



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

**(11) PI 0516527-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 10/10/2005**

**(45) Data de Concessão: 25/06/2019**

**(54) Título:** MÉTODO PARA PROCESSAR SINAIS DE ÁUDIO, APARELHO ACEITANDO SINAIS DE ÁUDIO E MÉTODO PARA PROPORCIONAR UM PRIMEIRO E UM SEGUNDO SINAIS DE SAÍDA ATRAVÉS DE UM PAR DE ALTO-FALANTES

**(51) Int.Cl.:** H04S 5/00; H04R 5/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 14/10/2004 US 10/965,130.

**(73) Titular(es):** DOLBY LABORATORIES LICENSING CORPORATION.

**(72) Inventor(es):** DAVID STANLEY MCGRATH.

**(86) Pedido PCT:** PCT AU2005001568 de 10/10/2005

**(87) Publicação PCT:** WO 2006/039748 de 20/04/2006

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 16/04/2007

**(57) Resumo:** FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA RELACIONADAS COM A CABEÇA APERFEIÇOADAS PARA CONTEÚDO DE ÁUDIO ESTÉREO PANORAMIZADO. Método para processar sinais de áudio, um aparelho aceitando sinais de áudio, um meio condutor que conduzia instruções para um processador, a fim de implementar o método para processar sinais de áudio e um meio condutor conduzindo dados de filtro para implementar um filtro de sinais de áudio. O método inclui a filtragem de um par de sinais de entrada de áudio por um processo que produz um par de sinais de saída correspondendo aos resultados de: filtragem de cada um dos sinais de entrada com um par de filtros de HRTF e adição dos sinais filtrados de HRTF. O par de filtros de HRTF é tal que um ouvinte que escuta o par de sinais de saída através de fones de ouvido experimenta sons de um par de localizações desejadas de alto-falantes virtuais. Além disso, a filtragem é tal que, no caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal panoramizado, ao ouvinte que escuta o par de sinais de saída através de fones de ouvido é proporcionada a sensação de que o componente de sinal panoramizado (...).

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO PARA PROCESSAR SINAIS DE ÁUDIO, APARELHO ACEITANDO SINAIS DE ÁUDIO E MÉTODO PARA PROPORCIONAR UM PRIMEIRO E UM SEGUNDO SINAIS DE SAÍDA ATRAVÉS DE UM PAR DE ALTO-FALANTES".**

**Antecedentes**

[001] A presente invenção está relacionada com o campo de processamento de sinal de áudio e, mais especificamente, ao processamento de canais de áudio através de filtros para proporcionar uma percepção de dimensão espacial, incluindo a localização, corretamente, de um sinal panoramizado durante audição usando um sistema de reprodução binaural ou transaural.

[002] A figura 1 mostra um sistema de reprodução binaural comum que inclui o processamento de múltiplos canais de áudio por uma pluralidade de filtros de Função de Transferência Relacionada com a Cabeça (HRTF), por exemplo, filtros de FIR, de modo a proporcionar a um ouvinte 20 a impressão de que cada um dos canais de entrada de áudio está sendo apresentado de uma direção particular. A figura 1 mostra o processamento de um número, denotado N, de fontes de áudio, consistindo de um primeiro canal de áudio 11 (Canal 1), um segundo canal de áudio (Canal 2), ..., e um N<sup>ésimo</sup> canal de áudio 12 (Canal N) de informação. O sistema de reprodução binaural é para reprodução usando um par de fones de ouvido 19 usados pelo ouvinte 20. Cada canal é processado por um par de filtros de HRTF, um filtro destinado à reprodução através da orelha esquerda 22 do ouvinte 20, o outro para reprodução através da orelha direita 23 do ouvinte 20. Assim, um primeiro par de filtros de de HRTF 13, 14 até um N<sup>ésimo</sup> par de filtros de HRTF 15 e 16 são mostrados. As saídas de cada filtro de HRTF destinado à orelha esquerda 22 do ouvinte 20 são adicionadas por um somador 18 e as saídas de cada filtro de HRTF destinado à

reprodução através da orelha direita 23 do ouvinte 20 são adicionadas por um somador 17. A direção de incidência de cada canal percebido pelo ouvinte 20 é determinada pela escolha de um par de filtros de HRTF que é aplicado àquele canal. Por exemplo, na figura 1, o Canal de Áudio 1 (11) é processado através de um par de filtros 13, 14, de modo que o ouvinte 20 é apresentado à entrada de áudio através de fones de ouvido 19 que darão ao ouvinte 20 a impressão de que o som do Canal de Áudio 1 (11) é incidente no ouvinte 20 de um ângulo azimutal de chegada particular, denotado  $\theta_1$ , por exemplo, de uma localização 21. Similarmente, o par de filtros de HRTF para o segundo canal de áudio é projetado de modo que o som do Canal de Áudio 2 é incidente no ouvinte 20 de um ângulo azimutal de chegada particular, denotado  $\theta_2$ , ..., e o par de filtros de HRTF para o N<sup>ésimo</sup> canal de áudio é projetado de modo que o som do Canal de Áudio N (12) é incidente no ouvinte 20 de um ângulo azimutal de chegada particular denotado  $\theta_N$ .

[003] Para simplicidade, a figura 1 mostra apenas os ângulos azimutais de chegada, por exemplo, o ângulo de chegada do som percebido correspondente ao Canal 1 de uma fonte percebida 21. Em geral, os filtros de HRTF podem ser usados para proporcionar ao ouvinte 20 estímulos correspondentes a qualquer direção de chegada, especificada por um ângulo azimutal de incidência e um ângulo de elevação de incidência.

[004] Por um par de filtros de HRTF se quer dizer o conjunto de dois filtros de HRTF separados requeridos para processar um canal único para as duas orelhas 22, 23 do ouvinte 20, um filtro de HRTF por orelha. Portanto, para som de dois canais, dois pares de filtros de HRTF são usados.

[005] A presente descrição é proporcionada em detalhes principalmente para um canal de duas entradas, isto é, sistema estéreo de par de entradas. Estender os aspectos aqui descritos a três ou mais

canais de entrada é óbvio e, portanto, essa extensão é considerada como estando dentro do escopo da invenção.

[006] A figura 2 mostra um sistema estéreo binauralizador que inclui dois canais de áudio, uma entrada de canal esquerda 31 e uma entrada de canal direita 32. Cada uma das duas entradas de canal de áudio é processada separadamente, com a entrada de canal esquerda 31 sendo processada através de um par de HRTF 33, 34 e a entrada de canal direita 32 sendo processada através de um par de HRTF diferente 35, 36. Em uma situação típica, a entrada de canal esquerda 31 e a entrada de canal direita 32 são destinadas à reprodução simétrica, de modo que o objetivo de binauralização usando os dois pares de HRTF é dar a percepção ao ouvinte 20 de ouvir os canais esquerdo e direito de respectivas localizações angulares esquerda e direita, que são posicionados simetricamente em relação ao plano mediano do ouvinte 20. Fazendo referência à figura 2, se os pares de HRTF 33, 34, 35, 36 são para audição simétrica, o canal esquerdo é percebido da fonte 37 em um ângulo azimutal  $\theta$  e o canal direito é percebido como sendo de uma fonte 38 em um ângulo azimutal que é negativo do ângulo azimutal da fonte direita percebida 37, isto é, de um ângulo azimutal  $-\theta$ .

[007] Sob condições dessa simetria, algumas suposições para simplificação são feitas. A primeira é que a percepção do som e a cabeça do ouvinte é simétrica. Isso significa que:

$$HRTF(\theta, L) = HRTF(-\theta, R) \quad (1)$$

[008] Ainda, a HRTF da fonte esquerda 37 para a orelha esquerda 22 é igual à HRTF da fonte direita 38 para a orelha direita 23. Denota-se essa HRTF como  $HRTF_{near}$ . Similarmente, segundo essas suposições simétricas, a HRTF da fonte esquerda 37 para a orelha direita 23 é igual à HRTF da fonte direita 38 para a orelha esquerda 22. Denota-se essa HRTF como  $HRTF_{far}$ .

[0009] Em binauralizadores, os filtros de HRTF são encontrados, tipicamente, pela medição da resposta real de HRTF de uma cabeça fictícia ou da cabeça de um ouvinte humano. Sistemas de processamento binaurais relativamente sofisticados fazem uso de bibliotecas extensas de medições de HRTF, correspondendo a múltiplos ouvintes e/ou múltiplos ângulos azimutais ou de elevação incidentes sonoros.

[0010] É comum, para um sistema binaural hoje em uso, simplificar o uso dos pares de HRTF  $\theta$  e  $-\theta$  em um sistema de processamento binaural tal como aquele da figura 2. Em outras palavras, fazendo a suposição de que os pares de HRTFs medidos são simétricos.

$$\begin{aligned} HRTF_{near} &= HRTF(\theta, L) \\ HRTF_{far} &= HRTF(\theta, R) \end{aligned} \quad (2)$$

[0011] Mesmo se for verificado por medição que as respostas da cabeça do ouvinte 20 em que o par de HRTF é medido não são simétricas, de modo que a Eq. 1 não suporta, um binauralizador tal como aquele da figura 2 pode ser forçado para ser simétrico pelo uso de pares de filtros de HRTF formados pela média de HRTFs medidas. Isto é, para ouvir, simetricamente, à esquerda e à direita que parecem ser de fontes sonoras, chamadas “fontes de som virtuais”, também chamadas “alto-falantes virtuais”, que estão em ângulos azimutais de  $\theta$  e  $-\theta$ , os filtros para processamento binaural são ajustados como:

$$\begin{aligned} HRTF_{near} &= \frac{HRTF(\theta, L) + HRTF(-\theta, R)}{2} \\ HRTF_{far} &= \frac{HRTF(\theta, R) + HRTF(-\theta, L)}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

[0012] Onde  $HRTF(\theta, L)$  e  $HRTF(\theta, R)$  são as HRTF's medidas para o ângulo esquerdo e para o ângulo direito, respectivamente, para uma fonte percebida no ângulo  $\theta$ . Portanto, pelas HRTFs próxima e distante se quer significar as HRTFs reais medidas ou assumidas para o caso simétrico, ou as HRTF's médias para o caso não simétrico.

[0013] Amplamente (e a grosso modo) falando, esse binauraliza-

dor simula a maneira pela qual um sistema de alto-falante estéreo normal funciona, por meio da apresentação do sinal de entrada de áudio esquerda através de um par de HRTF correspondendo a um alto-falante esquerdo virtual, por exemplo, 37 e o sinal de entrada de áudio direita através de um par de HRTF correspondente a um alto-falante direito virtual, por exemplo, 38. Isso é conhecido por funcionar bem para proporcionar a um ouvinte 20 a sensação de que sons, entradas de canal esquerda e direita, estão emanando das localizações dos alto-falantes virtuais esquerdo e direito, respectivamente.

[0014] Em reproduções de som, por exemplo, através de alto-falantes estéreos reais, frequentemente, também é desejado proporcionar ao ouvinte 20 a sensação não só das fontes de entrada de áudio esquerda e direita 31 e 32 parecendo ser dos alto-falantes corretamente colocados à esquerda e à direita do ouvinte 20, mas também de uma ou mais fontes de som que estão entre essas localizações dos alto-falantes esquerdo e direito. Supõe-se que haja um componente de som que está em qualquer parte, por exemplo, em qualquer parte na frente do ouvinte 20. Como um exemplo, supõe-se que há uma fonte de som que está no centro entre as localizações supostas dos canais de áudio de entradas esquerdo e direito. É comum, por exemplo, em modernas gravações estéreos que um sinal de áudio seja alimentado com amplitude igual embora atenuada para os canais esquerdo e direito, de modo que, quando essas entradas de canal esquerda e direita são reproduzidas em alto-falantes estéreos na frente do ouvinte 20, ao ouvinte 20 é dada a impressão de que a fonte de som está emanando de uma fonte, chamada de “alto-falante fantasma”, localizada centralmente entre os alto-falantes esquerdo e direito. O termo “fantasma” é usado para esse alto-falante porque lá não existe um alto-falante real. Isso é frequentemente referido como um “centro fantasma” e o processo de produção da sensação de um som que vem do centro é chama-

do “criação da imagem central”.

[0015] Similarmente, através da alimentação proporcional de diferentes quantidades de um sinal para as entradas dos canais esquerdo e direito, a sensação de um som que emana de qualquer parte entre as localizações dos alto-falantes esquerdo e direito é proporcionada ao ouvinte 20.

[0016] Assim, a criação de um par estéreo pela divisão de uma entrada entre o canal esquerdo e o direito é chamada “panoramização”; igualmente, a divisão do sinal é chamada “panoramização central”.

[0017] É desejado proporcionar a mesma sensação, isto é, a criação da imagem central, em um sistema binauralizador para reprodução através de um conjunto de fones de ouvido 19.

[0018] Considera-se, por exemplo, um sinal de entrada de áudio chamado centro panoramizado *MonoInput*, por exemplo, dividido entre as duas entradas de canal. Por exemplo, supõe-se que dois sinais: *LeftAudio* e *RightAudio* são criados como:

$$\begin{aligned} \text{LeftAudio} &= \frac{\text{MonoInput}}{2} \\ \text{RightAudio} &= \frac{\text{MonoInput}}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

[0019] Os resultados de um sinal panoramizado central para reprodução em alto-falante estéreo são destinados a serem percebidos como um sinal que emana do centro frontal.

[0020] Se as entradas *LeftAudio* e *RightAudio* da Eq. 4 são introduzidas no binauralizador da figura 2, a orelha esquerda 22 e a orelha direita 23 são alimentadas com sinais, denotados *LeftEar* e *RightEar*, respectivamente, com:

$$\begin{aligned} \text{LeftEar} &= \text{HRTF}_{\text{near}} \otimes \text{LeftAudio} + \text{HRTF}_{\text{far}} \otimes \text{RightAudio} \\ \text{RightEar} &= \text{HRTF}'_{\text{near}} \otimes \text{RightAudio} + \text{HRTF}_{\text{far}} \otimes \text{LeftAudio} \end{aligned} \quad (5)$$

[0021] Onde  $\otimes$  denota a operação de filtragem, por exemplo, no

caso em que  $HRTF_{near}$  é expressa como uma resposta a um impulso e  $LeftAudio$  como uma entrada no domínio de tempo,  $HRTF_{near} \otimes LeftAudio$  denota convolução. Assim, através da combinação das Equações acima:

$$\begin{aligned}
 LeftEar &= HRTF_{near} \otimes \frac{MonoInput}{2} + HRTF_{far} \otimes \frac{MonoInput}{2} \\
 &= \frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2} \otimes MonoInput \\
 RightEar &= HRTF_{near} \otimes \frac{MonoInput}{2} + HRTF_{far} \otimes \frac{MonoInput}{2} \\
 &= \frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2} \otimes MonoInput
 \end{aligned} \tag{6}$$

[0022] É desejado que essa divisão de uma entrada apresente a sensação de audição em uma posição de alto-falante virtual de 0°, isto é, às orelhas esquerda e direita é apresentado um estímulo que corresponde a um par de HRTF 0°. Na prática, isso não acontece, de modo que um ouvinte 20 não percebe que o sinal *MonoInput* é de um alto-falante virtual, localizado centralmente entre os alto-falantes virtuais esquerdo e direito 37 e 38. Similarmente, a divisão desigual de um sinal entre as entradas de canal esquerda e direita e, então, binauralizando através de um binauralizador, tal como mostrado na figura 2, falha em criar corretamente a ilusão da localização virtual desejada da fonte entre os alto-falantes virtuais esquerdo e direito.

[0023] Desse modo, há uma necessidade na técnica de um sistema binauralizador e binauralizante que cria a ilusão para um ouvinte 20 de um som que emana de uma localização entre as localizações dos alto-falantes virtuais esquerdo e direito de um sistema binauralizador, onde por localizações de alto-falantes virtuais esquerdo e direito se quer dizer as localizações supostas para uma entrada de canal esquerda e a entrada de canal direita.

[0024] Um sinal que é destinado a parecer vir da parte traseira central, por exemplo, através da divisão de um sinal mono nas entradas de canal traseiro esquerdo e traseiro direito, tipicamente, não será



percebido vir da parte traseira central, quando reproduzido em fones de ouvido 19 através de um binauralizador, que usa filtros de HRTF traseiros simétricos objetivados na colocação dos alto-falantes traseiros em localizações de alto-falantes virtuais traseiros simétricos.

[0025] Desse modo, há uma necessidade na técnica também de um sistema binauralizador e binauralizante que cria a ilusão para um ouvinte 20 de um som que emana da localização central traseira para sinais de alto-falantes traseiros, por exemplo, sinais de som *surround* de um sistema de quatro ou cinco canais, criado por panoramização central de um sinal entre os alto-falantes traseiros virtuais esquerdo e direito (*surround*).

### Sumário

[0026] Descritos aqui em diferentes modalidades e aspectos estão um método para processar sinais de áudio, um aparelho aceitando sinais de áudio, um meio transportador, que transporta instruções para um processador a fim de implementar o método para processar sinais de áudio e um meio transportador conduzindo dados de filtro para implementar um filtro de sinais de áudio. Quando as entradas incluem um sinal panoramizado, cada uma dessas proporciona a um ouvinte 20 a sensação de que o componente de sinal panoramizado emana de uma fonte de som virtual em uma localização central.

[0027] Um aspecto da invenção é um método que inclui a filtragem de um par de sinais de entrada de áudio por um processo que produz um par de sinais de saída correspondendo aos resultados de: filtragem de cada um dos sinais de entrada com um par de filtros de HRTF e somando os sinais de HRTF filtrados. O par de filtros de HRTF é tal que um ouvinte 20 que ouve o par de sinais de saída através de fones de ouvido 19 experimenta sons de um par de localizações desejadas de alto-falantes virtuais. Além disso, a filtragem é tal que, no caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal

panoramizado, o ouvinte 20 que ouve o par de sinais de saída através de fones de ouvido 19 é provido da sensação de que o componente de sinal panoramizado emana de uma fonte de som virtual em uma localização central entre as localizações de alto-falantes virtuais.

[0028] Outra modalidade de método inclui a equalização de um par de sinais de entrada de áudio por um filtro de equalização e binauralização dos sinais de entrada equalizados usando pares de HRTF para proporcionar um par de saídas binauralizadas que proporcionam a um ouvinte 20, que escuta a saída binauralizada através de fones de ouvido 19, a ilusão de que sons correspondentes aos sinais de entrada de áudio emanam de uma primeira e de uma segunda localização de alto-falantes virtuais. Os elementos do método são dispostos de modo que a combinação da equalização e da binauralização é equivalente à binauralização usando pares de HRTF equalizados, cada HRTF equalizada dos pares de HRTF equalizados sendo a HRTF correspondente para a binauralização dos sinais equalizados, que são equalizados pelo filtro de equalização. A média das HRTFs equalizadas iguala substancialmente uma HRTF desejada para o ouvinte 20 que ouve um som que emana de uma localização central entre as primeira e segunda localizações de alto-falantes virtuais. No caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal panoramizado, ao ouvinte 20 que escuta o par de saídas binauralizadas através dos fones de ouvido 19 é proporcionada a sensação de que o componente de sinal panoramizado emana de uma fonte de som virtual na localização central.

[0029] Outro aspecto da invenção é um meio transportador que conduz dados de filtro para um conjunto de filtros de HRTF para processamento de um par de sinais de entrada de áudio para proporcionar a um ouvinte 20 que escuta os sinais processados através de fones de ouvido 19 a ilusão de que sons aproximadamente correspon-

dentes aos sinais de entrada de áudio de uma localização de primeiro e segundo alto-falantes virtuais, os filtros de HRTF projetados de modo que a média dos filtros de HRTF se aproxima da resposta de HRTF do ouvinte 20 que escuta um som de uma localização central entre as primeira e segunda localizações de alto-falantes virtuais.

[0030] Outro aspecto da invenção é um meio transportador que conduz dados de filtro para um conjunto de filtros de HRTF para processamento de um par de sinais de entrada de áudio para proporcionar a um ouvinte 20 que escuta os sinais processados através de fones de ouvido 19 a ilusão de que sons correspondentes aos sinais de entrada de áudio emanam de uma primeira e de uma segunda localizações de alto-falantes virtuais, de modo que um componente de sinal panoramizado entre cada um do par de sinais de entrada de áudio proporciona ao ouvinte 20 que escuta os sinais processados através de fones de ouvido 19 a ilusão de que o componente de sinal panoramizado emanou de uma localização central entre as primeira e segunda localizações de alto-falantes virtuais.

[0031] Outro aspecto da invenção é um método que inclui a aceitação de um par de sinais de entrada de áudio para reprodução de áudio, embaralhamento dos sinais de entrada para criar um primeiro sinal ("sinal de soma") proporcional à soma dos sinais de entrada e um segundo sinal ("sinal de diferença") proporcional à diferença dos sinais de entrada e filtragem do sinal de soma através de um filtro que aproxima a soma de uma versão equalizada de uma HRTF perto da orelha e uma versão equalizada de uma HRTF longe da orelha. As HRTFs perto da orelha e longe da orelha são para um ouvinte 20 que escuta um par de alto-falantes virtuais em localizações de alto-falantes virtuais correspondentes. As versões equalizadas são obtidas usando um filtro de equalização projetado de modo que a média da HRTF perto da orelha equalizada aproxima uma HRTF central para um ouvinte 20 que

escuta uma fonte de som virtual em uma localização central entre as localizações de alto-falantes virtuais. O método ainda inclui a filtragem do sinal de diferença através de um filtro que aproximou a diferença entre a versão equalizada da HRTF perto da orelha e a versão equalizada da HRTF longe da orelha para o ouvinte 20 que escuta o par de alto-falantes virtuais. O método ainda inclui o desembaralhamento do sinal de soma filtrado e do sinal de diferença filtrado para criar um primeiro sinal de saída proporcional à soma dos sinais de soma filtrados e de diferença filtrados e um segundo sinal de saída proporcional à diferença dos sinais de soma filtrados e de diferença filtrados. O método é tal que, no caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal panoramizado, ao ouvinte 20 que escuta os primeiro e segundo sinais de saída através de fones de ouvido 19 é proporcionada a sensação de que o componente de sinal panoramizado emana da fonte de som virtual na localização central.

[0032] Outro aspecto da invenção é um método que inclui a filtragem de um par de sinais de entrada de áudio para reprodução de áudio, a filtragem por um processo que produz um par de sinais de saída correspondendo aos resultados de filtragem de cada um dos sinais de entrada com um par de filtros de HRTF, adição dos sinais filtrados de HRTF e cancelamento por diafonia dos sinais filtrados de HRTF. O cancelamento de diafonia dos sinais filtrados de HRTF somados. O cancelamento de diafonia é para um ouvinte 20 que escuta o par de sinais de saída através de alto-falantes localizados em um primeiro conjunto de localizações de alto-falantes. O par de filtros de HRTF é tal que um ouvinte 20 que escuta o par de sinais de saída experimenta sons de um par de alto-falantes virtuais em localizações de alto-falantes virtuais desejados. A filtragem é tal que, no caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal panoramizado, a um ouvinte 20 que escuta o par de sinais de saída através

do par de alto-falantes no primeiro conjunto de localizações de alto-falantes é proporcionada a sensação de que o componente de sinal panoramizado emana de uma fonte de som virtual em uma localização central entre as localizações de alto-falantes virtuais desejadas.

[0033] Outro aspecto da invenção é um método que inclui a aceitação de um par de sinais de entrada de áudio para reprodução de áudio, embaralhamento dos sinais de entrada para criar um primeiro sinal ("sinal de soma") proporcional à soma dos sinais de entrada e um segundo sinal ("sinal de diferença") proporcional à diferença dos sinais de entrada, filtragem do sinal de soma através de um filtro que aproxima duas vezes uma HRTF central para um ouvinte 20 que escuta uma fonte de som virtual em uma localização central, filtragem do sinal de diferença através de um filtro que aproxima a diferença entre uma HRTF perto da orelha e uma HRTF longe da orelha para o ouvinte 20 que escuta um par de alto-falantes virtuais e desembaralhamento do sinal de soma filtrado e a diferença de sinal filtrado para criar um primeiro sinal de saída proporcional à soma dos sinais de soma filtrados e de diferença filtrados e um segundo sinal de saída proporcional à diferença dos sinais de soma filtrados e de diferença filtrados. O método é tal que, no caso em que o par de sinais de entrada de áudio inclui um componente de sinal panoramizado, ao ouvinte 20 que escuta os primeiro e segundo sinais de saída através de fones de ouvido 19 é proporcionada a sensação de que o componente de sinal panoramizado emana da fonte de som virtual na localização central.

[0034] Em uma versão do método, o filtro que aproxima duas vezes a HRTF central é obtido como a soma de versões equalizadas da HRTF perto da orelha e HRTF longe da orelha, respectivamente, obtidas pela filtragem da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, respectivamente, por um filtro de equalização e em que o filtro que aproxima a diferença entre a HRTF perto da orelha e a HRTF longe da

orelha é um filtro que tem uma resposta substancialmente igual à diferença entre as versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

[0035] Em uma versão do método, o filtro de equalização é um filtro inverso para um filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha. Em uma modalidade particular, a resposta de filtro de equalização é determinada pela inversão no domínio da frequência de uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

[0036] Em outra modalidade particular, a resposta do filtro de equalização é determinada por um método de filtro adaptativo para inverter uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

[0037] Em uma versão do método, o filtro que aproxima duas vezes a HRTF central é um filtro que tem uma resposta substancialmente igual a duas vezes uma HRTF central desejada.

[0038] Em uma disposição particular, os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, o par de alto-falantes virtuais estão em uma localização de alto-falante virtual esquerdo e uma localização de alto-falante virtual direito simétrica em torno do ouvinte 20 e o ouvinte 20 e a audição são simétricas de modo que a HRTF perto da orelha é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e de modo que a HRTF longe é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

[0039] Em uma modalidade exemplificativa do método, os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, o par de alto-falantes virtuais está em uma localização de alto-falante virtual esquerdo e uma localização de alto-falante virtual direito

e a HRTF perto é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e em que a HRTF longe é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

[0040] Em outra modalidade exemplificativa, os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita e o par de alto-falantes virtuais está em uma localização de alto-falante virtual frontal esquerdo e uma localização de alto-falante virtual frontal direito na frente do ouvinte 20.

[0041] Outros aspectos e características estarão claros da descrição, dos desenhos e das reivindicações.

#### Breve Descrição dos Desenhos

[0042] A figura 1 mostra um sistema de reprodução binaural comum que inclui o processamento de múltiplos canais de áudio por uma pluralidade de filtros de HRTF para proporcionar a um ouvinte 20 a impressão de que cada um dos canais de áudio de entrada está sendo apresentado de uma direção particular. Embora um binauralizador tendo a estrutura da figura 1 pode ser da técnica anterior, um binauralizador com filtros selecionados de acordo com um ou mais dos aspectos da invenção aqui descrito não é técnica anterior.

[0043] A figura 2 mostra um sistema de binauralizador estéreo que inclui duas entradas de áudio, uma entrada de canal esquerda 31 e uma entrada de canal direita 32, cada uma processada através de um par de filtros de HRTF. Embora binauralizadores tendo a estrutura da figura 1 possam ser da técnica anterior, um binauralizador com filtros selecionados de acordo com um ou mais dos aspectos da invenção aqui descrito não é técnica anterior.

[0044] A figura 3 mostra, diagramaticamente, um exemplo de HRTFs para três ângulos de fonte para um alto-falante virtual esquer-

do, um alto-falante virtual direito e uma localização central.

[0045] As figuras 4A, 4B, 4C e 4D ilustram alguns filtros de HRTF típicos para uso em um binauralizador para colocar alto-falantes virtuais em  $\theta = \pm 45^\circ$ . A figura 4A mostra uma HRTF de  $0^\circ$ , a figura 4B mostra HRTF perto da orelha, a figura 4C uma HRTF longe da orelha e a figura 4D mostra a média das HRTFs de perto e longe da orelha.

[0046] As figuras 5A - 5D mostram como a equalização pode ser usada para modificar os filtros de HRTF de perto e de longe de modo que a soma corresponde mais intimamente à HRTF de  $0^\circ$ . A figura 5A mostra a resposta de impulso do filtro de equalização a ser aplicado às HRTFs de perto e de longe. As figuras 5B e 5C, respectivamente, mostram HRTFs perto da orelha e longe da orelha, de acordo com aspectos da invenção.

[0047] A figura 6 mostra a resposta da magnitude de frequência de um filtro de equalização projetado de acordo com um aspecto da presente invenção. A figura 7 mostra uma primeira modalidade de um binauralizador usando filtros de HRTF equalizados determinados de acordo com aspectos da presente invenção.

[0048] A figura 8 mostra uma segunda modalidade de um binauralizador usando filtros de HRTF equalizados determinados de acordo com aspectos da presente invenção, usando uma rede de embaralhadores (um “embaralhador”).

[0049] A figura 9 mostra outra modalidade de embaralhador de um binauralizador usando um filtro de sinal de soma que é o filtro de HRTF central desejado, de acordo com um aspecto da invenção.

[0050] A figura 10 mostra uma modalidade de filtro de binauralização de diafonia cancelada, incluindo uma cascata de um binauralizador para colocar alto-falantes virtuais nas localizações desejadas e um cancelador de diafonia. A parte do binauralizador incorpora aspectos da presente invenção.



[0051] A figura 11 mostra uma modalidade alternativa de um filtro de binauralização de diafonia cancelada que inclui quatro filtros.

[0052] A figura 12 mostra outra modalidade de um filtro de binauralização de diafonia cancelada que inclui uma rede de embaralhadores, um filtro de sinal de soma e uma rede de filtros de diferença.

[0053] A figura 13 mostra uma modalidade baseada em dispositivo DSP de um sistema de processamento de áudio para processar um par de entradas estéreo de acordo com aspectos da invenção.

[0054] A figura 14A mostra uma modalidade de binauralizador baseada em sistema de processamento que aceita cinco canais de informação de áudio e inclui aspectos da presente invenção para criar a impressão em um ouvinte 20 que um sinal panoramizado central traseiro emana da parte traseira central do ouvinte 20.

[0055] A figura 14B mostra uma modalidade de binauralizador baseado em sistema de processamento que aceita quatro canais de informação de áudio e inclui aspectos da presente invenção para criar a impressão em um ouvinte 20 de que um sinal panoramizado de centro frontal emana da parte frontal central do ouvinte 20 de que um sinal panoramizado central traseiro emana da parte traseira central do ouvinte 20.

#### Descrição Detalhada

[0056] Um aspecto da presente invenção é um binauralizador e um método de binauralização que, para o caso de um par de entradas estéreo usa pares de HRTFs medidos ou supostos para duas fontes em um primeiro ângulo de fonte e um segundo ângulo de fonte para binauralizar o par de entradas estéreo para mais de dois ângulos de fonte, por exemplo, para criar a ilusão de que um sinal que é panoramizado entre o par de entradas estéreo está emanando de uma fonte em um terceiro ângulo de fonte entre os primeiro e segundo ângulos de fonte.

[0057] A figura 3 mostra um exemplo de HRTFs para três ângulos de fonte, um primeiro ângulo azimutal, denotado  $\theta$  para um alto-falante virtual esquerdo, um ângulo para um alto-falante virtual direito, que, na figura 3, é  $-\theta$  sob a suposição de simetria e um alto-falante virtual central em um ângulo de 0 graus, isto é, a meio caminho entre os alto-falantes virtuais esquerdo e direito. Para o alto-falante virtual central, o par de HRTF é denotado como o par  $HRTF(0,L)$  e  $HRTF(0,R)$ , respectivamente. O par de HRTF alto-falante virtual esquerdo é denotado como o par  $HRTF(\theta,L)$  e  $HRTF(\theta,R)$ , respectivamente e o par de HRTF de alto-falante virtual direito é denotado como o par  $HRTF(-\theta,L)$  e  $HRTF(-\theta,R)$ , respectivamente.

[0058] É desejado binauralizar uma entrada estéreo de modo que o som pareça vir de alto-falantes virtuais em ângulos azimutais  $\pm\theta$ . Como discutido na seção ANTECEDENTES, o inventor verificou que um sinal central panoramizado, quando reproduzido através de um sistema de reprodução binaural tradicional, tal como aquele da figura 2 para alto-falantes virtuais em ângulos azimutais virtuais  $\pm\theta$ , usualmente, proporciona a um ouvinte 20 uma imagem central imperfeita. Isto é, o binauralizador não aproxima  $HRTF(\theta,L)$  e  $HRTF(\theta,R)$ , igualmente.

[0059] Fazendo referência à figura 2 e às Equações 1 - 6, quando uma entrada denotada *MonoInput* é dividida entre as entradas de canal esquerdo 31e direito 32 e processada pelo sistema estéreo-binaural da figura 2, o estímulo nas orelhas esquerda e direita do ouvinte 20, *LeftEar* e *RightEar*, respectivamente, são, supondo simetria:

$$LeftEar = RightEar = \frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2} \otimes MonoInput \quad (7)$$

[0060] É desejado que:

$$\begin{aligned} LeftEar &= HRTF(0,L) \otimes MonoInput \\ RightEar &= HRTF(0,R) \otimes MonoInput \end{aligned} \quad (8)$$

de modo que o ouvinte 20 tem a ilusão de que *MonoInput* emana de uma localização central. Suponhamos que medições de HRTF mostrem simetria perfeita. Desse modo, supõe-se que  $HRTF(\theta, L) = HRTF(\theta, R)$  e denotam essa quantidade como  $HRTF_{cir}$ . Portanto, é desejado que para o sinal dividido nas entradas esquerda e direita,

$$LeftEar = RightEar = HRTF_{cir} \otimes MonoInput . \quad (9)$$

[0061] Comparando as Equações 7 e 9, para proporcionar ao ouvinte 20 a percepção correta da direção de *MonoInput*, denominada uma boa “imagem central fantasma” é desejado que:

$$\frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2} = HRTF_{cir} . \quad (10)$$

[0062] De acordo com uma primeira modalidade da invenção, um filtro de equalização é aplicado às entradas. A restrição do filtro de equalização para que seja um filtro invariável de tempo linear, a filtragem desse filtro de equalização pode ser aplicada (a) aos sinais de entrada de canais esquerdo 31 e direito 32 antes da binauralização ou (b) às HRTFs medidas ou supostas para o ouvinte 20 para as localizações de alto-falantes virtuais esquerdo 37 e direito 38, de modo que a média das HRTFs de perto e de longe resultantes aproxima a HRTF de centro fantasma desejada. Isto é,

$$\frac{HRTF'_{near} + HRTF'_{far}}{2} \approx HRTF_{cir} \quad (11)$$

onde  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$  são os filtros de  $HRTF_{near}$  e  $HRTF_{far}$  que incluem equalização.

[0063] Denota-se por  $EQ_c$  a resposta do filtro de equalização, por exemplo, resposta de impulso. Aplicar esse filtro às entradas de canais esquerdo 31 e direito 32 antes da binauralização é equivalente à binauralização com filtros de  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$ , determinados dos pares de  $\theta$  e  $-\theta$  HRTF denotados  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$  e o filtro de equali-

zação como segue, supondo simetria:

$$\begin{aligned} HRTF'_{near} &= HRTF_{near} \otimes EQ_C \\ HRTF'_{far} &= HRTF_{far} \otimes EQ_C \end{aligned} \quad (12)$$

[0064] Combinando com a Eq. 11 leva à relação desejada.

$$\frac{HRTF'_{near} \otimes EQ_C + HRTF'_{far} \otimes EQ_C}{2} = HRTF_{dr} \quad (13)$$

[0065] Em uma modalidade, o filtro de equalização é obtido por um filtro de equalização que é a combinação do filtro de HRTF desejado e um filtro inverso. Em particular, a Eq. 13 é satisfeita por um filtro de equalização dado por:

$$EQ_C = HRTF_{dr} \otimes \text{inverse}\left(\frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2}\right), \quad (14)$$

[0066] Onde  $\text{inverse}()$ , denotou a operação de filtragem inversa, de modo que, se X e Y são filtros especificados no domínio de tempo, por exemplo, como respostas de impulsos,  $Y = \text{inverse}(X)$  implica em que  $Y \otimes X$  é uma função delta, onde  $\otimes$  é convolução.

[0067] Muitos métodos são conhecidos na técnica para construção de um filtro inverso. A filtragem inversa também é conhecida na técnica como desconvolução. Em uma primeira implementação, onde X e Y são para filtros de FIR especificados por um vetor de comprimento finito, representando a resposta de impulso, forma-se uma matriz de Toeplitz baseada em Y, denotada Toeplitz(Y). O vetor X é um vetor de comprimento finito escolhido de modo que Toeplitz(Y)  $\otimes$  Toeplitz(X) está perto de uma função delta. Isto é, Toeplitz(Y) Toeplitz(X) está perto de uma matriz de identidade, com erro sendo minimizado em um sentido de mínimos quadrados. Em uma implementação, usa-se método iterativo para determinar esse inverso.

[0068] A presente invenção não está restrita a qualquer método particular de determinação do filtro inverso. Um método alternativo estrutura o problema da filtragem inversa como um problema de desenho

de filtro adaptativo. Um filtro FIR de resposta de impulso X, o comprimento  $m_1$  é seguido por um filtro FIR de resposta de impulso Y de comprimento  $m_2$ . Uma saída de referência de retardo de uma entrada é subtraída da saída dos filtros em cascata X e Y para produzir um sinal de erro. Os coeficientes de Y são mudados adaptativamente para minimizar o sinal de erro quadrático médio. Esse é um problema de filtro adaptativo padrão, resolvido por método padrão, tais como o método dos mínimos quadrados médios (LMS) ou uma variação chamada o método LMS normalizado. Veja, por exemplo, S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", 3ª Ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996. Outros métodos de determinação de filtragem inversa também podem ser usados.

[0069] Ainda outra modalidade do filtro inverso é determinada no domínio da frequência. O inventor produz uma biblioteca de filtros de HRTF para uso com binauralizadores. Esses filtros de HRTF predeterminados são conhecidos por se comportarem uniformemente no domínio da frequência, de modo que suas respostas em frequência são conhecidas por serem invertíveis para produzir um filtro cuja resposta em frequência é o inverso daquela do filtro de HRTF. O método de criação de um filtro inverso é inverter

$$\frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2}$$

para esses filtros de HRTF que são conhecidos por funcionarem bem.

[0070] Ainda em outra modalidade, o filtro

$$\frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2}$$

é invertido no domínio da frequência como segue:

[0071] Transformar a resposta de impulso no domínio da frequência.

[0072] Aplicar um nivelamento à resposta de amplitude, por exemplo, em uma escala logarítmica no domínio da frequência, por exem-

plo, na resolução de 1/3 oitava. O nivelamento é para forçar a resposta de amplitude nivelada a funcionar bem e, assim, ser invertível.

[0073] Inverter a resposta de amplitude nivelada.

[0074] Adicionar resposta de fase ao filtro de amplitude nivelada invertida, de modo que o filtro resultante é um filtro de fase mínima. A fase original do filtro antes da inversão não é usada.

[0075] Desse modo, uma primeira modalidade inclui o uso de um filtro de equalização denotado  $EQ_c$  que em uma modalidade é computado como:

$$EQ_c = HRTF_{ctr} \otimes \text{inverse} \left( \frac{HRTF_{near} + HRTF_{far}}{2} \right)$$

para modificar a  $HRTF'_{near}$  e a  $HRTF'_{far}$  para criar filtros de HRTF equalizados  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$  agora não são mais iguais à  $HRTF(\theta, L)$  e  $HRTF(\theta, R)$ , isto é,  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$ , como seria ideal. Na verdade, os sinais de entradas de áudio de canal esquerda e direita agora têm uma equalização global a eles aplicada.

[0076] Em geral, foi verificado que essa equalização não causa deterioração indevida do processo global, pelo fato de que os ouvintes não percebem os sons dos alto-falantes virtuais esquerdo e direito como sendo ruins.

[0077] O par de HRTF equalizado resultante,  $HRTF'_{near}$  e  $HRTF'_{far}$ , satisfazem os seguintes critérios:

1. A resposta do sistema, quando o sinal de entrada é panoramizado completamente para a esquerda ou para a direita é equivalente à resposta de HRTF desejada para as localizações selecionadas de fontes de som, denotadas  $\theta$  e  $-\theta$ , mas com uma equalização global relativamente benigna,  $EQ_c$ , aplicada.

2. A resposta do sistema, quando o sinal de entrada é panoramizado no centro, é muito perto da resposta de HRTF para uma fonte de  $0^\circ$ .

[0078] As figuras 4A, 4B, 4C e 4D ilustram alguns filtros de HRTF típicos para uso em um binauralizador para colocar alto-falantes virtuais em  $\theta = \pm 45^\circ$ . A figura 4A mostra a HRTF de  $0^\circ$  medida, que é o filtro central desejado, denotado  $HRTF_{\text{center}}$ , a figura 4B mostra a HRTF de  $45^\circ$  perto da orelha medida, a  $HRTF'_{\text{near}}$  usada no binauralizador. A figura 4C mostra a HRTF de  $45^\circ$  longe da orelha medida,  $HRTF'_{\text{far}}$ , usada no binauralizador e a figura 4D mostra a média das HRTFs de  $45^\circ$  perto e longe da orelha. Pode ser visto que a soma das HRTFs perto e longe não correspondem à HRTF de  $0^\circ$  desejada.

[0079] As figuras 5A-5D mostram como a equalização pode ser usada para modificar os filtros de HRTF de perto e longe de modo que a soma corresponde mais intimamente à HRTF de  $0^\circ$  desejada. A figura 5A mostra a resposta de impulso do filtro de equalização  $EQ_c$  a ser aplicada à  $HRTF'_{\text{near}}$  e à  $HRTF'_{\text{far}}$ . A figura 5B mostra a HRTF de  $45^\circ$  perto da orelha após a equalização, isto é,  $HRTF'_{\text{near}}$  e a figura 5D mostra a média resultante da HRTF perto equalizada e as HRTFs longe equalizadas. Comparando a figura 5D com a figura 4A, pode ser visto que a média de HRTFs de perto e longe equalizadas corresponde intimamente à HRTF de  $0^\circ$  medida.

[0080] A figura 6 mostra a resposta de magnitude de frequência do filtro de equalização  $EQ_c$ .

[0081] Uma vez que se determina os coeficientes de filtro para filtros de FIR  $HRTF'_{\text{near}}$  e  $HRTF'_{\text{far}}$ , as figuras 7 e 8 mostram duas implementações alternativas de binauralizadores, usando esses filtros de HRTF equalizados determinados. A figura 7 mostra uma primeira implementação 40 em que quatro filtros: dois filtros de perto 41 e 44 de respostas de impulso  $HRTF'_{\text{near}}$  e dois filtros distantes 42 e 43 de respostas de impulso  $HRTF'_{\text{far}}$  são usados para criar sinais a serem adicionados pelos somadores 45 e 46 a fim de produzir o sinal da orelha esquerda e o sinal da orelha direita.

[0082] A figura 8 mostra uma segunda implementação 50, que usa a estrutura de embaralhamento primeiro proposta por Cooper e Bauck. Veja, por exemplo, a Patente norte-americana 4.893.342, para Cooper e Bauck, intitulada HEAD DIFFRACTION COMPENSATED STEREO SYSTEM. Um embaralhador que inclui um somador 51 e um subtrator 52 produz um primeiro sinal que é uma soma dos sinais de entrada de áudio esquerda e direita e um segundo sinal, que é a diferença dos sinais de áudio esquerdo e direito. Na implementação do embaralhador 50, apenas dois filtros são requeridos, um filtro de soma 53, tendo uma resposta de impulso  $HRTF'_{near} + HRTF'_{far}$  para o primeiro sinal embaralhado: o sinal de soma, e um filtro de diferença 54, tendo uma resposta de impulso  $HRTF'_{near} - HRTF'_{far}$  para o segundo sinal embaralhado: o sinal de diferença. Os sinais resultantes são agora desembaralhados em uma rede de desembaralhadores (um “desembaralhador”) que reverte a operação de um embaralhador 50 e inclui um somador 55 para produzir o sinal da orelha esquerda e um subtrator 56 para produzir o sinal da orelha direita. O escalonamento pode ser incluído, por exemplo, como dividir por dois atenuadores 57 e 58 em cada percurso ou uma série de atenuadores divididos em partes diferentes do circuito.

[0083] Nota-se na figura 8 que o filtro de soma 53 tem uma resposta de impulso que, através da equalização das HRTFs perto e longe é aproximadamente igual à resposta de centro de filtro de HRTF desejada,  $2 \cdot HRTF_{center}$ . Isso faz sentido uma vez que o filtro de soma seguido pela rede de desembaralhadores 55, 56 e atenuadores 57, 58 é basicamente um par de filtros de HRTF para um sinal panoramizado de centro.

[0084] Em um método alternativo, em lugar de pré-equalizar as HRTFs perto e longe, uma estrutura de embaralhador similar à da figura 8 é usada, mas com o filtro de soma 53 substituído pelo dobro do



filtro de HRTF de centro desejado.

[0085] Essa implementação é mostrada na figura 9 e corresponde a:

- . processamento do primeiro sinal do embaralhador, isto é, o sinal de soma proporcional à soma das entradas de canal esquerda e direita, usando um filtro que forma uma imagem de alto-falante virtual localizado no centro para um componente de sinal panoramizado de centro.

- . processamento do segundo sinal do embaralhador, isto é, o sinal de diferença proporcional à soma das entradas de canal esquerda e direita, de modo que as entradas esquerda e direita são processadas, aproximadamente, de modo a localizar em localizações desejadas de alto-falantes virtuais esquerdo e direito.

[0086] A modalidade da figura 9 consegue isso através do uso de uma rede de desembaralhadores que inclui o somador 51 e o subtrator 52 para produzir os sinais de centro e de diferença. Embora a modalidade da figura 9 substitua o filtro de soma por um filtro de soma 59, que tem duas vezes a resposta de HRTF de centro desejada e usa para o filtro de diferença 60 uma resposta igual ao filtro de diferença não equalizado. Esse método proporciona a imagem de HRTF de centro de alta qualidade desejada, às custas de um erro de localização nos sinais Esquerdo e Direito.

[0087] Portanto, foram apresentados um primeiro e um segundo conjunto de modalidades como segue:

1. Começando com HRTF's de alto-falantes virtuais de perto e longe, aplicar filtragem de equalização a essas HRTF's de alto-falantes virtuais de perto e longe, de modo a forçar a soma das HRTF's de perto e longe para aproximar duas vezes a HRTF de centro desejada. Isso proporciona a um ouvinte 20 a imagem de HRTF de centro de alta qualidade desejada, às custas de uma variação de equali-

zação nos sinais esquerdo e direito percebidos. Foi verificado que esse erro de equalização não é desagradável.

2. Começando com as HRTF's de alto-falantes virtuais de perto e longe e a HRTF de centro desejada, determinam o filtro de diferença como a diferença dos filtros de HRTF de perto e longe. Construir um sinal de soma e um sinal de diferença, por exemplo, usando uma rede de desembaralhadores. Aplicar o filtro de HRTF de centro desejado ao sinal de soma e aplicar um filtro com uma resposta proporcional à diferença dos filtros de HRTF de alto-falantes de perto e de longe ao sinal de diferença. Desembaralhar os dois sinais filtrados resultantes e aplique às orelhas esquerda e direita, por exemplo, através de fones de ouvido 19. Isso proporciona ao ouvinte 20 a imagem de centro de alta qualidade desejada, às custas de um erro de localização nos sinais de alto-falantes virtuais esquerdo e direito.

[0088] Um terceiro conjunto de modalidades combina as duas versões 1. e 2. como segue:

3. Usar o método numerado 1 acima para produzir filtros de soma e de diferença com base em HRTFs equalizadas de perto e de longe. Obter a média da soma das respostas de filtro equalizado com a HRTF de centro desejada para produzir um filtro de sinal de soma médio. Calcular a média das respostas de filtro equalizadas com a diferença dos filtros de HRTF não equalizados para produzir um filtro de sinal de diferença médio. Construir um sinal de soma e um sinal de diferença, por exemplo, usando uma rede de desembaralhadores. Aplicar o filtro de soma médio desejado ao sinal de soma e aplicar o filtro de sinal de diferença médio ao sinal de diferença. Desembaralhar os dois sinais filtrados resultantes e aplicar às orelhas esquerda e direita, por exemplo, por meio de fones de ouvido 19. Isso proporciona ao ouvinte 20 a imagem de HRTF de centro de alta qualidade desejada, às custas de uma variação de EQ e um erro de localização nos

sinais Esquerdo e Direito.

[0089] Outras modalidades alternativas são possíveis para proporcionar um compromisso entre a qualidade da imagem de centro e a qualidade das imagens esquerda e direita. Em uma primeira dessas modalidades, o filtro de equalização, por exemplo, aquele da figura 6 para os alto-falantes virtuais em  $\pm 45^\circ$ , é modificado, de modo a ser apenas parcialmente efetivo, resultando em um conjunto de HRTFs que têm uma imagem de centro ligeiramente menos clara do que as HRTFs descritas no primeiro conjunto de modalidades, mas com a vantagem de que os sinais esquerdo e direito não são coloridos tanto quanto ocorreria com os filtros de HRTF equalizados descritos no primeiro conjunto de modalidades descrito acima.

[0090] Como um exemplo mais específico, um equalizador é produzido dividindo ao meio (em uma escala de dB) a curva de equalização da figura 6, de modo que, em cada frequência, o efeito do filtro é dividido ao meio e, igualmente, a resposta de fase do filtro de equalização (não mostrada) é dividida ao meio, ao mesmo tempo em que se mantém a resposta de fase que funciona bem, por exemplo, mantendo um filtro de fase mínimo. O filtro resultante é tal que um par desses filtros de equalização em cascata proporcionam a mesma resposta que o filtro mostrado na figura 6. Esse filtro de equalização é usado para equalizar os filtros de HRTF medidos para as localizações de alto-falantes desejadas. Quando os sinais resultantes são reproduzidos para um ouvinte 20, o inventor verificou que os filtros de HRTF equalizados de perto e de longe resultantes exibem uma imagem de centro parcialmente aperfeiçoada, mas sofrem apenas menos erro de localização nas imagens esquerda e direita.

#### Ângulos maiores de alto-falantes

[0091] Embora a descrição acima mostre a técnica usada para colocar alto-falantes virtuais E e D em frente do ouvinte 20, por exemplo,

$\pm 30$  graus, ou  $\pm 45$  graus, o método e o aparelho aqui descritos funcionam também para ângulos maiores de alto-falantes virtuais, mesmo até  $\pm 90$  graus. Com a reprodução usando alto-falantes reais, a colocação dos alto-falantes cerca de  $\pm 90$  graus em relação ao ouvinte 20, por exemplo, diretamente à esquerda e à direita do ouvinte 20 não localiza corretamente um sinal de centro criado por panoramização, por exemplo, panoramização de centro criada por divisão igual de um sinal mono entre os alto-falantes esquerdo e direito, nesse caso não cria, adequadamente, uma imagem fantasma de centro para reprodução em alto-falante estéreo. No caso de reprodução através de alto-falantes reais, essa panoramização de centro é conhecida por criar, corretamente, a localização do centro para um ouvinte 20, isto é, criar uma imagem fantasma de centro para reprodução em alto-falante estéreo, apenas quando os alto-falantes estéreo são colocados simetricamente em frente do ouvinte 20 em não mais do que cerca de  $\pm 45$  graus em relação ao ouvinte 20. Aspectos da presente invenção proporcionam a reprodução através de fones de ouvido 19 com localização de imagem frontal-central dos alto-falantes virtuais esquerdo e direito em até  $\pm 90$  graus em relação ao ouvinte 20.

#### Reprodução através de alto-falantes

[0092] Os métodos e aparelhos descritos acima usando filtros de HRTF não são aplicáveis apenas à reprodução binaural de fones de ouvido 19, mas podem ser aplicados à reprodução em alto-falantes estéreo. Técnicas para criação do efeito de localização do som através de alto-falantes, isto é, técnicas para a criação de imagens fantasmas de fontes de som através de reprodução em alto-falante são bem conhecidas no campo e são comumente referidas como técnicas de “diafonia binaural cancelada” e filtros “transaurais”. Veja, por exemplo, a patente norte-americana 3.236.949 para Atal e Schroeder intitulada APPARENT SOUND SOURCE TRANSLATOR. A diafonia se refere à

diafonia entre a orelha esquerda e a direita de um ouvinte 20 durante audição, por exemplo, diafonia entre a saída de um alto-falante e a orelha mais afastada do alto-falante. Por exemplo, para um par estéreo de alto-falantes colocados em frente de um ouvinte 20, a diafonia se refere ao som ouvido pela orelha esquerda do alto-falante direito e também ao som ouvido pela orelha direita do alto-falante esquerdo. Como sugestões de som normais são perturbadas por diafonia, a diafonia é conhecida por nublar, significativamente, a localização. O cancelamento da diafonia reverte o efeito da diafonia.

[0093] Para uma entrada mono, um filtro de diafonia cancelada típico inclui dois filtros que processam o sinal de entrada mono para dois alto-falantes, usualmente colocados em frente do ouvinte 20 como um par estéreo regular com os sinais nos alto-falantes destinados a proporcionar um estímulo nas orelhas do ouvinte 20 que corresponde a uma resposta binaural atribuível a uma chegada de som de uma localização de som virtual.

[0094] Como um exemplo, consideram-se dois alto-falantes reais que estão localizados em ângulos de  $\pm 30^\circ$  em frente de um ouvinte 20 e suponhamos ser desejado proporcionar ao ouvinte 20 a ilusão de uma fonte de som em  $\pm 60^\circ$ . A binauralização de diafonia cancelada consegue isso “desfazendo” as HRTFs de  $\pm 30$  graus que são comunicadas pela preparação de alto-falantes físicos e binauralização usando filtros de HRTF de 60 graus.

[0095] Embora essas técnicas de cancelamento de diafonia possam ser aplicadas para criar quase qualquer ângulo de fonte virtual em frente do ouvinte 20 (localizações de fontes virtuais atrás do ouvinte 20 são muito difíceis de alcançar), a imagem frontal de 0 graus é ainda criada, tipicamente, pelo método mais comum de divisão de uma entrada entre os dois alto-falantes, chamada panoramização de centro, em lugar de pelo uso de HRTFs, de modo que a entrada mono a ser

localizada centralmente por um ouvinte 20 seja alimentada aos alto-falantes esquerdo e direito com em torno de 3 a 6 dB de atenuação.

[0096] Supõe-se ser desejado processar um par de sinais de entrada estéreo para reprodução através de alto-falantes que estão localizados em alguns ângulos, por exemplo, em  $\pm 30^\circ$  em frente de um ouvinte 20 e supõe-se ser desejado proporcionar ao ouvinte 20 a ilusão de ouvir um par de alto-falantes localizados em qualquer parte, por exemplo, em ângulos de  $\pm 60^\circ$  em frente do ouvinte 20. Um método da técnica anterior de obtenção disso é criar um binauralizador de diafonia cancelada. A figura 10 mostra um filtro de binauralização de diafonia cancelada implementado como uma cascata de um binauralizador para colocar alto-falantes virtuais nas localizações desejadas, por exemplo, em  $\pm 60^\circ$ . O binauralizador inclui no caso simétrico (ou caso simétrico forçado, por exemplo, por Eq. 3) os dois filtros de HRTF de perto 61, 62, cuja resposta de impulso é denotada filtros de HRTF'<sub>near</sub> 61, 62, cuja resposta de impulso é denotada filtros de HRTF'<sub>near</sub> e HRTF'<sub>far</sub> 63, 64, cuja resposta de impulso é denotada HRTF'<sub>far</sub>. As saídas de cada filtro de perto e longe são adicionadas por somadores 65, 66, para formar os sinais binauralizados esquerdo e direito. O binauralizador é seguido por um cancelador de diafonia para cancelar a diafonia criada nas localizações de alto-falantes reais, por exemplo, em ângulos de  $\pm 30^\circ$ . O cancelador de diafonia aceita os sinais do binauralizador e inclui, no caso simétrico ou caso simétrico forçado, os filtros de cancelamento de diafonia de perto 67, 68 cuja resposta de impulso é denotada  $X_{near}$  e os filtros de cancelamento de diafonia de longe 69, 70, cuja resposta de impulso é denotada  $X_{far}$ , seguido por somadores 71 e 72 para cancelar a diafonia criada nos ângulos de  $\pm 30^\circ$ . As saídas são para um alto-falante esquerdo 73 e um alto-falante direito 74.

[0097] Como cada um dos filtros binauralizadores de perto e de longe e de cancelamento de diafonia é um sistema linear invariável no

tempo, a cascata do binauralizador pode ser representada como um sistema de duas entradas, duas saídas. A figura 11 mostra uma implementação desse binauralizador de diafonia cancelada como quatro filtros 75, 76, 77 e 78 e dois somadores 79 e 80. Os quatro filtros 75, 76, 77 e 78 no caso simétrico (ou simétrico forçado), têm duas respostas de impulso diferentes: uma resposta de impulso de perto denotada  $G_{\text{near}}$  para filtros 75 e 76 e uma resposta de impulso de longe, denotada  $G_{\text{far}}$  para filtros 77 e 78, em que cada um dentre  $G_{\text{near}}$  e  $G_{\text{far}}$  é função dos filtro de HRTF  $\text{HRTF}'_{\text{near}}$  e  $\text{HRTF}'_{\text{far}}$  e os filtros de cancelamento de diafonia  $X_{\text{near}}$  e  $X_{\text{far}}$ .

[0098] Como é bem conhecido, a estrutura simétrica de duas entradas, duas saídas, mostrada na figura 11, também pode ser implementada em uma estrutura mostrada na figura 12. A figura 12 mostra um binauralizador de diafonia cancelada, incluindo uma rede de embaralhamento 90, que tem um somador 81 para produzir um sinal de soma e um subtrator 82 para produzir um sinal de diferença, um filtro de sinal de soma 83 para filtrar o sinal de soma, esse filtro de sinal de soma tendo uma resposta de impulso proporcional a  $G_{\text{near}} + G_{\text{far}}$ , um filtro de diferença 84 para filtrar o sinal de diferença, o filtro de sinal de diferença tendo uma resposta de impulso proporcional a  $G_{\text{near}} - G_{\text{far}}$ , seguido por uma rede de desembaralhamento 91 que também inclui um somador 85 para produzir o sinal de alto-falante esquerdo para um alto-falante esquerdo 73 e um subtrator 86 para produzir um sinal de alto-falante direito para um alto-falante direito 74.

[0099] Desse modo, um filtro de binauralização de diafonia cancelada é implementado por uma estrutura mostrada na figura 12, que é similar às estruturas mostradas na figura 8 e na figura 9.

[00100] Em uma modalidade, o filtro de soma é projetado para reproduzir precisamente uma fonte localizada no centro, por exemplo, em  $0^\circ$ . Em lugar de calcular o que esse filtro é, uma modalidade usa

uma função delta para esse filtro, usando o conhecimento de que um ouvinte 20 que escuta uma quantidade igual de um sinal mono em um alto-falante esquerdo 22 e direito 23 localiza precisamente esse sinal como vindo do centro. Em uma modalidade alternativa, os filtros de diafonia cancelada são equalizados para forçar o filtro de soma a ser, aproximadamente, o filtro de identidade, por exemplo, um filtro cuja resposta de impulso é uma função delta. Em uma modalidade alternativa, o filtro de soma é substituído por um filtro plano (resposta de impulso de função delta).

[00101] Enquanto as aplicações binaurais da invenção são destinadas a corrigir erros de percepção de “localização”, a aplicação de diafonia cancelada da presente invenção, em geral, corrige erros de equalização comumente percebidas que ocorrem na imagem de centro.

#### Alto-falantes traseiros virtuais

[00102] Outro aspecto da invenção é simular, corretamente, uma fonte de som traseira central, através de binauralização, a fim de simular alto-falantes em ângulos de  $\pm 90$  graus ou mais, por exemplo, tendo duas localizações de alto-falantes virtuais traseiros, ainda localizando um centro fantasma que está sendo localizado na posição de 180 graus (parte traseira - centro), como se um alto-falante estivesse localizado na posição central traseira.

[00103] Em um exemplo específico, considera-se um binauralizador que produz o efeito de um *home theater* de cinco alto-falantes tradicional. As localizações *surround* esquerda e direita dessa disposição de cinco alto-falantes virtuais podem ser simuladas com a vantagem adicionada de que uma imagem clara de parte traseira - centro é criada. Isso permite sistemas que têm um alto-falante traseiro central, tal como Dolby Digital EX<sup>®</sup> (Dolby Laboratories, Inc., San Francisco, CA), a ser simulado.



[00104] Uma primeira modalidade de sinal traseiro inclui a equalização dos filtros de HRTF traseiro de perto e traseiro de longe, de modo que a soma dos filtros equalizados traseiro de perto e traseiro de longe se aproxima do filtro de HRTF de centro traseiro desejado. O processamento de sinais traseiro esquerdo e traseiro direito, por exemplo, as entradas de som *surround* através de um binauralizador, usando a primeira modalidade de sinal traseiro de pré-equalização, leva a um fone de ouvido percebendo uma fonte panoramizada central traseira aparecer da parte traseira, central, mas as duas imagens *surround* (traseira esquerda e traseira direita) soarão com um erro de equalização tolerável. Alternativamente, pelo uso de um binauralizador que usa um embaralhador mais um filtro de HRTF de sinal de soma que se aproximam de uma HRTF traseira central desejada cria sinais de reprodução que, quando reproduzidos através de fones de ouvido 19 parecem vir de alto-falantes virtuais traseiros esquerdo e direito, que estão ligeiramente fora das localizações desejadas.

[00105] Outra modalidade inclui a combinação de processamento frontal e traseiro para processar sinais traseiros e sinais frontais. Nota-se que som *surround*, por exemplo, som de quatro canais, é capaz de processar os sinais frontais esquerdo e direito e, também, os sinais traseiros esquerdo e direito para reproduzir corretamente um som frontal central virtual e um som traseiro central virtual.

[00106] Nota-se que será compreendido por aqueles habilitados na técnica que as implementações de filtros acima não incluem amplificadores de áudio e outros componentes similares. Ainda, as implementações acima são para filtragem digital. Portanto, para entradas analógicas, conversores de analógico para digital serão compreendidos por aqueles na técnica como estando incluídos. Ainda, conversores de digital para analógico serão compreendidos para serem usados para converter as saídas de sinais digitais para saídas analógicas para re-

produção através de fones de ouvido 19 ou, no caso de filtragem transaural, através de alto-falantes.

[00107] Além disso, aqueles na técnica compreenderão que os filtros digitais podem ser implementados por muitos métodos.

[00108] A figura 13 mostra uma forma de implementação de um sistema de processamento de áudio para processar um par de entradas estéreo de acordo com os aspectos da invenção. O sistema de processamento de áudio inclui: um conversor de analógico para digital (A/D) 97 para conversão de entradas analógicas em sinais digitais correspondentes e um conversor de digital para analógico (D/A) 98 para converter os sinais processados em sinais de saída analógicos. Em uma modalidade alternativa, o bloco 97 inclui uma interface de SPDIF proporcionada para sinais de entrada digitais em lugar do conversor de A/D. O sistema inclui um dispositivo de DSP capaz de processamento da entrada para gerar a saída suficientemente rápido. Em uma modalidade, o dispositivo de DSP inclui circuito de interface na forma de portas seriais 96 para comunicação com os conversores de A/D e de D/A 97, 98, sem *overhead* de processador e, em uma modalidade, uma memória *off-device* 92 e um mecanismo de DMA que pode copiar dados da memória *off-chip* para uma memória *on-chip* 95, sem interferir com a operação do processamento de entrada/saída. O código para implementação dos aspectos da invenção aqui descritos pode estar na memória *off-chip* e ser carregado para a memória *on-chip* 95, conforme requerido. O dispositivo de DSP inclui uma memória de programa 94, incluindo código que faz o processador 93 do dispositivo de DSP implementar a filtragem aqui descrita. Um multiplexador de barramento externo é incluído para o caso em que a memória externa seja requerida.

[00109] Similarmente, a figura 14A mostra um sistema de binauralização que aceita cinco canais de informação de áudio na forma de si-

nais esquerdo, central e direito objetivados na reprodução através de alto-falantes frontais e sinais *surround* esquerdo e *surround* direito objetivados na reprodução através de alto-falantes traseiros. O binauralizador implementa pares de filtros de HRTF para cada entrada, incluindo, para os sinais *surround* esquerdo e *surround* direito, aspectos da invenção de modo que um ouvinte 20 que escuta através de fones de ouvido 19 experimenta um sinal que é panoramizado no centro e atrás para estar chegando da parte traseira central do ouvinte 20. O binauralizador é implementado usando um sistema de processamento, por exemplo, um dispositivo de DSP que inclui um processador. Uma memória é incluída para conter as instruções, incluindo quaisquer parâmetros que façam o processador executar filtragem conforme descrito aqui acima.

[00110] Similarmente, a figura 14B mostra um sistema de binauralização que aceita quatro canais de informação de áudio na forma de sinais esquerdo e direito objetivados na reprodução através de alto-falantes frontais e sinais traseiro esquerdo e traseiro direito objetivados na reprodução através de alto-falantes traseiros. O binauralizador implementa pares de filtros de HRTF para cada entrada, incluindo sinais esquerdo e direito e, para os sinais traseiro esquerdo e traseiro direito, aspectos da invenção, de modo que um ouvinte 20 escutando através de fones de ouvido 19 experimenta um sinal que é panoramizado na frente no centro para estar chegando da parte frontal central do ouvinte 20, e um sinal que é panoramizado na parte traseira central para estar chegando da parte traseira central do ouvinte 20. O binauralizador é implementado usando um sistema de processamento, por exemplo, um dispositivo de DSP, que inclui um processador. Uma memória é incluída para conter as instruções, incluindo quaisquer parâmetros que façam o processador executar filtragem como descrito aqui acima.

[00111] Portanto, as metodologias aqui descritas são, em uma mo-

dalidade, realizáveis por uma máquina que inclui um ou mais processadores que aceitam segmentos de código contendo instruções. Por qualquer um dos métodos aqui descritos, quando as instruções são executadas pela máquina, a máquina realiza o método. Qualquer máquina capaz de executar um conjunto de instruções (sequenciais ou de outro modo) que especificam ações a serem empreendidas por aquela máquina são incluídas. Desse modo, uma máquina típica pode ser exemplificada por um sistema de processamento que inclui um ou mais processadores. Cada processador pode incluir uma mais de uma CPU, uma unidade de processamento de gráficos e uma unidade programável de DSP. O sistema de processamento ainda pode incluir um subsistema de memória incluindo RAM principal e/ou uma RAM estática e/ou ROM. um subsistema de barramento pode ser incluído para comunicação entre os componentes. Se o sistema de processamento requer uma tela, essa tela pode ser incluída, por exemplo, uma tela de cristal líquido (LCD) ou uma tela de tubo de raios catódicos (CRT). Se uma entrada de dados manual for requerida, o sistema de processamento também inclui um dispositivo de entrada tal como uma unidade de entrada alfanumérica, tal como um teclado, um dispositivo indicador de controle, tal como um *mouse* e assim por diante. O termo unidade de memória, como aqui usado, também envolve um sistema de armazenamento, tal como uma unidade de disco. O sistema de processamento em algumas configurações pode incluir um dispositivo de saída de som e um dispositivo de interface de rede. O subsistema de memória, assim, inclui um meio condutor que conduz segmentos de código legíveis em máquina (por exemplo, *software*), incluindo instruções para realizar, quando executadas pelo sistema de processamento, um ou mais dos métodos aqui descritos. O *software* pode residir no disco rígido, ou também pode residir, completamente ou pelo menos parcialmente, dentro da RAM e/ ou dentro do processador durante a sua

execução pelo sistema de computador. Desse modo, a memória e o processador também constituem um meio condutor conduzindo código legível em máquina.

[00112] Em modalidades alternativas, a máquina opera como um dispositivo autônomo ou pode ser conectada, por exemplo, ligada em rede com outras máquinas, em uma disposição em rede, a máquina pode operar na capacidade de um servidor ou de uma máquina cliente em um ambiente de rede servidor - cliente ou como uma máquina par em um ambiente de rede par-a-par ou distribuída. A máquina pode ser um computador pessoal (PC), um PC *tablet*, uma *set-top box* (STB), um Assistente Pessoal Digital (PDA), um telefone celular, *web appliance*, um roteador de rede, chave ou ponte, ou qualquer máquina capaz de executar um conjunto de instruções (sequenciais ou de outro modo), que especificam ações a serem empreendidas por aquela máquina.

[00113] Nota-se agora que embora algum(ns) diagrama(s) mostre(m) apenas um único processador e uma única memória que conduz o código, aqueles na técnica compreenderão que muitos dos componentes descritos acima estão incluídos, mas não explicitamente mostrados ou descritos a fim de não obscurecer o aspecto da invenção. Por exemplo, embora apenas uma máquina esteja ilustrada, o termo “máquina” também será tomado para incluir qualquer coleção de máquinas que, individual ou conjuntamente, execute um conjunto (ou múltiplos conjuntos) de instruções para realizar qualquer uma ou mais das metodologias aqui discutidas.

[00114] Desse modo, uma modalidade de cada um dos métodos aqui descritos está na forma de um programa de computador que executa em um sistema de processamento, por exemplo, um ou mais processadores que são parte do sistema de binauralização ou, em outra modalidade, um sistema transaural. Desse modo, como será aprecia-

do por aqueles habilitados na técnica, modalidades da presente invenção podem ser concretizadas como um método, um aparelho, tal como aparelho para fins especiais, um aparelho, tal como um sistema de processamento de dados, ou um meio condutor, por exemplo, um produto de programa de computador. O meio condutor conduz um ou mais segmentos de código legíveis em computador para controlar um sistema de processamento para implementar um método. Em consequência, aspectos da invenção podem tomar a forma de um método, uma modalidade inteiramente de *hardware*, uma modalidade inteiramente de *software* ou uma modalidade combinando aspectos de *software* e de *hardware*. Além disso, a presente invenção pode tomar a forma de meio condutor (por exemplo, um produto de programa de computador completo em um meio de armazenamento legível em computador) conduzindo segmentos de códigos de programa legível em computador concretizados no meio.

[00115] O *software* ainda pode ser transmitido ou recebido através de uma rede por meio do dispositivo de interface de rede. Embora o meio condutor seja mostrado em uma modalidade exemplificativa para ser um meio único, o termo "meio condutor" será tomado para incluir um meio único ou meios múltiplos (por exemplo, uma base de dados centralizada ou distribuída e/ou *caches* e servidores associados) que armazenam um ou mais conjuntos de instruções. O termo "meio condutor" também será tomado para incluir qualquer meio que seja capaz de armazenar, codificar ou conduzir um conjunto de instruções para execução pela máquina e que faz a máquina realizar qualquer uma ou mais das metodologias da presente invenção. Um meio condutor pode assumir muitas formas, incluindo, mas não limitado às mesmas, meios não voláteis, meios voláteis e meios de transmissão. Meios não voláteis incluem, por exemplo, discos óticos, discos magnéticos e magneto-óticos. Meios voláteis incluem memória dinâmica, tal como memória

principal. Meios de transmissão inclui cabos coaxiais, fio de cobre e fibras óticas, incluindo os fios que compreendem um subsistema de barramento. Meios de transmissão também podem assumir a forma de ondas acústicas ou luminosas, tais como aquelas geradas durante comunicações por ondas de rádio ou de dados infravermelhos. Por exemplo, o termo “meio condutor”, conseqüentemente, será tomado para incluir, mas não estar limitado a isso, memórias de estado sólido, meios óticos e magnéticos e sinais de ondas portadoras.

[00116] Outras modalidades da invenção estão na forma de um meio condutor conduzindo dados legíveis em computador para filtros, a fim de processar um par de entradas estéreo. Os dados podem estar na forma das respostas de entradas dos filtros, ou das funções de transferência de domínio da frequência dos filtros. Os filtros incluem dois filtros de HRTF projetados como descrito acima. No caso em que o processamento é para audição com fones de ouvido 19, os filtros de HRTF são usados para filtrar os dados de entrada em um binauralizador e, no caso de estar ouvindo em alto-falante, os filtros de HRTF são incorporados em um binauralizador de diafonia cancelada.

[00117] Será compreendido que as etapas de métodos discutidos são realizadas em uma modalidade por um processador (ou processadores) apropriado de um sistema de processamento (isto é, computador), executando instruções (segmentos de códigos) armazenados no armazenamento. Também será compreendido que a invenção não está limitada a qualquer implementação particular ou técnica de programação e que a invenção pode ser implementada usando quaisquer técnicas apropriadas para implementação da funcionalidade aqui descrita. A invenção não está limitada a qualquer linguagem de programação ou sistema operacional.

[00118] Referência por toda essa especificação a “uma modalidade” ou “uma modalidade” significa que um aspecto, estrutura ou caracte-

rística descrita em conexão com a modalidade está incluído em pelo menos uma modalidade da presente invenção. Desse modo, as apresentações das frases “em uma modalidade” ou “em uma modalidade” em vários locais por toda esta especificação não estão, necessariamente, todas, se referindo à mesma modalidade. Além disso, os aspectos particulares, estruturas ou características podem ser combinados em qualquer maneira adequada, como será evidente para alguém de habilidade comum na técnica desta exposição, em uma ou mais modalidades.

[00119] Similarmente, será apreciado que, na descrição acima de modalidades exemplificativas da invenção, vários aspectos da invenção são algumas vezes agrupados juntos em uma única modalidade, figura ou descrição para fins de otimização da exposição e auxiliando na compreensão de um ou mais dos vários aspectos da invenção. Esse método de exposição, porém, não deve ser interpretado como refletindo uma intenção de que a invenção reivindicada requer mais aspectos do que são expressamente citados em cada reivindicação. Antes, como as reivindicações a seguir refletem, aspectos da invenção residem em menos do que todos os aspectos de uma única modalidade precedente divulgada. Desse modo, as reivindicações que seguem a Descrição Detalhada são aqui incorporadas, expressamente, nesta Descrição Detalhada, com cada reivindicação permanecendo em si como uma modalidade separada da presente invenção. Além disso, embora algumas modalidades aqui descritas incluam alguns, mas não outros aspectos, combinações de aspectos de diferentes modalidades são destinados a estarem dentro do escopo da invenção e a formar modalidades diferentes, como reivindicado aqui abaixo.

[00120] Além disso, algumas das modalidades são descritas como aqui, como um método ou combinação de elementos de um método que pode ser implementado por um processador de um sistema de



computador. Desse modo, um processador com as instruções necessárias para realizar o método ou elemento de um método. Similarmente, um elemento descrito aqui de uma modalidade de aparelho aqui descrito é um exemplo de um meio para realizar a função desempenhada pelo elemento para fins de realização da invenção.

[00121] Na descrição e reivindicações aqui, por igualdade e substancialmente igualdade, estão incluídos os casos de igualdade dentro de uma constante de proporcionalidade.

[00122] Todas as publicações, patentes e pedidos de patentes aqui citados são pelo presente incorporados através de referência.

[00123] Desse modo, embora tenha sido descrito o que se acredita ser as modalidades preferidas da invenção, aqueles habilitados na técnica reconhecerão que outras e modificações adicionais podem ser feitas sem afastamento do espírito da invenção, e é pretendido reivindicar todas essas mudanças e modificações que estejam dentro do escopo da invenção. Por exemplo, quaisquer fórmulas dadas acima são apenas representativas de procedimentos que podem ser usados. Funcionalidades podem ser adicionadas ou canceladas dos diagramas em blocos e operações podem ser permutadas entre blocos funcionais. Etapas podem ser adicionadas ou canceladas nos métodos descritos dentro do escopo da presente invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para processar sinais de áudio compreendendo as etapas de:

aceitar um par de sinais de entrada de áudio para reprodução de áudio;

embaralhar (51,52) os sinais de áudio para criar um primeiro sinal ("sinal de soma") proporcional à soma dos sinais de entrada e um segundo sinal ("sinal de diferença") proporcional à diferença dos sinais de entrada;

**caracterizado pelo fato de que** ainda compreende as etapas de:

filtrar o sinal de soma através de um filtro (59), que corresponde a duas vezes uma HRTF central para um ouvinte (20) que escuta em uma fonte de som virtual em uma localização central;

filtrar o sinal de diferença através de um filtro (60) que corresponde à diferença entre uma HRTF perto da orelha e uma HRTF longe da orelha para o ouvinte (20) que escuta em um par de alto-falantes virtuais; e

desembaralhar (55,56) o sinal de soma filtrado e do sinal de diferença filtrado para criar um primeiro sinal de saída proporcional à soma dos sinais de soma filtrados e diferença filtrados e um segundo sinal de saída proporcional à diferença dos sinais de soma filtrados e de diferença filtrados;

em que o filtro que corresponde a duas vezes a HRTF central é obtido como a soma das versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, respectivamente, obtidas pela filtragem da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, respectivamente, por um filtro de equalização, e em que o filtro que corresponde à diferença entre a HRTF perto da orelha e a HRTF longe da orelha é um filtro que tem uma resposta igual à diferença entre as ver-

sões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha; e

em que o filtro de equalização é um filtro inverso a um filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a resposta do filtro de equalização é determinada pela inversão no domínio da frequência de uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a resposta do filtro de equalização é determinada por um método de filtro adaptativo para inverter uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o filtro que corresponde a duas vezes a HRTF central é um filtro que tem uma resposta igual a duas vezes uma HRTF central desejada.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falante virtual e em uma localização direita de alto-falante virtual simétrico em torno do ouvinte (20) e em que o ouvinte (20) que escuta está simétrico de modo que a HRTF de perto é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e de modo que a HRTF de longe é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada

esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falante virtual e em uma localização direita de alto-falante virtual, em que a HRTF de perto é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e em que a HRTF de longe é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e do alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização frontal esquerda de alto-falante virtual e uma localização frontal direita de alto-falante virtual à frente do ouvinte (20).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** as localizações dos alto-falantes virtuais frontal esquerdo e frontal direito estão em ângulos azimutais de magnitude entre 45 e 90 graus em relação ao ouvinte (20).

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização traseira esquerda de alto-falante virtual e uma localização traseira direita de alto-falante virtual em relação à parte traseira do ouvinte.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio são um subconjunto de um conjunto de mais de dois sinais de entrada para reprodução de som *surround* e em que o método inclui processamento do conjunto de mais de dois sinais de entrada para ouvir através de fones de ouvido, incluindo a criação de localizações de alto-falantes virtuais para cada um dos sinais de entrada.

11. Aparelho aceitando sinais de áudio compreendendo:

um embaralhador (51,52) tendo entradas para aceitar um par de sinais de entrada de áudio, para criar um primeiro sinal ("sinal de soma") proporcional à soma dos sinais de entrada e um segundo sinal ("sinal de diferença") proporcional à diferença dos sinais de entrada, o embaralhador (51,52) tendo uma saída de sinal de soma e uma saída de sinal de diferença,

**caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

um filtro de soma (59) acoplado à saída do sinal de soma para filtrar o sinal de soma que corresponde a duas vezes uma HRTF central para um ouvinte (20) que escuta em uma fonte de som virtual em uma localização central;

um filtro de diferença (60) acoplado à saída do sinal de diferença para filtrar o sinal de diferença, o filtro de diferença sendo correspondente à diferença entre uma HRTF perto da orelha e uma HRTF longe da orelha para o ouvinte (20) que escuta em um par de alto-falantes virtuais; e

um desembaralhador (55,56) acoplado às saídas do filtro de soma (59) e do filtro de diferença (60) para criar um primeiro sinal de saída proporcional à soma dos sinais de soma filtrado e de diferença filtrado e um segundo sinal de saída proporcional à diferença dos sinais de soma filtrado e de diferença filtrado;

em que o filtro de soma (59) é obtido como a soma das versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, respectivamente, obtido através da filtragem da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, respectivamente, por um filtro de equalização e em que o filtro de diferença (60) é um filtro que tem uma resposta igual à diferença entre as versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, e

em que o filtro de equalização é um filtro inverso a um filtro

proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** a resposta do filtro de equalização é determinada pela inversão no domínio da frequência de uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

13. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** a resposta do filtro de equalização é determinada por um método de filtro adaptativo para inverter uma resposta de filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha.

14. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** o filtro de soma (59) tem uma resposta igual a duas vezes uma HRTF central desejada.

15. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falante virtual e em uma localização direita de alto-falante virtual simétrico em torno do ouvinte (20), em que o ouvinte (20) que escuta está simétrico de modo que a HRTF de perto é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e de modo que a HRTF de longe é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

16. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falante virtual e em

uma localização direita de alto-falante virtual e em que a HRTF de perto é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e em que a HRTF de longe é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e do alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização frontal esquerda de alto-falante virtual e uma localização frontal direita de alto-falante virtual à frente do ouvinte (20).

18. Aparelho, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de que** as localizações dos alto-falantes virtuais frontal esquerdo e frontal direito estão em ângulos azimutais de magnitude entre 45 e 90 graus em relação ao ouvinte (20).

19. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização traseira esquerda de alto-falante virtual e uma localização traseira direita de alto-falante virtual em relação parte posterior do ouvinte (20).

20. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio são um subconjunto de um conjunto de mais de dois sinais de entrada para reprodução de som *surround*, e em que o método inclui processamento do conjunto de mais de dois sinais de entrada para ouvir através de fones de ouvido, incluindo a criação de localizações de alto-falantes virtuais para cada um dos sinais de entrada.

21. Método para proporcionar um primeiro e um segundo

sinais de saída através de um par de alto-falantes (73,74) em um primeiro conjunto de localizações de alto-falantes a um ouvinte (20), compreendendo as etapas de:

aceitar o par de sinais de entrada de áudio para reprodução de áudio;

embaralhar (51,52) os sinais de entrada para criar um sinal de soma proporcional à soma dos sinais de entrada e um sinal de diferença proporcional à diferença dos sinais de entrada;

**caracterizado pelo fato de que** ainda compreende as etapas de:

filtrar o sinal de soma através de um filtro (59) que corresponde a duas vezes uma HTRF central para um ouvinte (20) que ouve uma fonte de som virtual em uma localização central;

filtrar o sinal de diferença através de um filtro (60) que corresponde à diferença entre uma HRTF perto da orelha e uma HRTF longe da orelha para um ouvinte (20) que ouve um par de alto-falantes virtuais;

desembaralhar (55,56) o sinal de soma filtrado e do sinal de diferença filtrado para criar um primeiro sinal de saída proporcional à soma dos sinais de soma filtrado e diferença filtrado e um segundo sinal de saída proporcional à diferença dos sinais de soma filtrado e de diferença filtrado; e

cancelar por diafonia (67,68,69,70,71,72) os primeiro e segundo sinais intermediários para produzir os primeiro e segundo sinais de saída,

em que o filtro que corresponde a duas vezes a HRTF central é obtido como a soma das versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRF longe da orelha, respectivamente, por um filtro de equalização, e em que o filtro que corresponde à diferença entre a HRTF perto da orelha e a HRTF longe da orelha é um filtro que possui



uma resposta igual à diferença entre as versões equalizadas da HRTF perto da orelha e da HRTF longe da orelha, e

em que o filtro de equalização é um filtro inverso para um filtro proporcional à soma da HRTF perto da orelha e a HRTF longe da orelha.

22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** a filtragem do par de sinais de entrada de áudio é tal que a soma do par de sinais de entrada de áudio é filtrada por uma resposta de filtro igual a duas vezes a HRTF central desejada.

23. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falantes virtuais e em uma localização direita de alto-falante virtual simétrico em torno do ouvinte (20) e em que o ouvinte (20) que escuta está simétrico de modo que a HRTF de perto é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e de modo que a HRTF de longe é o alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

24. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização esquerda de alto-falante virtual e em uma localização direita de alto-falante virtual e em que a HRTF de perto é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha esquerda e o alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha direita e em que a HRTF de longe é proporcional à média do alto-falante virtual esquerdo para a HRTF da orelha direita e do alto-falante virtual direito para a HRTF da orelha esquerda.

25. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização frontal esquerda de alto-falante virtual e uma localização frontal direita de alto-falante virtual à frente do ouvinte.

26. Método, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado pelo fato de que** as localizações dos alto-falantes virtuais frontal esquerdo e frontal direito estão em ângulos azimutais de magnitude entre 45 e 90 graus em relação ao ouvinte (20).

27. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio incluem uma entrada esquerda e uma entrada direita, em que o par de alto-falantes virtuais está em uma localização traseira esquerda de alto-falante virtual e uma localização traseira direita de alto-falante virtual em relação à parte traseira do ouvinte (20).

28. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** os sinais de entrada de áudio são um subconjunto de um conjunto de mais de dois sinais de entrada para reprodução de som *surround* e em que o método inclui processamento do conjunto de mais de dois sinais de entrada para ouvir através de fones de ouvido (19), incluindo a criação de localizações de alto-falantes virtuais para cada um dos sinais de entrada.

PT0518527

1/15

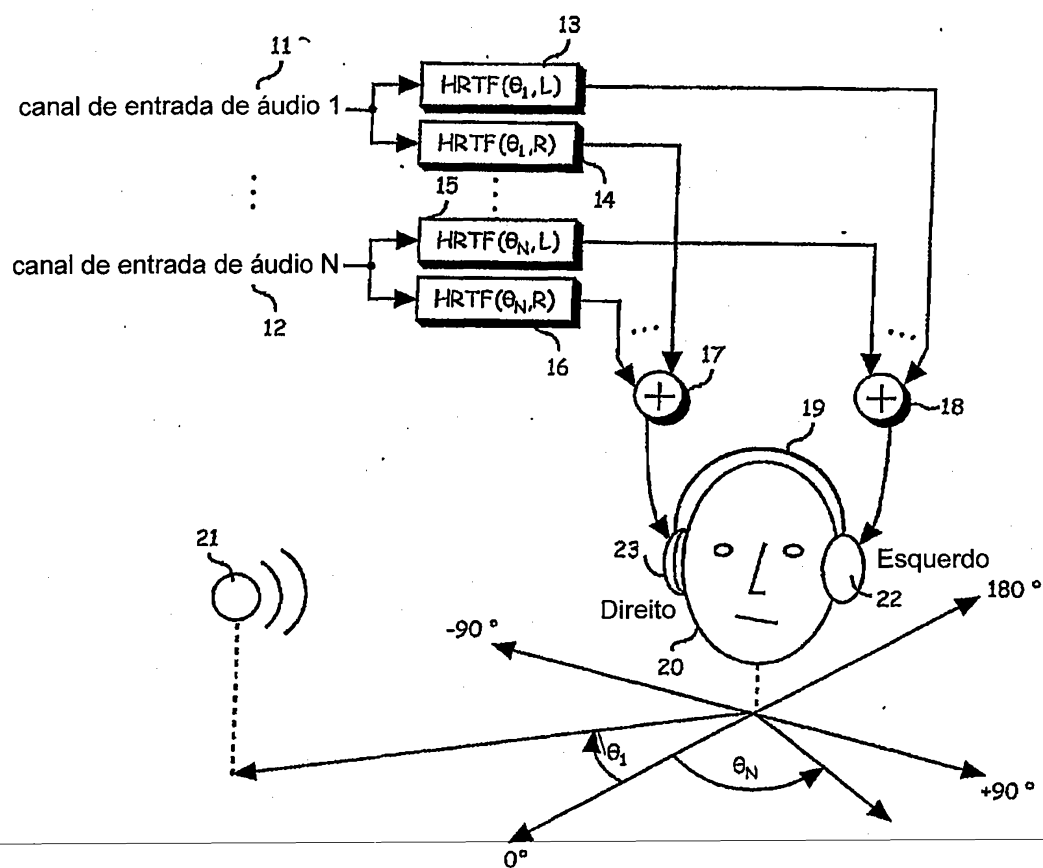


FIG 1

P10510527

2/15

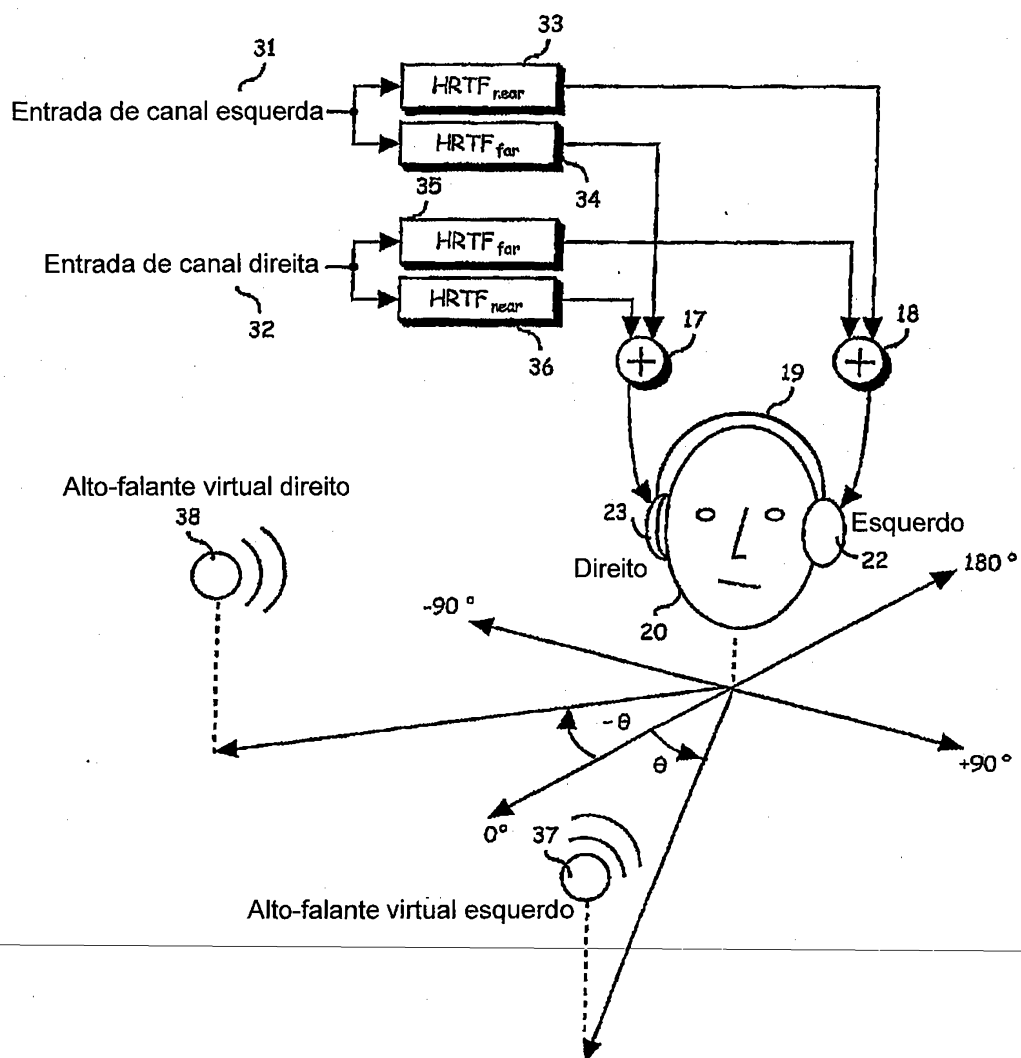


FIG 2

P10510527

3/15

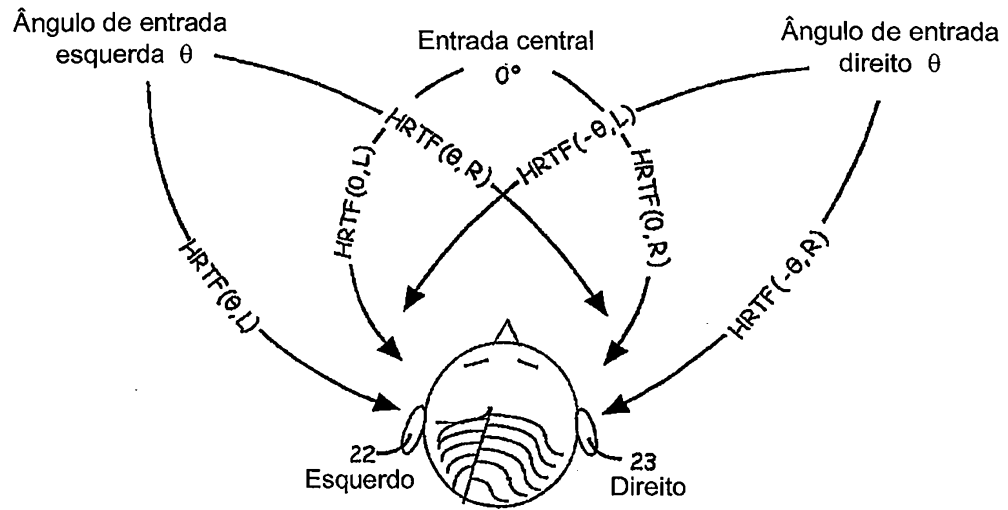


FIG 3

P10510527

4/15

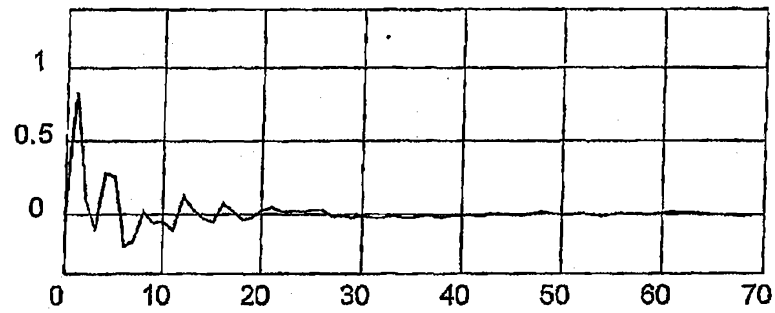


FIG 4A

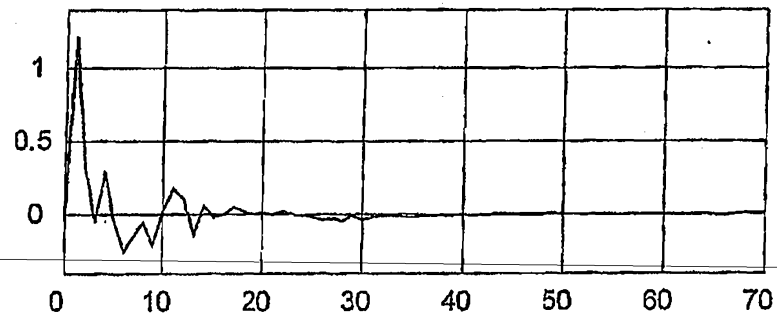


FIG 4B

P10518527

5/15

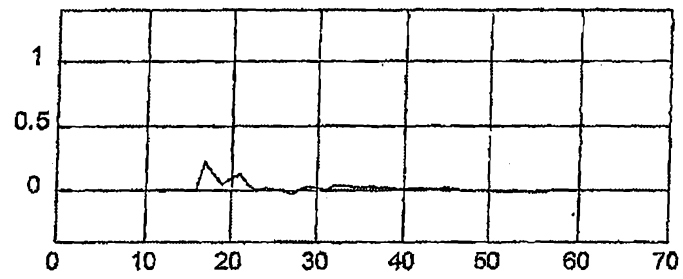


FIG 4C

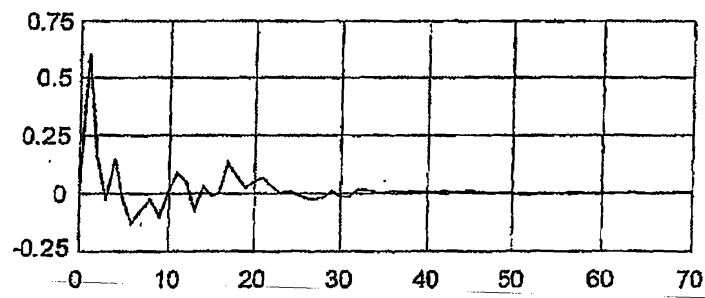


FIG 4D

P10516527

6/15

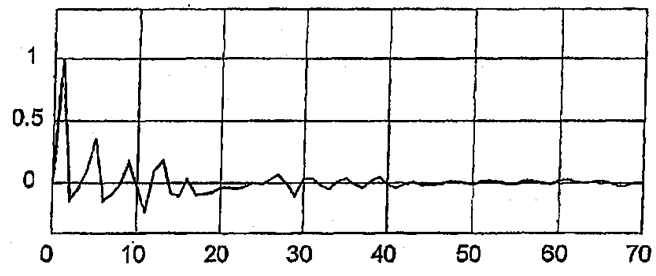


FIG 5A

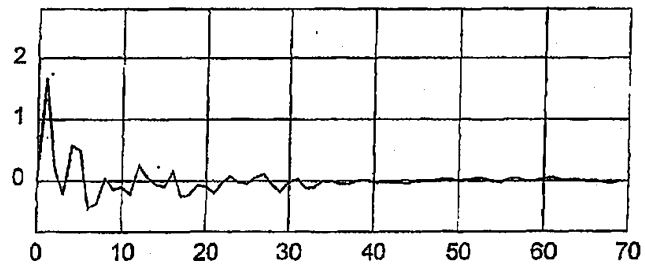


FIG 5B



P10516527

7/15

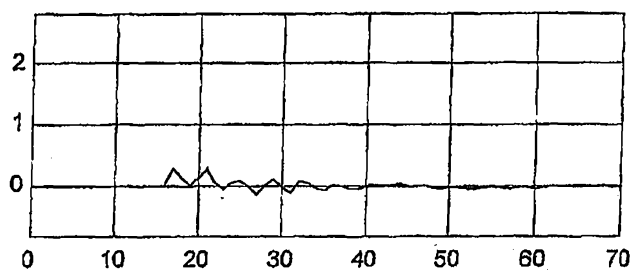


FIG 5C

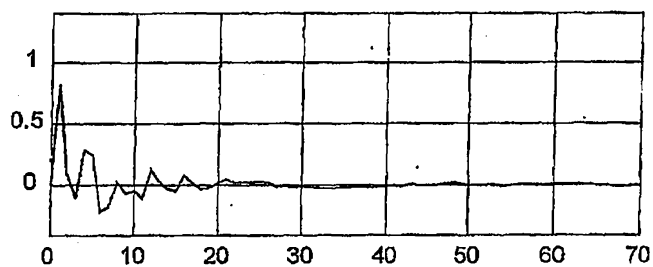


FIG 5D

72

P10516527

8/15

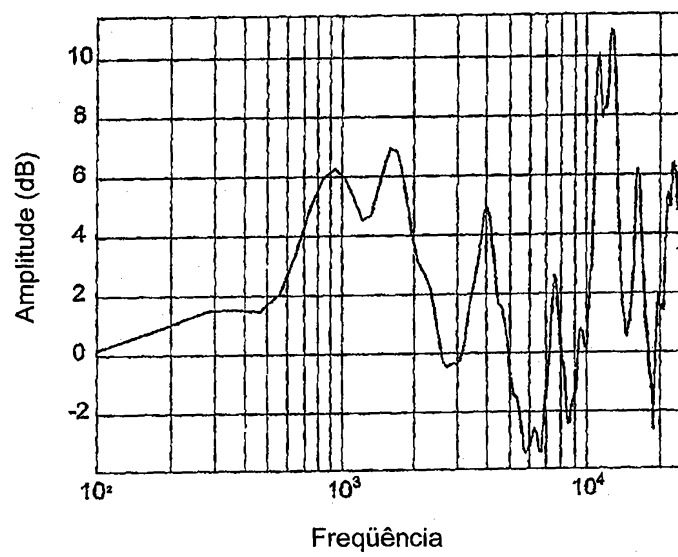


FIG 6

P10516527

9/15

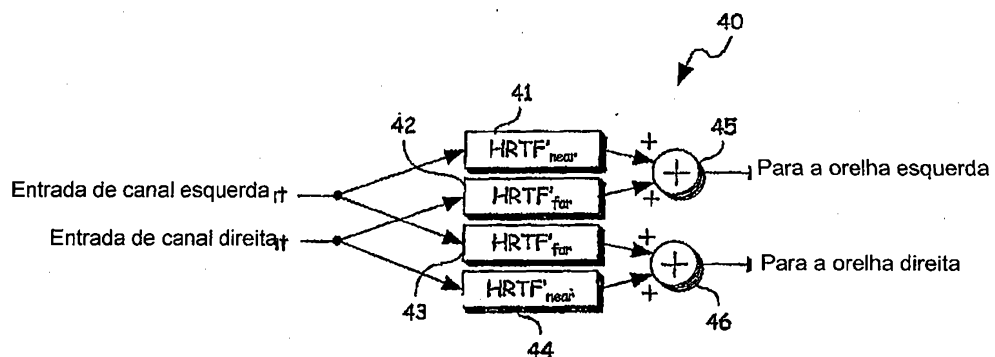


FIG 7

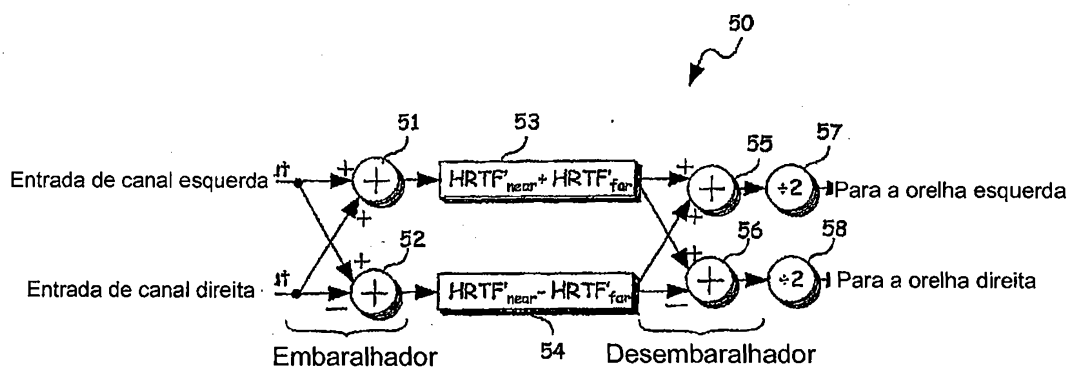


FIG 8

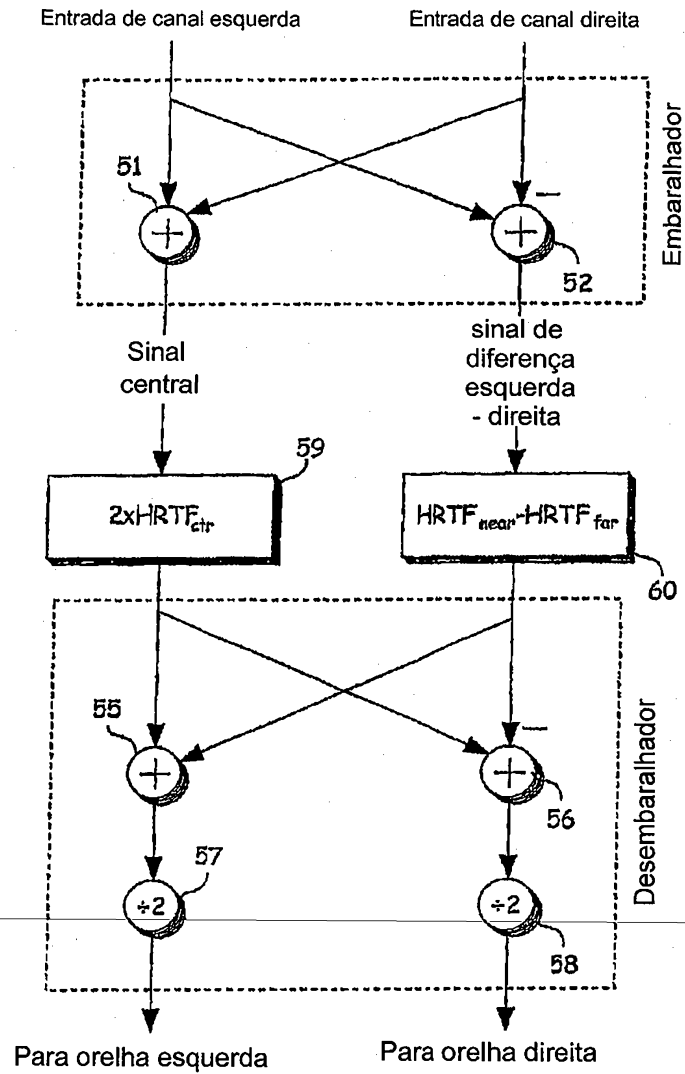


FIG 9

P10510527

11/15

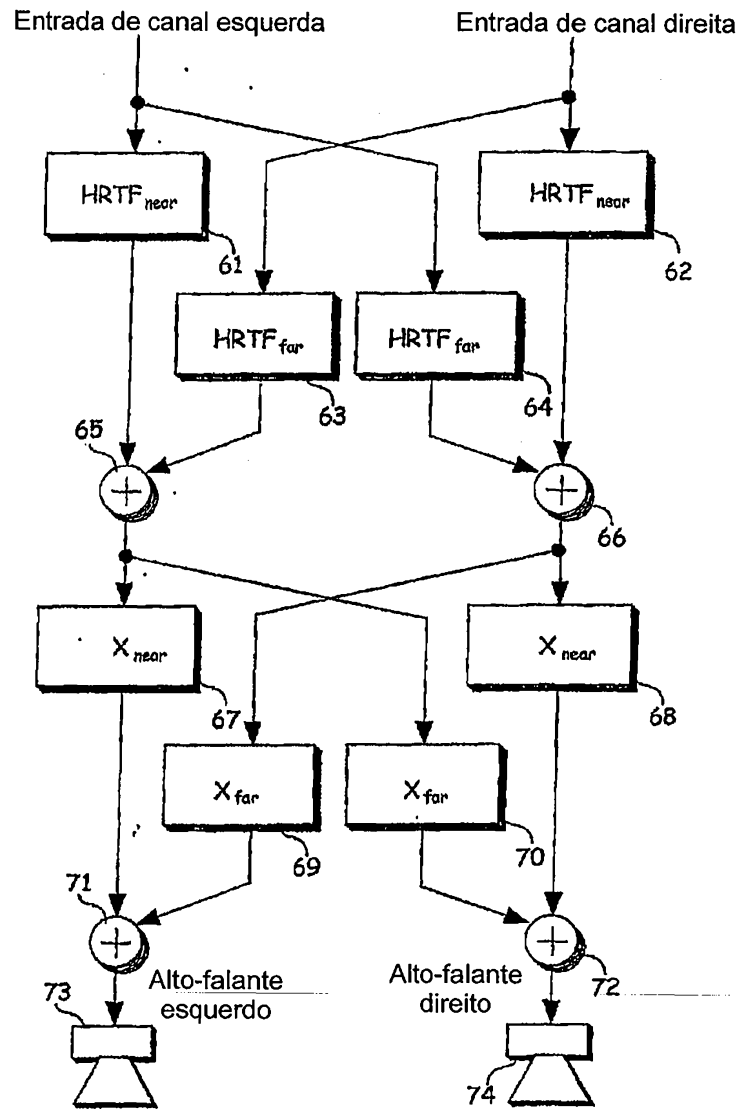


FIG 10

P10810507

12/15

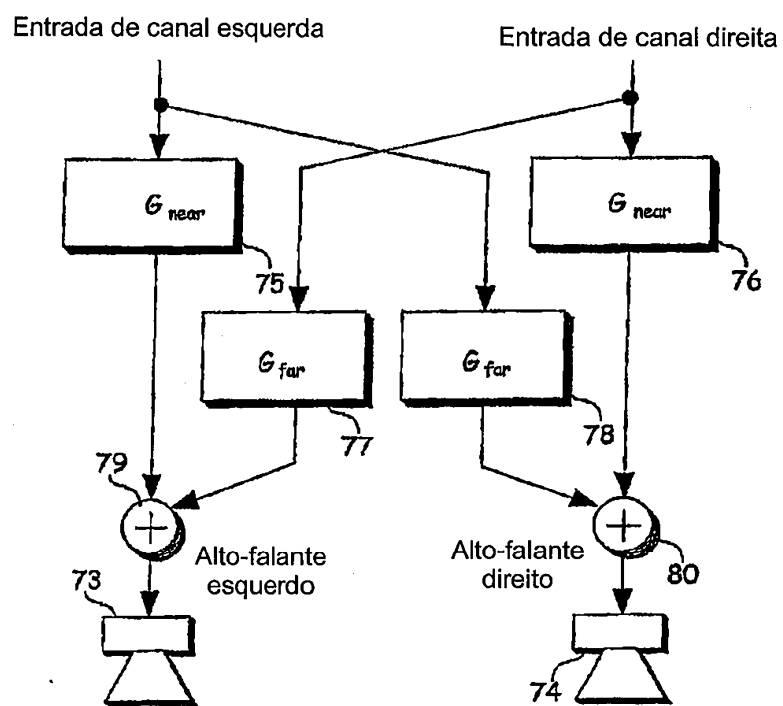


FIG 11

P10510507

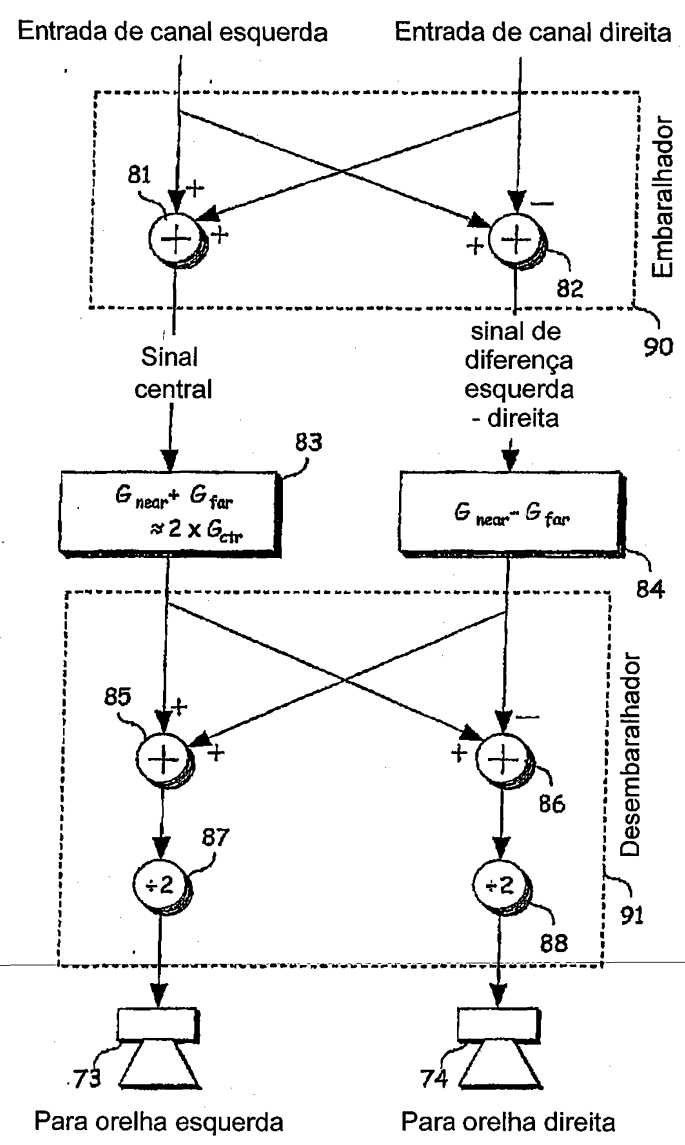


FIG 12

PT0516527

14/15

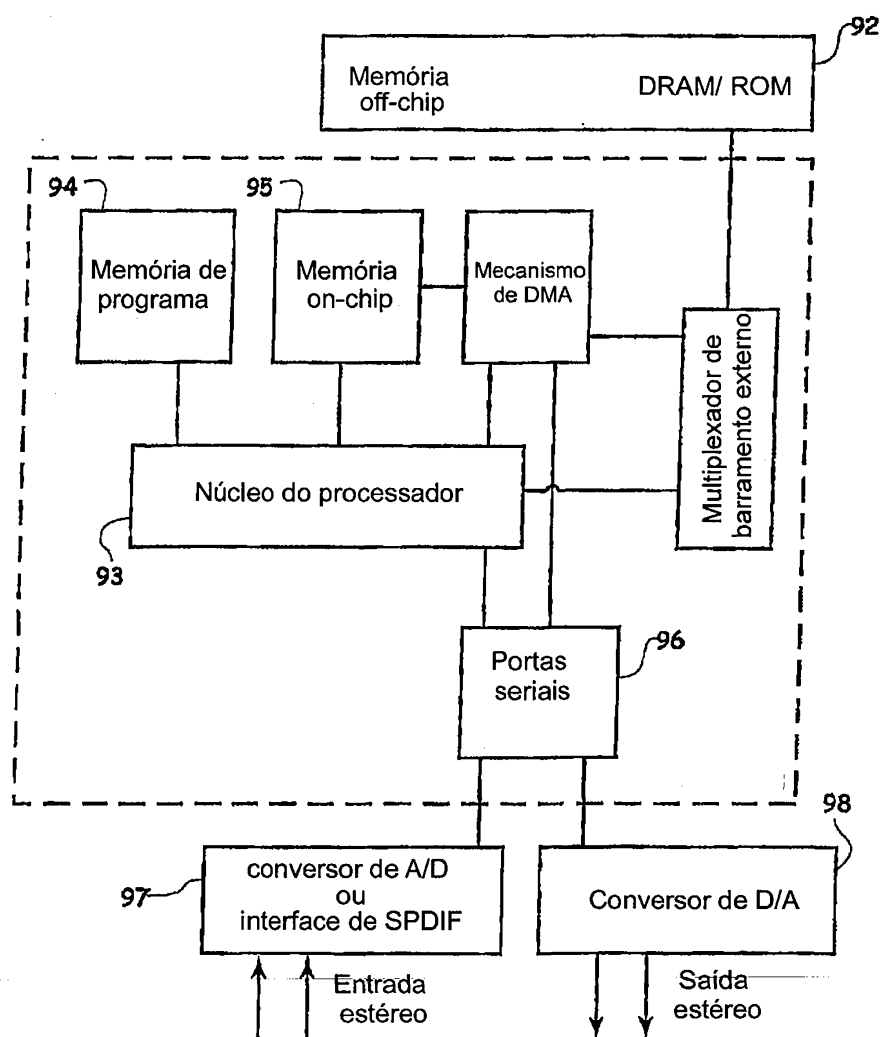


FIG 13



P10518527

15/15

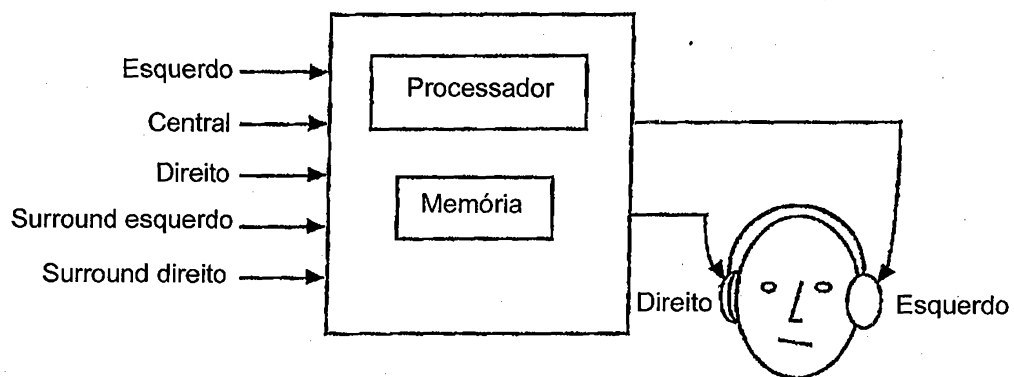


FIG 14A

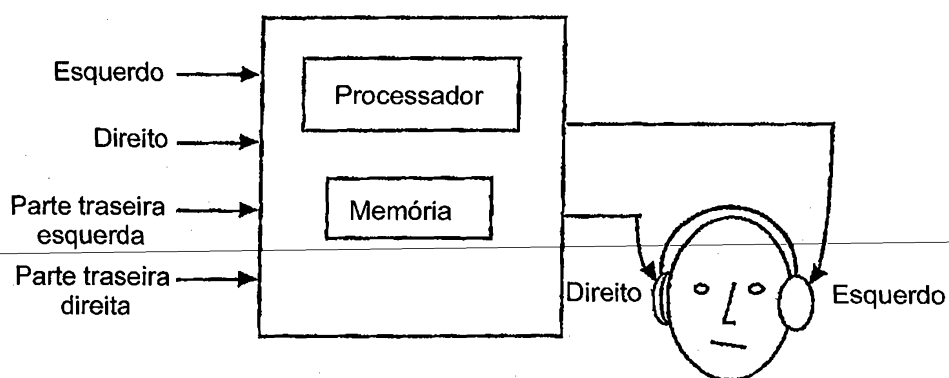


FIG 14B