



(11) PI 0811192-8 B1

(22) Data do Depósito: 23/05/2008

(45) Data de Concessão: 14/01/2025

República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(54) Título: MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXECUTAR RESOLUÇÃO DE AMBIGUIDADE INTEIRA EM UM SISTEMA DE SATÉLITE DE NAVEGAÇÃO GLOBAL

(51) Int.Cl.: G01S 19/44.

(52) CPC: G01S 19/44.

(30) Prioridade Unionista: 12/05/2008 US 12/119450; 12/05/2008 US 12/119451; 31/05/2007 US 60/941271; 31/05/2007 US 60/941273.

(73) Titular(es): DEERE & COMPANY.

(72) Inventor(es): LIWEN L. DAI; DANIEL J. ESLINGER; RICHARD T. SHARPE; RONALD R. HATCH.

(86) Pedido PCT: PCT US2008006609 de 23/05/2008

(87) Publicação PCT: WO 2008/150390 de 11/12/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 25/11/2009

(57) Resumo: MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXECUTAR RESOLUÇÃO DE AMBIGÜIDADE INTEIRA EM UM SISTEMA DE SATÉLITE DE NAVEGAÇÃO GLOBAL, E, SISTEMA DE POSICIONAMENTO OU NAVEGAÇÃO. Um método para executar resolução de ambigüidade inteira em um sistema de satélite de navegação global é exposto. Um conjunto de ambigüidades, que estão associadas com medições de fase de portadora de pelo menos alguns dos sinais recebidos dos satélites em um conjunto identificado de satélites, é identificado (bloco 420 na Figura 4A). Ambigüidades inteiras são estimadas e um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambigüidade inteira são determinados (bloco 430). Ao determinar que o melhor conjunto de valores de ambigüidade inteira falha em satisfazer um teste de discriminação (bloco 440), cada ambigüidade para qual valores de ambigüidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato não satisfazem critérios predefinidos são removidos do conjunto de ambigüidades para produzir um conjunto reduzido de ambigüidades (bloco 450 na Figura 4B). As ambigüidades inteiras no conjunto reduzido de ambigüidades são então resolvidas (bloco 468 na Figura 4C) e uma saída é gerada conforme as ambigüidades inteiras resolvidas (bloco 470 na Figura 4C).

MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXECUTAR RESOLUÇÃO DE AMBIGUIDADE INTEIRA EM UM SISTEMA DE SATÉLITE DE NAVEGAÇÃO GLOBAL

CAMPO TÉCNICO

[0001] As concretizações expostas relacionam-se geralmente a sistemas de posicionamento, tal como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) ou o Sistema Galileo Europeu, e mais particularmente a métodos de resolver ambiguidades inteiras em medições de fase de portadora feitas por receptores móveis em tais sistemas de posicionamento.

FUNDAMENTO

[0002] Um sistema de posicionamento de área ampla, tal como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), usa uma constelação de satélites para posicionar ou navegar objetos em terra. Cada satélite no sistema de GPS transmite atualmente dois sinais de portadora, L1 e L2, com frequências de 1,5754 GHz e 1,2276 GHz, e comprimentos de onda de 0,1903 m e 0,2442 m, respectivamente. Sistemas de Satélite de Navegação Global de Próxima Geração (GNSS), tal como o GPS modernizado e sistemas Galileo, oferecerão um terceiro sinal de portadora: L5. No sistema de GPS, L5 terá uma frequência de 1,1765 GHz, e um comprimento de onda de 0,2548 m.

[0003] Dois tipos de medições de GPS são feitos normalmente por um receptor de GPS: medições de pseudo-alcance e medições de fase de portadora.

[0004] A medição de pseudo-alcance (ou medição de código) é um observável de GPS básico que todos os tipos de receptores de GPS podem fazer. Utiliza os códigos de C/A ou P modulados sobre os sinais de portadora. Com as medições de GPS disponíveis, o alcance ou distância entre um receptor de GPS e cada um de uma pluralidade de satélites é calculada multiplicando o tempo de viagem de um sinal (do satélite ao receptor) pela velocidade da luz. Estes alcances são chamados normalmente pseudo-

alcances porque as medições de GPS podem incluir erros devido a vários fatores de erro, tais como erro de temporização de relógio de satélite, erro de efeméride, efeitos de refração ionosférica e troposférica, ruído de rastreamento de receptor e erro de multitrajeto, etc. Para eliminar ou reduzir estes erros, operações diferenciais são usadas em muitas aplicações de GPS. Operações de GPS (DGPS) diferenciais envolvem tipicamente um receptor de GPS de referência básica, um receptor de GPS de usuário, e um mecanismo de comunicação entre o usuário e receptores de referência. O receptor de referência é colocado em um local conhecido e é usado para gerar correções associadas com alguns ou todos dos fatores de erro anteriores. Correções geradas na estação de referência, dados brutos medidos na estação de referência, ou correções geradas por um terceiro (por exemplo, um computador ou servidor) baseado em informação recebida da estação de referência (e possivelmente outras estações de referência igualmente) são providos ao receptor de usuário, que então usa as correções ou dados brutos para corrigir apropriadamente sua posição computada.

[0005] A medição de fase de portadora é obtida integrando uma portadora reconstruída do sinal quando chega ao receptor. Por causa de um número desconhecido de ciclos inteiros em trânsito entre o satélite e o receptor quando o receptor começa a rastrear a fase de portadora do sinal, há uma ambiguidade de ciclo inteiro na medição de fase de portadora. Esta ambiguidade de ciclo inteiro deve ser solucionada a fim de alcançar alta precisão na medição de fase de portadora. Ambiguidades de ciclo inteiro também são conhecidas como "ambiguidades inteiras", depois que elas foram resolvidas, e como "ambiguidades flutuantes" ou "ambiguidades de valor real" antes da sua resolução. Os termos "ambiguidade" e "ambiguidades" se referem a variáveis (isto é, variáveis representando ambiguidades de ciclo inteiro) cujos valores são para serem resolvidos, enquanto os termos "valores de ambiguidade", "valores de ambiguidade inteiros" e "valores de

ambiguidade flutuantes" se referem a valores que foram computados ou determinados para ambiguidades respectivas. Operações diferenciais usando medições de fase de portadora são chamadas frequentemente operações de posicionamento/navegação cinemáticas em tempo real (RTK).

[0006] Quando sinais de GPS são rastreados continuamente e nenhuma perda de trava ocorre, as ambiguidades inteiras solucionadas no começo de uma pesquisa podem ser mantidas para a duração de posicionamento cinemático de GPS inteiro. Os sinais de satélite de GPS, porém, podem ser obscurecidos ocasionalmente (por exemplo, devido a edifícios em ambientes de "vale urbano"), ou momentaneamente bloqueados (por exemplo quando o receptor passa debaixo de uma ponte ou por um túnel). Geralmente em tais casos, os valores de ambiguidade inteira são "perdidos" e devem ser determinados novamente. Este processo pode levar de alguns segundos a vários minutos. Na realidade, a presença de erros de multitrajetos significantes ou influências sistemáticas não modeladas em uma ou mais medições tanto de pseudo-alcance ou fase de portadora podem fazer impossível com sistemas de RTK de GPS comerciais presentes solucionar as ambiguidades. Quando a separação de receptor (isto é, a distância entre um receptor de referência e um receptor móvel cuja posição está sendo determinada) aumenta, influências dependentes de distância (por exemplo erros de órbita e efeitos ionosféricos e troposféricos) crescem, e, como uma consequência, resolução de ambiguidade segura (ou reiniciação) se torna um desafio até maior.

SUMÁRIO DE CONCRETIZAÇÕES

[0007] Um método para executar resolução de ambiguidade inteira em um sistema de satélite de navegação global usa de um processo de procura parcial, que tira proveito de informação sobre as ambiguidades flutuantes para selecionar aquelas combinações de ambiguidade parciais mais prováveis para produzir uma procura bem-sucedida.

[0008] Em uma concretização, ambiguidades flutuantes iniciais são estimadas e então um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira são determinados. Ao determinar que o melhor conjunto de valores de ambiguidade inteira não satisfaz um teste de discriminação, cada ambiguidade para qual valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato não satisfaz critérios predefinidos são removidos do conjunto de ambiguidades para produzir um conjunto reduzido de ambiguidades. As ambiguidades no conjunto reduzido de ambiguidades são então resolvidas e uma saída é gerada conforme as ambiguidades inteiras resolvidas.

[0009] Em outra concretização, um segundo conjunto reduzido de ambiguidades é produzido removendo cada ambiguidade para qual valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato não satisfazem critérios predefinidos do conjunto reduzido de ambiguidades. As ambiguidades no segundo reduzido conjunto de ambiguidades são então resolvidas e uma saída é gerada conforme as ambiguidades inteiras resolvidas.

[00010] Este processo de procura parcial permite a sistemas de RTK de GPS solucionarem as ambiguidades a taxas mais rápidas, para aplicações de alcance mais longo, e em ambientes desafiadores. O processo não requer potência de computação significativa, e assim, é adequado para receptores de GPS com capacidades limitadas de microprocessador.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00011] Figura 1 é um diagrama de bloco de um sistema de computador que pode ser usado para efetuar um método para executar resolução de ambiguidade inteira de procura parcial em um sistema de satélite de navegação global conforme algumas concretizações.

[00012] Figura 2 é um fluxograma ilustrando operações de

posicionamento cinemáticas em tempo real conforme algumas concretizações.

[00013] Figura 3A é um fluxograma ilustrando um processo de procura parcial para um sistema de satélite de navegação global de frequência dual conforme algumas concretizações.

[00014] Figura 3B é um fluxograma ilustrando um processo de procura parcial para um sistema de satélite de navegação global de três frequências conforme algumas concretizações.

[00015] Figuras 4A-4C são fluxogramas ilustrando um método para executar resolução de ambiguidade inteira de procura parcial conforme algumas concretizações.

[00016] Figura 5 é um diagrama de bloco ilustrando componentes em um sistema de satélite de navegação global conforme algumas concretizações.

[00017] Mesmos numerais de referência se referem a partes correspondentes ao longo dos desenhos.

DESCRIÇÃO DE CONCRETIZAÇÕES

[00018] Figura 1 ilustra um sistema de computador 100 que pode ser usado para efetuar um método para executar resolução de ambiguidade inteira de procura parcial, de acordo com uma concretização da presente invenção. O sistema de computador 100 está acoplado a um receptor de GPS de usuário 120 que provê ao sistema de computador 100 medições de código e fase de portadora de GPS baseado em sinais de uma pluralidade de satélites 110-1, 110-2, ..., 110-n, onde n é o número de satélites à vista do receptor de GPS de usuário 120. A pluralidade de satélites 110-n, ou qualquer um ou mais deles, às vezes será referida doravante neste documento como satélites 110. O receptor de GPS de usuário 120 pode estar em comunicação com um receptor de GPS de referência 130. O receptor de GPS de referência 130 também está fazendo medições baseado em sinais da pluralidade de satélites 110. As medições feitas pelo receptor de GPS de referência 130 são usadas para gerar correções para as medições de GPS levadas no receptor de GPS de usuário

120. O receptor de GPS de usuário 120, ou a combinação do receptor de GPS de usuário 120 e o sistema de computador 100, é às vezes chamado o receptor móvel, em contraste com o receptor de GPS de referência, que está tipicamente (mas não necessariamente) a uma posição ou local fixo.

[00019] Em algumas concretizações, o receptor de GPS de usuário 120 e o sistema de computador 100 estão integrados em um único dispositivo dentro de um único alojamento, tal como um dispositivo de rastreamento de posição portátil, segurado à mão, ou até mesmo levado no corpo, ou um sistema de posicionamento e/ou navegação montado em veículo ou caso contrário móvel. Em outras concretizações, o receptor de GPS de usuário 120 e o sistema de computador 100 não estão integrados em um único dispositivo.

[00020] Como mostrado na Figura 1, o sistema de computador 100 inclui uma ou mais unidades de processamento central (CPUs) 140 (por exemplo, um ou mais microprocessadores ou núcleos de microprocessador), memória 150, uma porta de entrada 142 e uma porta de saída 144, e (opcionalmente) uma interface de usuário 146, acoplada entre si por um ou mais barramentos de comunicação 148. Memória 150 pode incluir memória de acesso aleatório de alta velocidade e pode incluir armazenamento de massa não volátil, tal como um ou mais dispositivos de armazenamento de disco magnético, dispositivos de armazenamento de disco óptico, dispositivos de memória flash, ou outros dispositivos de armazenamento de estado sólido não voláteis. Memória 150 armazena preferivelmente um sistema operacional 152, um banco de dados 156, e procedimentos de aplicativo de GPS 154. Os procedimentos de aplicativo de GPS podem incluir procedimentos 155 para implementar o método para executar resolução de ambiguidade inteira de procura parcial, de acordo com uma concretização da presente invenção, como descrito em mais detalhe abaixo. O sistema operacional 152 e programas aplicativos e procedimentos 154 e 155 armazenados em memória 150 são para execução pela uma ou mais CPUs 140 do sistema de computador

100. Memória 150 preferivelmente também armazena estruturas de dados usadas durante execução dos procedimentos de aplicativo de GPS 154 e 155, incluindo medições de pseudo-alcance e/ou fase de portadora de GPS 157, como também outras estruturas de dados discutidas neste documento.

[00021] A porta de entrada 142 é para receber dados do receptor de GPS de usuário 120, e a porta de saída 144 é usada para produzir dados e/ou resultados de cálculo. Dados e resultados de cálculo também podem ser mostrados em um dispositivo de exibição da interface do usuário 146. Enquanto a descrição neste documento usa frequentemente os termos "GPS" e "sinais de GPS" e similar, a presente invenção é igualmente aplicável a outros sistemas de GNSS e aos sinais dos satélites de GNSS nesses sistemas.

[00022] Figura 2 ilustra o fluxo computacional para operações de posicionamento/navegação cinemáticas em tempo real (RTK). As operações de RTK são iniciadas 210 de forma que um conjunto de estados de filtro de Kalman seja removido. Sinais são recebidos dos satélites 220 e dados de correção são recebidos do receptor de referência 230.

[00023] Enquanto uma explicação de filtros de Kalman está fora da extensão deste documento, o sistema de computador 100 tipicamente inclui um filtro de Kalman para atualizar a posição e outros aspectos do estado do receptor de GPS de usuário 120, também chamado o estado de filtro de Kalman. O estado de filtro de Kalman de fato inclui muitos estados, cada um dos quais representa um aspecto da posição do receptor de GPS (por exemplo, X, Y e Z, ou componentes de posição de latitude, longitude e zênite), ou movimento (por exemplo, velocidade e/ou aceleração), ou o estado do processo computacional que está sendo usado no filtro de Kalman.

[00024] O filtro de Kalman é tipicamente um procedimento, ou conjunto de procedimentos, executado por um processador. O filtro de Kalman é executado repetidamente (por exemplo, uma vez por segundo), a cada vez usando novas medições de código (também chamadas medições de

pseudo-alcance) e medições de fase de portadora, para atualizar o estado de filtro de Kalman. Enquanto as equações usadas por filtros de Kalman são complexas, filtros de Kalman são usados extensamente no campo de navegação, e, portanto, só aqueles aspectos dos filtros de Kalman que são pertinentes à presente invenção precisam ser discutidos em qualquer detalhe. Deveria ser enfatizado que enquanto filtros de Kalman são usados extensamente nos receptores de GPS e outros sistemas de navegação, muitos aspectos desses filtros de Kalman variarão de uma implementação para outra. Por exemplo, os filtros de Kalman usados em alguns receptores de GPS podem incluir estados que não estão incluídos em outros filtros de Kalman, ou podem usar equações um pouco diferentes daquelas usadas em outros filtros de Kalman.

[00025] Um aspecto de filtros de Kalman que é pertinente à presente discussão é a inclusão de valores de ambiguidade no estado de filtro de Kalman, e o estado desses valores. Durante o processo de tentar travar nos sinais de um conjunto de satélites de GPS (ou GNSS), os valores de ambiguidade para as medições de fase de portadora de cada satélite são chamados "valores de ambiguidade flutuantes". Depois que travamento foi alcançado, os valores de ambiguidade foram resolvidos, eles são chamados valores de ambiguidade inteiros, ou valores de ambiguidade fixos, porque os valores de ambiguidade resolvidos são fixos em valor, e são inteiros. De outro ponto de vista, os procedimentos de filtro de Kalman, ou outros procedimentos no sistema de computador 100, detectam quando os valores de ambiguidade flutuantes estabilizaram, a qual momento os valores de ambiguidade estabilizados se tornam valores de ambiguidade inteiros.

[00026] Baseado nos sinais dos satélites 220 e nos dados de correção do receptor de referência 230, medições duplas diferenciadas de código e fase de portadora são então geradas 240. Em aplicações precisas de posicionamento de GPS, medições duplas diferenciadas de fase de portadora

são formadas normalmente para cancelar muitos dos erros sistemáticos existindo nas medições de GPS. Os observáveis duplos diferenciados de código e fase de portadora em unidades de metros podem ser formados como:

$$\nabla\Delta P_i = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta T + \frac{\nabla\Delta I}{f_i^2} + \nabla\Delta O + \varepsilon_{\nabla\Delta P_i} \quad (1)$$

$$\lambda_i \nabla\Delta\phi_i = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta T - \frac{\nabla\Delta I}{f_i^2} + \nabla\Delta O + \lambda_i \cdot \nabla\Delta N_i + \varepsilon_{\nabla\Delta\phi_i} \quad (2)$$

onde: a subscrição i denota a frequência, isto é, L1, L2 ou L5; P_i e ϕ_i são os observáveis de código e fase de portadora, respectivamente; $\nabla\Delta$ é o operador de diferença dupla; ρ é a distância geométrica do satélite ao receptor; $\nabla\Delta T$ é a influência troposférica diferencial residual, que pode ser representada como uma função do atraso troposférico de zênite residual junto com uma função de mapeamento que descreve a dependência do ângulo de elevação; $\nabla\Delta I$ é a influência ionosférica diferencial dupla; $\nabla\Delta O$ é a correção de atraso orbital diferencial dupla que pode ser obtida de um sistema de RTK de rede ou um sistema de aumento de área ampla (WAAS), tal como Rede StarFire™ da Navcom Technology Inc.; λ_i e f_i são o comprimento de onda e frequência da i -ésima frequência de portadora, respectivamente; $\nabla\Delta N_i$ é a ambiguidade inteira de diferença dupla para a i -ésima frequência de portadora; e os termos $\varepsilon_{\nabla\Delta P_i}$ e $\varepsilon_{\nabla\Delta\phi_i}$ representam os erros de código e fase, respectivamente, incluindo ruídos aleatórios de receptores e qualquer erro sistemático não modelado, tais como multitrajeto, erros de órbita residuais, etc.

[00027] Linearização das observações de fase de portadora diferenciadas duplas pode ser representada pelo conjunto seguinte de equações:

$$V_k = HX - Z_k \quad (3)$$

onde: V_k é o vetor residual de pós-adaptação na época k ; Z_k são os resíduos de pré-adaptação; H é a matriz de projeto; e X é o vetor de

estado estimado incluindo três componentes de posição, influências ionosféricas e troposférica residuais, e ambiguidades de frequência duais ou triplas. O vetor de estado estimado X pode ocasionalmente incluir componentes de velocidade e aceleração igualmente. Os valores para X são armazenados em estados de filtro de Kalman.

[00028] Como mostrado na Figura 2, as operações de posicionamento/navegação de RTK continuam com projeções de filtro de Kalman e atualizações de estado 250. Se estimativas de filtro de Kalman depois de $k-1$ épocas forem representadas por $\hat{X}_{k-1}^+$ com variância Q_{k-1}^+ , o vetor de estado predito na época k é dado por:

$$\hat{X}_k^- = \Phi_{k-1,k} \hat{X}_{k-1}^+ \quad (4)$$

$$Q_k = \Phi_{k-1,k} Q_{k-1}^+ \Phi_{k-1,k}^T + W_k \quad (5)$$

onde: $\hat{X}_k^-$ é o vetor de estado de filtro de Kalman predito na época k , baseado no estado de filtro de Kalman de época $k-1$; $\Phi_{k,k-1}$ é a matriz de transição, que relaciona X_{k-1} a X_k ; W_k é a matriz dinâmica cujos elementos são uma sequência de ruído branco; Q_k^- é a matriz de variância-covariância do estado predito do filtro de Kalman na época k ; e Q_{k-1}^+ é a matriz de variância-covariância estimada do filtro de Kalman na época $k-1$.

[00029] Para simplicidade, nas equações seguintes a subscrição k , representando época k , será omitida para $\hat{X}_k^-$ e $\hat{X}_k^+$. O vetor de estado atualizado $\hat{X}^+$ para época k é gerado usando o vetor de medição Z_k aplicando uma equação de observação:

$$\hat{X}^+ = \hat{X}^- + KZ_k \quad (6)$$

onde K é uma matriz de ganho, discutida abaixo. $\hat{X}^+$ pode ser expresso na forma seguinte (Equação (7) é para sistemas usando receptores de frequência dual e Equação (8) é para receptores de três frequências):

$$\hat{X}^+ = \begin{pmatrix} \hat{X}_e \\ \hat{N}_{L1} \\ \hat{N}_{L2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\hat{X}^+ = \begin{pmatrix} \hat{X}_c \\ \hat{N}_{L1} \\ \hat{N}_{L2} \\ \hat{N}_{L5} \end{pmatrix} \quad (8)$$

[00030] A matriz de ganho é:

$$K = Q^- H^T (H Q^- H^T + R)^{-1} \quad (9)$$

onde: R é a matriz de variância-covariância dos observáveis (medições); e $\hat{X}^-$ e $\hat{X}^+$ são o vetor de estado predito e vetor de estado estimado de filtro de Kalman, respectivamente, na época atual.

[00031] A variância-covariância Q^+ do vetor de estado $\hat{X}^+$ é dada por:

$$Q^+ = (I - KH)Q^- \quad (10)$$

onde: I é a matriz de identidade. Q^+ pode ser expresso na forma seguinte (Equação (11) para os receptores de frequência dual e Equação (12) para receptores de três frequências):

$$Q^+ = \begin{pmatrix} Q_{C,C} & Q_{C,N_{L1}} & Q_{C,N_{L2}} \\ Q_{N_{L1},C} & Q_{N_{L1},N_{L1}} & Q_{N_{L1},N_{L2}} \\ Q_{N_{L2},C} & Q_{N_{L2},N_{L1}} & Q_{N_{L2},N_{L2}} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$Q^+ = \begin{pmatrix} Q_{C,C} & Q_{C,N_{L1}} & Q_{C,N_{L2}} & Q_{C,N_{L5}} \\ Q_{N_{L1},C} & Q_{N_{L1},N_{L1}} & Q_{N_{L1},N_{L2}} & Q_{N_{L1},N_{L5}} \\ Q_{N_{L2},C} & Q_{N_{L2},N_{L1}} & Q_{N_{L2},N_{L2}} & Q_{N_{L2},N_{L5}} \\ Q_{N_{L5},C} & Q_{N_{L5},N_{L1}} & Q_{N_{L5},N_{L2}} & Q_{N_{L5},N_{L5}} \end{pmatrix} \quad (12)$$

[00032] Para determinar uma "solução ótima", às vezes chamada uma "solução de ambiguidade fixa", para os valores de ambiguidade, um constrangimento é adicionado ao vetor de estado:

$$X_N = N_k \quad (13)$$

onde X_N representa que a porção do estado de filtro de Kalman que representa valores de ambiguidade para os sinais de satélite recebidos, e N_k é um vetor inteiro. Os resultados fixados podem então ser obtidos usando as equações seguintes:

$$\tilde{\mathbf{X}}_{C,k} = \hat{\mathbf{X}}_C - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_C \hat{\mathbf{X}}_N} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_N}^{-1} (\hat{\mathbf{X}}_N - \mathbf{N}_k) \quad (14)$$

$$\mathbf{Q}_{\tilde{\mathbf{X}}_{C,k}} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_C} - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_C \hat{\mathbf{X}}_N} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_N}^{-1} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_N \hat{\mathbf{X}}_C} \quad (15)$$

[00033] Equação (14) representa as coordenadas de posição ajustadas finais depois que os valores de ambiguidade flutuantes são modificados aos valores de ambiguidade inteira associada. Equação (15) representa a variância-covariância final das coordenadas de posição depois que as ambiguidades flutuantes são fixadas aos valores inteiros associados. A subscrição "c" nas Equações (14) e (15) denota a porção do vetor de estado de Kalman associado com as coordenadas de posição, estados troposféricos e ionosféricos, e, onde aplicável, os estados de velocidade e aceleração.

[00034] Um processo para obter ou achar a solução de ambiguidade fixa inclui resolver a equação de quadrados mínimos inteiros:

$$(\hat{\mathbf{X}}_N - \mathbf{N}_k)^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_N}^{-1} (\hat{\mathbf{X}}_N - \mathbf{N}_k) = \mathbf{R}_k = \min \quad (16)$$

[00035] Para cada conjunto de inteiro diferente $\mathbf{N}_k$, um valor diferente de $\mathbf{R}_k$ será obtido. Um único valor é obtido para cada conjunto de candidato $\mathbf{N}_k$ de ambiguidades inteiras. Um conjunto inteiro ótimo $\mathbf{N}_k$ que satisfaz a Equação (16), produzindo o valor menor de $\mathbf{R}_k$, e que também satisfaz um teste de discriminação, é aceito como o conjunto de ambiguidade inteira correta e é usado para produzir a solução de ambiguidade fixa final. O teste de discriminação é discutido abaixo em relação à Figura 3A.

[00036] Como mostrado na Figura 2, um teste é executado na conclusão de cada iteração ou época do processo de atualização de filtro de Kalman 250. Se houver qualquer ambiguidade flutuante nas medições de fase de portadora 255, um procedimento de procura parcial é executado para resolução de ambiguidade 260. Em uma concretização, técnicas de procura de filtro no domínio de ambiguidade estimada usando mínimos quadrados ou estimação de filtro de Kalman podem ser usadas para solucionar as

ambiguidades de fase de portadora de ciclo inteiro. Em uma concretização, técnicas de procura podem ser implementadas no domínio de ambiguidade calculado para os parâmetros de ambiguidade originais. Em outra concretização, as técnicas de procura podem ser implementadas usando combinações dos parâmetros originais.

[00037] Em uma concretização, o método de Ajuste de Descorrelação Ambiguidade de Mínimos Quadrados (LAMBDA) pode ser usado para executar a procura usando ambiguidades flutuantes transformadas (Teunissen, 1994). As ambiguidades inteira transformadas são construídas das ambiguidades originais, e podem ser usadas para recuperar as ambiguidades inteiras originais uma vez que a solução para as ambiguidades inteiras transformadas foi determinada. A vantagem deste procedimento é que as ambiguidades flutuantes transformadas têm desvios-padrão menores e há um número menor de conjuntos de candidato inteiros, e assim, o tempo de computação é significativamente reduzido. O método de LAMBDA envolve uma estratégia de procura discreta para fixar as ambiguidades inteiras. Caracteriza dois procedimentos distintivos para estimação de ambiguidade inteira incluindo descorrelação de ambiguidade (ou transformação Z) seguida por uma procura discreta para as ambiguidades inteiras (isto é, a estimação de ambiguidade inteira atual). A chave para o método de LAMBDA é a computação da matriz de transformação para construir combinações de ambiguidade de múltiplos satélites.

[00038] Em algumas concretizações, um método de LAMBDA modificado (MLAMBDA) para estimação de mínimos quadrados inteiros é usado. O MLAMBDA inclui um processo de redução de matriz Z modificada e processo de procura modificado (X. W. Zhang, 2005). A matriz de transformação de ambiguidade Z reformula o vetor de ambiguidade original como um vetor de ambiguidade transformado, cuja matriz de variância-covariância tem muitos elementos diagonais menores:

$$\hat{\mathbf{Z}}_N = \mathbf{Z} \cdot \hat{\mathbf{X}}_N \quad (17)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{Z}}_N} = \mathbf{Z} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}_N} \mathbf{Z}^T \quad (18)$$

[00039] Portanto, a Equação (16) pode ser rescrita como:

$$\mathbf{R}_k = \left(\hat{\mathbf{Z}}_N - \mathbf{N}_k^Z \right)^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{Z}}_N}^{-1} \left(\hat{\mathbf{Z}}_N - \mathbf{N}_k^Z \right) \quad (19)$$

[00040] Para um conjunto inteiro diferente $\mathbf{N}_k^Z$, um valor diferente de $\mathbf{R}_k$ será obtido. O problema de estimação de ambiguidade original foi, portanto, mudado. O problema novo é procurar um conjunto inteiro que faz e passa em ambos testes de validação e critérios de rejeição.

[00041] A fim de assegurar que os valores de ambiguidade transformados tenham características inteiras, a matriz de transformação $\mathbf{Z}$ tem só entradas inteiras. A fim de assegurar que os valores de ambiguidade originais possam ser determinados dos valores de ambiguidade transformados, o inverso da matriz de transformação também só tem entradas inteiras. Portanto, a matriz $\mathbf{Z}$ é uma transformação de ambiguidade admissível se e só se a matriz $\mathbf{Z}$ tiver entradas inteiras e seu determinante iguala 1. As ambiguidades originais são recuperadas por:

$$\mathbf{N}_k = \mathbf{Z}^{-1} \cdot \mathbf{N}_k^Z \quad (20)$$

[00042] Os métodos de LAMBDA ou MLAMBDA podem ser referidos em seguida simplesmente como o método de LAMBDA.

[00043] Quando os valores de ambiguidade inteira produzidos pelo método de LAMBDA, ou outro método de computação, falham em satisfazer um teste de discriminação, um procedimento de procura parcial pode ser executado para remover uma ou mais ambiguidades do conjunto de ambiguidades a serem procuradas, reduzindo a duração de tempo de computação necessária para resolução de ambiguidade inteira. Conceitualmente, o processo de procura parcial remove do conjunto de ambiguidades um ou mais elementos discrepantes. Elementos discrepantes podem estar associados com sinais ruidosos ou corrompidos, ou com sinais de

satélites que estão perto ao horizonte. Remoção destes elementos discrepantes habilita frequentemente o processo de LAMBDA (ou outro processo de determinação de ambiguidade inteira) determinar com sucesso, para as ambiguidades restantes, valores de ambiguidade inteira que satisfazem o teste de discriminação. Em uma concretização, o procedimento de procura parcial elimina uma ou mais ambiguidades do conjunto inteiro N_k . Em outra concretização, medições baseadas em sinais recebidos de um ou mais satélites são eliminadas do processo de procura. O procedimento de procura parcial é descrito em detalhes abaixo.

[00044] Se o processo de resolução de ambiguidade falhar, o procedimento pode ser repetido até que a resolução tenha êxito. Se todos os possíveis conjuntos de valores de ambiguidade para cinco ou mais satélites foram testados e o teste de ambiguidade ainda falhar, o procedimento de resolução de ambiguidade na época presente falhou, a solução de RTK é reajustada 290 e sinais dos satélites são recebidos 220 para a próxima época.

[00045] Se a resolução tiver êxito, porém, as operações de posicionamento/navegação de RTK continuam com monitoração do filtro de Kalman 270 para determinar se influências residuais excedem um limiar predefinido. Influências residuais grandes poderiam indicar que projeções de filtro de Kalman estão incorretas e estão afetando negativamente as medições de fase de portadora. Se for determinado que as influências residuais são grandes demais (isto é, excedem um limiar predefinido ou falham em satisfazer critérios predefinidos), a solução de RTK é reajustada 290. Se, porém, for determinado que as influências residuais são precisas bastante, as medições de código e fase de portadora são atualizadas 280 e sinais dos satélites são recebidos 220 para a próxima época.

[00046] Figura 3A ilustra o fluxo computacional de procura parcial para um sistema de satélite de navegação global de frequência dual. Depois que as medições de diferença dupla de ambas as frequências são processadas

240 (Figura 2), o vetor de valores de ambiguidade flutuante e a matriz de variância associada podem ser obtidos 302 das Equações (5) e (7) da estimação de filtro de Kalman 250 (Figura 2). Embora as ambiguidades flutuantes L1 e L2 sejam os parâmetros estimados, os pares de ambiguidade a serem procurados no método de LAMBDA podem ser diferentes. Em uma concretização, ambiguidades $\hat{N}_1$ e faixa larga $\hat{N}_{(1,-1)}$ são escolhidas para o processo de procura e são formadas 304 do vetor de ambiguidade flutuante L1 e L2 original da Equação (5) usando a equação seguinte:

$$\begin{pmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_{(1,-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{pmatrix} \quad (21)$$

[00047] Baseado nas Equações (10) e (11), a matriz de variância-covariância de valores de ambiguidade $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ é obtida como segue:

$$Q_{\hat{N}_1, \hat{N}_{(1,-1)}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{N_1} & Q_{N_1 N_2} \\ Q_{N_2 N_1} & Q_{N_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

[00048] O melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato correspondendo aos dois valores menores de R_k para $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ pode ser achado com o processo de procura de LAMBDA 306 como descrito acima.

[00049] O teste de discriminação 308 inclui um teste de relação do melhor conjunto de candidato e do segundo melhor conjunto de candidato. Em particular, um valor de relação empírica igual a 3 poderia ser usado para o teste de discriminação. O teste de relação é usado porque quanto maior a relação, maior chance que o melhor conjunto de candidato esteja correto. Em uma concretização, um teste de compatibilidade adicional é incluído no teste de discriminação. O teste de compatibilidade é passado se a diferença entre o valor de ambiguidade fixo e o valor de ambiguidade flutuante for menos que três a cinco vezes o desvio-padrão da solução de flutuação. Se o teste de discriminação 308 for passado, o melhor conjunto de candidato aceito como o

conjunto correto de valores de ambiguidade inteira, por esse meio solucionando o conjunto de ambiguidades (que também pode ser chamado o conjunto de valores de ambiguidade) 340, os sinais L1/L2 ou L1/L2/L5 originais são recuperados 342 (como discutido abaixo), e a solução fixa resultante é produzida 344 usando as Equações (14) e (15).

[00050] O procedimento de procura parcial é aplicado quando o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ falham para passar no teste de discriminação 308. Em uma concretização, a técnica de procura parcial é excluir, do conjunto de ambiguidades cujos valores estão sendo determinados, aqueles valores de ambiguidade cujos valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes. Em outra concretização, a técnica de procura parcial é excluir aqueles satélites cujas ambiguidades no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato não são idênticas. Esta segunda abordagem, em efeito, remove do conjunto de ambiguidades todas as ambiguidades removidas na primeira abordagem, mais qualquer ambiguidade irmã ara satélites que têm pelo menos um valor de ambiguidade que é diferente no melhor e segundo conjuntos de candidato.

[00051] Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado tenha sido reduzido por operação de remoção 310, uma nova procura 312 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 316 para melhor e segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de ambiguidades produzido por operação 310, e um teste de discriminação 318 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 318 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 340, como descrito acima.

[00052] Caso contrário, se o teste de discriminação 318 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 320 na qual todos os $\hat{N}_1$

valores de ambiguidade são removidos do conjunto de ambiguidades a ser procurado, enquanto todas as $\hat{N}_{(1,-1)}$ ambiguidades de faixa larga são retidas no conjunto de ambiguidades (também chamado o conjunto de valores de ambiguidade) a ser procurado. Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado tenha sido reduzido por remoção de operação 320, uma nova procura 322 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 326 para melhor e o segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de valores de ambiguidade inteira produzido por operação 320, e um teste de discriminação 328 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 328 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 340, como descrito acima.

[00053] Caso contrário, se o teste de discriminação 328 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 330 na qual todas as $\hat{N}_{(1,-1)}$ ambiguidades de faixa larga cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e de segundo melhor conjunto de candidato (como gerado pelo processo de procura de LAMBDA 326) são diferentes são removidos do conjunto de ambiguidades a ser procurado. Como notado acima, todas as $\hat{N}_1$ ambiguidades já foram removidas do conjunto de ambiguidades a ser procurado na operação de remoção 320. Usando as $\hat{N}_{(1,-1)}$ ambiguidades de faixa larga restantes, uma nova procura 322 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 336 para melhor e o segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades produzido por operação 330, e um teste de discriminação 338 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato resultantes. Se o teste de discriminação 338 for passado pelo melhor novo conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 340, como descrito acima. Caso contrário, o processo de procura falha para a época atual e o processo começa novamente na próxima época 334, usando novos valores de medição

para os sinais de satélite.

[00054] As $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ procuras 312, 322 e 332 incluem achar o melhor conjunto de candidato de ambiguidade inteira e o segundo melhor conjunto de candidato de ambiguidade inteira com o processo de procura de LAMBDA 316, 326, 336 e então aplicar o teste de discriminação 318, 328, 338. Em uma concretização, durante cada época o processo de procura parcial é aplicado repetidamente até que tanto (A) qualquer dos processos de remoção 310, 320, 330 resulte no conjunto de procura tendo valores de ambiguidade para menos que cinco satélites, (B) falha de todas as procuras, ou (C) a procura tem êxito, como indica por um dos melhores conjuntos de candidato de ambiguidade inteira passando no teste de discriminação correspondente 318, 328 ou 338.

[00055] Se o teste de discriminação 308, 318, 328 ou 338 for passado, o melhor conjunto de candidato que passa no teste de discriminação é aceito como o conjunto de ambiguidade correta para solucionar as ambiguidades inteiras 340 e produzir a solução fixada 344 das Equações (14) e (15).

[00056] Em algumas concretizações, uma vez que um melhor conjunto de candidato (que pode incluir um conjunto parcial de valores de ambiguidade inteira $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ por causa da aplicação de uma ou mais operações de remoção 310, 320, 330) passa no teste de discriminação, os estados de ambiguidades originais L1 e L2 e a variância-covariância no filtro de Kalman podem ser recuperados 342 com as equações seguintes:

$$\begin{pmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{X}_{N_1} \\ \hat{X}_{N_{(1,-1)}} \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$Q_{\hat{N}_1, \hat{N}_2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{N_1} & Q_{N_1 N_{(1,-1)}} \\ Q_{N_{(1,-1)} N_1} & Q_{N_{(1,-1)}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

[00057] Note, se $\hat{N}_1$ for flutuante, mas $\hat{N}_{(1,-1)}$ for fixo, a parte fracionária de $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_{(1,-1)}$ é exatamente a mesma, e a variância de $Q^{\hat{N}_1}$ e $Q^{\hat{N}_2}$ e covariância $Q^{\hat{N}_1, \hat{N}_2}$ também são as mesmas. Se $\hat{N}_1$ for fixo depois, os

valores fixos de $\hat{N}_1$ e $\hat{N}_2$ serão ajustados a valores inteiros e a variância e co-variância se tornarão zero.

[00058] Em uma concretização, se todos os possíveis jogos de ambiguidade inteira foram procurados e o teste de discriminação ainda falhar, o procedimento de resolução de ambiguidade na época presente falhou e o processo de procurar por um conjunto consistente de valores de ambiguidade que passam no teste de discriminação recomeça na próxima época 334, usando novas medições dos sinais de satélite.

[00059] Figura 3B ilustra o fluxo computacional de procura parcial para um sistema de três frequências. Depois que as medições de diferença dupla de ambas as frequências são processadas 240 (Figura 2), o vetor de ambiguidade flutuante e a variância associada podem ser obtidos 351 das Equações (5) e (8) da estimação de filtro de Kalman 250 (Figura 2). Em uma concretização, os estados de ambiguidade originais para as frequências L1, L2 e L5 são transformados 352 em um conjunto de combinações de ambiguidade alternadas, $\hat{N}_{(1,0,0)}$, $\hat{N}_{(1,-1,0)}$, e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$.

$$\hat{N}_{(1,0,0),(1,-1,0),(0,1,-1)} = \begin{pmatrix} \hat{N}_{(1,0,0)} \\ \hat{N}_{(1,-1,0)} \\ \hat{N}_{(0,1,-1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (25)$$

$$Q_{\hat{N}_{(1,0,0),(1,-1,0),(0,1,-1)}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{N_1,N_1} & Q_{N_1,N_2} & Q_{N_1,N_3} \\ Q_{N_2,N_1} & Q_{N_2,N_2} & Q_{N_2,N_3} \\ Q_{N_3,N_1} & Q_{N_3,N_2} & Q_{N_3,N_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (26)$$

[00060] As novas ambiguidades que resultam são a ambiguidade de L1 original e duas ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(1,-1,0)}$, e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$, uma entre as frequências L1 e L2 e a outra entre as frequências L2 e L5. Em outras concretizações, outras combinações dos estados de ambiguidade para as frequências L1, L2 e L5 podem ser usadas.

[00061] O melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato para $\hat{N}_{(1,0,0)}$, $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ pode ser achado com o processo de

procura de LAMBDA 353, como descrito acima. Um teste de discriminação 354 é aplicado ao melhor e segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira.

[00062] Como descrito acima, o teste de discriminação 354 inclui um teste de relação do melhor conjunto de candidato e do segundo melhor conjunto de candidato. Se o teste de discriminação 354 for passado, o melhor conjunto de candidato é aceito como o conjunto correto de ambiguidade para solucionar as ambiguidades inteiras 390 e produzir a solução fixada 394 das Equações (14) e (15).

[00063] O procedimento de procura parcial é aplicado quando o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato $\hat{N}_{(1,0,0)}$, $\hat{N}_{(1,-1,0)}$, e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ falham para passar no teste de discriminação 354. Em uma concretização, a técnica de procura parcial é excluir do conjunto de ambiguidades a ser procurado aqueles valores de ambiguidade cujos valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes. Em outra concretização, a técnica de procura parcial é excluir aqueles satélites cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato não são idênticas. Em ainda outra concretização, a uma ou mais $\hat{N}_{(1,0,0)}$ ambiguidades cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes são removidas do conjunto de ambiguidades a ser procurado 360, enquanto todas as ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(0,-1,0)}$ e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ permanecem. Para propósitos desta explicação do procedimento de procura parcial, nós assumiremos que a última metodologia mencionada é usada.

[00064] Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado tenha sido reduzido por operação de remoção 360, uma nova procura 362 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 363 para melhor e segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de

ambiguidades produzido por operação 360, e uma teste de discriminação 364 executado no melhor e segundo melhor conjunto de candidato de ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 364 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 390, como descrito acima.

[00065] Caso contrário, se o teste de discriminação 364 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 365 na qual todas das $\hat{N}_{(1,0,0)}$ ambiguidades são removidas do conjunto de valores de ambiguidade a ser procurado, enquanto todas das ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ são retidas no conjunto de valores de ambiguidade a ser procurado. Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado tenha sido reduzido por operação de remoção 365, uma nova procura 366 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 368 para melhor e segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de ambiguidades produzido por operação 365, e um teste de discriminação 369 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 369 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 390, como descrito acima.

[00066] Caso contrário, se o teste de discriminação 369 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 370 na qual a uma ou mais ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ cujos valores no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato não são iguais são removidos do conjunto de ambiguidades a ser procurado, enquanto todas das ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ são retidas no conjunto de ambiguidades a ser procurado. Em outra concretização, os papéis dos dois sinais de faixa larga podem ser invertidos na operação de remoção 370, por meio de que o conjunto de ambiguidades $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ para o segundo sinal de faixa larga que são desiguais no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato são removidos e todas as ambiguidades de faixa larga $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ para o primeiro sinal de faixa

larga são retidas.

[00067] Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado foi reduzido por operação de remoção 370, uma nova procura 372 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 373 para melhor e o segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de valores de ambiguidade produzido por operação 370, e uma teste de discriminação 374 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 374 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 390, como descrito acima.

[00068] Caso contrário, se o teste de discriminação 374 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 375 na qual todas das $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ ambiguidades para o primeiro sinal de faixa larga são removidas do conjunto de ambiguidades a ser procurado, enquanto todas das $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ ambiguidades para o segundo sinal de faixa larga são retidas no conjunto de ambiguidades a ser procurado. Uma vez que o conjunto de ambiguidades a ser procurado foi reduzido por operação de remoção 375, uma nova procura 376 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 378 para melhor e o segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de ambiguidades produzido por operação 375, e um teste de discriminação 379 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato de ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 379 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 390, como descrito acima.

[00069] Caso contrário, se o teste de discriminação 379 falhar, o procedimento se move à operação de remoção 380, na qual a uma ou mais $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ ambiguidades cujos valores no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato não são iguais são removidos do conjunto de ambiguidade a ser procurado. Uma vez que o conjunto de

ambiguidades a ser procurado tenha sido reduzido por operação de remoção 380, uma nova procura 382 é executada, incluindo um processo de procura de LAMBDA 383 para melhor e o segundo melhor conjuntos de candidato para o conjunto reduzido de ambiguidades produzido por operação de remoção 380, e um teste de discriminação 384 executado no melhor e segundo melhor conjuntos de candidato ambiguidade inteira resultantes. Se o teste de discriminação 384 for passado pelo novo melhor conjunto de candidato, o procedimento se move à operação 390, como descrito acima.

[00070] Se o teste de discriminação 384 for falhado pelo novo melhor conjunto de candidato, o processo de procura falha para a época atual e o processo começa novamente na próxima época 334, usando novos valores de medição para os sinais de satélite.

[00071] Em uma concretização, durante cada época o processo de procura parcial é aplicado repetidamente, como descrito acima com referência à Figura 3B, até que tanto (A) qualquer dos processos de remoção 360, 365, 370, 375 ou 380 resulte no conjunto de procura tendo valores de ambiguidade para menos que cinco satélites, (B) falha de todas as procuras, ou (C) a procura tem êxito, como indicado por um dos melhores conjuntos de candidato de ambiguidade inteira passando no teste de discriminação correspondente 364, 369, 374, 379 ou 384. Se em um teste de discriminação for passado, o melhor conjunto de candidato será aceito como o conjunto de ambiguidade correto para solucionar as ambiguidades inteiras 390 e produzir a solução fixada 394 das Equações (14) e (15).

[00072] Em uma concretização, depois que todos ou conjuntos parciais de $\hat{N}_{(0,1,-1)}$, $\hat{N}_{(1,-1,0)}$ e $\hat{N}_{(0,1,-1)}$ são fixados, as ambiguidades originais L1, L2 e L5 e variância associada podem ser recuperadas como segue:

$$\begin{pmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \\ \hat{N}_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{N}_{(1,0,0)} \\ \hat{N}_{(1,-1,0)} \\ \hat{N}_{(0,1,-1)} \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$Q_{\hat{N}_{1,2,5}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{N_{(1,0,0)}, N_{(1,0,0)}} & Q_{N_{(1,0,0)}, N_{(1,-1,0)}} & Q_{N_{(1,0,0)}, N_{(0,1,-1)}} \\ Q_{N_{(1,-1,0)}, N_{(1,0,0)}} & Q_{N_{(1,-1,0)}, N_{(1,-1,0)}} & Q_{N_{(1,-1,0)}, N_{(0,1,-1)}} \\ Q_{N_{(0,1,-1)}, N_{(1,0,0)}} & Q_{N_{(0,1,-1)}, N_{(1,-1,0)}} & Q_{N_{(0,1,-1)}, N_{(0,1,-1)}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (28)$$

[00073] Em uma concretização, se a procura para um conjunto de valores de ambiguidade inteira que passa no teste de discriminação falhar, o procedimento de resolução de ambiguidade na época presente falhou e o processo de procurar um conjunto consistente de valores de ambiguidade que passam no teste de discriminação recomeça na próxima época 385, usando novas medições dos sinais de satélite.

[00074] Figuras 4A-C ilustram um método 400 para executar resolução de ambiguidade inteira de procura parcial. Como mostrado na Figura 4A, o método 400 inclui identificar um conjunto de satélites de quais sinais 410 são recebidos. O conjunto de satélites tipicamente inclui só aqueles satélites para os quais medições de fase de portadora são feitas com sucesso. Um conjunto de ambiguidades flutuantes associado com as medições de fase de portadora de pelo menos alguns dos sinais é identificado 420.

[00075] Ambiguidades inteiras são estimadas para o conjunto de ambiguidades flutuantes e um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para as ambiguidades no conjunto de ambiguidades são determinados 430. Se todos os satélites para quais as medições de sinal de portadora foram feitas forem representados no conjunto de ambiguidades, então pelo menos um melhor candidato e um segundo melhor valor de candidato de ambiguidade inteira serão produzidos para cada satélite no conjunto de satélites. Em uma concretização, o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui um valor de ambiguidade inteira para um sinal de

portadora respectivo 432. Em outra concretização, o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui um valor de ambiguidade inteira para um sinal de faixa larga respectivo 434. Em uma concretização, o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui um valor de ambiguidade inteira para um sinal de faixa larga respectivo e um valor de ambiguidade inteira para um sinal de portadora respectivo 436. Em ainda outra concretização, o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui um valor de ambiguidade inteira para respectivos primeiro e segundo sinais de faixa larga e um valor de ambiguidade inteira para um sinal de portadora respectivo 438.

[00076] Se referindo a ambas Figura 4A e 4B, uma vez que seja determinado que o melhor conjunto de valores de ambiguidade inteira falha em satisfazer o teste de discriminação 440, um conjunto reduzido de ambiguidades é produzido removendo do conjunto de ambiguidades flutuantes conforme critérios predefinidos 450. Em uma concretização, os critérios predefinidos podem ser remover cada ambiguidade cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes 452. Em outra concretização, todas as ambiguidades para um satélite são removidas 454 se quaisquer das ambiguidades inteiras no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato para aquele satélite não forem idênticas. Em algumas concretizações, o conjunto reduzido de ambiguidades está associado com sinais de pelo menos um número mínimo predefinido de satélites 456. Por exemplo, em algumas concretizações, o número mínimo predefinido de satélites é igual a cinco 458. Se referindo à Figura 4C, o método 400 continua com um conjunto de operações 460 para solucionar as ambiguidades inteiras no conjunto reduzido de ambiguidades.

[00077] Em uma concretização, as operações 460 incluem duas ou

mais das operações 462-469 descritas a seguir. Na operação 462, ambiguidades inteiras no conjunto reduzido de ambiguidades flutuantes são estimadas e um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para cada uma das ambiguidades no conjunto reduzido de ambiguidades flutuantes é determinado. Em uma concretização, o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui primeiro e segundo valores de ambiguidade inteira para respectivos primeiro e segundo sinais de faixa larga 463. Na operação 464, é determinado se o melhor conjunto de ambiguidades satisfaz o teste de discriminação. Se o teste de discriminação falhar, um segundo conjunto reduzido de ambiguidades é produzido 466 removendo do conjunto reduzido de ambiguidades conforme critérios predefinidos. Em uma concretização, os critérios predefinidos são remover cada ambiguidade cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes 467. Em outra concretização, a operação de remoção 466 inclui remover todas as ambiguidades para um satélite cujas ambiguidades inteiras do melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são diferentes 469. Na operação 468, operações são executadas para solucionar as ambiguidades inteiras no segundo conjunto reduzido de ambiguidades.

[00078] Uma saída é gerada 470. Em uma concretização, isto inclui gerar uma saída (por exemplo, um conjunto de valores de ambiguidade inteira para ser usado para navegação) se o teste de discriminação for satisfeito 472.

[00079] Figura 5 ilustra uma concretização do sistema de computador 100. O sistema de computador 100 inclui um processador de sinal 520, pelo menos um processador 530 e memória 150. Memória 150, que pode incluir memória de acesso aleatório de alta velocidade e também pode incluir memória não volátil, tal como um ou mais dispositivos de armazenamento de disco magnético, EEPROM e/ou EEPROM flash, inclui um sistema

operacional 152, medições de fase de portadora e pseudo-alcance 157, um programa de atualização de filtro de Kalman 560, um estado de filtro de Kalman 570 (incluindo valores de ambiguidade 572, e pelo menos um módulo de programa de resolução de ambiguidade inteira 155, executado por processador 530. O módulo de programa de resolução de ambiguidade inteira 155 inclui pelo menos um programa de procura de ambiguidade inteira 552, pelo menos um programa de teste de discriminação 554, e pelo menos um programa de redução de conjunto de ambiguidade 556. Em algumas concretizações, pode haver mais de um processador 530. Em outras concretizações, o sistema de computador 200 pode incluir um circuito integrado específico de aplicação (ASIC) que executa alguma ou toda a funcionalidade do módulo de programa de resolução de ambiguidade inteira 155.

[00080] Em algumas concretizações, o sistema de computador 100 está acoplado a um ou mais receptores 510, tal como o receptor de GPS de usuário 120 (Figura 1). O um ou mais receptores 510 também podem incluir um receptor que recebe dados de correção de um ou mais receptores de referência ou de um sistema de aumento de área extensa (WAAS), tal como Rede StarFire™ da Navcom Technology Inc. Em outras concretizações, o sistema de computador 100 e o receptor 510 estão integrados em um único dispositivo. Além disso, em algumas concretizações, o processador de sinal 520 está integrado com o GPS 120, que pode ou não fazer parte do sistema de computador 100.

[00081] A descrição precedente, para propósito de explicação, foi descrita com referência a concretizações específicas. Porém, as discussões ilustrativas acima não são pretendidas serem exaustivas ou limitarem a invenção às formas precisas expostas. Muitas modificações e variações são possíveis devido aos ensinamentos anteriores. As concretizações foram escolhidas e descritas a fim de melhor explicar os princípios da invenção e

suas aplicações práticas, por esse meio para habilitar outros qualificados na técnica a melhor utilizarem a invenção e várias concretizações com várias modificações como são adequadas ao uso particular contemplado.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para executar resolução de ambiguidade inteira em um sistema de satélite de navegação global, caracterizado pelo fato de que inclui:

identificar um conjunto de satélites (110) dos quais sinais de portadora são recebidos;

identificar um conjunto de ambiguidades associadas com medições de fase de portadora de pelo menos alguns dos sinais recebidos dos satélites (110) no conjunto identificado de satélites;

estimar ambiguidades inteiras no conjunto de ambiguidades, incluindo determinar um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para cada uma de ambiguidades no conjunto de ambiguidades;

ao determinar que o melhor conjunto de valores de ambiguidade inteira falha em satisfazer um teste de discriminação (308) com respeito ao segundo melhor conjunto de candidato, remover do conjunto de ambiguidades cada ambiguidade para qual valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato falham em satisfazer critérios predefinidos para produzir um conjunto reduzido de ambiguidades, onde o melhor conjunto de candidato tem uma chance maior de passar no teste de discriminação (308) se uma relação, de valores de R_k para o melhor conjunto de candidato e o segundo melhor conjunto de candidato, for maior que um valor de relação empírica, em que R_k é determinado consistente com as seguintes equações:

$$R_k = (\dot{Z}_N - N_k^T)^T Q_N^{-1} (\dot{Z}_N - N_k^T)$$

$$\dot{Z}_N = Z \bullet \dot{X}_N;$$

$$Q_N^{-1} = Z Q_{X_N}^{-1} Z^T;$$

;

onde Z é a matriz de transformação, Q é matriz de variância-

covariância, N_k^Z é um conjunto de ambiguidades inteiras, e $\hat{X}_N$ é uma porção do estado de filtro que representa valores de ambiguidade para os sinais de recebidos dos satélites;

executar operações para solucionar as ambiguidades no conjunto reduzido de ambiguidades; e

gerar uma saída conforme um resultado das operações executadas para solucionar as ambiguidades no conjunto reduzido de ambiguidades.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os critérios predefinidos incluem uma exigência que, para uma ambiguidade respectiva, os valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato são iguais.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as ambiguidades do conjunto reduzido de ambiguidades são associadas com medições de fase de portadora de sinais recebidos de pelo menos um número mínimo predefinido de satélites requeridos para resolução de ambiguidade instantânea.

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o número mínimo predefinido de satélites é igual a cinco.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada ambiguidade no conjunto de ambiguidades, um valor de ambiguidade inteira para um sinal de portadora respectivo.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que identificar o conjunto de ambiguidades compreende identificar ambiguidades de faixa larga respectivas correspondendo a satélites respectivos no conjunto identificado de satélites, onde o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui valores de

ambiguidade inteira para as ambiguidades de faixa larga respectivas.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que identificar o conjunto de ambiguidades compreende identificar ambiguidades de faixa larga respectivas correspondendo aos satélites respectivos no conjunto identificado de satélites e as ambiguidades de sinal de portadora respectivas correspondendo aos sinais de portadora respectivos, onde o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada satélite no conjunto identificado de satélites, um valor de ambiguidade inteira para uma ambiguidade de faixa larga respectiva e um valor de ambiguidade inteira para uma ambiguidade de sinal de portadora respectiva.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que identificar o conjunto de ambiguidades compreende, para os satélites respectivos no conjunto identificado de satélites, identificar primeira e segunda ambiguidades de faixa larga respectivas, e compreende adicionalmente identificar ambiguidades de sinal de portadora respectivas correspondendo a sinais de portadora respectivos, onde o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada satélite no conjunto identificado de satélites, primeiro e segundo valores de ambiguidade inteira para respectivas primeira e segunda ambiguidades de faixa larga e um valor de ambiguidade inteira para uma ambiguidade de sinal de portadora respectiva.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a remoção inclui remover do conjunto de ambiguidades todas as ambiguidades para um satélite para o qual os valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato falham em satisfazer os critérios predefinidos.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de satélite de navegação global é selecionado do

grupo consistindo em um Sistema de Posicionamento Global, (GPS), um Sistema de Satélite de Navegação de Órbita Global (GLONASS) e um sistema de posicionamento GALILEO.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que executar operações para solucionar ambiguidades no conjunto reduzido de ambiguidades inclui:

estimar ambiguidades inteiras no conjunto reduzido de ambiguidades, incluindo determinar um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para cada uma das ambiguidades inteiras no conjunto reduzido de ambiguidades, onde o primeiro melhor conjunto de candidato e o segundo melhor conjunto de candidato cada se relacionam a um conjunto de valores menor de uma matriz de variância-covariância para medições de fase de portadora que satisfazem uma equação de mínimos quadrados inteiros;

determinar se o melhor conjunto de candidatos de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades satisfaz o teste de discriminação (308) com respeito ao segundo melhor conjunto de candidatos de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades, e se o teste de discriminação for satisfeito ou passado, gerar um conjunto de valores de resultado;

se o melhor conjunto de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades falhar em satisfazer o teste de discriminação (308), remover do conjunto reduzido de ambiguidades cada ambiguidade para a qual valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades e segundo melhor conjunto de candidato falhar em satisfazer os critérios predefinidos para produzir um segundo conjunto reduzido de ambiguidades;

executar operações para solucionar as ambiguidades inteiras

no segundo conjunto reduzido de ambiguidades; e

gerar a saída conforme um resultado das operações executadas para solucionar as ambiguidades inteiras no segundo conjunto reduzido de ambiguidades.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que identificar o conjunto de ambiguidades compreende identificar ambiguidades de faixa larga respectivas correspondendo aos satélites respectivos no conjunto identificado de satélites, onde o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades cada um inclui primeiro e segundo valores de ambiguidade inteira para respectivas primeira e segunda ambiguidades de faixa larga.

13. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o teste de discriminação (308) compreende adicionalmente um teste de compatibilidade que é passado se a diferença de um valor de ambiguidade fixo e um valor de ambiguidade flutuante correspondente for menor que um determinado múltiplo inteiro do desvio padrão da solução flutuante.

14. Dispositivo para executar resolução de ambiguidade em um sistema de satélite de navegação global, caracterizado pelo fato de que inclui:

um receptor (120) configurado para receber sinais de satélite;
memória (150);

um ou mais processadores (140) para resolver ambiguidades associadas com medições de fase de portadora de pelo menos alguns dos sinais recebidos dos satélites (110) em um conjunto identificado de satélites, o um ou mais processadores estimando ambiguidades inteiras no conjunto de ambiguidades, incluindo determinar um melhor conjunto de candidato e um segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para

cada uma das ambiguidades no conjunto de ambiguidades, o um ou mais processadores acoplados ao receptor;

um ou mais programas armazenados na memória (150) para execução pelo um ou mais processadores (140), onde o um ou mais programas compreendem:

instruções para determinar que o melhor conjunto de valores de ambiguidade inteira falha em satisfazer um teste de discriminação (308) com respeito ao segundo melhor teste de candidato, e em tal determinação, remover do conjunto de ambiguidades cada ambiguidade para a qual valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato falham em satisfazer critérios predeterminados para produzir um conjunto reduzido de ambiguidades, onde o melhor conjunto de candidato tem uma chance maior de passar no teste de discriminação (308) se uma relação, de valores de R_k para o melhor conjunto de candidato e o segundo melhor conjunto de candidato, for maior que um valor de relação empírica, em que R_k é determinado consistente com as seguintes equações:

$$\begin{aligned} R_z &= (\hat{Z}_N - N_k^Z)^T Q_{\hat{Z}_N}^{-1} (\hat{Z}_N - N_k^Z) \\ \hat{Z}_N &= Z \bullet \hat{X}_N; \\ Q_{\hat{Z}_N}^{-1} &= Z Q_{\hat{X}_N}^{-1} Z^T; \end{aligned} \quad ;$$

onde Z é a matriz de transformação, Q é matriz de variância-covariância, N_k^Z é um conjunto de ambiguidades inteiras, e $\hat{X}_N$ é uma porção do estado de filtro que representa valores de ambiguidade para os sinais de recebidos dos satélites;

instruções para executar operações para solucionar as ambiguidades inteiras no conjunto reduzido de ambiguidades; e

instruções para gerar um resultado conforme as ambiguidades inteiras resolvidas no conjunto reduzido de ambiguidades.

15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14,

caracterizado pelo fato de que as ambiguidades do conjunto reduzido de ambiguidades estão associadas com medições de fase de portadora de sinais recebidos de pelo menos um número mínimo predefinido de satélites requeridos para resolução de ambiguidade instantânea.

16. Dispositivo de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o número mínimo predefinido de satélites é igual a cinco.

17. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada ambiguidade no conjunto de ambiguidades, um valor de ambiguidade inteira para um sinal de portadora respectivo.

18. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui valores de ambiguidade inteira para ambiguidades de faixa larga respectivas.

19. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada satélite no conjunto identificado de satélites, um valor de ambiguidade inteira para um sinal de faixa larga respectivo e um valor de ambiguidade inteira para uma ambiguidade de sinal de portadora respectiva.

20. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato cada um inclui, para cada satélite em um conjunto identificado de satélites, primeiro e segundo valores de ambiguidade inteira para respectivas primeira e segunda ambiguidades de faixa larga e um valor de ambiguidade inteira para uma ambiguidade de sinal de portadora respectiva.

21. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que os um ou mais processadores (140) de dados ou um filtro removem do conjunto de ambiguidades inteiras todas as ambiguidades inteiras para um satélite para o qual os valores de ambiguidade inteira no melhor conjunto de candidato e no segundo melhor conjunto de candidato falham em satisfazer os critérios predefinidos.

22. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o sistema de satélite de navegação global é selecionado do grupo consistindo em um Sistema de Posicionamento Global, (GPS), um Sistema de Satélite de Navegação de Órbita Global (GLONASS), e um sistema de posicionamento GALILEO.

23. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que os um ou mais processadores (140) são arrançados para gerar uma saída conforme um resultado das operações executadas para solucionar as ambiguidades inteiras no segundo conjunto reduzido de ambiguidades.

24. Dispositivo de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que o melhor conjunto de candidato e segundo melhor conjunto de candidato de valores de ambiguidade inteira para o conjunto reduzido de ambiguidades cada um inclui primeiro e segundo valores de ambiguidade inteira para respectivas primeira e segunda ambiguidades de faixa larga.

25. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o teste de discriminação (308) compreende adicionalmente um teste de compatibilidade que é passado se a diferença de um valor de ambiguidade fixo e um valor de ambiguidade flutuante correspondente for menor que um determinado múltiplo inteiro do desvio padrão da solução flutuante.

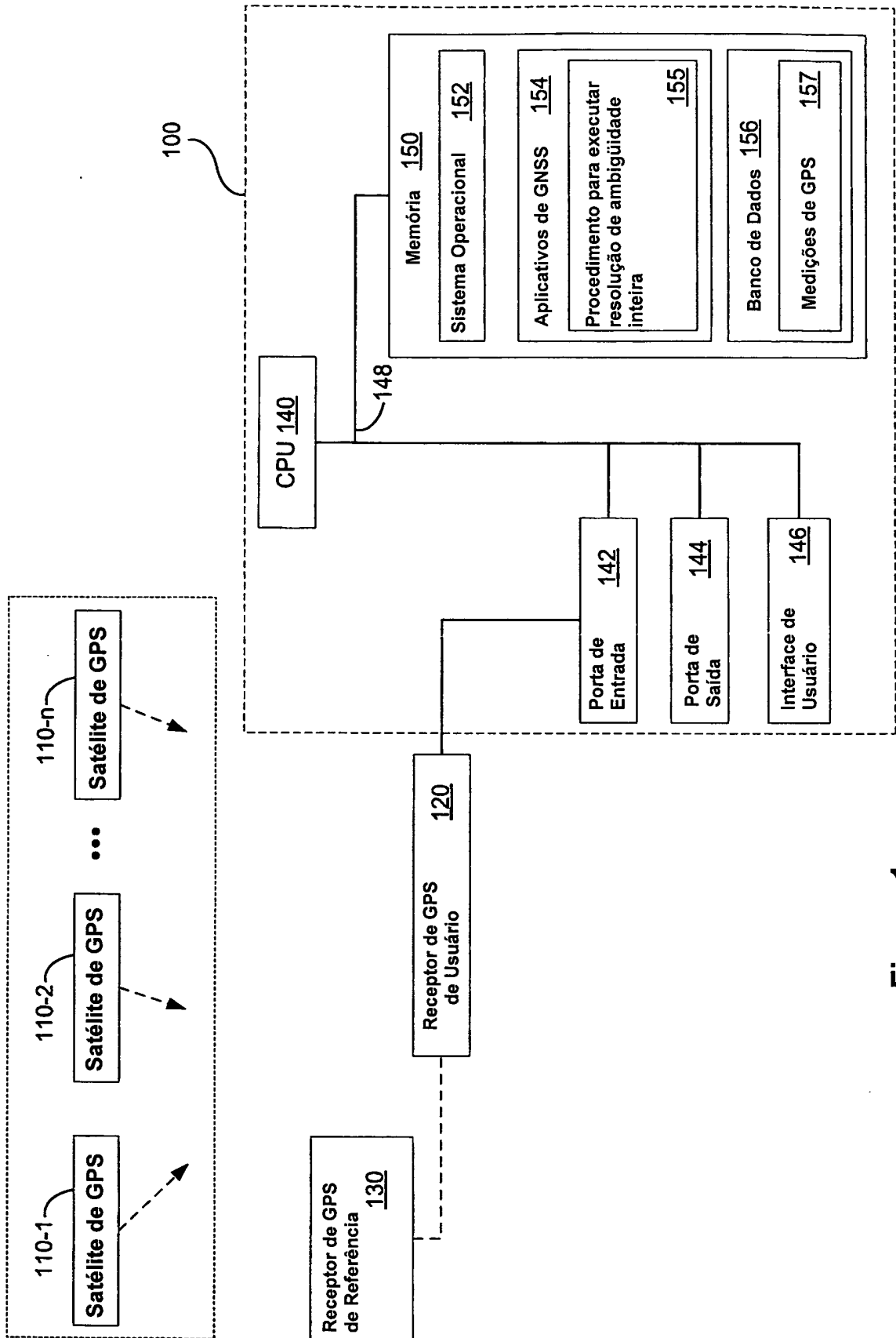


Figura 1

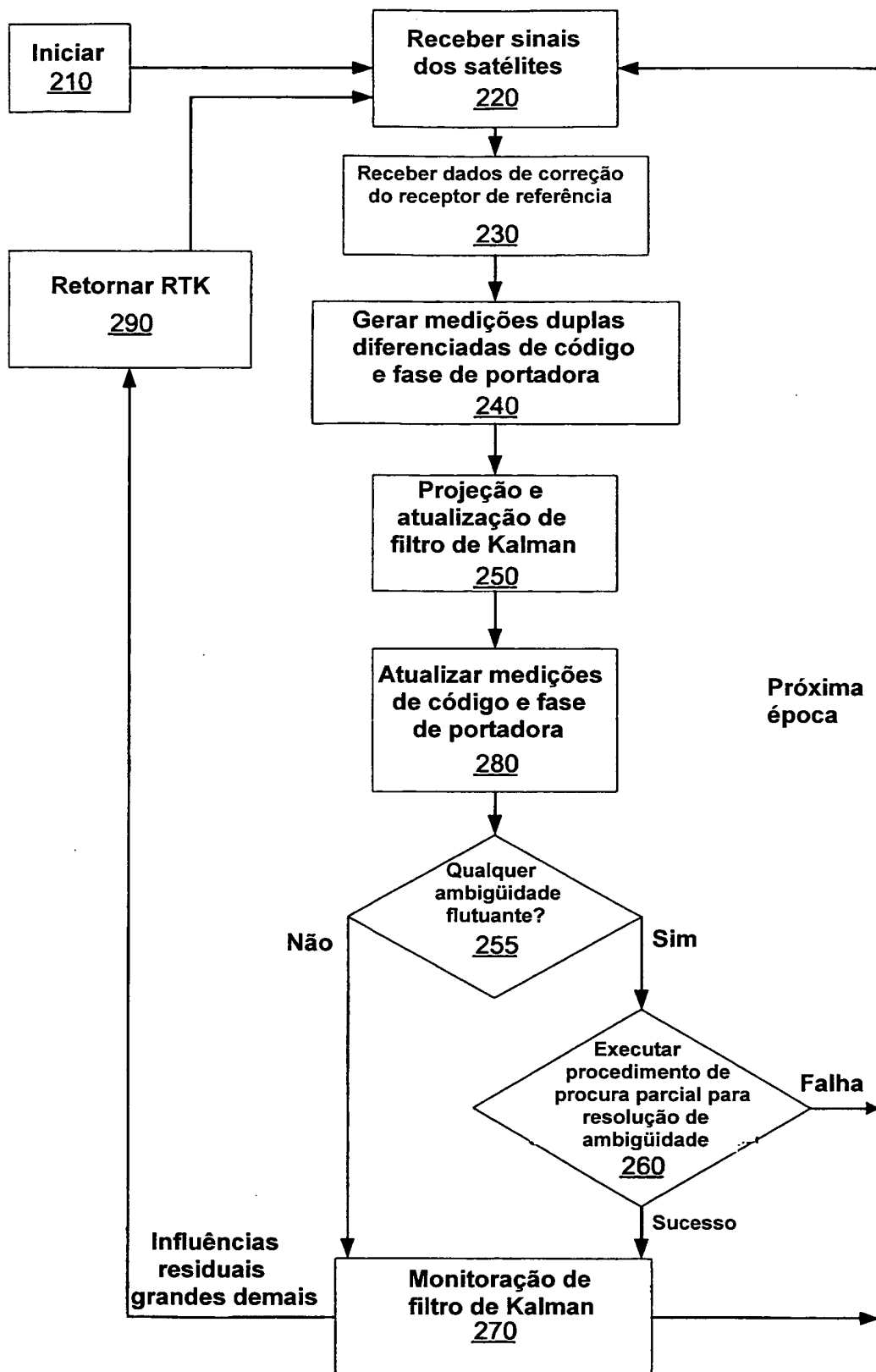


Figura 2

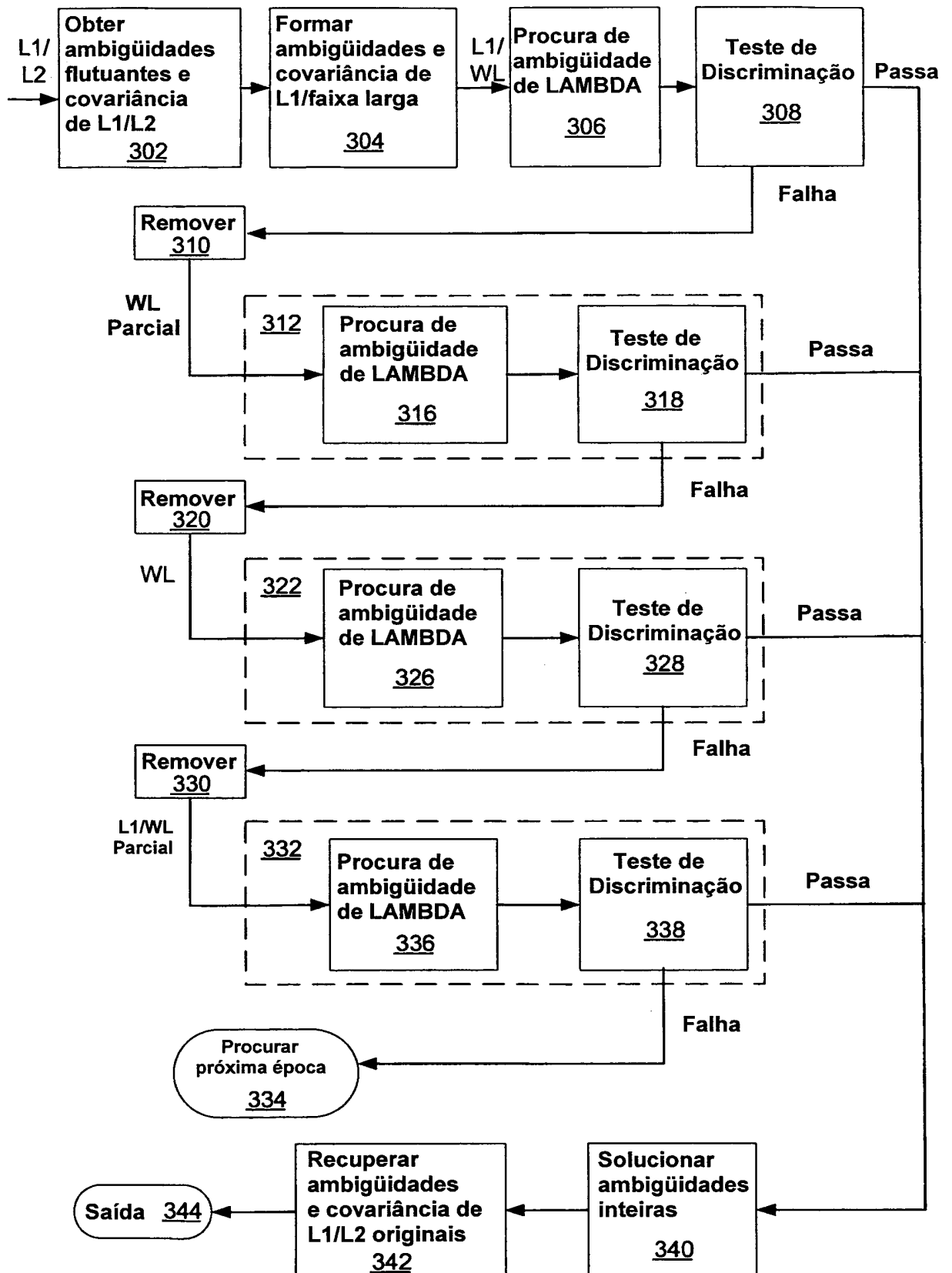


Figura 3a

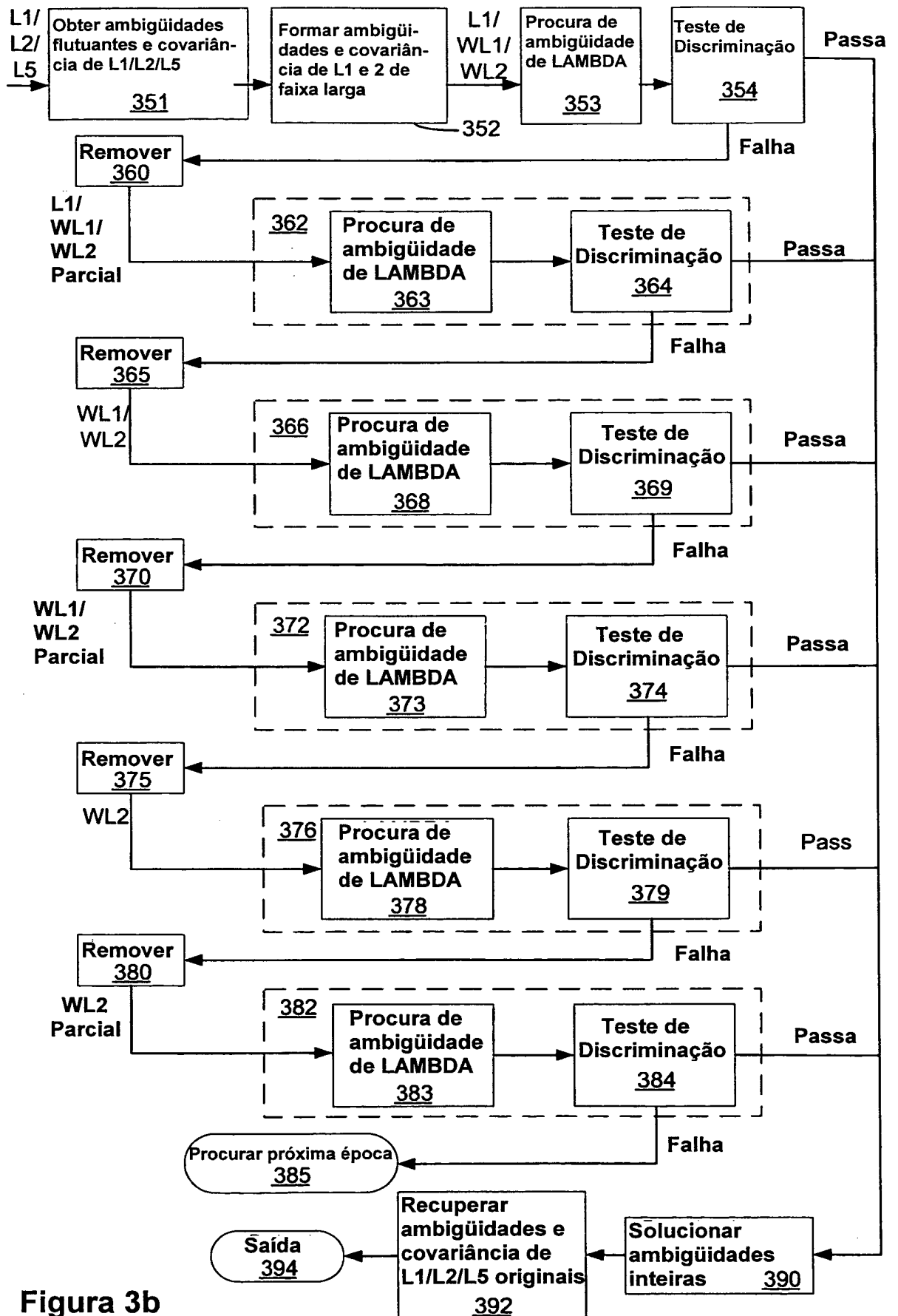


Figura 3b

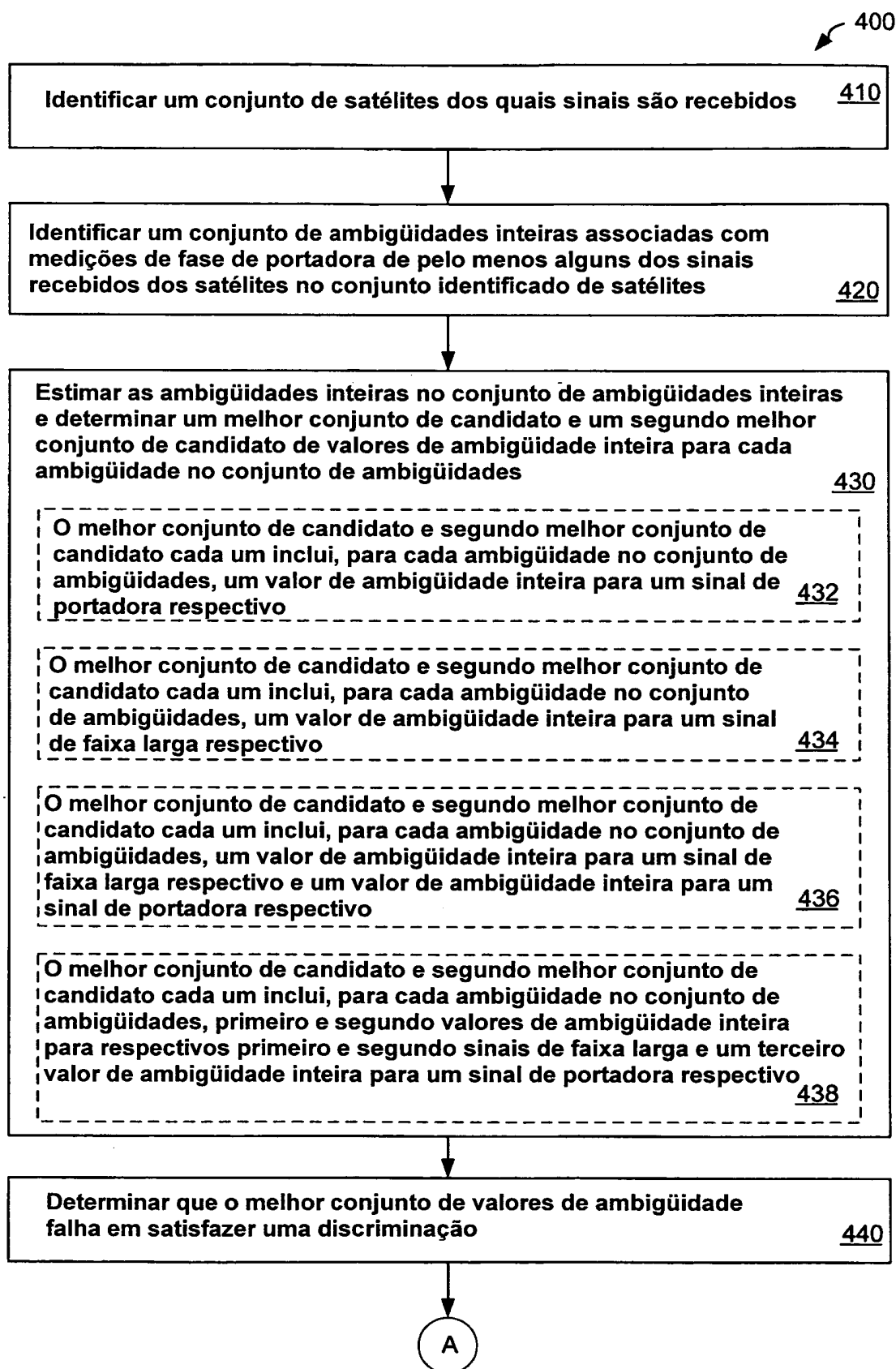


Figura 4a

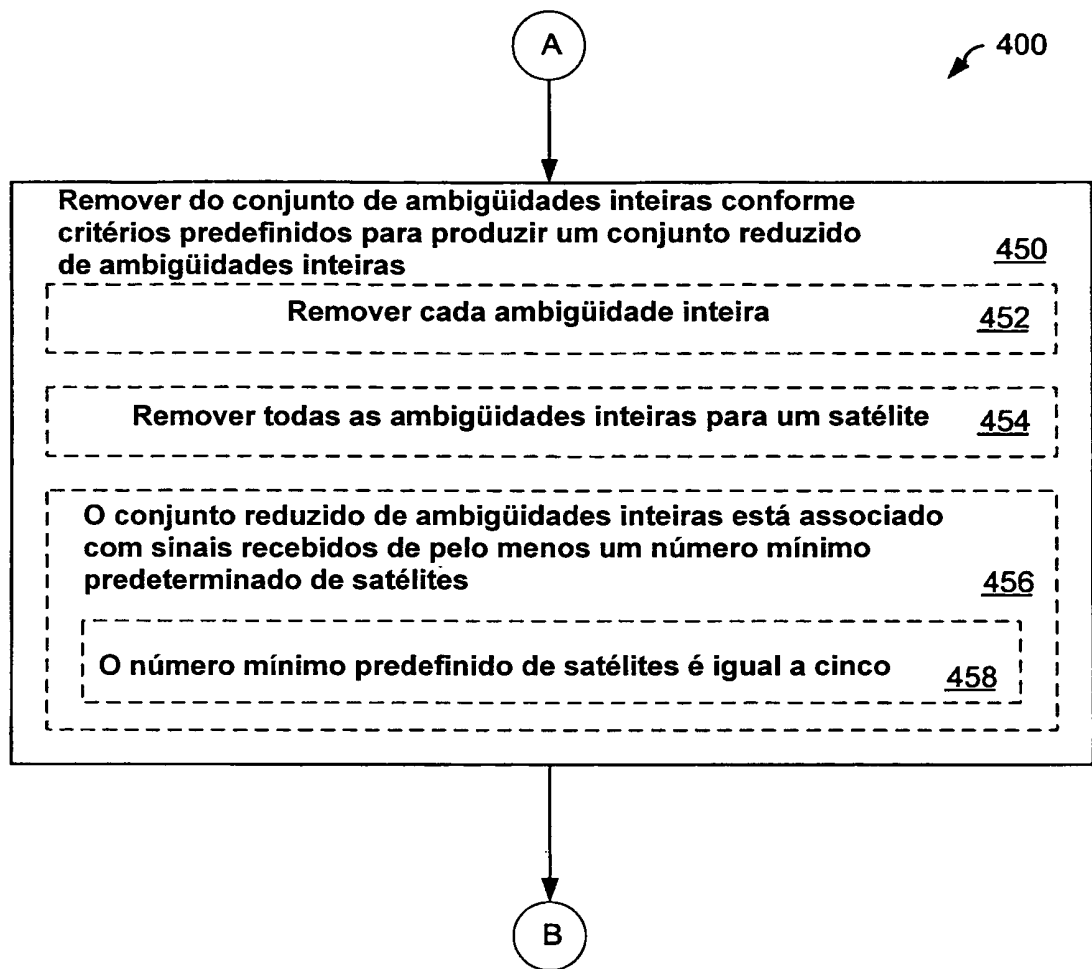


Figura 4b

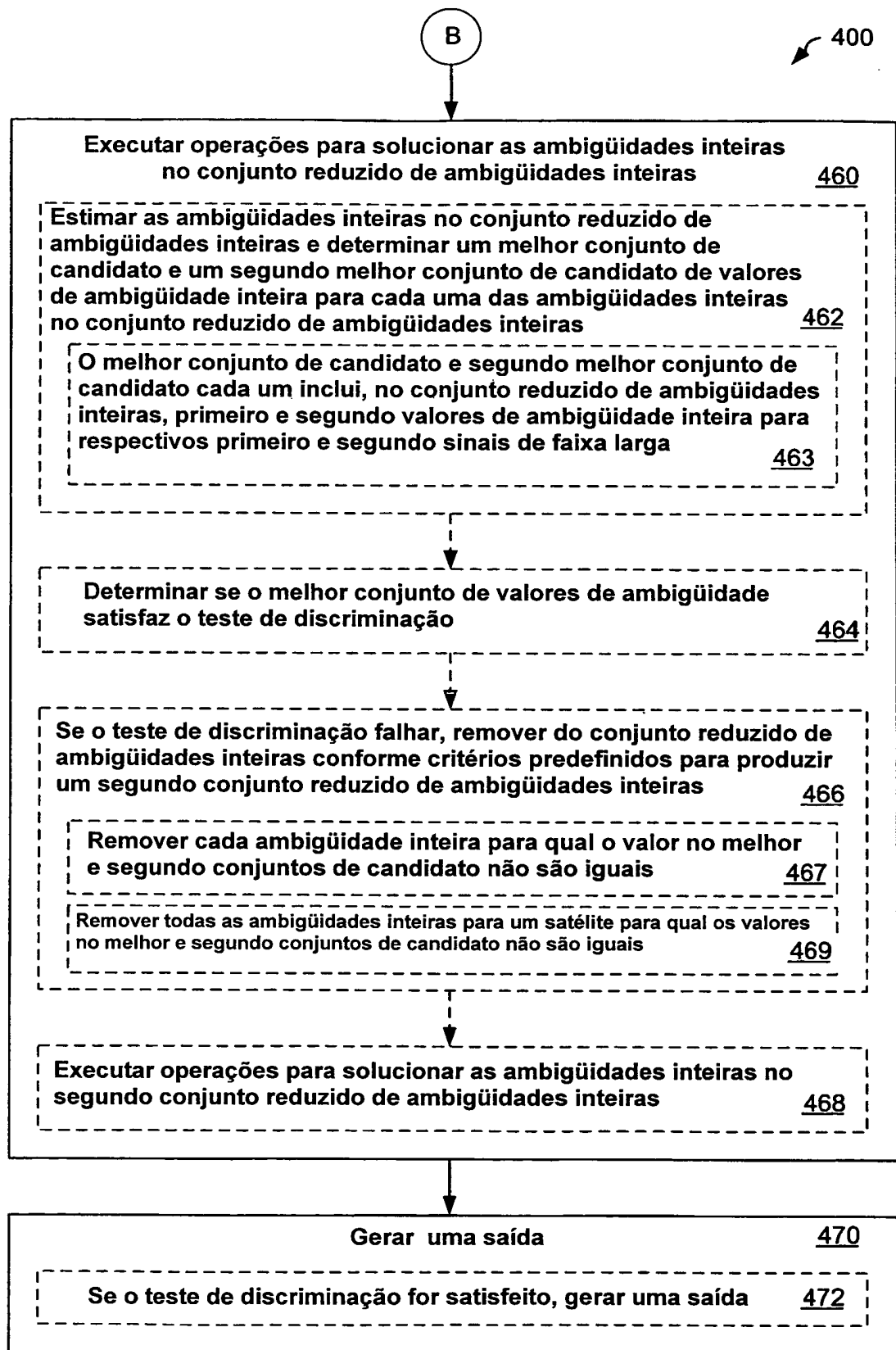


Figura 4c

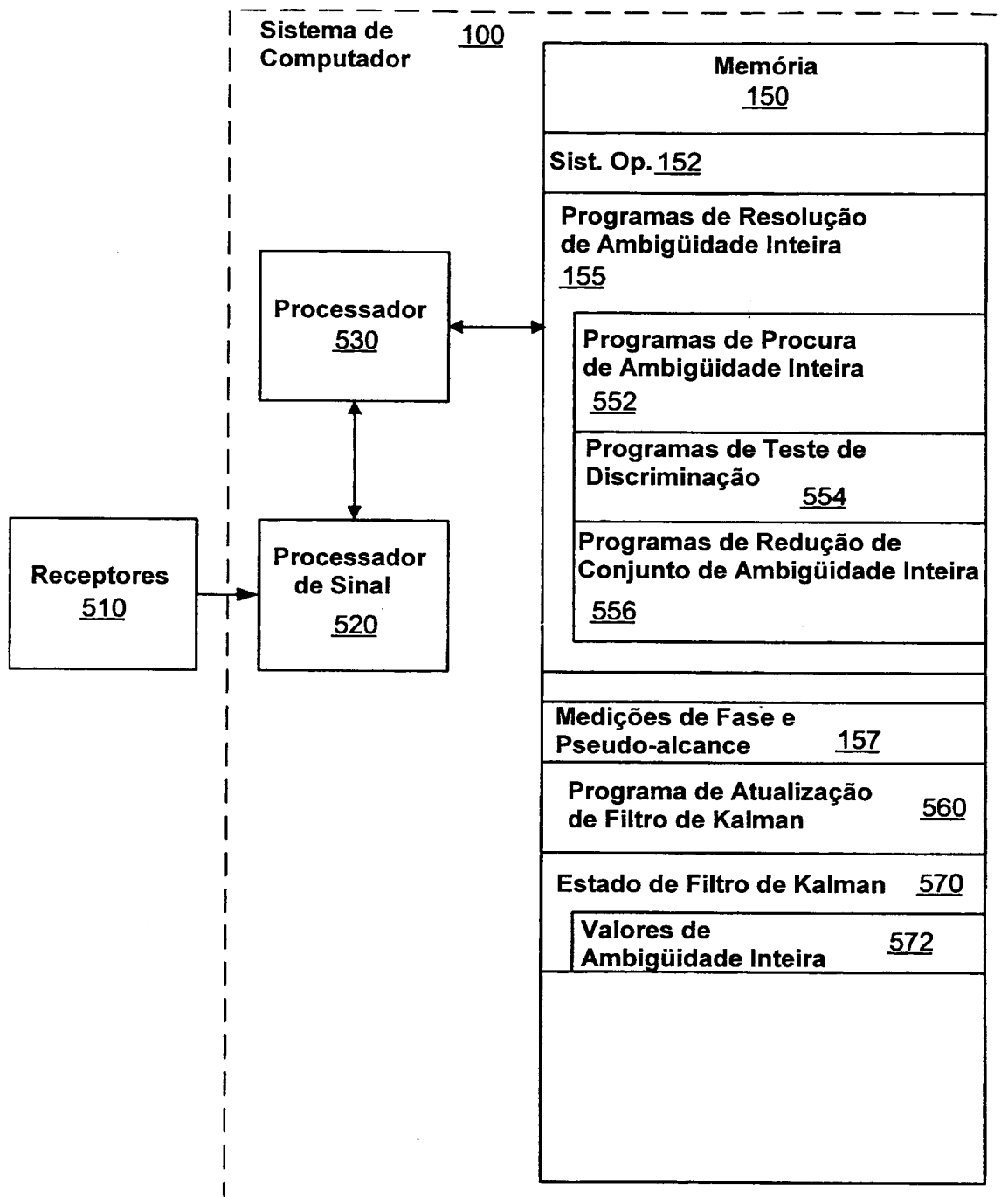


Figura 5