos resulta em variação da amplitude no intervalo de interpolação. Esta terceira abordagem também facilita uma amostragem regular da exponencial complexa, o que resulta em baixa complexidade computacional.

[0076] Para o cenário em que o conjunto de senoides é harmônico e existe alinhamento das formas de onda resultantes, a interpolação de coeficientes complexos se parece com o método de interpolação de forma de onda para fala (por exemplo, tentativas de interpolação de forma de onda para preservar a forma de onda de sinal). Sistemas de interpolação de forma de onda de uma maneira geral são menos reverberantes do que a abordagem de interpolação polinomial de terceira ordem para sinais de fala. Em contraste com o segundo método de interpolação (descrito anteriormente), a interpolação de coeficientes complexos preserva a forma de onda do sinal de fala.

[0077] De acordo com uma ou mais modalidades da presente revelação, o método de interpolação de coeficientes complexos é usado. Este método executa bem se o sinal

original evoluir suavemente e o comprimento do segmento de dados reconstruídos se igualar ao comprimento dos dados perdidos.

[0078] O desempenho de interpolação do sistema pode ser aperfeiçoado para fala ao explorar o fato de que tais sinais são harmônicos em natureza. Se as frequências senoidais estiverem próximas de serem harmônicas, o motivo pelo qual elas não são perfeitamente harmônicas provavelmente é o resultado de erro de medição. Assim, em um caso como este as frequências podem ser corrigidas para serem harmônicas. Por exemplo, em uma implementação prática, senoides abaixo de 3.000 Hz podem ser testadas primeiro se elas pertencem a um segmento de fala usando o critério $\xi = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n \left(\frac{f_n}{f_0} - \text{round}\left(\frac{f_n}{f_0}\right) \right)^2$, onde f_0 é a altura candidata, f_n é a frequência da senoide n , a_n é a magnitude da senoide n , N é o número de senoides abaixo de 3.000 Hz, e a função $\text{round}\left(\frac{f_n}{f_0}\right)$ arredonda $\frac{f_n}{f_0}$ para o número inteiro mais próximo. Primeiro, uma pesquisa pode ser executada para o valor f_0 que minimiza ξ e então um limiar para qual melhor ξ pode ser usado para decidir se o sinal for harmônico. Se o sinal for harmônico, frequências que estão próximas de serem harmônicas podem ser modificadas para serem harmônicas (por exemplo, um múltiplo de f_0).

Interpolação Assíncrona

[0079] As várias abordagens de interpolação descritas anteriormente focalizaram em interpolação sobre dados intervalos que têm o comprimento do segmento de dados perdido. Em interpolação assíncrona, a qual pode ser utilizada de acordo com uma ou mais das modalidades descritas neste documento, o comprimento do intervalo é ajustado com o propósito para minimizar as excursões de amplitude na

interpolação uma vez que tais excursões são audíveis como reverberação.

[0080] A interpolação linear do coeficiente complexo de uma senoide identificada pelo índice n pode ser gravada como

$$\alpha_n(t) = \alpha_{n,-} + \alpha_{n,1}t, \quad (3)$$

onde t é tempo, onde é assumido que interpolação é iniciada em $t = 0$, onde $\alpha_{n,-}$ é o valor de início do coeficiente complexo, e $\alpha_{n,1}$ é um coeficiente afetando a taxa de mudança. Além do mais, deixamos $\alpha_{n>}$ denotar o valor estimado para α para os dados futuros observados e τ denotar o ponto final de interpolação nominal. Então, para interpolação linear a equação (3) pode ser regravada como

$$\alpha_n(t) = \alpha_{n,-} + \frac{\alpha_{n,+} - \alpha_{n,-}}{\tau}t, \quad (4).$$

[0081] Deixamos $f_{n,-}$ e $f_{n,+}$ representar a frequência de senoide antes e depois do intervalo de restauração. Um objetivo razoável é descobrir o intervalo de interpolação τ que minimiza

$$\eta = \sum_{n=1}^N \left| \alpha_{n,+} - \frac{|\alpha_{n,+}|}{|\alpha_{n,-}|} \alpha_{n,-} \exp \left(i \int_0^\tau \left(f_{n,-} + \frac{f_{n,+} - f_{n,-}}{\tau} t \right) dt \right) \right|^2 \quad (5)$$

$$= \sum_{n=1}^N \left| \alpha_{n,+} - \frac{|\alpha_{n,+}|}{|\alpha_{n,-}|} \alpha_{n,-} \exp \left(i \left(f_{n,-} \tau + \frac{1}{2} (f_{n,+} - f_{n,-}) \tau \right) \right) \right|^2 \quad (6)$$

$$= \sum_{n=1}^N |\alpha_{n,+}|^2 \left| \frac{\alpha_{n,+}}{|\alpha_{n,+}|} - \frac{\alpha_{n,-}}{|\alpha_{n,-}|} \exp \left(\frac{i(f_{n,-} + f_{n,+})\tau}{2} \right) \right|^2 \quad (7)$$

A equação (7) pode ser interpretada tal como se segue. Em cada ponto no tempo os coeficientes α_n e as frequências f_n caracterizam uma forma de onda "instantânea". Então, o

resultado indicado acima (equação (7)) pode ser entendido como uma medida de alinhamento da forma de onda de sinal instantânea. O fator $|\alpha_{n,+}|^2$ representa uma ponderação da importância da senoide n . O termo $\exp\left(j\left(\frac{f_i + f_n}{2}\right)\tau\right)$ representa a precessão da fase da senoide sobre o intervalo, e mostra que a precessão prossegue, tipicamente, na média das frequências inicial e final. As razões $\frac{\alpha_{n,+}}{\alpha_{n,-}}$ e $\frac{\alpha_{n,-}}{\alpha_{n,+}}$ são as fases inicial e final. Como tal, o objetivo geral é consistente com descobrir um tempo final τ para o intervalo de restauração que alinha perfeitamente as fases do sinal interpolado com aquela do sinal observado na extremidade futura.

[0082] Em virtude da descrição exposta anteriormente de interpolação assíncrona, de acordo com uma ou mais modalidades da presente revelação, o nível de interpolação que pode ser executada é selecionado de uma faixa de intervalos de interpolação para maximizar uma medida de alinhamento de uma forma de onda instantânea produzida pelo interpolador e uma forma de onda instantânea estimada a partir de um segmento de sinal conhecido. Além disso, de acordo com uma ou mais outras modalidades descritas neste documento, a faixa de intervalos de interpolação pode ser escolhida para encher um buffer para variação do atraso de um dispositivo de recebimento para um nível consistente com perdas de pacotes esperadas.

[0083] Deve ser notado que, de acordo com pelo menos uma modalidade da presente revelação, o fator $\frac{|\alpha_{n,+}|}{|\alpha_{n,-}|}$ na equação (5) pode ser omitido sem sacrificar bom desempenho, e em uma menor complexidade computacional.

[0084] O exposto a seguir é uma lista não completa de propriedades de exemplo do processo de interpolação assíncrona da presente revelação de acordo com uma ou mais modalidades:

(1) Por causa de o critério de alinhamento (equação (7)), de uma maneira geral, ter muitos mínimos, uma pesquisa a respeito do critério deve ser executada.

(2) O método de interpolação assíncrona da presente revelação pode ser distinguido de um procedimento de alinhamento direto no domínio do tempo em que o método descrito neste documento inclui a interpolação da frequência.

(3) O método de interpolação assíncrona da presente revelação permite a interpolação sobre segmentos de comprimento arbitrário; um encaixe "razoável" do modelo com relação a dados observados e comprimento de segmento perdido não é mais assumido.

(4) O método de interpolação da presente revelação pode ser usado para tornar lento e, para uma certa extensão, acelerar segmentos de áudio, ao inserir segmentos perdidos virtuais e ao remover dados e usar interpolação para eliminar descontinuidades.

(5) O método de interpolação descrito neste documento minimiza reverberação já que ele minimiza excursões das senoides em amplitude. É importante notar neste aspecto que o método de interpolação de coeficientes complexos não tem excursões de frequência em nenhum caso.

[0085] A figura 8 é um diagrama de blocos de nível alto de um computador exemplar (800) arranjado para ocultar (por exemplo, restaurar) segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio com base em interpolação e extrapolação

de senoides, de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento. Em uma configuração muito básica (801), o dispositivo de computação (800) tipicamente inclui um ou mais processadores (810) e memória de sistema (820). Um barramento de memória (830) pode ser usado para comunicação entre o processador (810) e a memória de sistema (820).

[0086] Dependendo da configuração desejada, o processador (810) pode ser de qualquer tipo incluindo, mas não limitado a isto, um microprocessador (μ P), um microcontrolador (μ C), um processador de sinal digital (DSP) ou qualquer combinação dos mesmos. O processador (810) pode incluir um ou mais níveis de armazenamento em cache, tais como um cache de nível um (811) e um cache de nível dois (812), um núcleo de processador (813) e registradores (814). O núcleo de processador (813) pode incluir uma unidade lógica e aritmética (ALU), uma unidade de ponto flutuante (FPU), um núcleo de processamento de sinal digital (Núcleo DSP) ou qualquer combinação dos mesmos. Um controlador de memória (816) também pode ser usado com o processador (810), ou em algumas implementações o controlador de memória (815) pode ser uma parte interna do processador (810).

[0087] Dependendo da configuração desejada, a memória de sistema (820) pode ser de qualquer tipo incluindo, mas não limitado a isto, memória volátil (tal como RAM), memória não volátil (tal como ROM, memória flash, etc) ou qualquer combinação das mesmas. Memória de sistema (820) tipicamente inclui um sistema operacional (821), uma ou mais aplicações (822) e dados de programa (824). A aplicação (822) pode incluir algoritmo de interpolação e extrapolação (823) para restaurar um segmento de amostras consecutivas de dados

perdidos em um sinal de áudio de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento. Dados de programa (824) podem incluir armazenar instruções que, quando executadas pelo um ou mais dispositivos de processamento, implementam um método para ocultar segmentos perdidos e/ou descontinuidades em um sinal de áudio usando operações de interpolação e extrapolação projetadas para senoides de acordo com uma ou mais modalidades descritas neste documento.

[0088] Adicionalmente, de acordo com pelo menos uma modalidade, dados de programa (824) podem incluir dados de sinal de áudio (825), os quais podem incluir dados a respeito de amostras de um sinal de áudio obtido, por exemplo, por meio de janelamento do sinal. De acordo com pelo menos uma modalidade uma janela de 32 milissegundos (ms) pode ser usada, a qual em 16 kHz corresponde a 512 amostras. De acordo com pelo menos uma outra modalidade, o sinal de áudio pode ser provido de janelas com uma janela de Hann e preenchido com zeros para obter uma sequência de 2.048 amostras, em que uma transformada Rápida de Fourier (FFT) pode ser executada. Em algumas modalidades, a aplicação (822) pode ser arranjada para operar com dados de programa (824) em um sistema operacional (821).

[0089] O dispositivo de computação (800) pode ter recursos ou funcionalidades adicionais, e interfaces adicionais para facilitar comunicações entre a configuração básica (801) e quaisquer dispositivos e interfaces exigidos.

[0090] A memória de sistema (820) é um exemplo de mídia de armazenamento de computador. Mídias de armazenamento de computador incluem, mas não estão limitadas a isto, RAM, ROM, EEPROM, memória flash ou outra tecnologia de memória,

CD-ROM, discos versáteis digitais (DVD) ou outro armazenamento ótico, cassetes magnéticos, fita magnética, armazenamento de disco magnético ou outros dispositivos de armazenamento magnético, ou qualquer outra mídia que possa ser usada para armazenar a informação desejada e que possa ser acessada pelo dispositivo de computação 800. Qualquer uma de tais mídias de armazenamento de computador pode ser parte do dispositivo (800).

[0091] O dispositivo de computação (800) pode ser implementado como uma parte de um dispositivo eletrônico portátil (ou móvel) de fator de forma pequeno tal como um telefone celular, um telefone inteligente, um assistente de dados pessoais (PDA), um dispositivo reproduzidor de mídia pessoal, um tablet, um dispositivo de acessar rede sem fio, um dispositivo pessoal de conjunto de fones de ouvido e microfone, um dispositivo específico de aplicação, ou um dispositivo híbrido que inclua qualquer uma das funções indicadas anteriormente. O dispositivo de computação (800) também pode ser implementado como um computador pessoal incluindo configurações tanto de laptop quanto não de laptop.

[0092] A descrição detalhada anterior expôs várias modalidades dos dispositivos e/ou processos por meio do uso de diagramas de blocos, fluxogramas e/ou exemplos. Na medida em que tais diagramas de blocos, fluxogramas e/ou exemplos contêm uma ou mais funções e/ou operações, será entendido pelos versados na técnica que cada função e/ou operação dentro de tais diagramas de blocos, fluxogramas ou exemplos pode ser implementada, individualmente e/ou coletivamente, por meio de uma faixa ampla de hardware, software, firmware ou virtualmente qualquer combinação dos mesmos. Em uma

modalidade, várias partes da matéria em questão descrita neste documento podem ser implementadas por meio de Circuitos Integrados de Aplicação Específica (ASICs), Matrizes de Portas Programáveis em Campo (FPGAs), processadores de sinais digitais (DSPs), ou outros formatos integrados. Entretanto, os versados na técnica reconhecerão que alguns aspectos das modalidades reveladas neste documento, inteiros ou parcialmente, podem ser implementados de modo equivalente em circuitos integrados, como um ou mais programas de computador executando em um ou mais computadores, como um ou mais programas executando em um ou mais processadores, como firmware, ou virtualmente como qualquer combinação dos mesmos, e que projetar o conjunto de circuitos e/ou gravar o código para o software e ou firmware estaria perfeitamente dentro do conhecimento profissional dos versados na técnica considerando esta revelação.

[0093] Além do mais, os versados na técnica compreenderão que os mecanismos da matéria em questão descritos neste documento são capazes de ser distribuídos como um produto de programa em uma variedade de formas, e que uma modalidade ilustrativa da matéria em questão descrita neste documento se aplica independente do tipo particular de mídia de suporte não transitório de sinal usado para executar realmente a distribuição. Exemplos de uma mídia de suporte não transitório de sinal incluem o seguinte, mas não estão limitados a isto: uma mídia do tipo gravável tal como um disco flexível, uma unidade de disco rígido, um disco compacto (CD), um disco de vídeo digital (DVD), uma fita digital, uma memória de computador, etc; e uma mídia do tipo de transmissão tal como uma mídia de comunicação digital

e/ou uma analógica, (por exemplo, um cabo de fibras óticas, um guia de onda, um enlace de comunicações com fio, um enlace de comunicação sem fio, etc).

[0094] Com relação ao uso substancialmente de quaisquer termos plurais e/ou singulares neste documento, os versados na técnica podem transladar do plural para o singular e/ou do singular para o plural tal como apropriado para o contexto e/ou aplicação. As várias permutações singular/plural podem estar expostas expressamente neste documento para propósito de clareza.

[0095] Assim, modalidades particulares da matéria em questão foram descritas. Outras modalidades estão dentro do escopo das reivindicações a seguir. Em alguns casos, as ações relatadas nas reivindicações podem ser executadas em uma ordem diferente e ainda alcançar resultados desejáveis. Além do mais, os processos representados nas figuras anexas não exigem necessariamente a ordem particular mostrada, ou ordem sequencial, para alcançar resultados desejáveis. Em certas implementações, múltiplas tarefas e processamento paralelo podem ser vantajosos.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para restaurar continuidade de um sinal de áudio, o método **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

computar (305) espectros de segmentos de um sinal de áudio, os segmentos localizados em lados opostos de um segmento perdido do sinal de áudio;

determinar (310) picos de magnitude dos espectros computados;

ordenar (315) os picos determinados de acordo com magnitude;

determinar (320) picos vizinhos no lado oposto do segmento perdido dos picos, formando desse modo pares de picos espectrais, em que os picos vizinhos são determinados para cada um dos picos de magnitude começando com o maior pico, e em que um pico vizinho é determinado usando um critério de casamento que é proporcional ao valor de pico do pico vizinho multiplicado por um peso dependente de distância que favorece picos que são próximos em frequência; e

executar (325) interpolação através de um intervalo do segmento perdido do sinal de áudio usando os pares de picos espectrais para gerar dados de restauração para o segmento perdido, em que um comprimento do intervalo é determinado com base na minimização de uma medida de alinhamento da interpolação, em que a medida alinha, para cada par de picos, a fase da interpolação com a fase do sinal de áudio no final do intervalo, e em que a medida envolve a fase do sinal de áudio no início do intervalo, e a fase e a amplitude do sinal de áudio no final do intervalo, e a frequência inicial e frequência final no início e final do intervalo.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a interpolação é interpolação senoidal.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada par de picos é compreendido de um primeiro pico em um primeiro lado do segmento perdido e um segundo pico em um segundo lado do segmento perdido.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente desvanecer (330) os dados de restauração com dados dos segmentos localizados em lados opostos do segmento perdido.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os dados de restauração são desvanecidos com dados dos segmentos localizados em lados opostos do segmento perdido usando uma operação de adição de sobreposição.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:
atenuar (405) um espectro de magnitude do sinal;
determinar (410) um sinal da inclinação local do espectro atenuado;
gerar (415) estimativas dos picos com base em pontos onde o sinal da inclinação local muda de positivo para negativo; e
determinar (420) localizações verdadeiras para cada um dos picos pesquisando o sinal não atenuado em uma vizinhança do pico estimado correspondente.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o espectro de magnitude do sinal é atenuado aplicando um filtro passa-baixa ao espectro.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que computar (305) espectros de segmentos de um sinal de áudio compreende computar (305) um espectro de um primeiro segmento de um sinal de áudio e um espectro de um segundo segmento do sinal de áudio, em que o primeiro segmento está localizado em um primeiro lado de um segmento perdido do sinal e o segundo segmento está localizado em um segundo lado do segmento perdido do sinal;

o método compreendendo adicionalmente identificar (505) uma pluralidade de objetos nos espectros do primeiro segmento e do segundo segmento, em que a pluralidade de objetos corresponde a picos; e

em que ordenar (315) os picos determinados de acordo com magnitude compreende classificar (510) os objetos identificados de acordo com amplitudes dos picos correspondentes e determinar (510) um índice dos objetos classificados; e

em que formar pares de picos espectrais compreende identificar (600), para pelo menos um dos objetos, um objeto de casamento, em que um objeto de casamento é identificado para o pelo menos um dos objetos começando com o objeto com o maior pico e continuando até o objeto com o menor pico, de acordo com o índice dos objetos classificados, e em que um objeto de casamento é identificado usando um critério de casamento que é proporcional ao valor de pico do pico vizinho multiplicado por um peso dependente de distância que favorece picos que estão próximos em frequência.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que identificar a pluralidade de objetos nos espectros do primeiro segmento e do segundo

segmento inclui criar uma lista de objetos, um objeto para cada pico tanto dos espectros do primeiro segmento quanto dos espectros do segundo segmento.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a lista de objetos inclui, para cada um dos objetos na lista, uma amplitude do pico correspondente, uma frequência onde o pico correspondente está localizado, um rótulo especificando se o pico correspondente pertence ao primeiro ou segundo espectro, e uma localização de um pico de casamento no espectro complementar para o espectro ao qual o pico correspondente pertence.

11. Método, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que identificar, para pelo menos um dos objetos, um objeto de casamento inclui:

identificar, para um objeto, objetos de casamento candidatos executando uma pesquisa (615) em todos os outros objetos;

eliminar (620) dos objetos de casamento candidatos todos os objetos que já têm um objeto de casamento;

avaliar (625), para cada um dos objetos de casamento candidatos remanescentes, um critério de casamento; e

selecionar (630) um dos objetos de casamento candidatos remanescentes como o objeto de casamento para o objeto com base no critério de casamento avaliado.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o um dos objetos de casamento candidatos remanescentes é selecionado como o objeto de casamento com base no objeto de casamento candidato tendo um valor mais alto para o critério de casamento avaliado.

13. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente restringir os objetos de casamento candidatos remanescentes a objetos com picos do espectro complementar e objetos com picos que estão próximos em frequência.

14. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

identificar um objeto sem objetos de casamento candidatos; e

criar um pico virtual tendo uma frequência idêntica à frequência do objeto e tendo amplitude zero ou uma amplitude do espectro complementar na frequência idêntica ou

eliminar o objeto da pluralidade de objetos.

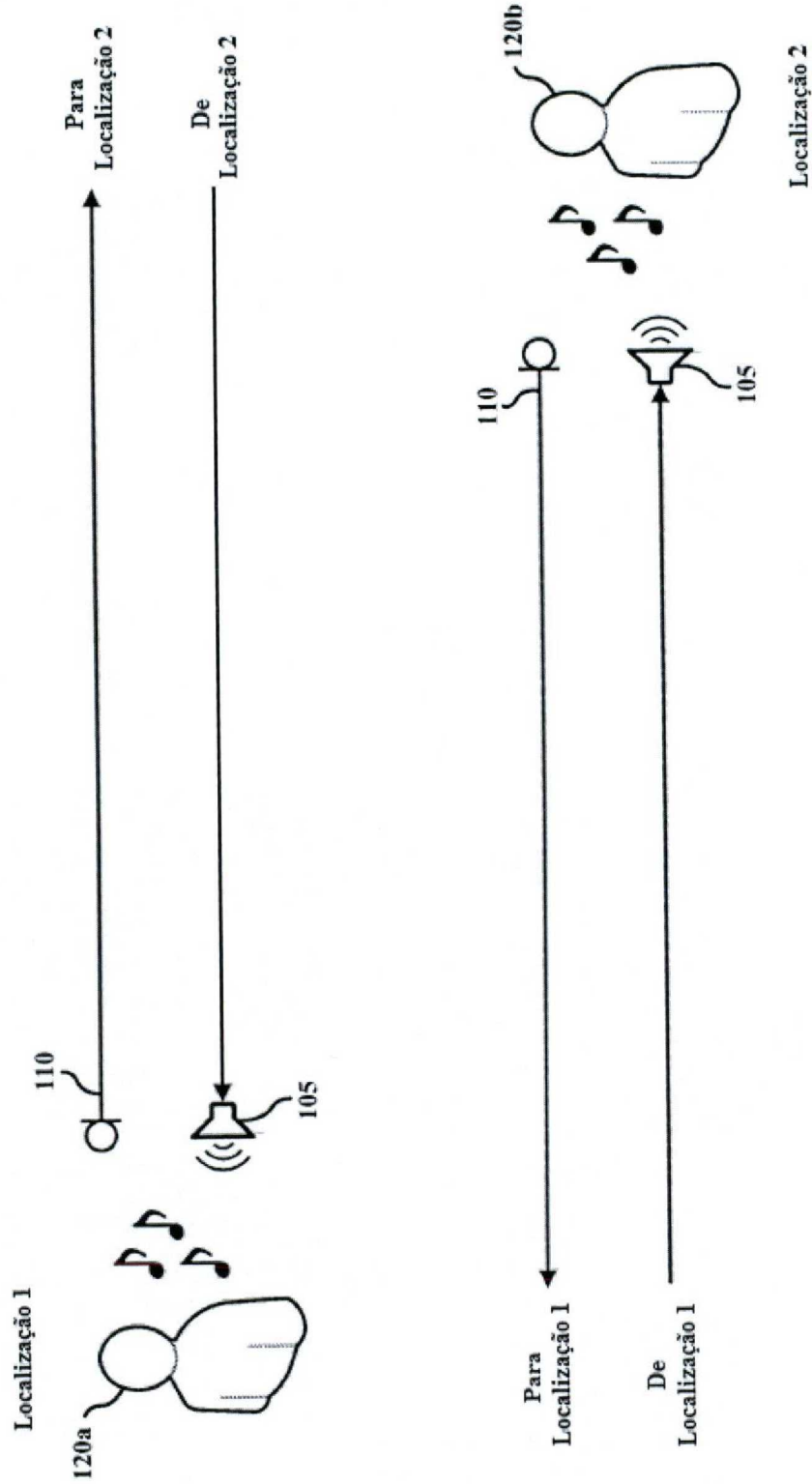


FIG. 1

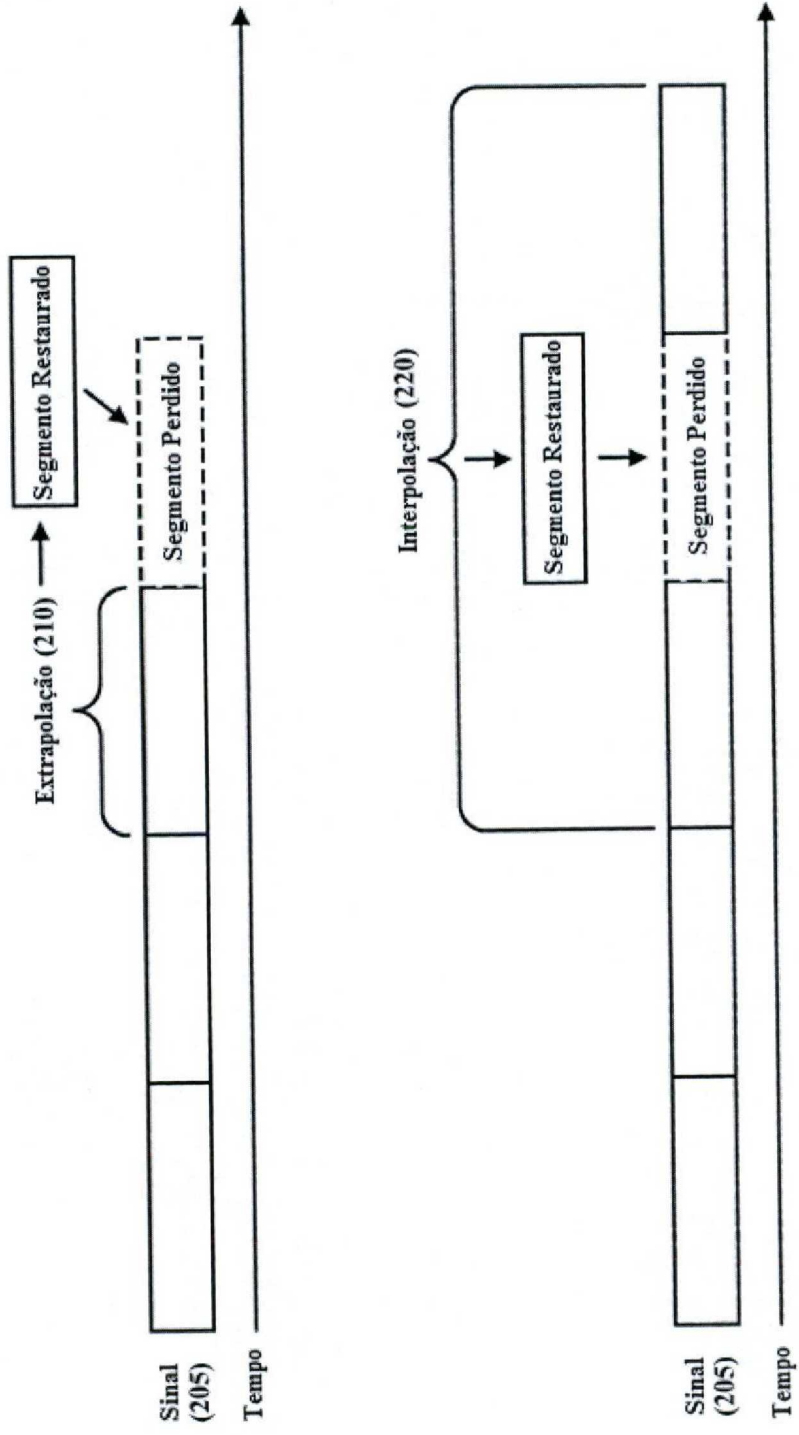


FIG. 2

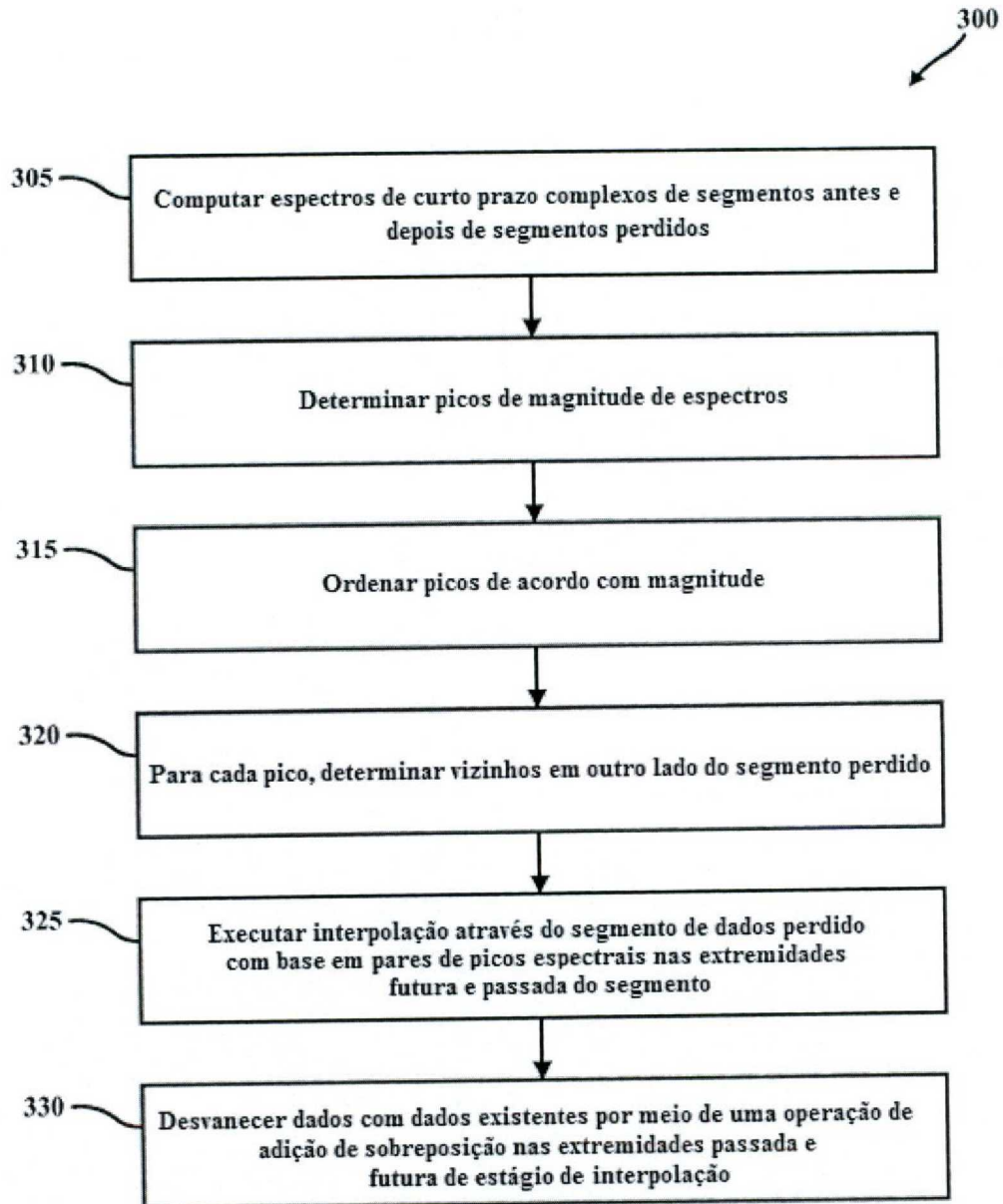


FIG. 3

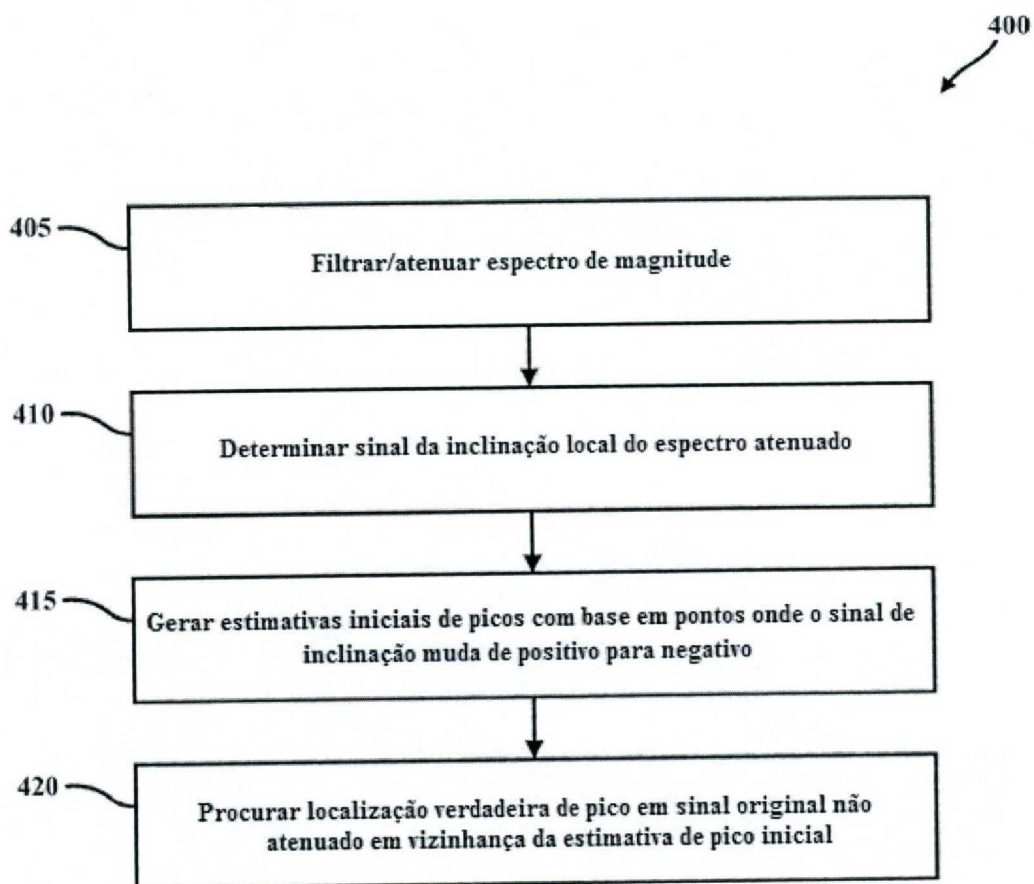


FIG. 4

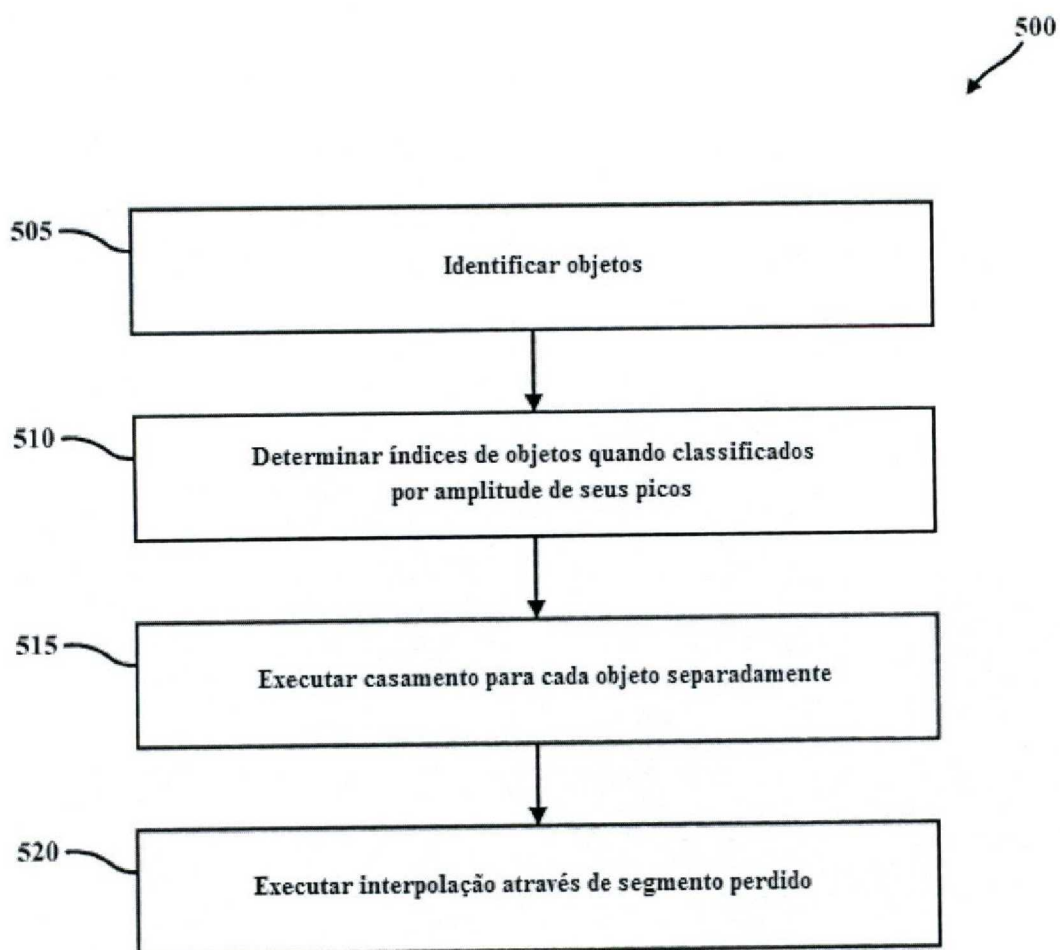


FIG. 5

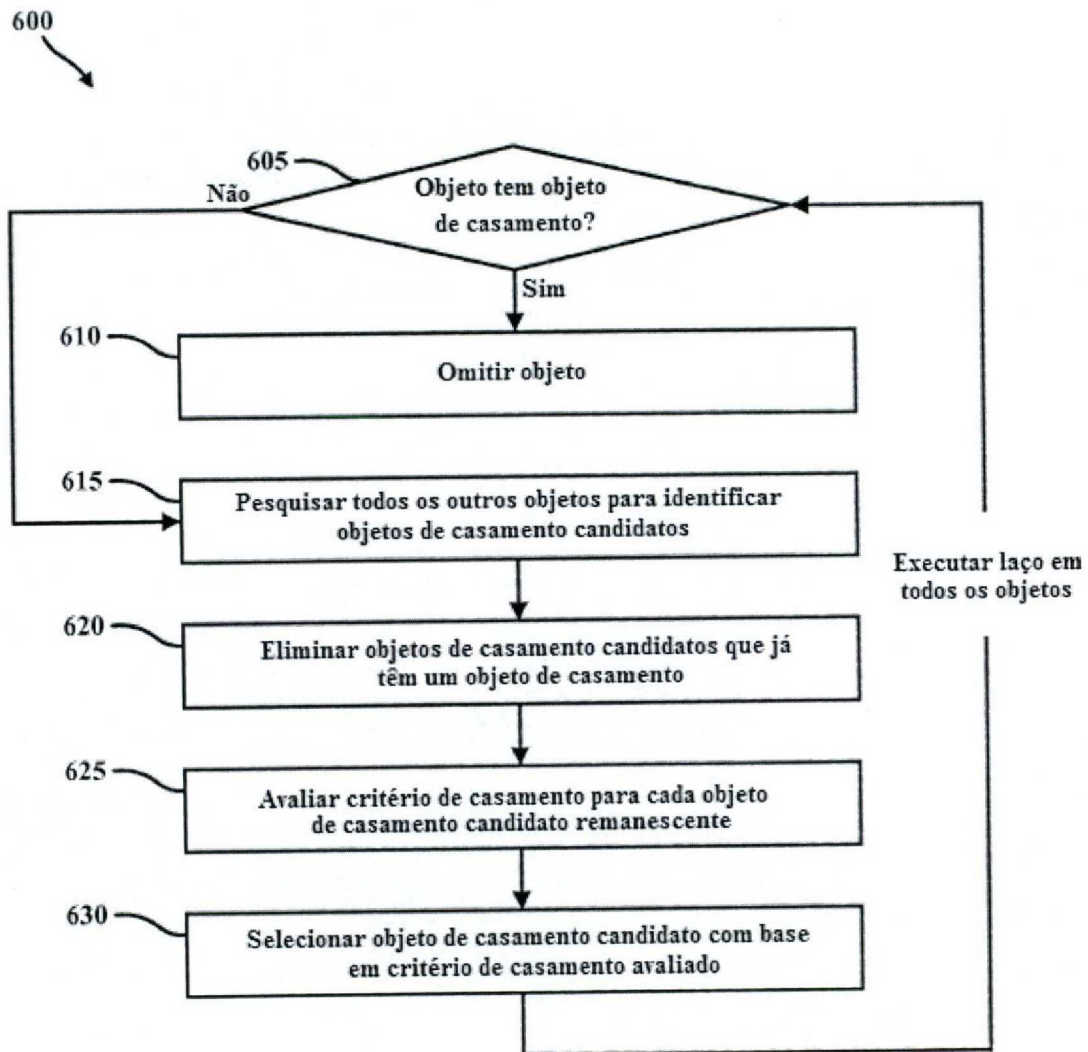


FIG. 6

700	705	710	715	720	725	730
		Objeto	Amplitude	Localização de Frequência	Espectro Futuro/ Passado	Localização de Lista de Objeto de Casamento
1		Objeto 1	(amplitude)	(frequência)	Futuro	3
2		Objeto 2	(amplitude)	(frequência)	Passado	5
3		Objeto 3	(amplitude)	(frequência)	Passado	1
•		•	•	•	•	•
•		•	•	•	•	•
•		•	•	•	•	•
N		Objeto N	(amplitude)	(frequência)	Futuro	X

FIG. 7

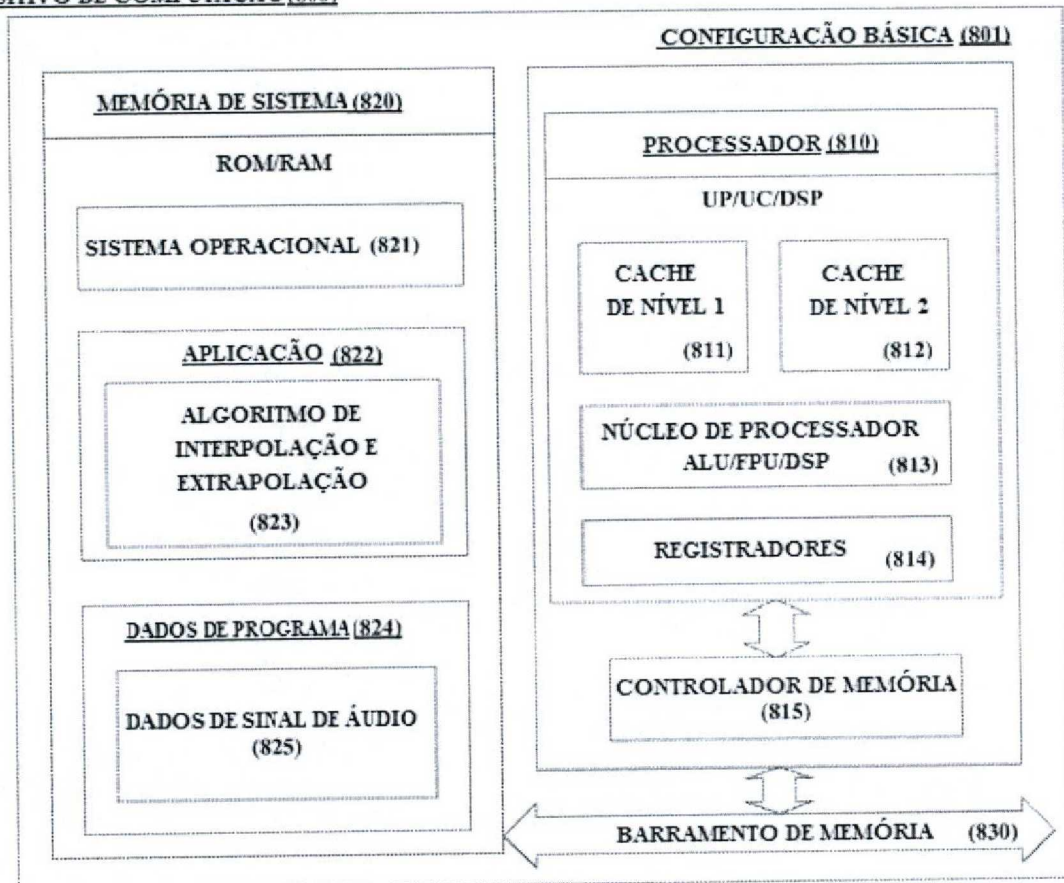
DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO (800)

FIG. 8