



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

(21) BR 112015013565-0 A2



(22) Data do Depósito: 11/12/2013

(43) Data da Publicação Nacional: 17/12/2019

(54) Título: SISTEMAS E PROCESSOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL POR MEIO DE NIVELAMENTO DE ROTAÇÃO COM BASE EM RESTRIÇÃO

(51) Int. Cl.: H04N 5/225; H04N 5/262.

(30) Prioridade Unionista: 09/12/2013 US 14/101,252; 10/12/2013 EP 13196486.8; 11/12/2012 US 61/735,976.

(71) Depositante(es): FACEBOOK, INC..

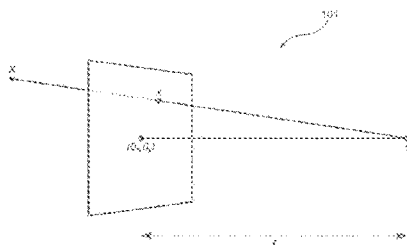
(72) Inventor(es): ALEXANDRE KARPENKO.

(86) Pedido PCT: PCT US2013074444 de 11/12/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/093517 de 19/06/2014

(85) Data da Fase Nacional: 10/06/2015

(57) Resumo: RESUMO "SISTEMAS E PROCESSOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL POR MEIO DE NIVELAMENTO DE ROTAÇÃO COM BASE EM RESTRIÇÃO" São proporcionados a sistemas e processos para estabilização de vídeo di-gital por meio de refino com base em restrição. Dados de vídeo digital incluem um conjunto de quadros de imagem, tendo períodos de tempo associados, e um conjun-to de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, podem ser proporcionados. Um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pode ser gerado por minimização de uma velocidade de rotação entre os quadros de ima-gem sucessivos, enquanto minimizando uma quantidade de regiões vazias em um conjunto resultante de quadros de imagem refinados, reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera.



"SISTEMAS E PROCESSOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL
POR MEIO DE NIVELAMENTO DE ROTAÇÃO COM BASE EM RESTRIÇÃO"

CAMPO TÉCNICO

[001] O objeto da presente invenção se refere a processamento de sinal. Mais particularmente, a presente invenção se refere a sistemas e processos para processamento de imagem e vídeo.

ANTECEDENTES

[002] As câmeras estáticas digitais, capazes de capturar vídeo, vêm sendo, recentemente, bastantes disseminadas. Ainda que as qualidades de resolução e imagem desses dispositivos de consumo tenham sido aperfeiçoadas ao ponto em que se encontram as câmeras reflex de lente única digitais (DSLRs) rivais, em alguns cenários, as suas qualidades de vídeo podem ficar significativamente piores do que àquelas das câmeras de filme. A razão para esse desvio em qualidade pode ser dupla. Primeiro, em comparação com as câmeras de filme, os telefones celulares podem ser significativamente mais leves. Por conseguinte, a captura de vídeo portátil nesses dispositivos pode apresentar um grau muito grande de sacudimento de câmera. Em segundo lugar, as câmeras de telefones celulares podem ter sensores que fazem uso de um obturador rolante (RS). Em uma câmera RS, cada fileira de imagem pode ser exposta a um tempo ligeiramente diferente, que, combinado com o movimento da câmera não amortecido, pode resultar em uma "oscilação" no vídeo de saída.

[003] A estabilização de vídeo é uma família de técnicas usadas para reduzir a instabilidade quadro a quadro, produzida pelo sacudimento da câmera de vídeo. Em câmeras profissionais, os sistemas mecânicos de estabilização de imagem (MIS) são comumente usados. Por exemplo, em um sistema MIS, o operador pode usar um arreio, que separa o movimento da câmera do movimento do corpo do operador. Outros sistemas MIS estabilizam o sistema óptico da câmera em vez do próprio cor-

po da câmera. Esses sistemas podem movimentar a lente ou o sensor, para compensar movimentos de pequeno passo e de guinada. Essas técnicas funcionam em tempo real e não precisam de computação na câmera. No entanto, não são adequadas para dispositivos móveis e câmeras baratas, em virtude de seus preço e tamanho. Os sistemas de estabilização de vídeo digital podem ser sensíveis a ruído (por exemplo, objetos de fundo em movimento rápido) e requerem aspectos distintos para rastreamento. Por conseguinte, a estabilização digital, baseada em rastreamento de aspectos, é frequentemente rompida, especialmente em condições de iluminação adversas e pelo excessivo movimento de fundo. Além disso, as indicações visuais de extração e comparação pelos quadros podem ser computacionalmente caras. Além do mais, os custos aumentam com a resolução do vídeo. Em alguns casos, pode ser muito caro para executar estabilização de vídeo em tempo real. Consequentemente, essas abordagens são raramente empregadas nas câmeras digitais atuais. Em vez disso, os fabricantes podem optar por soluções de estabilização mecânica mais robustas (e caras) para as DSLRs de topo de linha.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[004] As concretizações de acordo com a invenção são, em particular, descritas nas reivindicações em anexo dirigidas a um processo, um meio de armazenamento e a um sistema, em que qualquer característica mencionada em uma categoria de reivindicação, por exemplo, um processo, pode ser reivindicada também em outra categoria de reivindicação, por exemplo, um sistema.

[005] Para estabilizar vídeo digital, processos, sistemas e meios legíveis por computador implementados em computador, em uma concretização, podem proporcionar dados de vídeo digital, incluindo um conjunto de quadros de imagem, tendo períodos de tempo associados, e um conjunto de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados. Um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pode ser gerado por minimização de uma taxa de rotação entre os su-

cessivos quadros de imagem, enquanto minimizando uma quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante, reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera.

[006] Em uma concretização, a quantidade de regiões vazias no conjunto refinado de quadros de imagem resultante pode ser minimizado a zero.

[007] Em uma concretização, a quantidade de regiões vazias no conjunto refinado de quadros de imagem resultante pode ser minimizado abaixo de um valor de limiar.

[008] Em uma concretização, o conjunto de quadros de imagem pode ser distorcido, com base nos períodos de tempo associados para o conjunto de quadros de imagem e o conjunto refinado de dados de orientação de câmera, para formar um conjunto de quadros de imagem.

[009] Em uma concretização, a distorção do conjunto de quadros de imagem, com base nos períodos de tempo associados para o conjunto de quadros de imagem e o conjunto refinado de dados de orientação de câmera, para formar um conjunto de quadros de imagem corrigidos, pode incluir dividir um quadro de imagem individual em várias subseções. Cada subseção pode ter um período de tempo e uma orientação de câmera associados. A distorção da câmera, com base nos períodos de tempo associados para o conjunto de quadros de imagem e o conjunto refinado de dados de orientação de câmera, para formar um conjunto de quadros de imagem corrigidos, pode incluir realinhar cada subseção, com base nos períodos de tempo e orientação de câmera associados, para formar um quadro de imagem individual corrigido.

[010] Em uma concretização, o conjunto de quadros de imagem corrigidos pode ser exibido como um vídeo.

[011] Em uma concretização, a quantidade de regiões vazias no conjunto de quadros de imagem refinados pode ser minimizada abaixo de um valor de limiar.

[012] Em uma concretização, a quantidade de regiões vazias abaixo do valor de limiar pode ser reconstruída.

[013] Em uma concretização, o conjunto de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, pode ser fornecido por um giroscópio de um dispositivo portátil.

[014] Em uma concretização, o conjunto de quadros de imagem pode ser fornecido de uma câmera de um dispositivo portátil.

[015] Em uma concretização, a câmeras, tendo períodos de tempo associados, pode ser fornecido de um giroscópio de um dispositivo portátil, incluindo um telefone móvel e uma câmera digital. O conjunto de quadros de imagem pode ser fornecido da câmera digital.

[016] Em uma concretização, a geração do conjunto refinado de dados de orientação de câmera inclui uma otimização iterativa baseada em uma diminuição de gradiente.

[017] Em uma concretização, a geração do conjunto refinado de dados de orientação de câmera pode incluir filtragem com base em um filtro gaussiano.

[018] Em uma concretização, a geração do conjunto refinado de dados de orientação de câmera pode incluir filtragem com base em uma derivada temporal.

[019] Em uma concretização, o conjunto de dados de orientação de câmera pode incluir rotações, sem quaisquer translações.

[020] Em uma concretização, o conjunto de dados de orientação de câmera pode incluir vetores, tendo ambas as rotações e translações.

[021] Em uma concretização, a geração do conjunto refinado de dados de orientação de câmera é feita por um sistema de redes sociais.

[022] Em uma concretização, o conjunto de quadros de imagem, tendo períodos de tempo associados, e o conjunto de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, podem ser transferidos para o sistema de redes so-

ciais por um usuário do sistema de redes sociais.

[023] Em uma outra concretização da invenção, um ou mais meios de armazenamento não-transitórios legíveis por computador incorporam *software*, que é operável quando executado para conduzir um processo de acordo com a invenção, ou quaisquer das concretizações mencionadas acima.

[024] Em uma outra concretização da invenção, um sistema compreende: um ou mais processadores; e uma memória acoplada aos processadores compreendendo instruções executáveis pelos processadores, os processadores operáveis quando da execução de instruções para executar um processo de acordo com a invenção, ou quaisquer das concretizações mencionadas acima.

[025] Muitas outras características e concretizações da invenção vão ficar evidentes dos desenhos em anexo e da descrição detalhada apresentada a seguir.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[026] A Figura 1 ilustra um modelo exemplificativo de câmera sem lente, de acordo com uma concretização.

[027] A Figura 2 mostra uma ilustração de duas orientações de câmera exemplificativas e os seus planos de imagem correspondentes, de acordo com uma concretização.

[028] A Figura 3 mostra uma ilustração de uma imagem distorcida exemplificativa, capturada por uma câmera RS, e as transformações para corrigir a imagem, de acordo com uma concretização.

[029] A Figura 4 ilustra um módulo de estabilização de vídeo digital exemplificativo, de acordo com uma concretização.

[030] A Figura 5 ilustra grafos de exemplos de dados de entrada e dados resultantes, após refino, de acordo com uma concretização.

[031] A Figura 6 ilustra um processo exemplificativo para o refino baseado em restrições, de acordo com uma concretização.

[032] A Figura 7 ilustra um diagrama de redes exemplificativo de um sistema para modificar um conjunto de quadros de imagem de um vídeo digital, para produzir um vídeo digital estabilizado dentro de um sistema de redes sociais, de acordo com uma concretização.

[033] A Figura 8 ilustra um sistema computacional exemplificativo, que pode ser usado para implementar uma ou mais das concretizações descritas no presente relatório descritivo, de acordo com uma concretização.

[034] As figuras ilustram várias concretizações da presente invenção apenas para fins ilustrativos, em que as figuras usam números de referência similares para identificar elementos similares. Uma pessoa versada na técnica irá facilmente reconhecer a partir da discussão apresentada a seguir que concretizações alternativas das estruturas e processos, ilustrados nas figuras, podem ser empregadas sem que se afaste dos princípios da invenção descritos no presente relatório descritivo.

DESCRIÇÃO DETALHADA

ESTABILIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL E CORREÇÃO DE OBTURADOR ROLANTE USANDO GIROSCÓPIOS

[035] A correção de obturador rolante é uma técnica para remover distorção de imagem produzida por movimento de câmera entre quadros. As câmeras de última geração usam sensores de dispositivos acoplados a cargas (CCD), que têm um obturador global (GS). Em uma câmera GS, incluindo muitos DSLRs, todos os pixels no sensor CCD são lidos e reconstruídos simultaneamente. Portanto, todos os pixels coletam luz durante o mesmo intervalo de tempo. Consequentemente, o movimento da câmera, durante a exposição, resulta em um pouco de obscuridade de imagem nesses dispositivos. Em comparação, as câmeras de gerações anteriores, tipicamente, fazem uso de sensores de semicondutores de óxidos metálicos (CMOS). Em particular, esses sensores empregam uma orientação de câmera, no qual as fileiras de imagens são lidas e reconstruídas sequencialmente. Essa abordagem pode re-

querer um menor número de conjuntos de circuitos, em comparação os sensores CCD, e podem baratear a manufatura dos sensores CMOS. Por essa razão, os sensores CMOS são usados frequentemente em telefones celulares, reprodutores de música e algumas câmaras de vídeo compactas de gerações anteriores. A leitura sequencial, no entanto, significa que cada fileira é exposta durante uma janela de tempo ligeiramente diferente. Por conseguinte, o movimento da câmera durante leitura da fileira vai produzir uma imagem distorcida. Os objetos em movimentação rápida vão também parecer distorcidos.

[036] A leitura de imagem em uma câmera RS é, tipicamente, na faixa de milissegundos. Portanto, as distorções RS são basicamente provocadas por movimentos da câmera em alta frequência. Os sistemas MIS podem ser, portanto, usados para estabilizar a câmera. Ainda que essa abordagem elimine a distorção do obturador rolante, na prática, a faixa de preço e o tamanho dos sistemas MIS os tornam inadequados para câmeras RS. Algumas técnicas de retificação de obturador rolante digital podem corrigir os artefatos RS em uma imagem única, mas requerem entrada de usuário. Em comparação, algumas concretizações da presente invenção podem corrigir artefatos RS em imagens únicas, sem requerer entrada de usuário.

[037] Para vídeo, a retificação RS em uma sequência de quadros, usando rastreamento de características para estimar o movimento da câmera a partir do vídeo, pode apresentar problemas. Uma vez que o movimento da câmera seja conhecido durante uma exposição RS, pode ser usado para retificar o quadro. Uma vez que essa abordagem se baseia em rastreadores de características, apresenta algumas desvantagens discutidas previamente no caso de estabilização de vídeo.

[038] As técnicas de estabilização de vídeo digital podem incluir recorte ou aplicação de zoom de quadros de vídeo introduzidos. Isso pode permitir que os quadros individuais sejam trasladados, girados ou distorcidos para neutralizar as deformações indesejadas introduzidas por um estabelecimento de comunicação. O grau

de recorte pode determinar quanto desvio (ou "espaço de meneio") está disponível para remover essas deformações. Se, por exemplo, o quadro for trasladado muito longe, as regiões vazias (por exemplo, as regiões que não têm dados de pixels) podem ficar visíveis. Algumas concretizações da presente invenção não apenas retificam o movimento da câmera por neutralização do estabelecimento de comunicação, mas também fazem isso enquanto impedindo que as regiões vazias sejam mostradas. Deve-se considerar que outros processos para proporcionar o desvio para estabilização, diferentemente de recorte ou aplicação de zoom, podem ser também implementados. Por exemplo, as técnicas de reconstrução podem ser implementadas para encher as regiões vazias introduzidas pela estabilização. A reconstrução pode ser usada em lugar, ou além, de recorte ou aplicação de zoom. Por exemplo, em uma concretização, uma função pode ser implementada para determinar se uma determinada deformação resulta em um quadro com todos os pixels renovados (se por reconstrução, aplicação de zoom, recorte, etc.) satisfatório ou não.

[039] Os sistemas e processos são fornecidos para estabilizar digitalmente vídeos por computação de rotação de câmera suaves, que satisfazem os requisitos de prevenção de regiões vazias. Isso pode propiciar que rotações de câmera maximamente suaves sejam produzidas para um determinado fator de recorte ou aplicação de zoom.

[040] O processo de estabilização de vídeo digital pode começar, por exemplo, com o vídeo sendo capturado por uma câmera ou um dispositivo incluindo uma câmera, tal como um telefone móvel, um *tablet*, um relógio, um acessório de vestimenta, etc. O vídeo pode incluir várias quadros de imagem sucessivos, que são capturados. O vídeo pode ficar instável devido ao tamanho e ao peso dele. O obturador rolante usado pelos sensores na câmera pode proporcionar distorção nos quadros de imagem transmitidos. Giroscópios podem ser usados para medir os movimentos (por exemplo, rotações) da câmera durante a captura de vídeo. O movimento de

câmera medido pode ser usado para estabilizar o vídeo e retificar o obturador rolante, para resultar no vídeo estabilizado tendo quadros de saída com imagens corrigidas.

[041] As técnicas da presente invenção podem aperfeiçoar a qualidade do vídeo de câmeras RS. Em uma concretização, giroscópios de sistemas microeletromecânicos (MEMS) são implementados para medir as rotações da câmera. Outros giroscópios e dispositivos de detecção de movimento também podem ser implementados. As medidas giroscópicas podem ser usadas para executar estabilização de vídeo (por exemplo, compensação de movimento entre quadros) e correção de obturador rolante (por exemplo, compensação de movimento entre quadros). Essa abordagem pode ser tanto computacionalmente barata quanto robusta, o que pode fazer com que seja particularmente adequada para implementações em tempo real em, por exemplo, plataformas móveis.

[042] Os sistemas e processos em um modelo unificado de uma câmera rotativa e um obturador rolante podem utilizar o modelo para computar uma distorção, que execute, simultaneamente, correção de obturador rolante e estabilização de vídeo. As técnicas de otimização, que podem ser proporcionadas, calibram automaticamente o giroscópio e a câmera. Isso pode permitir a recuperação de parâmetros desconhecidos, tais como deslocamento e retardo do giroscópio, bem como o comprimento focal da câmera e a velocidade do obturador rolante, de uma única captura de vídeo e giroscópica. Por conseguinte, qualquer combinação de *hardware* de giroscópio e de câmera pode ser calibrada sem a necessidade de um ajuste em laboratório especializado. Um dispositivo incluindo a câmera pode também incluir um dispositivo detector de movimento, tal como um giroscópio. Por exemplo, muitos *smartphones* têm câmeras e dispositivos detectores de movimento, tais como giroscópios e acelerômetros. Desse modo, a estabilização de vídeo e a correção do obturador rolante em tempo real podem ser proporcionadas sem necessitar do uso de

rastreadores de características ou sistemas MIS. Além do mais, giroscópios MEMS baratos podem ser implementados para medir diretamente o movimento da câmera. Unidades de medida inerciais (IMUs) podem ser usadas para desembaçar a imagem e para auxiliar um rastreador de características KLT.

[043] A medida de movimento de câmera usando dispositivos detectores de movimento, tais como giroscópios, permite que a estabilização de vídeo digital e a retificação RS sejam feitas com alta eficiência computacional. Essa abordagem pode ser robusta, mesmo sob iluminação pobre ou movimento de fundo substancial, porque o conteúdo de vídeo não é usado para estimativa de movimento. Além do mais, como mencionado acima, muitos telefones celulares equipados com câmeras já são equipados com giroscópios ou outros dispositivos detectores de movimento. Em comparação com os sistemas MIS, os giroscópios MEMS podem ser significativamente menos baratos, mais versáteis e menos volumosos.

[044] Em uma concretização, a estabilização de vídeo pode ser conduzida em três estágios: estimativa de movimento de câmera; refino de movimento; e distorção de imagem. A retificação de obturador rolante pode ser conduzida em uma maneira similar, exceto que o movimento de câmera efetivo pode ser usado para a computação de distorção, em vez do movimento refinado. Como vai ser discutido em mais detalhes no presente relatório descritivo, ambas a retificação de vídeo e a correção de obturador rolante podem ser conduzidas em uma computação de distorção sob uma estrutura unificada.

[045] Em uma concretização, o movimento de câmera pode ser modelado em termos de rotações apenas. Deve-se considerar que as translações podem ser medidas além, ou em lugar, das rotações em outras concretizações. Em alguns casos, as translações podem ser difíceis de medir precisamente usando, por exemplo, IMUs. Além do mais, os dados de acelerômetro podem precisar ser integrados duas vezes para obter as translações. Em comparação, os giroscópios medem a velocidade de rotação. Por-

tanto, os dados giroscópicos podem requerer apenas uma única integração para obter a orientação da câmera. Por conseguinte, as medidas de translação podem ser significativamente menos precisas do que as medidas de orientação em alguns casos. Além do mais, as medidas de translação podem ser complicadas por objetos a diferentes profundidades movimentando-se por diferentes graus. Em uma concretização, a estrutura baseada em característica ou estéreo de algoritmos de movimento (SfM) pode ser implementada para obter informações de profundidade. Quadros de distorção, para remover as translações, podem ser executados em algumas concretizações, mas podem ser complicados por paralax ou oclusões.

[046] A modelagem de translações de câmera em sistema podem gerar algumas consequências. Por exemplo, um otimizador pode cair em um local mínimo, enquanto tentando reconstruir as translações de um rastreador de características. Um algoritmo pode considerar que a câmera está imaginando uma cena puramente plana (por exemplo, de profundidade constante). Portanto, a reconstrução da translação pode ser complicada, devido ao paralax não modelado no vídeo.

[047] As concretizações modelando a rotação da câmera apenas em termos de rotações, ou, basicamente, em termos de rotações, podem minimizar os problemas encontrados com as translações. O sacudimento da câmera e a distorção do obturador rolante ocorrem principalmente de rotações, uma vez que as translações se atenuam rapidamente com o aumento da profundidade, e os objetos ficam suficientemente longe da lente, de modo que a instabilidade translacional da câmera não produz um movimento significativo na imagem.

MODELO DE CÂMERA EXEMPLIFICATIVO

[048] Em uma concretização, um modelo de câmera de obturador rolante rotativo, que é baseado em um modelo de câmera sem lente, é fornecido. A Figura 1 ilustra um modelo de câmera sem lente exemplificativo 101, de acordo com uma concretização. Um raio de um centro de câmera c a um ponto x na cena vai intercep-

tar o plano de imagem no ponto x . Portanto, a projeção do latitude e longitude no plano de imagem depende do centro da câmera c , do comprimento focal f e do local do eixo da câmera (o_x, o_y) no plano de imagem. Em uma câmera sem lente, a relação entre o ponto de imagem nas coordenadas homogêneas e o ponto X correspondente X em coordenadas de latitude e longitude pode ser especificada pela equação exemplificativa(1).

$$x = KX, \text{ and } X = \lambda K^{-1}x \quad (1)$$

[049] Nesse caso, λ é um fator de escala desconhecido e K é a câmera intrínseca. K^{-1} pode ser especificado pela equação exemplificativa (2).

$$K^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -o_x \\ 0 & 1 & -o_y \\ 0 & 0 & f \end{pmatrix} \quad (2)$$

[050] (o_x, o_y) é a origem do eixo da câmera no plano de imagem e f é o comprimento focal. O comprimento focal da câmera é um parâmetro desconhecido, que pode ser recuperado. A câmera pode ser considerada como tendo pixels quadrados e as entradas diagonais superiores estabelecidas em 1. No entanto, outras concretizações podem ampliar esse modelo para considerar pixels não quadrados ou outras distorções ópticas.

[051] A distorção pode ocorrer de rotações de câmera de alta frequência. Por exemplo, as rotações de câmera de alta frequência, enquanto o obturador está rolando da parte de topo para a de fundo, podem provocar que a imagem de saída parece distorcida. Essa imagem distorcida pode ser modelada matematicamente.

[052] A origem de latitude e longitude pode ser ajustada na origem da câmera. O movimento da câmera pode ser então descrito em termos de sua orientação $R(t)$ no tempo t . Desse modo, para qualquer ponto de cena X , o ponto de imagem x correspondente no tempo t pode ser mostrado pela equação exemplificativa (3).

$$x = KR(t)X \quad (3)$$

[053] As matrizes de rotação $R(t)$ e $SO(3)$ podem ser computadas por com-

binação das variações no ângulo da câmera $\Delta\theta(t)$. A interpolação linear esférica (SLERP) de quaterniões pode ser usada para interpolar uniformemente a orientação da câmera e evitar travamento de suspensão cardânica. A variação no ângulo entre as amostras do giroscópio podem ser suficientemente pequenas que os ângulos de Euler funcionam também como quaterniões de rotação. $\Delta\theta(t)$ pode ser diretamente obtido de velocidades de rotação $\omega(t)$ medidas por giroscópio, como especificado na seguinte equação exemplificativa (4).

$$\Delta\theta(t) = (\omega(t + t_d) + \omega_d) * \Delta t \quad (4)$$

[054] ω_d é o deslocamento do giroscópio e t_d é o retardo entre o giroscópio e os períodos de tempo de amostras de quadro. Esses parâmetros são outros desconhecidos, que podem ser recuperados também pelo modelo.

[055] O obturador rolante pode ser também introduzido no modelo de câmera. Em uma câmera RS, cada fileira de imagem é exposta a um tempo ligeiramente diferente. As rotações da câmera durante essa exposição pode, no entanto, determinar a distorção da imagem. A instabilidade translacional da câmera, durante a exposição do orientação de câmera, não afeta significativamente a distorção da imagem, porque os objetos ficam tipicamente longe da lente. Por exemplo, se a câmera se inclina de um lado ao outro, enquanto o obturador está rolando, então a imagem de saída vai ficar distorcida, como é mostrado na Figura 3. O tempo no qual o ponto x foi transformado em imagem, no quadro i , depende de quão mais abaixo está o quadro. Pode-se determinar que x foi transformado em imagem no tempo $t(i,y)$, como especificado pela equação exemplificativa (5).

$$t(i,y) = t_i + t_s * y/h, \text{ where } \mathbf{x} = (x,y,1)^T \quad (5)$$

[056] y é a fileira de imagem correspondente ao ponto x . h é o número total de fileiras no quadro, t_i é o período de tempo do i^o quadro. O termo t_s indica que quanto mais distante no quadro, mais tempo leva para que o obturador rolante apareça nessa fileira. Por conseguinte, t_s é o tempo que leva para ler um quadro integral

indo de fileira em fileira, da parte de topo para a de fundo. Um valor t_s negativo vai indicar um obturador rolante que se desloca da parte de fundo para a de topo. A recuperação automática do sinal e do valor de t_s é descrita em mais detalhes no presente relatório descritivo.

[057] A relação entre os pontos de imagem em um par de quadros para duas diferentes orientações de câmera pode ser obtida. A Figura 2 ilustra uma representação gráfica de duas orientações de câmera e de seus planos de imagem correspondentes, de acordo com uma concretização. A representação gráfica 201 inclui duas orientações de câmera 202 e 203. A orientação de câmera 202 inclui o plano de imagem i . A orientação de câmera 203 inclui o plano de imagem j . Uma imagem do ponto de cena X aparece nos dois quadros nos quais o raio 211 intercepta os planos de imagem i e j . Para um ponto de cena X , os pontos projetados x_i e x_j , no plano de imagem dos dois quadros i e j , respectivamente, podem ser especificados pela seguintes equações exemplificativas (6).

$$x_i = \mathbf{KR}(t(i, y_i))\mathbf{X}, \text{ e } x_j = \mathbf{KR}(t(j, y_j))\mathbf{X} \quad (6)$$

[058] Se essas equações forem redistribuídas e se X for substituído, um mapeamento de todos os pontos no quadro i a todos os pontos no quadro j é obtido, como especificado pela seguinte equação exemplificativa (7).

$$x_j = \mathbf{KR}(t(j, y_j))\mathbf{R}^T(t(i, y_i))\mathbf{K}^{-1}x_i \quad (7)$$

[059] Ainda que a relação entre os dois quadros tenha sido descrita em relação ao mesmo vídeo, em outras concretizações, os quadros podem ser mapeados de uma câmera, que gira de acordo com $\mathbf{R}(t)$, em outra câmera, que gira de acordo com $\mathbf{R}'(t)$. Em uma concretização, ambos os centros de câmera podem ser considerados como estando na origem. A matriz de distorção \mathbf{W} , que mapeia os pontos de uma câmera na outra podem ser especificados de acordo com a seguinte equação exemplificativa (8).

$$\mathbf{W}(t_1, t_2) = \mathbf{KR}'(t_1)\mathbf{R}^T(t_2)\mathbf{K}^{-1} \quad (8)$$

[060] A equação 7 pode ser então especificada mais compactamente de acordo com a seguinte equação exemplificativa (9).

$$\mathbf{x}_j = \mathbf{W}(t(j, y_j), t(i, y_i))\mathbf{x}_i \quad \text{onde} \quad \mathbf{R}' = \mathbf{R} \quad (9)$$

[061] \mathbf{W} depende de ambas as fileiras de imagem y_i e y_j dos pontos de imagem \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_j , respectivamente. Essa matriz de distorção pode ser usada para comparar os pontos no quadro i aos pontos correspondentes no quadro j , enquanto considerando os efeitos do obturador rolante em ambos os quadros.

[062] Essa formulação de uma matriz de distorção proporciona uma correção de obturador rolante e uma estabilização de vídeo. Uma câmera sintética pode ser criada, que tem um movimento uniforme e um obturador global. Esse movimento de câmera pode ser computado por aplicação de um filtro de passa-baixos gaussiano, por exemplo, para o movimento da câmera de entrada, o que resulta em um novo conjunto de rotações \mathbf{R}' . A duração do obturador rolante t_s para a câmera sintética pode ser estabelecido como 0 no que se refere a um obturador global. $\mathbf{W}(t_i, t(i, y_i))$ pode ser então computado em cada fileira de imagem y_i do quadro i de momento, e a distorção pode ser aplicada naquela fileira. O primeiro termo de \mathbf{W} pode então apenas depender do tempo do quadro t_i . Essa operação pode mapear todos os quadros de entrada na câmera sintética, e, por conseguinte, remover, simultaneamente, a distorção de obturador rolante e o sacudimento de vídeo.

[063] Em certas concretizações, $\mathbf{W}(t_i, t(i, y_i))$ não é computado para cada fileira de imagem y_i . Em vez disso, a imagem de entrada pode ser subdividida e a distorção computada em cada subdivisão vertical. A Figura 3 ilustra uma transformação exemplificativa para corrigir a distorção, de acordo com uma concretização. O quadro de imagem de entrada distorcido 301 mostra uma imagem distorcida subdividida, que foi capturada por uma câmera RS. A distorção é computada em cada subdivisão vertical, como mostrado no quadro de imagem 311. O quadro de imagem 311 mostra uma aproximação linear em forma de partes de distorção não linear. Como mostrado

pelo quadro de imagem resultante 316, vários números de subdivisões podem ser suficientes para eliminar os artefatos. Por exemplo, em uma concretização, 10 subdivisões podem ser suficientes para eliminar os artefatos visuais. Uma malha distorcida da imagem de entrada foi criada, que é uma aproximação linear em forma de partes da distorção não linear. Ainda que dez subdivisões possam ser suficientes para remover quaisquer artefatos RS visíveis, outras concretizações podem incluir um número diferente de subdivisões. A abordagem de amostragem pode ser referida com uma interpolação inversa. A interpolação inversa pode ser fácil de implementar em uma unidade de processamento grafo (GUI) usando unidades de sombreamento de vértice. A unidade de sombreamento de fragmentos de GPU pode assumir a reamostragem da imagem distorcida em malha usando interpolação bilinear. A distorção RS em vídeos reais pode não ser suficientemente significativa de modo a produzir o contorno de artefatos, devido à interpolação inversa bilinear. Por conseguinte, a interpolação inversa pode funcionar bem na prática. A correção de obturador rolante usando distorções de imagens globais pode considerar que a rotação da câmera é mais ou menos constante, durante a exposição do obturador rolante. Uma aproximação linear pode falhar em retificar o obturador rolante, como mostrado pelo quadro de imagem 306 na Figura 3.

CALIBRAÇÃO DE CÂMERA E GIROSCÓPIO

[064] Técnicas de calibração são proporcionadas para recuperar os parâmetros desconhecidos da câmera e do giroscópio descritos no presente relatório descritivo. A calibração pode propiciar a computação direta de W dos dados do giroscópio. Os parâmetros desconhecidos no modelo, descrito no presente relatório descritivo, podem incluir: o comprimento focal da câmera f ; a duração do obturador rolante t_s ; o retardo entre o giroscópio e os períodos de tempo de amostras de quadros t_d ; e o deslocamento do giroscópio w_d .

[065] Em alguns casos, um ou mais desses parâmetros, tal como o compri-

mento focal f da câmera, podem ser especificados pelo fabricante. Em alguns casos, esses parâmetros podem ser medidos experimentalmente. Por exemplo, uma exibição intermitente rápida pode ser usada para medir a duração do obturador rolante t_s . No entanto, essas técnicas podem tender a ser imprecisas e propensas a erro. Essas técnicas podem ser também tediosas. A duração do obturador rolante pode ser, tipicamente, na faixa de milissegundos. Por conseguinte, um pequeno desalinhamento em t_d ou t_s pode provocar falha na retificação do obturador rolante.

[066] Em uma concretização, esses parâmetros podem ser estimados de uma única captura de vídeo e giroscópio. Por exemplo, o usuário pode estar gravando um vídeo e um traço de giroscópio, enquanto ficando parado e sacudindo a câmera enquanto apontando para um objeto estacionário, tal como um prédio. A duração do videoclipe pode variar nas diferentes concretizações. Em uma concretização, um videoclipe curto (por exemplo, de duração igual ou inferior a dez segundos) pode ser suficiente para estimar todos os parâmetros desconhecidos. Essa etapa de calibração pode precisar ser feita apenas uma vez para cada disposição de câmera e giroscópio.

[067] Em uma concretização, os pontos de associação são identificados em quadros de vídeo consecutivos. Os pontos de associação podem ser identificados usando, por exemplo, a transformada de característica de escala invariante (SIFT). As partes errantes podem ser descartadas usando, por exemplo, um consenso de amostragem global (RANSAC). O resultado pode ser um conjunto de correspondências de pontos x_i e x_j para todos os quadros vizinhos no vídeo capturado. Tendo em vista essa verdade fundamentada, a calibração pode ser formulada como um problema de otimização, no qual o erro de reprojeção dos mínimos quadrados de todas as correspondências de pontos pode ser minimizado. Isso é especificado na seguinte equação exemplificativa (10).

$$J = \sum_{(i,j)} ||x_j - W(t(i, y_j), t(i, y_i))x_i||^2 \quad (10)$$

[068] Vários otimizadores não lineares podem ser usados para minimizar a função objetiva. A diminuição das coordenadas pela função objetiva direta pode convergir rapidamente, e é implementada em uma concretização. Cada vez que um passo é considerado quando a função objetiva J não diminui, a direção do passo é invertida e o tamanho do passo do parâmetro correspondente é diminuído. O algoritmo pode terminar quando o tamanho do passo, para todos os parâmetros, cai abaixo de um limiar desejado, tal como uma precisão desejada é obtida. A convergência pode ocorrer rapidamente em alguns casos. Por exemplo, em uma concretização, a convergência pode ocorrer em 2 segundos ou menos para um vídeo de calibração de uma duração de cerca de 10 segundos.

[069] Em uma concretização, a otimização pode ser iniciada por ajuste do comprimento focal, de modo que a câmera tenha um campo de visão de 45° . Todos os outros parâmetros podem ser ajustados em 0. Com essas condições iniciais, o otimizador pode convergir para a solução correta para o conjunto de dados. Mais genericamente, cair em um local mínimo (por exemplo, quando o retardo entre o giroscópio e os períodos de tempo de quadros é grande) pode ser evitado por reinicialização do algoritmo de diminuição de coordenadas para uma gama de parâmetros plausíveis, e seleção da melhor solução. O erro de reprojeção médio para os parâmetros recuperados corretamente pode ser, por exemplo, em torno de 1 pixel.

[070] Um parâmetro desconhecido adicional no modelo pode ser a orientação relativa do giroscópio em relação à câmera. Por exemplo, as rotações em torno do eixo y do giroscópio podem corresponder às rotações em torno do eixo x da câmera.

[071] Para descobrir a orientação do giroscópio, os 3 eixos de rotação podem ser permutados, e o otimizador pode ser executado para cada permuta. A permuta que melhor minimiza a objetiva pode corresponder à ordem dos eixos da câmera. O erro de reprojeção pode ser significativamente maior para as permutas in-

corretas. Portanto, esse processo pode funcionar bem na prática.

[072] Ainda que se tenha considerado que a câmera tem um obturador rolante vertical, o modelo RS pode ser facilmente modificado para funcionar com colunas de imagem, em vez de fileiras. A descoberta do erro de reprojeção mínimo, para ambos os casos, pode indicar se a câmera tem um obturador rolante horizontal ou vertical.

[073] Finalmente, os resultados obtidos por meio de calibração podem ser demonstrados por análise dos sinais de vídeo e do giroscópio, antes e depois da calibração. Considerando pequenas as rotações entre os quadros, as translações na imagem podem ser aproximadamente computadas de rotação, como especificado na seguinte equação exemplificativa (11).

$$\dot{\mathbf{x}}(t) \approx f * \dot{\omega}(t + t_d), \text{ onde } \begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = (\dot{x}, \dot{y})^T \\ \dot{\omega} = (\omega_y, \omega_x)^T \end{cases} \quad (11)$$

[074] A equação (11) considera que não há quaisquer efeitos devido ao obturador rolante (por exemplo, $t_s = 0$), e as rotações em torno do eixo z (por exemplo, ω_z) podem ser ignoradas. \mathbf{x} é a velocidade média de translação ao longo de x e y para todas as correspondências de pontos em quadros consecutivos. Se o otimizador tiver convergido para o comprimento focal f e o retardo de giroscópio t_d , então os dois sinais devem ser alinhados. Antes da calibração, as amplitudes dos sinais \mathbf{x} e $f * \dot{\omega}_y(t + t_d)$ não são iguais, porque a estimativa inicial para f é muito baixa. Os sinais podem ser deslocados quando t_d é iniciado em 0. Após a calibração, os sinais podem ser bem alinhados, porque o comprimento focal e o retardo do giroscópio precisos foram recuperados. Os giroscópios precisos, tais como os giroscópios MEMS, permitem que os dados dos giroscópios sejam associados aos movimentos de imagem, resultando na estabilização de vídeo e na correção de obturador rolante aperfeiçoadas.

REFINAMENTO DE ROTAÇÃO COM BASE EM RESTRIÇÃO

[075] Em alguns aspectos da presente invenção, o sistema e os processos

podem ser fornecidos para computar um movimento de câmera otimamente uniforme, de acordo com a restrição, que as regiões vazias não são visíveis, ou abaixo de um valor de limiar mínimo. A Figura 4 ilustra um módulo de estabilização de vídeo digital, de acordo com uma concretização. O módulo de estabilização de vídeo digital 400 é mostrado incluindo um módulo de entrada 401, um módulo de refinamento 402 e um módulo de distorção 403.

[076] O módulo de entrada 401 pode proporcionar entradas para que sejam estabilizados o módulo de refinamento 402 e o módulo de distorção 405. O módulo de entrada 401 pode receber as entradas associadas com o vídeo que vai ser estabilizado. Por exemplo, as entradas podem incluir um conjunto de N quadros F_i , correspondentes aos tempos t_i para os N quadros F_i , e as orientações da câmera θ_i , em que $i = \{1..N\}$.

[077] O módulo de refinamento 402 compreende um conjunto de novas orientações de câmera refinadas ϕ , de modo que uma função de restrição $f(\phi, t)$ é satisfeita. O módulo de refinamento 402 pode incluir um módulo de velocidade de rotação 403 e um módulo de determinação de restrição 404.

[078] O módulo de velocidade de rotação 403 computa a velocidade de rotação, para garantir que uma velocidade de rotação suficientemente pequena seja mantida para a geração de orientações de câmera refinadas. O módulo de determinação de restrição 404 determina se uma restrição é satisfeita para as orientações desejadas ϕ_i no tempo t_i . Por exemplo, em uma concretização, a função de restrição $f(\phi, t)$ pode retornar 0 ou 1, dependendo se as regiões vazias são visíveis ou não, respectivamente, em vista de uma orientação desejada ϕ_i no tempo t_i .

[079] Por exemplo, o módulo de determinação de restrição 404 pode determinar se uma quantidade mínima de regiões vazias (por exemplo, abaixo de uma quantidade de limiar) são produzidas em quadros de imagem sucessivos. Se a quantidade de regiões vazias cai abaixo da quantidade de limiar, então a restrição é satis-

feita (por exemplo, a quantidade de regiões vazias não excede a quantidade de limiar), e a orientação desejada ϕ e o seu tempo t correspondente podem ser usados para gerar uma orientação refinada, que tem uma velocidade de rotação suficientemente pequena, que não gera uma quantidade de espaços vazios acima de um valor de limiar. Se a restrição não for satisfeita (por exemplo, a quantidade de regiões vazias excede a quantidade de limiar), então a orientação desejada ϕ correspondente pode ser ajustada, para manter uma velocidade de rotação suficientemente pequena, enquanto satisfazendo a restrição. Em uma concretização, a quantidade de limiar de regiões vazias é zero. Em outra concretização, a quantidade de limiar de regiões vazias é aproximadamente zero ou um valor desprezível, que é determinado para ser indetectável por olho humano. Em mais uma outra concretização, a quantidade de limiar de regiões vazias é um valor que impede que recorte, aplicação de zoom ou reconstrução seja usado efetivamente, tal como para eliminar todas as regiões vazias, ou aproximadamente todas as regiões vazias. Em outras concretizações, a quantidade de limiar de regiões vazias pode ser ajustada como desejado, com base na aplicação e no nível de tolerância.

[080] O módulo de distorção 405 gera quadros distorcidos, com base no conjunto de novas orientações de câmera ϕ_i refinadas computadas pelo módulo de refinamento 402. Por exemplo, o módulo de distorção 405 pode implementar uma função de distorção $g(F, \phi, t)$, que adota como uma entrada um quadro F , uma orientação refinada ϕ e seu tempo t correspondente, e gera um quadro distorcido F' . Em vista da variação uniforme de ϕ_i com o tempo, como transmitido pelo módulo de refinamento 402, e de seleções adequadas das funções f e g , os quadros distorcidos resultantes F'_i vão compor um vídeo de saída estabilizado. A função f pode depender da sele da função de distorção g , e pode indicar simplesmente se, após aplicação da função de distorção g , as regiões vazias vão ser visíveis ou não no quadro.

[081] A função de distorção específica implementada pode variar nas dife-

rentes concretizações. As diferentes funções de distorção podem ser adequadas para as várias câmeras ou as aproximações desejadas. Por exemplo, a função de distorção implementada pode ser baseada em se uma câmera tem um obturador rolante e pequenas aberrações de lente, ou se tem um obturador global. Por exemplo, em uma concretização, para câmeras com um obturador global, uma função de distorção de homografia pode ser implementada. Outras aproximações, tais como transformações afins, ou uma rotação mais uma translação no espaço da imagem de quadro, podem ser implementadas.

[082] Em uma concretização, a entrada θ_i são rotações no grupo $SO(3)$. Há vários modos para representar as rotações, tais como por meio de matrizes e quaterniões de rotação. As representações que se baseiam em $SO(3)$ podem ser convertidas em uma representação que facilita a interpolação uniforme, tais como quaterniões em vez de ângulos de Euler. As rotações θ_i podem ser computadas de um rastreador de características com base em imagem, por exemplo, ou, diretamente, por medida e integração de leituras de giroscópio. Qualquer outro processo, que produza estimativas precisas da orientação de câmera, pode ser implementado em outras concretizações.

[083] Ainda que θ tenha sido descrito em termos de rotações de câmera, em outras concretizações, θ pode incluir um vetor, que contém ambas as rotações e translações da câmera em espaço 3D. Por exemplo, os vetores, que incluem ambas as rotações e as translações, podem ser produzidos por uma estrutura de algoritmo de movimento. Em uma concretização, θ pode incluir translações ou rotações no espaço de imagem de quadro, ou outras aproximações menos precisas mas potencialmente computacionalmente mais baratas. Desde que θ possa ser interpolado uniformemente e o θ resultante possa ser introduzido em uma função f e g correspondente, a estabilização de vídeo digital pode ser obtida.

[084] O termo "movimento de câmera uniforme" pode ser usado, no presente

relatório descritivo, para referir-se a pequenas variações na velocidade de rotação. Isso é diferente de pequenas variações em rotação de quadros vizinhos. Pequenas variações na velocidade de rotação podem produzir orientações que facilitam a entrada e saída de restrições impostas com o tempo. As pequenas variações em rotação de quadros vizinhos promovem a interpolação para as e das restrições, enquanto produzindo descontinuidades em derivadas de orientação no tempo quando a restrição é cumprida.

[085] O refino de rotação com base em restrição pode incluir uma otimização, que inclui a minimização de uma função de energia, com base na velocidade de rotação e na restrição.

[086] Em uma concretização, a função de energia, J , a ser minimizada, pode ser especificada pela seguinte equação exemplificativa (12).

$$J = \sum_{i=2}^{N-1} \left\| \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{t_{i+1} - t_i} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right\|^2 \text{ s.t. } f(\phi_i, t_i) = 0 \forall i \quad (12)$$

[087] As rotações ϕ podem se representadas como quatérniões (também conhecidos como versores) unitários. Além do mais, a restrição rígida pode ser substituída por uma constante suave, como especificado na seguinte equação exemplificativa (13).

$$J = \sum_{i=2}^{N-1} \left\| \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{t_{i+1} - t_i} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right\|^2 + \lambda \sum_{i=1}^N f(\phi_i, t_i) \quad (13)$$

λ pode determinar como intensamente a restrição f é cumprida. Por exemplo, a especificação de λ como infinito pode garantir que nenhuma região vazia seja visível, considerando que as restrições tenham sido satisfeitas.

[088] Vários algoritmos de otimização podem ser usados para minimizar a função de energia J em qualquer forma mostrada na equação exemplificativa (12) ou (13). Em uma concretização, um algoritmo iterativo base em diminuição de gradiente da equação exemplificativa (12) é implementado, quando a restrição pode ser cumprida em cada iteração. Em uma concretização, os quadros podem ser espaçados

temporalmente igualmente, tal como uma câmara, que regista vários quadros específicos por segundo. Com os quadros igualmente espaçados, o denominador pode ser considerado como sendo constante e pode ser eliminado da soma. A derivada pode ser então especificada pela seguinte equação exemplificativa (14).

$$\frac{\partial J}{\partial \phi_i} = C(\phi_{i+2} - 4\phi_{i+1} + 6\phi_i - 4\phi_{i-1} + \phi_{i-2}), \quad (14)$$

[089] C pode ser uma constante, que controla a grandeza do gradiente. Em algumas concretizações, isso pode ser estabelecido automaticamente por algumas formas de diminuição de gradiente, tais como processos baseados em momento. Em outras concretizações, isso pode ser estabelecido como desejado para controlar a velocidade de diminuição em uma diminuição de gradiente comum. Um valor exemplificativo pode ser, por exemplo, $C = 2/(\Delta t)^2$. A equação (14) pode ser especificada mais compacta pela seguinte equação exemplificativa (15).

$$\frac{\partial J}{\partial \phi_i} = CK\Phi_i \quad \text{onde} \quad K = \begin{bmatrix} 1 \\ -4 \\ 6 \\ -4 \\ 1 \end{bmatrix}^T, \quad \text{e} \quad \Phi_i = \begin{bmatrix} \phi_{i+2}^T \\ \phi_{i+1}^T \\ \phi_i^T \\ \phi_{i-1}^T \\ \phi_{i-2}^T \end{bmatrix} \quad (15)$$

[090] O núcleo K pode ser uma transformada de Laplace de filtro gaussiano (LoG). O filtro LoG pode ser aproximada com um Filtro de Diferença de gaussianos (DoG) ou Diferença de Caixas (DoB). O núcleo k pode ser também ajustado por entrelaçamento de um filtro LoG com um filtro gaussiano. Este pode controlar gradualmente a velocidade de rotação no caso de variação (ou a quantidade de atingimento ou não das restrições). As seleções dos filtros LoG/DoG/DoB e/ou gaussiano podem afetar os coeficientes e o tamanho do núcleo K, mas desde que o núcleo compute uma forma de uma derivada temporal, as orientações otimizadas podem apresentar alguma forma de atingimento ou não das restrições.

[091] Em uma concretização, a aplicação do núcleo aos quaterniões é feita como uma ponderação linear dos vetores 4D. Em teoria, a interpolação de quaterniões usando interpolação linear esférica (slerp) pode ser um processo preciso. Para

pequenas variações nos ângulos, a interpolação linear mais uma normalização do quaternião resultante (lerp), em cada iteração, é suficiente para produzir resultados suficientemente precisos. Esses resultados podem ser obtidos porque $\sin(\theta) \sim \theta$, quando θ é pequeno. A variação no ângulo induzido por estabelecimento de comunicação (por exemplo, variações que vão ser retificadas) não é tipicamente grande. Além do mais, níveis razoáveis de recorte, aplicação de zoom ou fatores de reconstrução podem não deixar muita margem. Apenas pequenos ângulos podem não produzir regiões vazias. Desse modo, o ângulo induzido por estabelecimento de comunicação entre os quaterniões de orientações consecutivas pode não ser, na prática, grande, e a aproximação pode ser tanto precisa quanto computacionalmente eficiente. Além do mais, para rápidas rotações de câmera (por uma movimentação horizontal rápida sobre imagem à esquerda), a função de restrição f pode dominar as orientações resultantes. Desse modo, quaisquer imprecisões de lerp podem não ser perceptíveis.

[092] Em uma concretização, o refino de rotação com base em restrição pode ser especificado em termos do seguinte algoritmo exemplificativo (1).

Algoritmo 1 - Refino de rotação com base em restrição

```

for  $i = 1..N$  do
   $\phi_i \leftarrow \theta_i$ 
end for
for  $j = 1..numiter$  do
  for  $i = 3..(N - 2)$  do
    if  $f(n(\phi_i - CK\Phi_i), t_i) = 0$  then
       $\phi_i \leftarrow n(\phi_i - CK\Phi_i)$ 
    end if
  end for
end for

```

[093] ϕ_i pode ser pré-computado no loop externo, de modo que isso não altere o loop interno. O número de iterações, "numiter", pode ser estabelecido suficientemente alto para resultar em rotações uniformes. O ϕ_i resultante pode ser então alimentado a g , para produzir um vídeo de saída estável.

[094] $n(\phi)$ é a etapa de normalização em lerp e pode ser definida como: $n(\phi)$

$= \phi / \|\phi\|$. A indexação i no algoritmo 1 é selecionada de modo que ϕ_i seja válido, e, portanto, possa depender do tamanho do núcleo k . Nesse exemplo, as rotações nos limites podem ser mantidas fixas. Em outras concretizações, o limite pode ser estendido por meio de extrapolação, permitindo que todo o conjunto de orientações sejam iteradas durante a otimização. Todo o conjunto de orientações pode ser especificado como o seguinte conjunto.

$$\{\phi_i\}_{i=1}^N$$

[095] A Figura 5 ilustra grafos de exemplos de dados de entrada e dados resultantes após refino, de acordo com uma concretização. O grafo de topo inclui os dados de entrada 502 representados contra o tempo, com as restrições 503 indicadas por círculos. O grafo de fundo inclui os dados resultantes 504, incluindo as restrições 503, que resultaram dos dados de entrada 502, após refino, de acordo com as técnicas de refino de rota com base em restrição descritas no presente relatório descritivo. Por exemplo, os dados resultantes 504 podem ser refinados por imposição para que a velocidade de rotação (ou derivada) seja pequena (ou abaixo de um valor de limiar), enquanto garantindo que a restrição (por exemplo, uma quantidade de limiar de regiões vazias que não sejam produzidas em sucessivos quadros de imagem) seja satisfeita. Pequenas variações na velocidade de rotação podem produzir orientações que seguem ou não as restrições impostas com o tempo. Os dados resultantes 504 seguem ou não as restrições 503. Por outro lado, o grafo intermediário inclui os dados resultantes 506, incluindo as restrições 503, que resultaram de um refino tentado dos dados de entrada 502 por imposição de que a mudança em orientação de quadros vizinhos seja pequena. Pequenas variações em rotação de quadros vizinhos interpola nas e das restrições, enquanto produzindo descontinuidades em derivadas de orientação no tempo, no qual a restrição é imposta. Como mostrado, os dados resultantes 506 incluem descontinuidades na derivada nas restrições 503.

[096] A Figura 6 ilustra um processo exemplificativo para refino com base em restrição, de acordo com uma concretização. No bloco 601 do processo 600, os dados de vídeo são recebidos. Os dados de vídeo podem incluir um conjunto de quadros de imagem, tendo períodos de tempo associados. Em uma concretização, o bloco 601 pode ser executado pelo módulo de entrada 701 da Figura 4.

[097] No bloco 603, os dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, são recebidos. Por exemplo, o dispositivo incluindo a câmera pode também incluir um sensor de orientação, tal como um giroscópio, um acelerômetro, etc., que gera dados de orientação de câmera, que rastreia a orientação da câmera, durante a captura do vídeo. Os dados de orientação de câmera podem incluir períodos de tempo associados, para ligar ou de outro modo associar os dados de orientação de câmera ao conjunto de imagens nos dados de vídeo. Em alguns casos, os dados de orientação de câmera podem ser recebidos ao mesmo tempo que os dados de vídeo, tal como conjuntamente com os dados de vídeo. Em uma concretização, o bloco 602 pode ser executado pelo módulo de entrada 701 da Figura 4.

[098] Em uma concretização, os blocos 601 e 603 podem ser executados pelo dispositivo tendo a câmera (por exemplo, *smartphone* ou outro dispositivo portátil), que é usado para capturar o vídeo. Por exemplo, os dados de vídeo e os dados de orientação de câmera podem ser recebidos por captura do vídeo. Em outra concretização, os blocos 601 e 603 podem ser executados por um dispositivo separado (por exemplo, um computador), que recebe, subsequentemente, os dados de vídeo capturados pelo dispositivo incluindo a câmera (por exemplo, *smartphone*). Por exemplo, os dados de vídeo e os dados de orientação de câmera podem ser transmitidos ou transferidos a um dispositivo separado do dispositivo incluindo a câmera e o sensor de orientação, tal como um *smartphone* com câmera.

[099] No bloco 605, um conjunto de dados de orientação de câmera é gerado por minimização da velocidade de rotação entre os sucessivos quadros de ima-

gem, enquanto minimizando (ou limitando) a quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante. O conjunto refinado de quadros de imagem resultante é reorientado com base nos dados refinados dos dados de orientação de câmera.

[0100] Em uma concretização, o conjunto de dados de orientação de câmera é gerado por minimização de qualquer uma das equações (12) ou (13) descritas no presente relatório descritivo. Em uma concretização, um algoritmo iterativo baseado em diminuição de gradiente da equação exemplificativa (12) é implementado, em que a restrição pode ser imposta em cada iteração.

[0101] No bloco 607, o conjunto de quadros de imagem é distorcido para formar um conjunto de quadros de imagem corrigidos. O conjunto de quadros de imagem pode ser distorcido com base nos períodos de tempo associados para o conjunto de quadros de imagem e o conjunto refinado de dados de orientação de câmera. Em uma concretização, um quadro de imagem individual pode ser dividido em várias subseções, com cada subseção tendo um período de tempo e uma orientação de câmera associados. Cada subseção pode ser realinhada com base no período de tempo e na orientação de câmera associados, para formar um quadro de imagem individual corrigido.

REDUÇÃO DE VISIBILIDADE DE ARTEFATOS BORRADOS MÓVEIS

[0102] A estabilização de vídeo digital de vídeo, capturado em baixa intensidade de luz, produz, frequentemente, artefatos borrados de movimento estranho. Isso pode ocorrer porque o borrão móvel parece estranho quando o movimento (por exemplo, um estabelecimento de comunicação) que provocou o fato é removido. Em alguns casos, pode ser necessário deixar apenas o suficiente do estabelecimento de comunicação no vídeo estabilizado, para explicar os traços do movimento. Se houver um traço de movimento horizontal clara em um quadro, pode ser necessário que a orientação varie horizontalmente de acordo com esse traço, para que o traço faça

sentido. Se não houver nenhum movimento horizontal, então esse traço pode ser acrescentado ou removido sem qualquer razão no vídeo estabilizado, o que pode provocar artefatos borrados de movimento visível.

[0103] Em uma concretização, a mudança em orientação $\Delta\theta_i$, que ocorreu enquanto o obturador da câmera estava aberto, é computada de acordo com a seguinte equação exemplificativa (16).

$$\Delta\theta_i = \theta(t_i^s) - \theta(t_i^s + e_i) \quad (16)$$

[0104] t_i^s pode representar o tempo no qual o obturador está aberto para o quadro F_i . e_i é a duração de exposição do quadro. $\theta(t)$ é a orientação da câmera no tempo t , que pode ser computada por interpolação pela seguintes expressão.

$$\{\theta_i, t_i\}_{i=1}^N$$

[0105] No exemplo descrito acima para estabilização de vídeo digital e correção de obturador rolante por uso de giroscópios, $\Delta\theta_i$ também pode ser computado diretamente das leituras de giroscópio apenas por integração pelo período no qual o obturador está aberto. A equação (1) ou a equação (2) de soma interna pode ser modificada como especificado na seguinte equação exemplificativa (17).

$$\sum_{i=2}^{N-1} \left\| \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{t_{i+1} - t_i} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} - (\Delta\theta_i - \Delta\theta_{i-1}) \right\|^2 \quad (17)$$

[0106] A equação (17) considera que $t_i^s \geq t_i$ e que $(t_i^s + e_i) \leq t_{i+1}$. O obturador não abre antes do período de tempo do quadro, e fecha antes do início do quadro seguinte. Em outra concretização, os períodos de tempo de entrada podem ser calculados diferentemente (por exemplo, t_i é o tempo quando o obturador foi fechado), e uma etapa de pré-processamento pode ser adicionada para ajustar os períodos de tempo, para que os requisitos sejam satisfeitos.

[0107] Na concretização descrita acima, as mudanças em orientação, que deixam os traços de movimento nos quadros, são mantidas. Em outra concretização, uma aproximação pode ser implementada pela seguinte equação exemplificativa

(18).

$$\sum_{i=2}^{N-1} \left\| \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{t_{i+1} - t_i} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right\|^2 + \gamma \sum_{i=1}^{N-1} \left\| \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{t_{i+1} - t_i} - \Delta\theta_i \right\|^2 \quad (18)$$

[0108] A aproximação na equação (18) pode tentar otimizar ϕ_i , de modo que as mudanças de orientação se situem ao longo dos traços de movimento $\Delta\theta_i$. O fator de escala γ pode controlar o compromisso entre refino e quão estreitamente os traços de movimento devem ser seguidos.

SELEÇÃO DE UM BOM FATOR DE ZOOM

[0109] Se, por exemplo, um fator de zoom (ou fator de recorte, fator de reconstrução ou qualquer outra medida aplicável ao algoritmo usado para proporcionar margem para estabilização de vídeo digital) tolerável é entre 1 e 1,25x. Para um determinado vídeo, pode ser desejável determinar o menor fator de zoom, que proporcione uma margem suficiente para produzir movimentos de câmera suaves. Em uma concretização, a uniformidade do movimento de câmera resultante pode ser medida pela seguinte equação exemplificativa (19).

$$q = \frac{1}{N-2} \sum_{i=2}^{N-1} f(n(\phi_i - C\mathbf{K}\Phi_1), t_i) \quad (19)$$

[0110] Na equação (19), q mede quão frequentemente a restrição de região vazia é imposta. Por exemplo, um valor de $q = 0,1$ pode significar que a média f é imposta a cada 10 quadros, para impedir que as regiões vazias sejam mostradas. Se, por exemplo, um espaçamento de 20 quadros for desejado para seguir ou não as restrições, então um bom valor pode ser $q = 0,05$.

[0111] Para encontrar o fator de zoom z' , que proporciona um valor de q' desejado, o algoritmo 1 pode ser solucionado para uma faixa de fatores de zoom (isto é, $z \in [1, 1,05, 1,1, 1,15, 1,2, 1,25]$). Supondo um fator de zoom z e o ϕ_i resultante obtidos por execução do algoritmo 1, o valor de q resultante pode ser computado da equação (19). O fator de zoom, que proporcionou o q mais próximo a q' pode ser então selecionado. Em outra concretização, o fator de zoom z' pode ser determinado

por interpolação linear do conjunto de dados resultante (q, z) em q' . A tabela de verificação (q, z) para os registros portáteis típicos pode ser também pré-computada e q' estimado da velocidade de rotação mediana ou média. Essa abordagem pode ser menos precisa para um vídeo particular, mas pode ser mais rápida porque não requer a execução do algoritmo de otimização várias vezes.

APERFEIÇOAMENTO DA EFICIÊNCIA COMPUTACIONAL

[0112] Há vários modos para aperfeiçoar a eficiência do algoritmo (1), tal como a introdução de aproximações, usando otimizadores diferentes de diminuição de gradiente, etc. Em uma concretização, o tamanho do núcleo em K na equação (15) pode ser reduzido e o gradiente pode ser atualizado como especificado na seguinte equação exemplificativa (20).

$$\frac{\partial J}{\partial \phi_i} = C(2K\Phi_i - K\Phi_{i-1} - K\Phi_{i+1}) \quad \text{onde} \quad K = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix}^T \quad (20)$$

[0113] Por redução do tamanho do núcleo (e reutilização dele), a computação do gradiente pode ser efetivamente acelerada. Outra propriedade do núcleo na equação (20) é que o valor de $K\phi_i$ pode ser computado mais precisamente usando *slerp*. Isso pode ser feito por meio de quadros não espaçados uniformemente, como especificado na seguinte equação exemplificativa (21).

$$\partial \phi_i = \phi_i - \text{slerp}(\phi_{i-1}, \phi_{i+1}, \frac{t_i - t_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}) \quad (21)$$

[0114] Ainda mais precisamente, a tangente esférica formada por ϕ_i e *slerp* pode ser determinada e usada na equação (20). A tangente esférica formada por ϕ_i e *slerp* pode ser especificada pela seguinte expressão exemplificativa.

$$\phi_i \text{ e } \text{slerp}(\phi_{i-1}, \phi_{i+1}, \frac{t_i - t_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}})$$

[0115] Em outra concretização, a eficiência pode ser aperfeiçoada por aperfeiçoamento da taxa de convergência do algoritmo 1, descrito no presente relatório descritivo. Isso pode ser obtido por execução dele um modo de grosseiro para fino.

Por exemplo, o algoritmo 1 pode ser inicializado por fornecimento e solução para cada 16ª orientação ϕ_i . A interpolação linear ou cúbica (por exemplo, slerp ou squad) pode ser então usada para computar ϕ_i entre eles. Um valor para cada 8ª orientação é obtido. O algoritmo 1 pode ser executado de novo, mas então otimizando a cada 8ª orientação para refino e restrições. Isso pode ser repetido até que o algoritmo 1 tenha sido executado para cada uma das orientações.

[0116] A execução de grosseiro em fino pode permitir que o algoritmo 1 seja executado para significativamente menos iterações em cada etapa. O movimento global da câmera pode ser uniformizado, e então as orientações podem ser refinadas para satisfazer as restrições a intervalos de quadros crescentemente menores, enquanto ainda mantendo uma posição parada uniforme. Em outra concretização, a amostragem não uniforme pode ser usada. Por exemplo, em vez de colher a cada 16º quadro, os quadros podem ser capturados com base em quanto a orientação foi desviada do quadro capturado previamente. Os segmentos podem ser então subdivididos até que uma orientação refinada tenha sido computada para todos os quadros.

[0117] Uma vez que a amostragem mais grosseira ou não uniforme pode introduzir grandes variações consecutivas nas orientações, o uso da modificação slerp, apresentada na equação (21), pode produzir resultados mais precisos.

APLICAÇÕES EXEMPLIFICATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO EM TEMPO REAL

[0118] Proporciona-se a seguir, uma concretização exemplificativa de adotar o algoritmo para ajustes em tempo real. Com N quadros mantidos na memória, o algoritmo é executado em um modo de janela deslizante. O índice i pode denotar o início da janela deslizante, e $i = N$ pode denotar o fim. As orientações dentro da janela deslizante podem ser maleáveis, pelo fato de que podem ser atualizadas por execução do algoritmo. Essas orientações podem ser especificadas pelo conjunto (2)

apresentado a seguir.

$$\{\phi_j\}_{j=i}^{i+N}$$

[0119] As orientações precedendo a janela deslizante (por exemplo, ϕ_{i-1}) podem ser fixas. A orientação de partida pode ser $\phi_i - 1$ e a velocidade de rotação (por exemplo, medida pelo giroscópio ou computada de um rastreador de características) podem ser integradas, para obter as orientações $\{\theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_{i+n}\}$. Isso pode ser usado como entrada para o algoritmo de otimização e para computar $\{\phi_i, \phi_{i+1}, \dots, \phi_{i+N-2}\}$. As orientações $\{\phi_{i-2}, \phi_{i-1}\}$ e $\{\phi_{i+N-1} = \phi_{i+N-1}, \phi_{i+N} = \phi_{i+N}\}$ podem ser mantidas fixas e podem servir como as condições limites, que garante movimentos suaves para dentro e para fora da janela deslizante.

[0120] Uma vez que o algoritmo é executado, a orientação de ϕ_i , que pode ser usada no quadro distorcido F_i , pode ser obtida. Uma vez que o quadro tenha sido distorcido, pode ser passado conjuntamente para o codificador e removido do armazenamento temporário de N quadros. Um novo quadro pode ser então recebido da câmera, e a janela deslizante pode ser avançada por um quadro.

[0121] O procedimento pode ser repetido até que a gravação seja interrompida e todos os quadros tenham sido processados. Para o primeiro dos quadros, $i = 1$, $\{\phi_{-1}, \phi_0\}$ pode ser indefinido. ϕ_{-1} e ϕ_0 podem ser ajustados para identificar o quaternião. Uma vez que o último quadro é recebido, o armazenamento temporário pode ser esvaziado por uso das orientações dentro da janela deslizante final, para distorcer os seus respectivos quadros.

[0122] Em alguns casos, um armazenamento temporário de pequeno tamanho (por exemplo, $N = 5$) pode não permitir que as restrições sejam ou não seguidas. Nesses casos, pode ser necessário modificar a função de restrição f para que seja uma restrição suave, que é alçada a uma restrição dura. Essa pode ser referido como uma função $f'(\phi, t)$. Em vez de retornar 0 ou 1, f' retorna uma nova orientação 'y', que pode ser empurrada do limite do quadro. A orientação mais próxima ϕ é ori-

ginada para mostrar uma região vazia, quanto mais f' pode empurrar a ϕ' resultante para longe da região vazia. O algoritmo 1 pode ser então reformulado como especificado no seguinte algoritmo exemplificativo (2).

Algoritmo 2 - Refino de rotação com base em restrição suave

```

for  $i = 1..N$  do
     $\phi_i \leftarrow \theta_i$ 
end for
for  $j = 1..numiter$  do
    for  $i = 3..(N - 2)$  do
         $\phi_i \leftarrow f'(n(\phi_i - CK\Phi_i), l_i)$ 
    end for
end for

```

[0123] Notar que se f' simplesmente retorna ϕ_i , quando a orientação $n(\phi_i - CK\phi_i)$ resulta em regiões vazias, então os algoritmos 1 e 2 podem ser equivalentes. A taxa de otimização do algoritmo 1 pode ser aperfeiçoada por uso do algoritmo 2, com uma função f' que "slerpa" ϕ_i no sentido de $n(\phi_i - CK\phi_i)$, mas para justo no ponto no qual as regiões vazias estão prestes a aparecer.

SISTEMA DE REDES SOCIAIS - IMPLEMENTAÇÃO EXEMPLIFICATIVA

[0124] A Figura 7 é um diagrama de rede de um sistema exemplificativo 700 para estimar atenção de usuário em um website ou aplicação, de acordo com uma concretização da invenção. O sistema 700 inclui um ou mais dispositivos de usuário 710, um ou mais sistemas externos 720, um sistema de redes sociais 730, e uma rede 750. Em uma concretização, o sistema de redes sociais, discutido em conjunto com as concretizações apresentadas acima, pode ser implementado como o sistema de redes sociais 730. Para fins ilustrativos, a concretização do sistema 700, mostrada pela Figura 7, inclui um único sistema externo 720 e um único dispositivo de usuário 710. No entanto, em outras concretizações, o sistema 700 pode incluir mais dispositivos de uma superfície 710 e/ou mais sistemas externos 720. Em certas concretizações, o sistema de redes sociais 730 é operado por um provedor de redes sociais, enquanto que os sistemas externos 720 são separados do sistema de redes sociais 730 pelo fato de que podem ser operados por diferentes entidades. Em várias con-

cretizações, no entanto, o sistema de redes sociais 730 e os sistemas externos 720 operam em conjunto para proporcionar serviços de redes sociais a usuário (ou membros) do sistema de redes sociais 730. Nesse sentido, o sistema de redes sociais 730 proporciona uma plataforma ou estrutura, que outros sistemas, tais como os sistemas externos 720, podem usar para proporcionar serviços de redes sociais e funcionalidades a usuário pela Internet.

[0125] O dispositivo de usuário 710 compreende um ou mais dispositivos de computação, que podem receber entrada de um usuário e transmitir e receber dados pela rede 750. Em uma concretização, o dispositivo de usuário 710 é um sistema computacional convencional, que executa, por exemplo, um sistema operacional (OS) compatível com Microsoft Windows, Apple OS X e/ou uma distribuição Linux. Em outra concretização, o dispositivo de usuário 710 pode ser um dispositivo tendo uma funcionalidade computadorizada, tal como um *smartphone*, um *tablet*, um auxiliar digital pessoal (PDA), um telefone móvel, etc. O dispositivo de usuário 710 é configurado para comunicação por meio da rede 750. O dispositivo de usuário 710 pode executar uma aplicação, por exemplo, uma aplicação de navegador, que permite que um usuário do dispositivo de usuário 710 interaja com o sistema de redes sociais 730. Em outra concretização, o dispositivo de usuário 710 interage com o sistema de redes sociais 730 por uma interface de programação de aplicação (API), proporcionada pelo sistema operacional nativo do dispositivo de usuário 710, tais como iOS e ANDROID. O dispositivo de usuário 710 é configurado para comunicação com o sistema externo 720 e com o sistema de redes sociais 730 pela rede 750, que pode compreender qualquer combinação de redes de área local e/ou de longa distância, usando sistemas de comunicação com e/ou sem fio.

[0126] Em uma concretização, a rede 750 usa comunicações, tecnologias e protocolos padronizados. Desse modo, a rede 750 inclui links usando tecnologias, tais como Ethernet 802.11, interoperacionalidade mundial para acesso por micro-

ondas (WiMAX), 3G, 4G, CDMA, GSM, LTE, linha de assinante digital (DSL), etc. De modo similar, os protocolos em rede usados na rede 750 podem incluir comutação de rotulagem de protocolos múltiplos (MPLS), protocolo de controle de transmissão / protocolo de Internet (TCP/IP), Protocolo de Datagrama de Usuário (UDP), protocolo de transporte de hipertexto (HTTP), protocolo de transferência de correio simples (SMTP), protocolo de transferência de arquivos (FTP) e assemelhados. Os dados trocados pela rede 750 podem ser representados usando tecnologias e/ou formatos, que incluem linguagem de marcação de hipertexto (HTML) e linguagem de marcação extensível (XML). Além disso, todos ou alguns links podem ser codificados por uso de tecnologias convencionais de codificação, tais como camada de soquetes seguros (SSL), segurança de camada de transporte (TLS) e segurança de Protocolo de Internet (IPsec).

[0127] Em uma concretização, o dispositivo de usuário 710 pode exibir conteúdo do sistema externo 720 e/ou do sistema de redes sociais 730 por processamento de um documento de linguagem de marcação 714, recebido do sistema externo 720 e do sistema de redes sociais 730, usando uma aplicação de navegador 712. O documento de linguagem de marcação 714 identifica conteúdo e uma ou mais instruções descrevendo a formatação ou apresentação do conteúdo. Por execução das instruções incluídas no documento de linguagem de marcação 714, a aplicação de navegador 712 exibe o conteúdo identificado usando o formato ou a apresentação descrita pelo documento de linguagem de marcação 714. Por exemplo, o documento de linguagem de marcação 714 inclui instruções para gerar e exibir uma página da rede tendo quadros múltiplos, que incluem dados de texto e/ou imagem recuperados do sistema externo 720 e do sistema de redes sociais 730. Em várias concretizações, o documento de linguagem de marcação 714 compreende um arquivo de dados, incluindo dados de linguagem de marcação extensível (XML), dados de linguagem de marcação de hipertexto extensível (XHTML), ou outros dados

de linguagem de marcação. Adicionalmente, o documento de linguagem de marcação 714 pode incluir dados de Notação de Objeto JavaScript (JSON) com enchimento (JSONP), e dados JavaScript para facilitar o intercâmbio de dados entre o sistema externo 720 e o dispositivo de usuário 710. A aplicação de navegador 712 no dispositivo de usuário 720 pode usar um compilador JavaScript para decodificar o documento de linguagem de marcação 714.

[0128] O documento de linguagem de marcação 714 pode também incluir, ou estar ligado a, aplicações ou estruturas de aplicação, tais como as aplicações FLASH™ ou Unity™, a estrutura de aplicação SilverLight™, etc.

[0129] Em uma concretização, o dispositivo de usuário 710 também inclui um ou mais cookies 716, incluindo dados indicativos se um usuário do dispositivo de usuário 710 está registrado no sistema de redes sociais 730, o que pode propiciar modificação dos dados comunicados do sistema de redes sociais 730 para o dispositivo de usuário 710.

[0130] O sistema externo 720 inclui um ou mais servidores de rede, que incluem uma ou mais páginas de rede 722a, 722b, que são comunicadas ao dispositivo de usuário 710 usando a rede 750. O sistema externo 720 é separado do sistema de redes sociais 730. Por exemplo, o sistema externo 720 é associado com um primeiro domínio, enquanto que o sistema de redes sociais 730 é associado com um domínio de redes sociais separado. As páginas de rede 722a, 722b, incluídas no sistema externo 720, compreendem documentos de linguagem de marcação 714, que identificam conteúdo e que incluem instruções especificando formatação ou apresentação do conteúdo identificado.

[0131] O sistema de redes sociais 730 inclui um ou mais dispositivos de computação para uma rede social, incluindo vários usuário, e proporcionar aos usuário da rede social a capacidade de comunicação e interação com outros usuários da rede social. Em alguns casos, a rede social pode ser representada por um grafo, isto

é, uma estrutura de dados incluindo bordas e nós. Outras estruturas de dados podem ser também usadas para representar a rede social, incluindo, mas não limitadas a, bases de dados, objetos, classes, metaelementos, arquivos ou quaisquer outras estruturas de dados. O sistema de redes sociais 730 pode ser administrado, gerenciado ou controlado por um operador. O operador do sistema de redes sociais 730 pode ser uma pessoa, uma aplicação automatizada, ou uma série de aplicações para gerenciar conteúdo, regular políticas e coletar métricas de uso dentro do sistema de redes sociais 730. Qualquer tipo de operador pode ser usado.

[0132] Os usuários podem ser unir ao sistema de redes sociais 730 e depois incorporar conexões a um número qualquer de outros usuários do sistema de redes sociais 730, ao qual se deseja ser conectado. Como usado no presente relatório descritivo, o termo "amigo" se refere a qualquer outro usuário do sistema de redes sociais 730, com a qual um usuário estabeleceu uma conexão, associação ou relação com o sistema de redes sociais 730. Por exemplo, em uma concretização, se usuários no sistema de redes sociais 730 forem representados como nós no grafo social, o termo "amigo" pode se referir a uma borda formada entre, e conectando diretamente, dois usuários.

[0133] Conexões podem ser adicionadas explicitamente por um usuário ou podem ser criadas automaticamente pelo sistema de redes sociais 730, com base em características comuns dos usuários (por exemplo, usuários que são alunos da mesma instituição educacional). Por exemplo, um primeiro usuário seleciona especificamente um outro usuário particular para que seja um amigo. As conexões no sistema de redes sociais 730 são usualmente em ambas as direções, mas não precisam ser, de modo que os termos "usuário" e "amigo" dependem do quadro de referência. As conexões entre os usuários do sistema de redes sociais 730 são usualmente bilaterais ("duas vias"), ou "mútuas", mas as conexões podem ser também unilaterais, ou "de via única". Por exemplo, se Bob e Joe são ambos usuários do sis-

tema de redes sociais 730 e conectados entre si, Bob e Joe são conectados entre si. Se, por outro lado, Bob deseja conectar-se a Joe para visualizar dados comunicados ao sistema de redes sociais 730 por Joe, mas Joe não deseja formar uma conexão mútua, uma conexão unilateral pode ser estabelecida. A conexão entre os usuários pode ser uma conexão direta; embora, algumas concretizações do sistema de redes sociais 730 permitam que a conexão seja indireta por meio de um ou mais níveis de conexões ou graus de separação.

[0134] Além de estabelecer e manter as conexões entre os usuários e permitir interações entre os usuários, o sistema de redes sociais 730 dota usuários com a capacidade de promover ações em vários tipos de itens suportados pelo sistema de redes sociais 730. Esses itens podem incluir grupos ou redes (isto é, redes sociais de pessoas, entidades e conceitos) às quais os usuários do sistema de redes sociais 730 podem pertencer, entradas de eventos ou calendário nas quais um usuário pode estar interessado, aplicações baseadas em computador que um usuário pode usar por meio do sistema de redes sociais 730, as transações que permitem que os usuários comprem ou vendam itens por meio de serviços fornecidos pelo ou por meio do sistema de redes sociais 730, e interações com propaganda, que um usuário pode executar ou não no sistema de redes sociais 730. Há apenas uns poucos exemplos dos itens nos quais um usuário pode agir no sistema de redes sociais 730, e muitos outros são possíveis. Um usuário pode interagir com qualquer coisa que seja capaz de ser representada no sistema de redes sociais 730 ou no sistema externo 720, separado do sistema de redes sociais 730, ou acoplado com o sistema de redes sociais 730 por meio da rede 750.

[0135] O sistema de redes sociais 730 é também capaz de ligar várias entidades. Por exemplo, o sistema de redes sociais 730 permite que os usuários interajam entre si, bem como com sistemas externos 720, ou outras entidades, por meio de uma API, um serviço de rede ou outros canais de comunicação. O sistema de

redes sociais 730 gera e mantém o "grafo social", que compreende vários nós interligados por várias bordas. Cada nó no grafo social pode representar uma entidade, que pode agir em outro nó, e/ou que pode agir por meio de outro nó. O grafo social pode incluir vários tipos de nós. Os exemplos de tipos de nós incluem usuários, entidades diferentes de pessoas, itens de conteúdo, páginas de rede, grupos, atividades, mensagens, conceitos e quaisquer outras coisas que podem ser representadas por um objeto no sistema de redes sociais 730. Uma borda entre dois nós no grafo social pode representar um tipo particular de conexão, ou associação, entre dois nós, que pode resultar de relações de nós ou de uma ação que foi executada por um dos nós no outro nó. Em alguns casos, as bordas entre os nós podem ser pesadas. O peso de uma borda pode representar um atributo associado com a borda, tal como uma intensidade da conexão ou associação entre os nós. Diferentes tipos de bordas podem ser fornecidos com diferentes pesos. Por exemplo, uma borda criada quando um usuário "gosta" de outro usuário pode receber um peso, enquanto que uma borda criada quando um "age como amigo" de outro usuário pode receber um diferente peso.

[0136] Como um exemplo, quando um primeiro usuário identifica um segundo usuário como um amigo, uma borda no grafo social é gerada conectando um nó, representando o primeiro usuário, e um segundo nó, representando o segundo usuário. Como os vários nós se referem ou interagem entre si, o sistema de redes sociais 730 modifica as bordas conectando os vários nós para refletir as relações e interações.

[0137] O sistema de redes sociais 730 também inclui conteúdo gerado por usuário, o que melhora as interações dos usuários com o sistema de redes sociais 730. O conteúdo gerado por usuário pode incluir qualquer coisa que um usuário possa adicionar, transferir, enviar ou "postar" para o sistema de redes sociais 730. Por exemplo, um usuário comunica postagens ao sistema de redes sociais 730 de

um dispositivo de usuário 710. As postagens podem incluir dados, tais como atualizações de status ou outros dados de texto, informações de localização, imagens tais como fotos, vídeos, links, música ou outros dados similares e/ou mídia. O conteúdo pode ser também adicionado ao sistema de redes sociais 730 por um terceiro. Os "itens" de conteúdo são representados como objetos no sistema de redes sociais 730. Desse modo, usuários do sistema de redes sociais 730 são encorajados a comunicarem-se entre si por postagem de itens de texto e de conteúdo de vários tipos de mídia por meio de vários canais de comunicação. Essa comunicação aumenta a interação de usuários entre si e aumenta a frequência com a qual usuários interagem com o sistema de redes sociais 730.

[0138] O sistema de redes sociais 730 inclui um servidor de rede 732, um servidor de pedido API 734, um armazenamento de perfil de usuário 736, um armazenamento de comunicação 738, um registrador de ação 740, um registro de atividade 744, e um módulo de estabilização de vídeo digital 746. Em uma concretização da invenção, o sistema de redes sociais 730 pode incluir componentes adicionais, menos componentes ou componentes diferentes para várias aplicações. Outros componentes, tais como interfaces de rede, mecanismos de segurança, equilibradores de carga, servidores de comutação em espera, e consoles de operações de rede e controle, e assemelhados, não são mostrados de modo a não obscurecer os detalhes do sistema.

[0139] O armazenamento de perfil de usuário 736 mantém informações sobre contas de usuários, incluindo informações biográficas, demográficas e outros tipos de informações descritivas, tais como experiência de trabalho, história educacional, hobbies ou preferências, localização e assemelhados, que tenham sido declaradas por usuários ou inferidas pelo sistema de redes sociais 730. Essas informações são armazenadas no armazenamento de perfil de usuário 736, de modo que cada usuário é identificado singularmente. O sistema de redes sociais 730 também

armazena dados descrevendo uma ou mais conexões entre diferentes usuários no armazenamento de conexão 738. As informações de conexão podem indicar usuários que têm experiência de trabalho similar ou comum, participantes de grupos, hobbies ou história educacional. Adicionalmente, o sistema de redes sociais 730 inclui conexões definidas por usuário entre diferentes usuários, permitindo que usuário especifiquem suas relações com outros usuários. Por exemplo, as conexões definidas por usuários permitem que os usuários gerem relações com outros usuários, que correspondem às relações da vida real de usuários, tais como amigos, colegas de trabalho, sócios e assim por diante. Os usuários podem selecionar dos tipos predefinidos de conexões, ou definir seus próprios tipos de conexão, se necessário. As conexões com outros nós no sistema de redes sociais 730, tais como entidades não pessoais, depósitos, centros de grupos, imagens, interesses, páginas, sistemas externos, conceitos e assemelhados são também armazenados no armazenamento de conexão 738.

[0140] O sistema de redes sociais 730 mantém dados sobre objetos com os quais um usuário pode interagir. Para manter esses dados, o armazenamento de perfil de usuário 736 e o armazenamento de conexão 738 armazenam casos do tipo correspondente de objetos mantidos pelo sistema de redes sociais 730. Cada tipo de objeto tem campos de informações, que são adequados para armazenamento de informações adequadas para o tipo de objeto. Por exemplo, o armazenamento de perfil de usuário 736 contém estruturas de dados com campos adequados para descrever uma conta de usuário e informações relacionadas a uma conta de usuário. Quando um novo objeto de um tipo particular é criado, o sistema de redes sociais 730 inicia uma nova estrutura de dados do tipo correspondente, atribui um identificador de objeto único a ele, e começa a adicionar dados ao objeto, se necessário. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando um usuário se torna um usuário do sistema de redes sociais 730, o sistema de redes sociais 730 gera um novo caso de um perfil de

usuário no armazenamento de perfil de usuário 736, atribui um identificador único à conta de usuário, e começa a encher os campos da conta de usuário com informações proporcionadas pelo usuário.

[0141] O armazenamento de conexão 738 inclui estruturas de dados adequadas para descrever as conexões de usuário a outros usuários, as conexões aos sistemas externos 720 ou as conexões às outras entidades. O armazenamento de conexão 738 pode também associar um tipo de conexão com as conexões de usuários, que podem ser usadas em conjunto com o ajuste de privacidade de usuário, para controlar o acesso às informações sobre o usuário. Em uma concretização da invenção, o armazenamento de perfil de usuário 736 e o armazenamento de conexão 738 podem ser implementados como uma base de dados associada.

[0142] Os dados armazenados no armazenamento de conexão 738, o armazenamento de perfil de usuário 736 e o registro de atividades 742 permitem que o sistema de redes sociais 730 gere o grafo social, que usa nós para identificar os vários objetos e bordas conectando os nós, para identificar as relações entre os diferentes objetos. Por exemplo, se um primeiro usuário estabelecer uma conexão com um segundo usuário no sistema de redes sociais 730, as contas de usuário do primeiro usuário e do segundo usuário do armazenamento de perfil de usuário 736 podem agir como nós no grafo social. A conexão entre o primeiro usuário e o segundo usuário, armazenada pelo armazenamento de conexão 738, é uma borda entre os nós associados com o primeiro usuário e o segundo usuário. Continuando esse exemplo, o segundo usuário pode então enviar ao primeiro usuário uma mensagem dentro do sistema de redes sociais 730. A ação de enviar a mensagem, que pode ser armazenada, é outra borda entre os dois nós no grafo social, representando o primeiro usuário e o segundo usuário. Adicionalmente, a própria mensagem pode ser identificada e incluída no grafo social como outro nó conectado aos nós representando o primeiro usuário e o segundo usuário.

[0143] Em outro exemplo, um primeiro usuário pode indicar um segundo usuário em uma imagem, que é mantida pelo sistema de redes sociais 730 (ou, alternativamente, em uma imagem mantida por outro sistema fora do sistema de redes sociais 730). A própria imagem pode ser representada como um nó no sistema de redes sociais 730. Essa ação de indicação pode criar bordas entre o primeiro usuário e o segundo usuário, bem como criar uma borda entre cada um dos usuários e a imagem, que é também um nó no grafo social. Em mais um outro exemplo, se um usuário confirmar o atendimento a um evento, o usuário e o evento são nós obtidos do armazenamento de perfil de usuário 736, em que o atendimento do evento é uma borda entre os nós que podem ser recuperados do registro de atividades 742. Por geração e manutenção do grafo social, o sistema de redes sociais 730 inclui dados descrevendo muitos diferentes tipos de objetos e as interações e conexões entre esses objetos, proporcionando uma rica fonte de informações socialmente relevantes.

[0144] O servidor de rede 732 liga o sistema de redes sociais 730 a um ou mais dispositivos de usuários 710 e/ou a uma ou mais fontes externas 720 por meio da rede 750. O servidor de rede 732 serve páginas de rede, bem como outro conteúdo relacionado com a rede, tais como Java, JavaScript, Flash, XML e assim por diante. O servidor de rede 732 pode incluir um servidor de correio ou outra funcionalidade de troca de mensagens, para receber e rotear mensagens entre o sistema de redes sociais 730 e um ou mais dispositivos de usuários 710. As mensagens podem ser mensagens instantâneas, mensagens enfileiradas (por exemplo, e-mail), mensagens de texto e SMS, ou qualquer outro formato de troca de mensagens adequado.

[0145] O servidor de pedido API 734 permite que um ou mais sistemas externos 720 e os dispositivos de usuários 710 peçam as informações de acesso do sistema de redes sociais 730 por pedido de uma ou mais funções API. O servidor de pedido API 734 pode também permitir que os sistemas externos 720 enviem infor-

mações ao sistema de redes sociais 730 pedidos as APIs. O sistema externo 720, em uma concretização, envia um pedido API para o sistema de redes sociais 730, por meio da rede 750, e o servidor de pedido API 734 recebe o pedido API. O servidor de pedido API 734 processa o pedido solicitando uma API associada com o pedido de API, para gerar uma resposta adequada, que o servidor de pedido API 734 se comunica ao sistema externo 720 pela rede 750. Por exemplo, responsivo ao pedido API, o servidor de pedido API 734 coleta os dados associados com um usuário, tais como as conexões de usuários, que foram registradas no sistema externo 720, e comunica os dados coletados ao sistema externo 720. Em outra concretização, o dispositivo de usuário 710 se comunica com o sistema de redes sociais 730 por meio de APIS, na mesma maneira como aos sistemas externos 720.

[0146] O registrador de ações 740 é capaz de receber comunicações do servidor de rede 732 sobre ações dos usuários no e/ou fora do sistema de redes sociais 730. O registrador de ações 740 enche o registro de atividades 742 com informações sobre as ações dos usuários, permitindo que o sistema de redes sociais 730 descubra várias ações adotadas por seus usuários dentro do sistema de redes sociais 730 e fora do sistema de redes sociais 730. Qualquer ação que um usuário particular adota com relação a outro nó no sistema de redes sociais 730 pode estar associada com cada conta de usuário, por meio de informações mantidas no registro de atividades 742 ou em base de dados ou outro depósito de dados similar. Os exemplos de ações tomadas por um usuário dentro do sistema de redes sociais 730, que são identificadas e armazenadas, podem incluir, por exemplo, a adição de uma conexão a outro usuário, o envio de uma mensagem a outro usuário, a leitura de uma mensagem de outro usuário, a visualização de conteúdo associado com outro usuário, o atendimento a um evento postado por outro usuário, a postagem de uma imagem, a tentativa de postar uma imagem ou outras ações de interação com outro usuário ou outro objeto. Quando um usuário toma uma ação dentro do sistema de redes sociais

730, a ação é registrada no registro de atividades 742. Em uma concretização, o sistema de redes sociais 730 mantém o registro de atividades 742 como uma base de dados de entradas. Quando uma ação é tomada dentro do sistema de redes sociais 730, uma entrada para a ação é adicionada ao registro de atividades 742. O registro de atividades 742 pode ser referido como um registro de ações.

[0147] Adicionalmente, as ações dos usuários podem ser associadas com os conceitos e ações que ocorrem dentro de uma entidade fora do sistema de redes sociais 730, tal como um sistema externo 720, que é separado do sistema de redes sociais 730. Por exemplo, o registrador de ações 740 pode receber dados descrevendo uma interação de usuário com um sistema externo 720 do servidor de rede 732. Nesse exemplo, o sistema externo 720 registra uma interação de usuário, de acordo com as ações e os objetos estruturados no grafo social.

[0148] Outros exemplos de ações nas quais um usuário interage com um sistema externo 720 incluem um usuário expressando um interesse em um sistema externo 720 ou outra entidade, um usuário postando um comentário no sistema de redes sociais 730, que discute um sistema externo 720 ou uma página de rede 722a dentro do sistema externo 720, um usuário postando no sistema de redes sociais 730 um Localizador de Recurso Uniforme (URL), ou outro identificador associado com um sistema externo 720, um usuário atendendo um evento associado com um sistema externo 720, ou qualquer outra ação feita por um usuário, que esteja relacionada a um sistema externo 720. Desse modo, o registro de atividades 742 pode incluir ações descrevendo interações entre um usuário do sistema de redes sociais 730 e um sistema externo 720, que é separado do sistema de redes sociais 730.

[0149] O servidor de autorização 744 impõe um ou mais ajustes de privacidade dos usuários do sistema de redes sociais 730. Um ajuste de privacidade de um usuário determina como as informações particulares, associadas com um usuário, podem ser compartilhadas. O ajuste de privacidade compreende a especificação de

informações particulares associadas com um usuário e a especificação da entidade ou entidades com as quais as informações podem ser compartilhadas. Os exemplos de entidades, com as quais as informações podem ser compartilhadas, podem incluir outros usuários, aplicações, sistemas externos 720, ou qualquer entidade que possa acessar potencialmente as informações. As informações que podem ser compartilhadas por um usuário compreendem informações de contas de usuários, tais como fotos de perfis, números telefônicos associados com o usuário, conexões de usuários, ações tomadas pelo usuário tal como adicionar uma conexão, mudar informações de perfil de usuário, e assemelhados.

[0150] A especificação de ajuste de privacidade pode ser proporcionada em diferentes níveis de granularidade. Por exemplo, o ajuste de privacidade pode identificar informações específicas que vão ser compartilhadas com outros usuários; o ajuste de privacidade identifica um número telefônico comercial ou um conjunto de informações relacionadas, tais como informações pessoais incluindo foto de perfil, número telefônico doméstico e status. Alternativamente, o ajuste de privacidade pode se aplicar a todas as informações associadas com o usuário. A especificação do conjunto de entidades, que podem acessar as informações particulares, pode ser também especificadas a vários níveis de granularidade. Vários conjuntos de entidades, com as quais as informações podem ser compartilhadas, podem incluir, por exemplo, todos os amigos do usuário, todos os amigos dos amigos, todas as aplicações, ou todos os sistemas externos 720. Uma concretização propicia que a especificação do conjunto de entidades compreenda uma lista de entidades. Por exemplo, o usuário pode proporcionar uma lista de sistemas externos 720, que são deixados ter acesso a certas informações. Outra concretização permite que a especificação compreenda um conjunto de entidades, conjuntamente com exceções, que não permitem que se tenha acesso às informações. Por exemplo, um usuário pode permitir que todos os sistemas externos 720 acessem as informações comerciais do

usuário, mas especificam uma lista de sistemas externos 720, que não são habilitados a acessar as informações comerciais. Certas concretizações pedem a lista de exceções, que não podem acessar certas informações, uma "lista de bloqueio". Os sistemas externos 720 pertencentes a uma lista de bloqueio, especificada por um usuário, são impedidos de acessar as informações especificadas no ajuste de privacidade. Várias combinações de granularidade de especificação de informações e de granularidade de especificação de entidades, com as quais as informações são compartilhadas, são possíveis. Por exemplo, todas as informações pessoais podem ser compartilhadas com os amigos, enquanto todas as informações comerciais podem ser compartilhadas com os amigos dos amigos.

[0151] O servidor de autorização 744 contém uma lógica para determinar se certas informações, associadas com um usuário, podem ser acessadas por amigos do usuário, sistemas externos 720 e/ou outras aplicações e entidades. O sistema externo 720 pode precisar de autorização do servidor de autorização 744, para que tenha acesso às informações mais privativas e sensíveis do usuário, tal como o telefone comercial do usuário. Com base nos ajustes de privacidade do usuário, o servidor de autorização 744 determinar se outro usuário, o sistema externo 720, uma aplicação, ou outra entidade é deixado acessar as informações associadas com o usuário, incluindo as informações sobre ações tomadas pelo usuário.

[0152] O sistema de redes sociais 730 pode incluir um módulo de estabilização de vídeo digital 746. O módulo de estabilização de vídeo digital 746 pode computar um conjunto de orientações de câmera refinadas, de acordo com a restrição de que as regiões vazias não são visíveis, ou abaixo de um valor de limiar mínimo. O módulo de estabilização de vídeo digital 746 pode então gerar quadros distorcidos com base no conjunto de novas orientações de câmera refinadas. Em uma concretização, o módulo de estabilização de vídeo digital 746 pode ser implementado como a estabilização de vídeo digital 400 da Figura 4.

IMPLEMENTAÇÃO DE *HARDWARE*

[0153] Os processos e as características apresentados acima podem ser implementados por uma ampla gama de arquiteturas de sistemas de máquinas e computadores, e em uma ampla gama de meios físicos de rede e computação. A Figura 8 ilustra um exemplo de um sistema computacional 800, que pode ser usado para implementar uma ou mais das concretizações descritas no presente relatório descritivo, de acordo com uma concretização da invenção. O sistema computacional 800 inclui conjuntos de instruções para fazer com que o sistema computacional 800 execute os processos e as características discutidas no presente relatório descritivo. O sistema computacional 800 pode ser conectado (por exemplo, em rede) a outras máquinas. Em uma disposição ligada em rede, o sistema computacional 800 pode operar na capacidade de uma máquina de servidor ou uma máquina de cliente em um meio físico de rede cliente - servidor, ou como uma máquina pareada em um meio físico de rede ponto a ponto (ou distribuída). Em uma concretização da invenção, o sistema computacional 800 pode ser um componente do sistema de redes sociais descrito no presente relatório descritivo. Em uma concretização da invenção, o sistema computacional 800 pode ser um servidor entre os muitos que constituem todo ou parte do sistema de redes sociais 830.

[0154] O sistema computacional 800 inclui um processador 802, um cache 804 e um ou mais módulos e unidades executáveis, armazenados em um meio legível por computador, dirigido aos processos e características descritos no presente relatório descritivo. Adicionalmente, o sistema computacional 800 inclui um barramento de entrada / saída (I/O) de alto desempenho 806 e um barramento I/O padronizado 808. Uma ponte hospedeira 810 acopla o processador 802 ao barramento I/O de alto desempenho 806, enquanto que a ponte de barramento I/O 812 acopla os dois barramentos 806 e 808 entre si. Uma memória de sistema 814 e uma ou mais interfaces de rede 816 se acoplam a um barramento I/O de alto desempenho 806. O

sistema computacional 800 pode incluir ainda uma memória de vídeo e um dispositivo de exibição acoplado à memória de vídeo (não mostrados). O armazenamento de massa 818 e as portas I/O 820 se acoplam ao barramento I/O padronizado 808. O sistema computacional 800 pode incluir opcionalmente um teclado e um dispositivo apontador, um dispositivo de exibição, ou outros dispositivos de entrada / saída (não mostrados) acoplados ao barramento I/O padronizado 808. Coletivamente, esses elementos são tencionados para representar uma ampla gama de sistemas de *hardware* computadorizados, incluindo, mas não limitados a sistemas computadorizados baseados em processadores compatíveis com x86 manufaturados pela Intel Corporation de Santa Clara, Califórnia, e os processadores compatíveis com x86 manufaturados pela Advanced Micro Devices (AMD), Inc. de Sunnyvale, Califórnia, bem como qualquer outro processador adequado.

[0155] Um sistema operacional gerencia e controla a operação do sistema computacional 800, incluindo a entrada e a saída de dados nas e das aplicações de *software* (não mostradas). O sistema operacional proporciona uma interface entre as aplicação de *software*, que está sendo executadas no sistema, e os componentes de *hardware* do sistema. Qualquer sistema operacional adequado pode ser usado, tal como o Sistema Operacional LINUX, o Sistema Operacional Apple Macintosh disponível da Apple Computer Inc. de Cupertino, Calif., os sistemas operacionais UNIX, os sistemas operacionais Microsoft® Windows®, os sistemas operacionais BSD e assemelhados. Outras implementações são possíveis.

[0156] Os elementos do sistema computacional 800 são descritos em mais detalhes abaixo. Em particular, a interface de rede 816 proporciona comunicação entre o sistema computacional 800 e qualquer uma de uma ampla gama de redes, tal como uma rede Ethernet (por exemplo, IEEE 802.3), um chassi, etc. O armazenamento em massa 818 proporciona armazenamento permanente para os dados e as instruções de programação, para executar os processos e as características des-

critos acima pelos respectivos sistemas de computação identificados acima, enquanto que a memória do sistema 814 (por exemplo, DRAM) proporciona armazenamento temporário para os dados e as instruções de programação, quando executados pelo processador 802. As portas I/O 820 podem ser uma ou mais portas de comunicação em série e/ou em paralelo, que proporcionam comunicação entre os dispositivos periféricos adicionais, que podem ser acoplados ao sistema computacional 800.

[0157] O sistema computacional 800 pode incluir várias arquiteturas de sistema, e vários componentes do sistema computacional 800 podem ser redistribuídos. Por exemplo, o cache 804 pode ser um processador com circuito integrado 802. Alternativamente, o cache 804 e o processador 802 pode ser acondicionados conjuntamente como um "módulo processador", com o processador 802 sendo referido como o "núcleo do processador". Além do mais, certas concretizações da invenção podem nem requerer nem incluir todos os componentes mencionados acima. Por exemplo, os dispositivos periféricos acoplados ao barramento I/O padronizado 808 podem ser acoplados ao barramento I/O de alto desempenho. Além disso, em algumas concretizações, apenas um único barramento pode existir, com os componentes do sistema computacional 800 sendo acoplados ao único barramento. Além do mais, o sistema computacional 800 pode incluir outros componentes, tais como outros processadores, dispositivos de armazenamento ou memórias.

[0158] Em geral, os processos e as características descritos no presente relatório descritivo podem ser implementados como parte de um sistema operacional ou uma aplicação, um componente, um programa, um objeto, um módulo específico, ou uma série de instruções específicas referidas como "programas". Por exemplo, um ou mais programas podem ser usados para executar os processos específicos descritos no presente relatório descritivo. Os programas compreendem tipicamente uma ou mais instruções em várias memórias e dispositivos de armazenamento no sistema computacional 800, que, quando lidos e executados por um ou mais proces-

sadores, fazem com que o sistema computacional 800 conduza operações para executar os processos e as características descritos no presente relatório descritivo. Os processos e as características descritos no presente relatório descritivo podem ser implementados em *software*, programação em *hardware*, *hardware* (por exemplo, um circuito integrado de aplicação específica), ou quaisquer de suas combinações.

[0159] Em uma implementação, os processos e as características descritos no presente relatório descritivo são implementados como uma série de módulos executáveis processados pelo sistema computacional 800, individual ou coletivamente, em um meio físico de computação distribuído. Os módulos mencionados acima podem ser executados por *hardware*, módulos executáveis armazenados em um meio legível por computador (ou meio legível por máquina), ou uma combinação de ambos. Por exemplo, os módulos podem compreender várias ou uma série de instruções, que vão ser executadas por um processador em um sistema de *hardware*, tal como o processador 802. Inicialmente, a série de instruções pode ser armazenada em um dispositivo de armazenamento, tal como o armazenamento de massa 818. No entanto, a série de instruções pode ser armazenada em qualquer meio de armazenamento legível por computador adequado. Além do mais, a série de instruções não precisa ser armazenada localmente e pode ser recebida de um dispositivo de armazenamento remoto, tal como um servidor em uma rede, por meio da interface de rede 816. As instruções são copiadas do dispositivo de armazenamento, tal como o armazenamento de massa 818, na memória do sistema 814 e depois acessadas e executadas pelo processador 802. Em várias implementações, um ou mais módulos podem ser executados por um processador ou múltiplos processadores em um ou vários locais, tais como múltiplos servidores em um meio físico de processamento em paralelo.

[0160] Os exemplos de meios legíveis por computador incluem, mas não são

limitados a, meios do tipo gravável, tais como dispositivos de memória volátil e não volátil; memórias no estado sólido; discos flexíveis e outros removíveis; unidades de disco rígido; mídia magnética; discos ópticos (por exemplo, Disco Compacto de Memória Exclusiva de Leitura - CD ROMS, Discos Versáteis Digitais - DVDs); outro meio de armazenamento tangível (ou não tangível), não-transitório (ou transitório); ou qualquer tipo de meio adequado para armazenar, codificar ou executar uma série de instruções para execução pelo sistema computacional 800, para executar qualquer um ou mais dos processos e características descritos no presente relatório descritivo.

[0161] Para fins explicativos, vários detalhes específicos são mostrados para proporcionar um entendimento completo da descrição. Como vai ser evidente, no entanto, a uma pessoa versada na técnica, as concretizações da invenção podem ser praticadas sem esses detalhes específicos. Em alguns casos, módulos, estruturas, processos, características e dispositivos são mostrados em forma de diagrama de blocos, para evitar obscurecer a descrição. Em outros casos, os diagramas de blocos e os fluxogramas funcionais são mostrados para representar fluxos de dados e lógicos. Os componentes dos diagramas de blocos e dos fluxogramas (por exemplo, módulos, blocos, estruturas, dispositivos, características, etc.) podem ser combinados de várias maneiras, separados, removidos, reordenados e substituídos em uma maneira diferente daquela expressamente descrita e ilustrada no presente relatório descritivo.

[0162] A referência neste relatório descritivo a "uma concretização", "outras concretizações", "uma série de concretizações", "algumas concretizações", "várias concretizações" ou assemelhados significa que um aspecto, um projeto, uma estrutura ou uma característica descrita em conjunto com a concretização é incluído em pelo menos uma concretização da invenção. Os aparecimentos de, por exemplo, o termo "em uma concretização", em vários lugares no relatório descritivo não são ne-

cessariamente todos referindo-se à mesma concretização, nem são concretizações separadas ou alternativas mutuamente exclusivas de outras concretizações. Além do mais, se ou não houver referência expressa a uma "concretização" ou assemelhados, várias características são descritas, que podem ser combinadas de várias maneiras e incluídas em algumas concretizações, mas também omitidas de várias maneiras em outras concretizações. De modo similar, várias características são descritas, que podem ser preferências ou requisitos para algumas concretizações, mas não outras concretizações.

[0163] A linguagem usada no presente relatório descritivo foi selecionada principalmente para fins de leitura e instrução, e não foi selecionada para delinear ou circunscrever o objeto inventivo. Pretende-se, portanto, que o âmbito da invenção seja limitado não por essa descrição detalhada, mas, em vez disso, por quaisquer das reivindicações que geram uma aplicação baseada nelas. Consequentemente, a descrição das concretizações da invenção é tencionada para ser ilustrativa, mas não limitante, do âmbito da invenção, que é apresentado nas reivindicações apresentadas a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo implementado por computador, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

fornecer, por meio de um sistema computacional, dados de vídeo digital compreendendo um conjunto de quadros de imagem tendo períodos de tempo associados e um conjunto de dados de orientação de câmera tendo períodos de tempo associados, em que o conjunto de dados de orientação de câmera é baseado em uma orientação de uma câmera durante uma captura dos dados de vídeo digital pela câmera; e

gerar, por meio do sistema computacional, um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pela minimização de uma taxa de rotação entre os sucessivos quadros de imagem, enquanto minimiza uma quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a quantidade de regiões vazias no conjunto refinado de quadros de imagem resultante é minimizada a zero.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a quantidade de regiões vazias no conjunto refinado de quadros de imagem resultante é minimizada abaixo de um valor de limiar.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que ainda compreende distorcer o conjunto de quadros de imagem com base nos períodos de tempo associados para o conjunto de quadros de imagem e no conjunto refinado de dados de orientação de câmera, para formar um conjunto de quadros de imagem corrigidos.

5. Processo de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que distorcer o conjunto de quadros de imagem com base nos períodos de tempo

associados para o conjunto de quadros de imagem e no conjunto refinado de dados de orientação de câmera, para formar um conjunto de quadros de imagem corrigidos, compreende:

dividir um quadro de imagem individual em uma pluralidade de subseções, cada subseção tendo um período de tempo e uma orientação de câmera associados; e

realinhar cada subseção com base nos período de tempo e orientação de câmera associados, para formar um quadro de imagem individual corrigido.

6. Processo de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** por ainda compreender exibir o conjunto de quadros de imagem corrigidos como um vídeo.

7. Processo de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a quantidade de regiões vazias no conjunto refinado de quadros de imagem resultante é minimizada abaixo de um valor de limiar.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** por ainda compreender reconstruir a quantidade de regiões vazias abaixo de um valor de limiar.

9. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de dados de orientação de câmera tendo períodos de tempo associados, é fornecido a partir de um giroscópio de um dispositivo portátil.

10. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de quadros de imagem é fornecido a partir de uma câmera de um dispositivo portátil.

11. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de dados de orientação de câmera tendo períodos de tempo associados, é fornecido de um giroscópio de um dispositivo portátil, que compreende um telefone móvel e uma câmera digital, e em que o conjunto de quadros de imagem é fornecido a partir da câmera digital.

12. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que gerar o conjunto refinado de dados de orientação de câmera compreende uma otimização iterativa baseada em diminuição de gradiente.

13. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que gerar o conjunto refinado de dados de orientação de câmera compreende filtragem baseada em um filtro gaussiano.

14. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que gerar o conjunto refinado de dados de orientação de câmera compreende filtragem baseada em uma derivada temporal.

15. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de dados de orientação de câmera inclui rotações sem quaisquer translações.

16. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de dados de orientação de câmera inclui vetores tendo tanto rotações e translações.

17. Processo de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que gerar o conjunto refinado de dados de orientação de câmera ser feito por um sistema de redes sociais.

18. Processo de acordo com a reivindicação 17, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de quadros de imagem tendo períodos de tempo associados e o conjunto de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, são carregados para o sistema de redes sociais por um usuário do sistema de redes sociais.

19. Sistema, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:
pelo menos um processador, e
uma memória armazenando instruções configuradas para instruir o pelo menos um processador a realizar:

fornecer dados de vídeo digital compreendendo um conjunto de quadros de imagem tendo períodos de tempo associados e um conjunto de dados de orientação de câmera tendo períodos de tempo associados; e

gerar um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pela minimização de uma taxa de rotação entre os sucessivos quadros de imagem, enquanto minimiza uma quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera, em que minimizar a taxa de rotação entre quadros de imagem sucessivos é baseada em pelo menos uma porção do conjunto de dados de orientação de câmera.

20. Meio de armazenamento computacional não-transitório armazenando instruções executáveis por computador que, quando executadas, faz um sistema computacional realizar um processo implementado por computador que compreende:

fornecer, por meio de um sistema computacional, dados de vídeo digital compreendendo um conjunto de quadros de imagem tendo períodos de tempo associados e um conjunto de dados de orientação de câmera tendo períodos de tempo, em que o conjunto de dados de orientação de câmera é baseado em uma orientação de uma câmera durante a captura dos dados de vídeo digital pela câmera; e

gerar um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pela minimização de uma taxa de rotação entre os sucessivos quadros de imagem, enquanto minimiza uma quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera, em que minimizar a taxa de rotação entre quadros de imagem sucessivos é baseada em pelo menos uma porção do conjunto de dados de orientação de câmera.

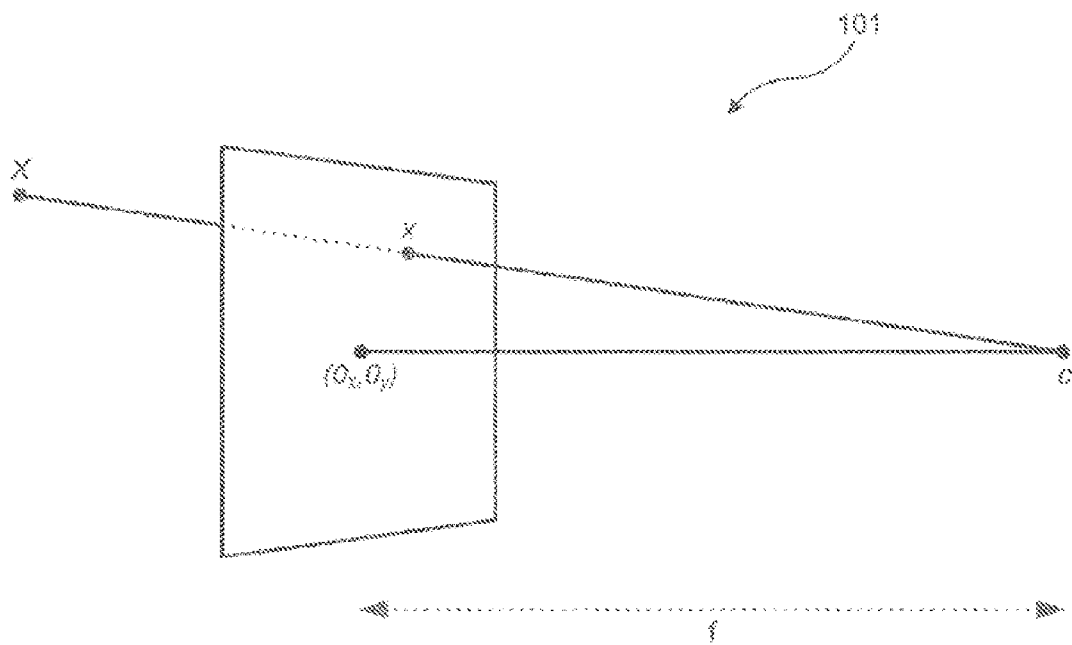


FIGURA 1

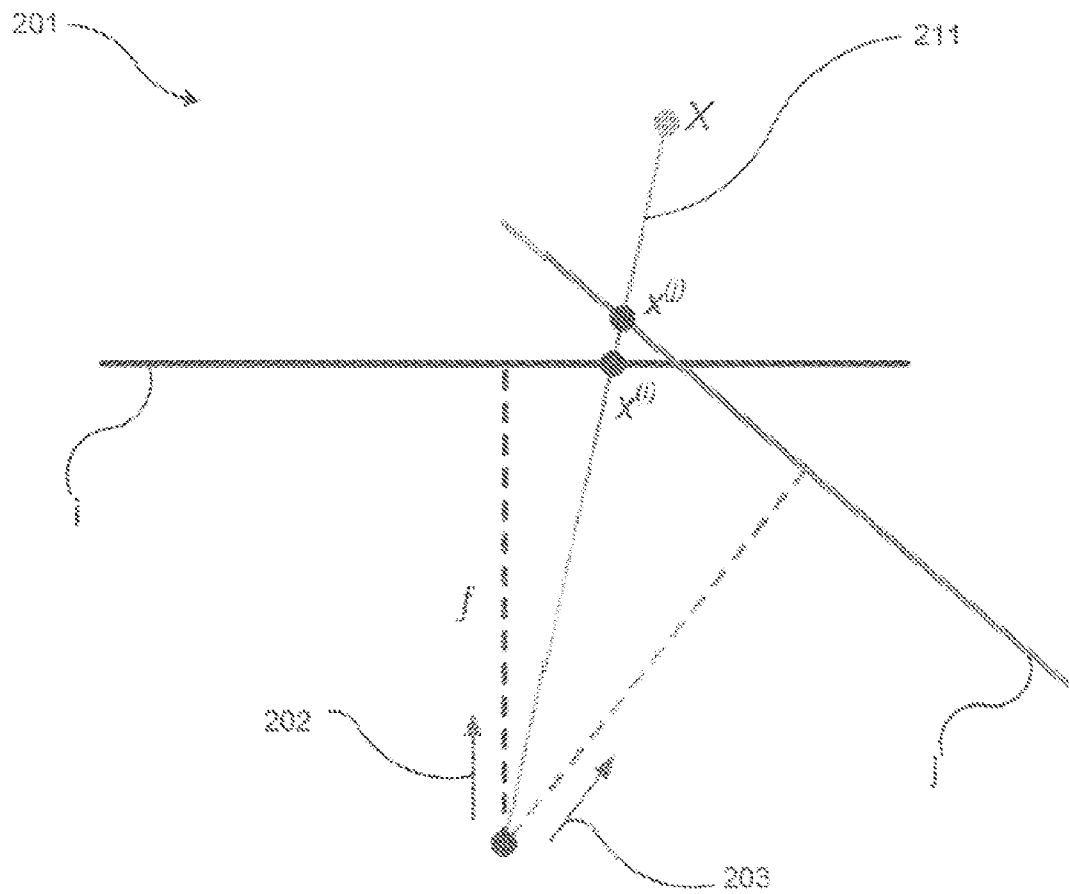


FIGURA 2

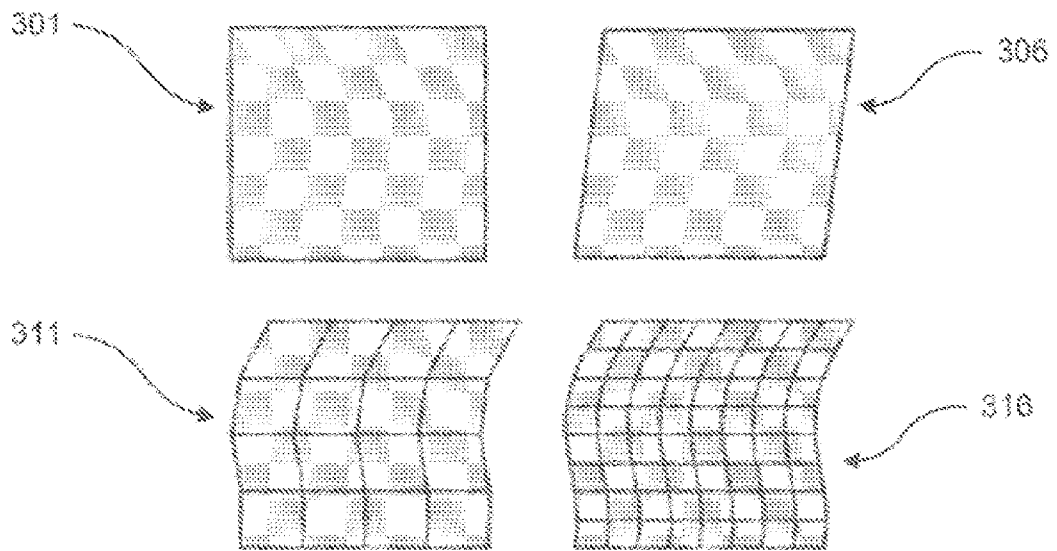


FIGURA 3

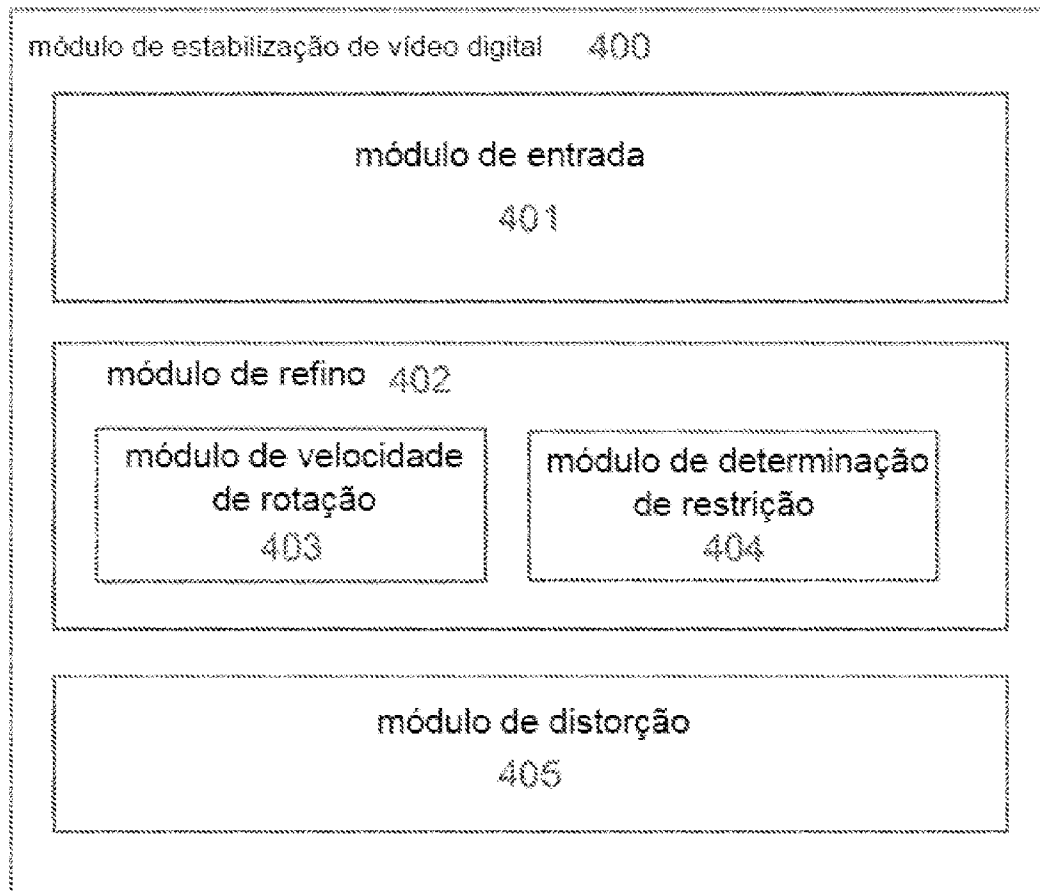


FIGURA 4

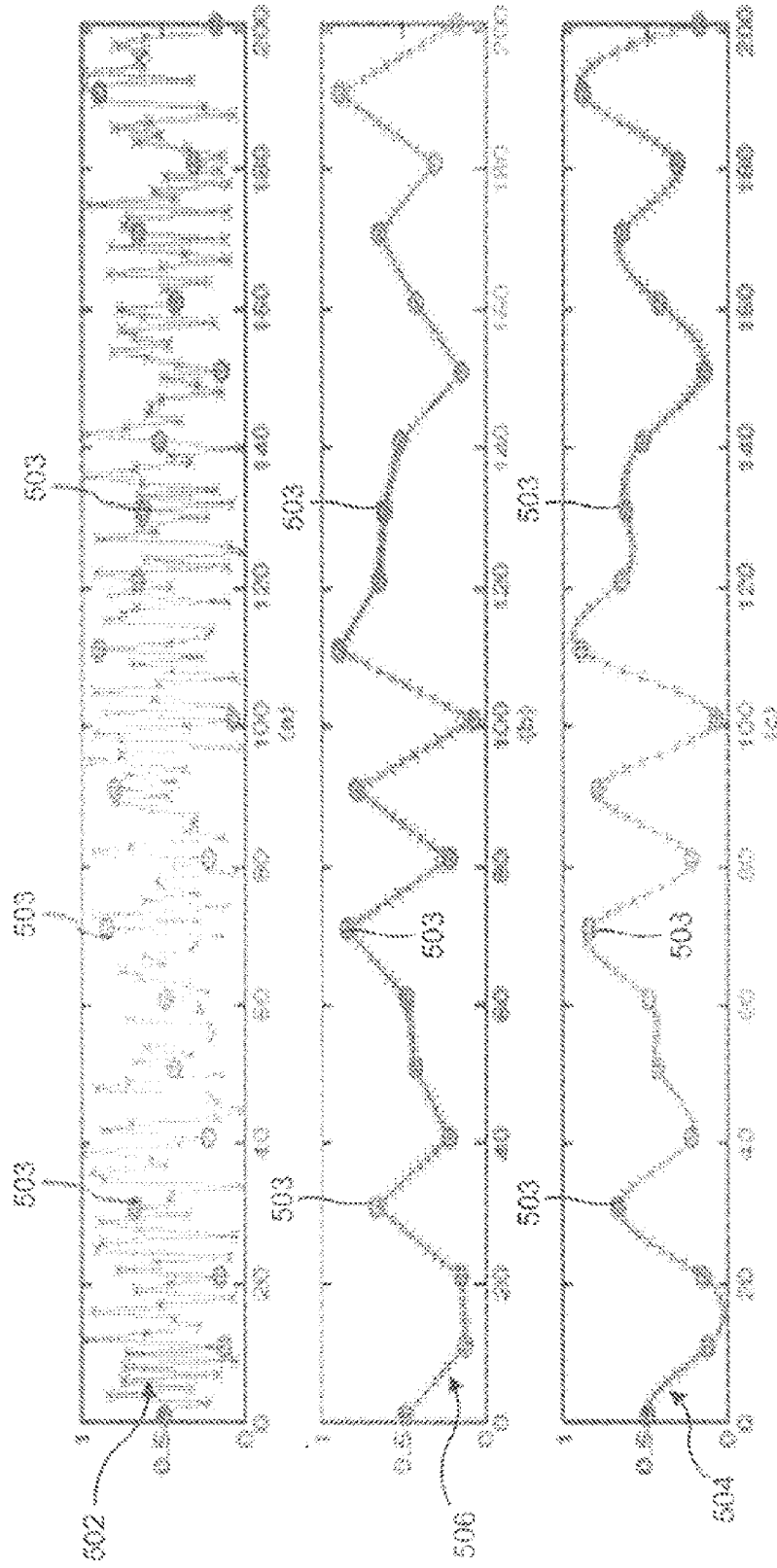


FIGURA 5

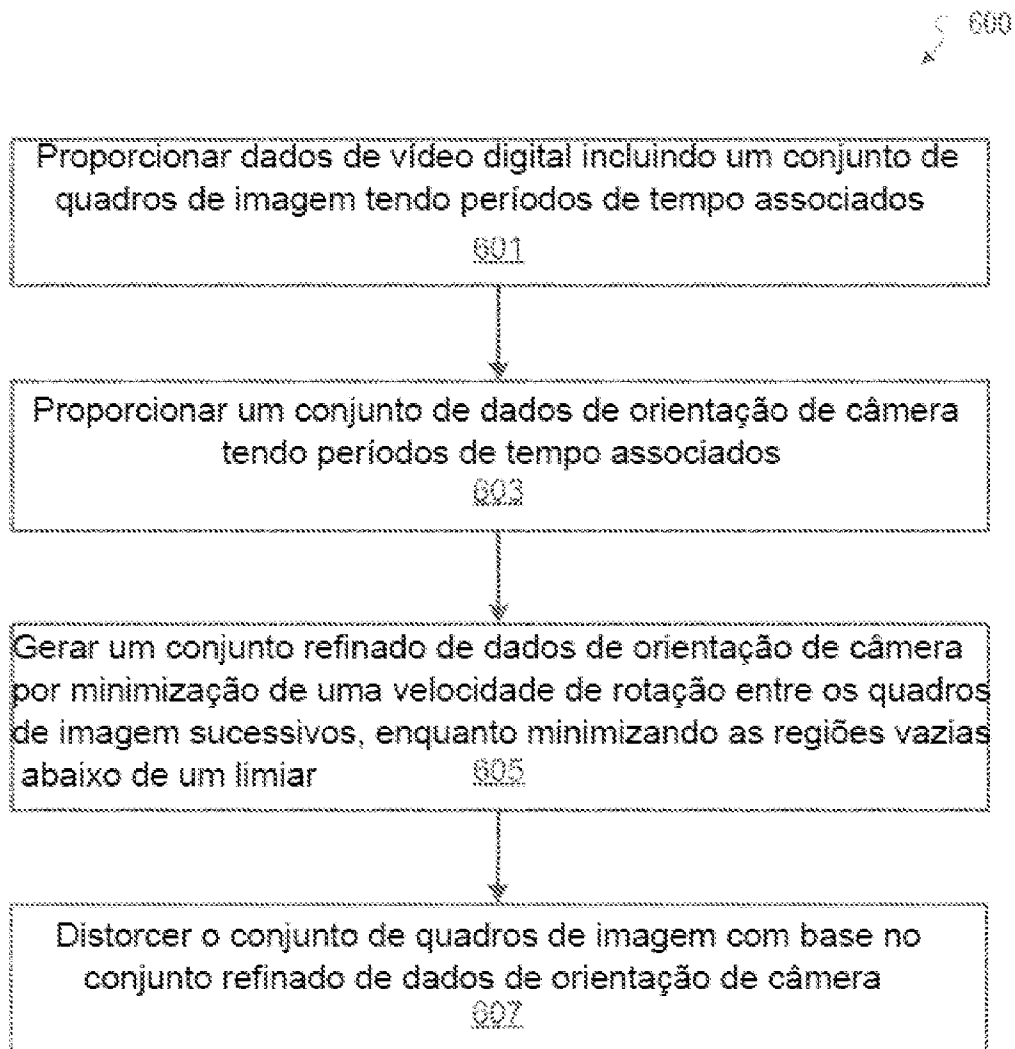


FIGURA 6

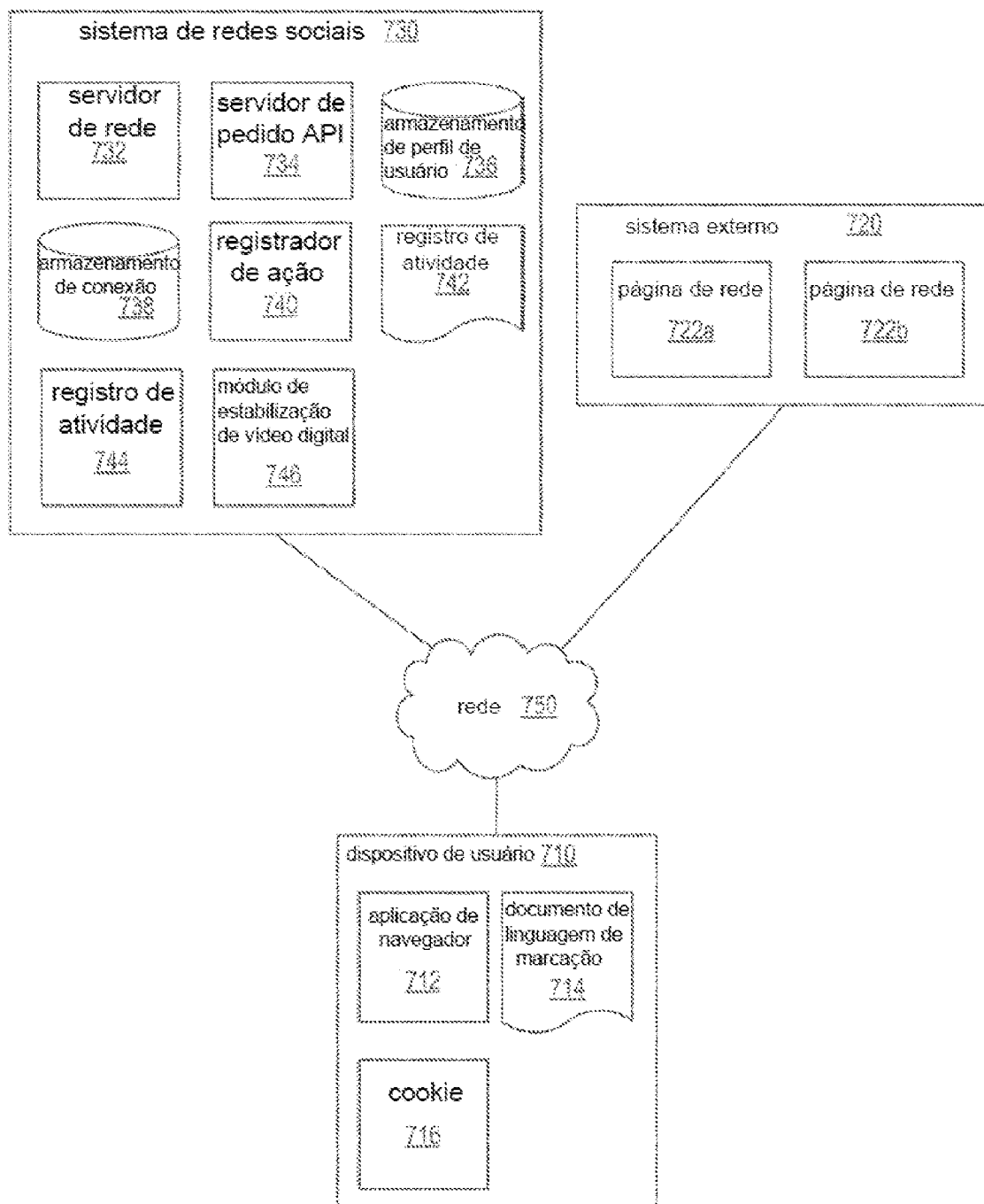


FIGURA 7

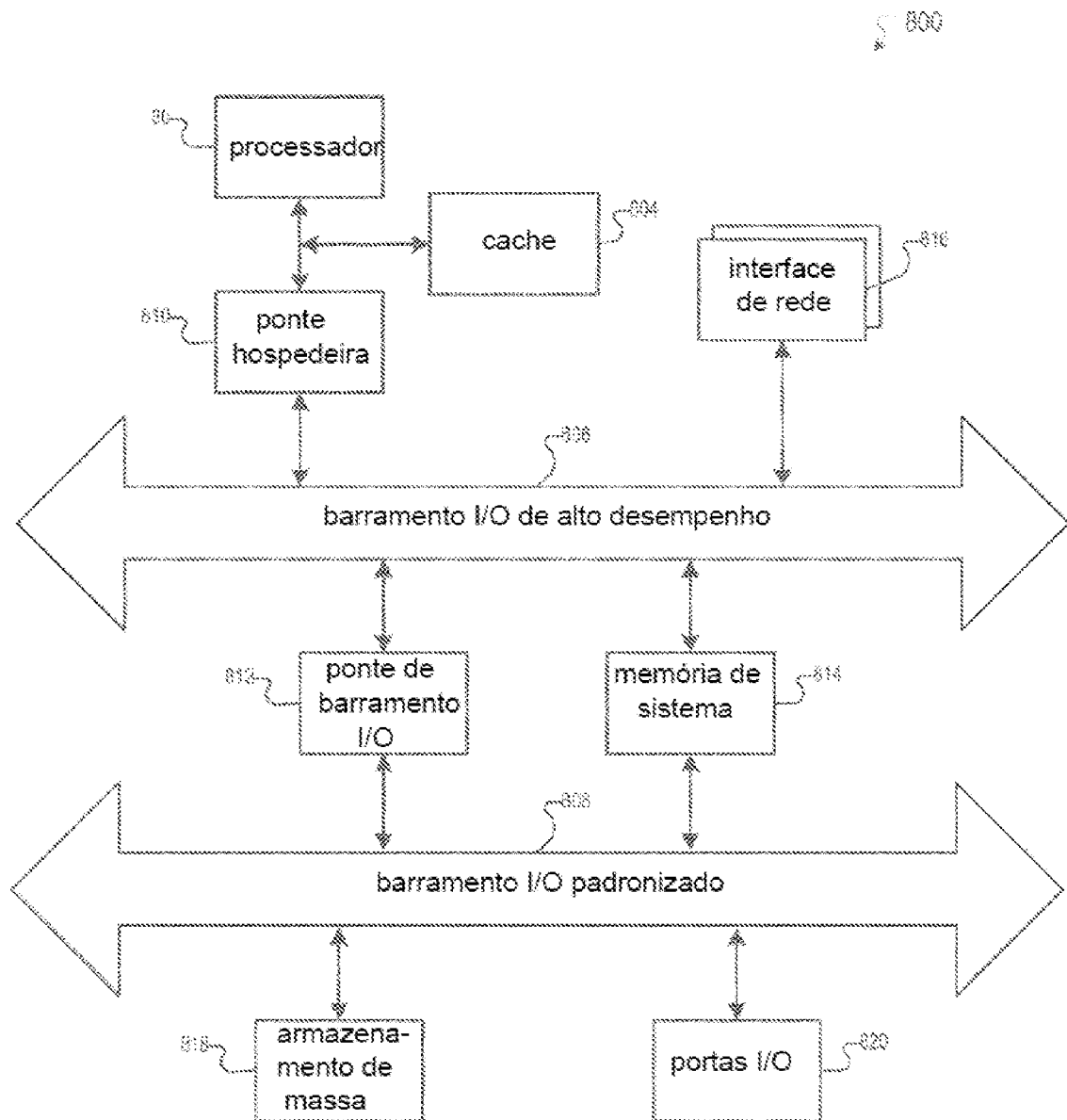


FIGURA 8

RESUMO

"SISTEMAS E PROCESSOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL POR MEIO DE NIVELAMENTO DE ROTAÇÃO COM BASE EM RESTRIÇÃO"

São fornecidos a sistemas e processos para estabilização de vídeo digital por meio de refino com base em restrição. Dados de vídeo digital incluem um conjunto de quadros de imagem, tendo períodos de tempo associados, e um conjunto de dados de orientação de câmera, tendo períodos de tempo associados, podem ser fornecidos. Um conjunto refinado de dados de orientação de câmera pode ser gerado por minimização de uma velocidade de rotação entre os quadros de imagem sucessivos, enquanto minimizando uma quantidade de regiões vazias em um conjunto refinado de quadros de imagem resultante, reorientados com base no conjunto refinado de dados de orientação de câmera.