



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0903923-6 A2**

(22) Data de Depósito: 01/09/2009
(43) Data da Publicação: 20/07/2010
(RPI 2063)



* B R P I 0 9 0 3 9 2 3 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
G01C 21/16
G05D 1/02
B63B 49/00

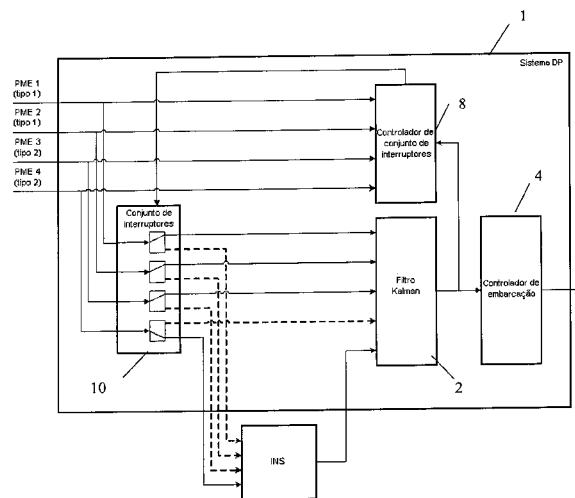
(54) Título: **ARQUITETURA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO**

(30) Prioridade Unionista: 05/09/2008 EP 08015676.3

(73) Titular(es): Converteam Technology Ltd., Ixsea

(72) Inventor(es): Andrew Graham Chamberlain, François Crétollier, Richard Ian Stephens

(57) **Resumo:** A presente invenção provê uma arquitetura aperfeiçoada para integrar um sistema de navegação inercial (INS) em um sistema de posicionamento dinâmico (DP) para uma embarcação. A arquitetura inclui uma unidade INS (6) e um sistema DP (1) tendo um filtro Kalman (2) ou outro algoritmo para combinar dados fornecidos por uma pluralidade de equipamentos de medição de posição (PME) e unidade INS (6) para derivar uma estimativa da posição ou velocidade da embarcação. O conjunto de interruptores (10) e um controlador de conjunto de interruptores (8) são também fornecidos. Esses podem opcionalmente formar uma parte do sistema DP. O conjunto de interruptores (10) é operável sob o controle do controlador de conjunto de interruptores (8) para fornecer dados fornecidos por um ou mais da pluralidade de equipamentos de medição de posição para a unidade INS (6) para fins de corrigir derivação. A seleção de qual um, ou mais, PME deve/devem ser combinado(s) com a unidade INS (6) é feita automaticamente, em tempo real, para otimizar dinamicamente o sistema DP (1).





ARQUITETURA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Descrição

Campo técnico

A invenção refere-se a uma arquitetura para o
5 posicionamento dinâmico (DP) de embarcações marítimas, isto
é, o uso de empurradores para manter a posição de uma
embarcação nas proximidades de um ponto de referência e
estabilizar sua proa, em oposição a forças ambientais como
vento e corrente. Arquitetura diz respeito particularmente
10 ao modo no qual um sistema de navegação inercial (INS) pode
ser integrado com o sistema DP.

O termo "embarcações" pretende incluir navios, sondas
de perfuração e quaisquer outras embarcações flutuantes ou
plataformas ou embarcações submersíveis (submarinos). A
15 invenção é relevante principalmente a aplicações em água
profunda, porém o uso aqui da palavra "marítima" não
pretende excluir sua aplicação em lagos de água doce ou
outra água rasa.

O termo "sistema de navegação inercial (INS)" pretende
20 incluir sistemas que contêm uma unidade de medição inercial
(IMU), que é normalmente um sistema de medição de nível
mais baixo com um algoritmo de fusão de dados interno ou
externo.

O termo "sistema de posicionamento dinâmico (DP)"
25 pretende incluir outros sistemas de posicionamento para
embarcações como sistemas de amarração de posição e
sistemas de amarração auxiliados por empuxo que combinam
aspectos de um sistema DP com um sistema de amarração.

Técnica Antecedente

30 Uma embarcação move-se em seis eixos geométricos, três

de translação (ondear, manear e balouçar) e três de rotação (balançar, inclinar longitudinalmente e guinar). Esses seis eixos geométricos são mostrados na figura 1. Um sistema DP para uma embarcação de superfície controla normalmente somente os três movimentos no plano horizontal, a saber, ondear, manear e guinar, porém pode necessitar levar em conta medições em todos os seis eixos geométricos.

Os componentes fundamentais de um sistema DP são: um ou mais sistemas de referência de posição para medir a posição e curso da embarcação; empurradores para aplicar ação de controle; e um controlador para determinar os empuxos necessários. O objetivo de um sistema DP não é manter a embarcação absolutamente estacionária, porém manter sua posição em limites aceitáveis. A magnitude da variação de posição permitida depende da aplicação e de preocupações operacionais. Em muitas aplicações uma perda de posição além dos limites aceitáveis pode ter um impacto severo na segurança de pessoal ou equipamento ou no meio ambiente. É vital, portanto, que medidas adequadas sejam tomadas para manter a integridade do sistema DP até onde for razoavelmente possível.

A operação segura em DP se baseia na medição da posição de embarcação e curso durante todo o tempo. Para assegurar que isso é verdadeiro, mesmo sob condições de falha, todos os sistemas de medição incluem redundância. Redundância física requer a replicação de equipamento para assegurar que uma única falha de qualquer peça de equipamento não resulte em falha total do sistema geral e permite que equipamento com defeito seja desviado utilizando a ferragem redundante. Os sistemas redundantes

paralelos devem ser independentes - isto é, nenhum modo de falha única deve ser capaz de desabilitar o sistema geral.

O sistema DP combina todas as medições disponíveis de posição, a partir de qualquer fonte, em uma única
5 estimativa de posição de embarcação. O algoritmo para combinar as medições pode ser baseado em um filtro Kalman.

As fontes de medições podem incluir uma ampla variedade de equipamento de medição de posição (PME) como girocompassos (que oferecem medição compacta, segura e
10 precisa de curso de embarcação (guinada), independente de distúrbios externos), fios esticados, sistemas de navegação por satélite (que incluem sistemas de posicionamento global (GPS) e GPS diferencial (DGPS)), sistemas de navegação inercial (INS) e sistemas de posicionamento hidroacústico.

Um INS utiliza medições de aceleração para estimar o
15 movimento de uma embarcação em um quadro de referência inercial. Entretanto, devido a processos físicos associados à aceleração devido à gravidade, mais precisão inerente e ruído nos próprios dispositivos, um grau de derivação em
20 medições de posição estará sempre presente. Isso significa que há necessidade de atualizações periódicas nas estimativas INS de derivação. Essas atualizações podem ser fornecidas por outra unidade PME como um sistema de posicionamento hidroacústico ou um sistema de navegação por
25 satélite, por exemplo.

INS e sistemas de posicionamento hidroacústico

Os problemas de acústica em água profunda são bem conhecidos (Stephens, R.I. "Aspects of industrial dynamic positioning: reality-tolerant control", IFAC Conference on
30 Control Applications in Marine Systems, CAMS 2004, 7-9 de

julho de 2004, Ancona, Itália, pág. 41-51). A profundidade introduz tempos de ciclo de pulso longo devido à distância para deslocamento do som, a menos que se empregue o denominado empilhamento de pulsos. Água profunda também
5 aumenta o custo de substituir baterias em transceptores, que começa a se tornar uma proporção significativa do custo geral do sistema de posicionamento hidroacústico. Por aumentar os tempos de ciclo de pulsos a vida útil da bateria pode ser estendida. Empilhamento de pulsos serve
10 somente para reduzir a vida útil da bateria. Infelizmente, os tempos aumentados de pulsos podem afetar adversamente o controle de DP. Isso é verdadeiro embora seja direto para configurar o controlador de filtro Kalman DP para fazer uso de taxas de atualização de medição longas. Tende a levar a
15 uso mais elevado de empuxo à medida que o sistema DP detecta desvios posteriormente e tem de aplicar maiores ajustes em empuxo. Quaisquer alterações em forças ambientais ou pequenas inconsistências no modelo de embarcação do sistema DP são exacerbadas por um longo tempo
20 de pulsos. Há também a possibilidade de que efeitos de introdução de erros devido a períodos longos de medição de posição introduzam ruído aumentado nas medições de posição.

A integração de um INS no sistema de posicionamento hidroacústico pode permitir a redução de tempos longos de
25 pulsos utilizando o INS para preencher entre pulsos.

Para investigar os benefícios dessa abordagem, diversos testes foram realizados em duas embarcações pequenas utilizando um sistema de posicionamento hidroacústico, combinado com um sensor inercial PHINS (os
30 dois itens sendo fornecidos por IXSEA de 55, Avenue Auguste

Renoir, 78160 Marly le Roi, França). Os testes foram realizados em modo de linha de base ultracurta (USBL) em 15 m de profundidade de água fora de Brest (França) e em 1000 m de profundidade de água fora de La Ciotat (França). Na
5 água mais profunda, o tempo de ciclo de pulsos mais curtos, sem empilhamento de pulsos, foi de 3 s; portanto, os dados foram coletados nessa taxa. Tantos dados acústicos brutos como posições corrigidas por PHINS foram registrados. Um sinal adicional foi gerado a partir de PHINS utilizando
10 medições acústicas medidas a cada 21 s em vez de 3 s.

Embora não fosse possível instalar um sistema DP na embarcação na escala de tempo dos experimentos, os resultados foram processados posteriormente utilizando uma simulação do sistema DP para estimar o comportamento de uma
15 embarcação controlada por um sistema DP sob as mesmas condições. Os erros medidos a partir dos experimentos INS foram impostos na simulação e comparações feitas entre sinais acústicos brutos em atualizações de 21 s e acústica mais INS.

20 A figura 2 mostra uma comparação dos erros de posição de embarcação durante os cursos de simulação. Mostra que a manutenção da posição é significativamente aperfeiçoada utilizando as correções INS. O desvio padrão de erros de eixo geométrico X para acústica somente é 6,8 m enquanto
25 com o uso de INS reduz isso para 3,4 m.

Um aperfeiçoamento ainda maior é obtido nas demandas de empuxo a partir do sistema DP para o mesmo cenário. A figura 3 mostra as demandas de empuxo com e sem as correções de INS. Mostra que o uso de empurrador é
30 dramaticamente reduzido quando o INS está preenchendo entre

pulsos. Essa redução na variação de demanda de empuxo significa menos fadiga mecânica, menos desgaste e manutenção reduzida. Outra consequência é uma redução do ruído gerado por empuxo na água, o que significa melhor
5 detecção acústica através de uma aperfeiçoada relação de sinal/ruído, não somente fornecendo posicionamento acústico mais preciso e seguro, como também permitindo operações em águas mais profundas.

Uma ilustração adicional é obtida por comparar o
10 consumo de combustível durante DP. Por estimar potência de empurrador P a partir de empuxo T utilizando a relação aproximada: $P \propto T^{1.5}$, o consumo relativo de combustível pode ser estimado. A figura 4 mostra a evolução de consumo relativo de combustível calculado desse modo. Releva que o
15 INS pode reduzir consumo de combustível por um fator de cinco ou mais.

INS e sistemas de navegação por satélite

O uso de INS com sistemas de navegação por satélite (tanto GPS como DGPS) provê os seguintes benefícios:
20 detecção de falhas de GPS, remoção de 'saltos' errôneos, incursão para interrupções temporárias, e demanda reduzida de empuxo indicando consumo mais baixo de combustível em operação nominal.

Uma ocorrência comum utilizando GPS e DGPS é um salto
25 na estimativa de posição. Isso pode ocorrer quando a constelação de satélite visível muda, como o resultado de subida ou ajustagem de satélites, ou devido à obstrução a partir de objetos próximos. Os exemplos típicos do último incluem passar sob uma ponte ou aproximar-se de uma
30 plataforma. Esses saltos são frequentemente desprezíveis,

porém às vezes se tornam significativos. Por exemplo, a figura 5 mostra um salto curto de aproximadamente 3 m e uma interrupção curta de aproximadamente 15 s., que ocorreram em água aberta no Mar do Norte. A gravidade de um salto depende da situação operacional da embarcação. Sob a maioria das condições um salto de 3 m não é problemático. Durante uma aproximação estreita de uma plataforma ou de outra embarcação, entretanto, mesmo pequenos saltos podem ser 'desconfortáveis'. O sistema DP inclui algoritmos para detecção de erro, incluindo detecção de ruído, saltos e derivação. Embora esses algoritmos sejam sofisticados em seu próprio modo, as formas mais seguras de detecção de erro se baseiam em comparação de dois, três ou mais PME. O INS, como não é baseado em um modelo, porém em medições de aceleração real, não somente atua como um filtro nas medições de DGPS, como também rejeita dados durante saltos de curta duração, e preenche curtas interrupções.

O uso de um INS de alta qualidade em combinação com um receptor DGPS reduz o nível de ruído de frequência elevada sobre a posição medida. Isso tem o efeito de reduzir o ruído sobre as demandas de empurrador, do mesmo modo que o INS reduziu o ruído da acústica discutida acima. No caso do receptor de DGPS, o efeito é menos dramático uma vez que o ruído é inicialmente menor. Essa redução de ruído não é igual à filtração: filtração introduz extra retardo de fase no sistema de controle ao passo que o INS está intensificando a precisão de posição das medições sem introduzir retardo.

Experimentos no mar foram realizados em uma embarcação de 7000 t utilizando um sistema DP fornecido por Convertteam

UK Ltd. de Boughton Road, Rugby, Warwickshire CV21 1BU, Reino Unido e um receptor DGPS combinado com um sensor inercial PHINS. Para parte do experimento, a embarcação foi retida em uma posição constante sob controle total do sistema DP com o receptor DGPS como o único PME, seguido por um período com a combinação do receptor de DGPS e o sensor inercial de PHINS como o único PME. A figura 6 mostra as demandas de empurrador para os eixos geométricos X e Y durante os dois períodos de operação. Há perceptivelmente menos ruído para a combinação do receptor DGPS e INS.

Para comparar o consumo esperado de combustível com e sem as correções de INS. As demandas de empuxo foram utilizadas para estimar um consumo relativo de combustível utilizando a relação $P \propto T^{1.5}$, como anteriormente. Os resultados da estimação, para os períodos de 10 min. do experimento são mostrados na figura 7. O sistema sem o INS utiliza 40% mais combustível do que a combinação do receptor de DGPS e INS.

A utilidade de um INS durante interrupção de outro PME depende de sua derivação. Essa derivação é uma função de qualidade, calibragem e correção de unidade de medição inercial (IMU). A precisão de curta duração de um INS deriva da precisão de seus acelerômetros, enquanto a precisão de duração mais longa deriva da precisão giroscópica. A posição é definida pela integração dupla dos acelerômetros, assim a posição deriva de acordo com o quadrado de tempo e a estabilidade dos acelerômetros.

Anteriormente, dados de interrupção foram obtidos para uma unidade INS estacionária (Paturel, Y. "PHINS, an all-

in-one sensor for DP applications", MTS Dynamic Positioning Conference, 28-30 de setembro de 2004, Houston, Estados Unidos da América). Entretanto, será prontamente reconhecido que em uma embarcação flutuante o INS nunca
5 será estacionário. Uma série de testes foi, portanto realizada utilizando um receptor de GPS e um INS em movimento oscilatório constante, simulando tempo ruim. Durante os testes, a entrada do GPS no INS foi removida em intervalos periódicos e as posições do INS e GPS comparadas
10 durante um período de 'interrupção'. Resultados típicos desses testes são mostrados nas figuras 8 e 9. A figura 8 mostra a evolução da derivação INS com tempo durante interrupções de 120 s e 300 s. Os resultados comparam bem com investigações anteriores de sistemas estacionários.

15 A figura 9 mostra a distribuição dos erros após 120 s e após 300 s. A distribuição de erros de derivação apresenta o formato da distribuição Rayleigh, que é característica de processos formados a partir da soma de quadrados de fontes distribuídas Gaussianas - porque a
20 distância de derivação é a soma de quadrados dos desvios nas direções Norte e Leste.

Para ter uma idéia das derivações relativas de uma embarcação sem PME e uma utilizando somente INS, é possível estimar a força necessária para mover uma embarcação para
25 fora de posição pela mesma quantidade que a derivação INS observada. Tomando o pior caso da figura 8, a distância percorrida $s = 22$ m após o tempo $t = 300$ s, aceleração de constante equivalente a pode ser calculada a partir de $a = 2s/t^2 = 4,9 \times 10^{-4}$ m/s². Para uma embarcação de
30 abastecimento típica de deslocamento $V = 4000$ t, a força F

necessária para obter essa aceleração teria sido $F = \nabla a = 2.0$ kN. Isso é menos do que aproximadamente 1% do empuxo a bordo provável, sugerindo que sob condições moderadas, uma embarcação sem PME provavelmente deriva mais rapidamente do que o INS. Além disso, a derivação do INS se baseia em medições físicas reais das acelerações, não em um modelo que se tornaria degradado no caso de condições não nominais como tempo ruim com ondas grandes, ou quebra de cabos ou um umbilical que seria ligado à plataforma.

10 Deve ser observado que os intervalos entre os experimentos apresentados na figura 8 - isto é, períodos durante os quais o GPS estava disponível novamente - estavam entre 30 s e 300 s sem diferença óbvia entre os dois. Isso sugere que o auto-alinhamento do sensor inercial de PHINS é excelente, e o intervalo entre interrupções é
15 improvável de ser um problema em situações práticas.

Arquitetura conhecida do sistema DP

Devido à sua dependência em medições de posição continuamente para estimar os erros nos acelerômetros, não
20 é possível tratar um INS individualmente como uma unidade de PME independente. Será sempre dependente de uma ou mais das outras unidades de PME. Assim, para manter a independência entre as unidades de PME, a prática geral é que uma unidade de INS deva ser apertadamente acoplada a
25 uma unidade de PME única, por exemplo, um sistema de posicionamento hidroacústico.

A figura 10 mostra um exemplo de uma arquitetura típica para um sistema DP. O sistema DP recebe os dados a partir de uma pluralidade de unidades de PME - nesse caso a
30 partir de dois sistemas de navegação via satélite,

rotulados GPS1 e GPS2, um sistema de posicionamento hidroacústico rotulado Acoustics1 - e uma unidade INS. Os dados fornecidos pelas unidades de PME e a unidade INS representarão normalmente medições de posição, porém podem
5 representar também medições de aceleração ou medições de velocidade, por exemplo. Informações adicionais como indicadores de estado, indicadores de qualidade de dados e informações estatísticas também podem ser incluídas nos dados que são fornecidos pelas unidades de PME e unidade
10 INS.

A unidade INS recebe os dados a partir de um segundo sistema de posicionamento hidroacústico rotulado Acoustics2 e o sistema DP trata a combinação do segundo sistema de posicionamento hidroacústico e a unidade INS como uma
15 entrada única (isto é, como uma unidade PME única). Os dados a partir do segundo sistema de posicionamento hidroacústico são utilizados para corrigir a derivação na unidade INS.

Nessa configuração é importante que as informações
20 sejam passadas para o sistema DP com relação à qualidade da combinação do segundo sistema de posicionamento hidroacústico e unidade INS. Por exemplo, o DP deve ser alertado se a unidade INS perde os dados a partir do segundo sistema de posicionamento hidroacústico.

25 Será prontamente reconhecido que um dos dois sistemas de navegação por satélite GPS1 e GPS2 também pode ser combinado com um INS do mesmo modo. Em outras palavras, a unidade INS poderia receber os dados a partir de um receptor GPS para corrigir a derivação na unidade INS.

30 Uma arquitetura alternativa é mostrada na figura 11.

Nessa arquitetura o sistema DP recebe os dados a partir de uma pluralidade de unidades PME - nesse caso a partir de dois sistemas de navegação via satélite, rotulados GPS1 e GPS2, dois sistemas de posicionamento hidroacústico rotulados Acoustics1 e Acoustics2 - e uma unidade INS. A unidade INS pode receber os dados a partir de todas as unidades PME. Entretanto, é importante que a unidade INS utilize os dados fornecidos por somente uma das unidades PME a qualquer momento para manter sua independência dos outros. A arquitetura alternativa mostrada na figura 11 oferece a principal vantagem de flexibilidade para o operador. O operador tem a capacidade de escolher entre duas configurações possíveis, dependendo de sua aplicação. Por exemplo, se acústica for necessária o operador pode escolher uma configuração onde a unidade INS recebe os dados a partir de um dos sistemas de posicionamento hidroacústico. De outro modo, o operador pode escolher uma configuração onde a unidade INS recebe os dados a partir de um dos sistemas de navegação por satélite. Os dados a partir da unidade PME serão utilizados para corrigir a derivação da unidade INS.

Os indicadores de estado enviados para o sistema DP devem incluir informação suficiente para o sistema DP para determinar a configuração das unidades PME e unidade INS. Em particular, o sistema DP deve ser capaz de assegurar que a unidade PME específica utilizada nos cálculos de INS não é utilizada pelo filtro Kalman para derivar as estimativas de posição de embarcação. Por exemplo, se a unidade INS for configurada para receber medições de posição a partir do segundo sistema de posicionamento hidroacústico

(Acoustics2) então o sistema DP não utilizará nenhuma medição de posição fornecida diretamente a partir do segundo sistema de posicionamento hidroacústico para derivar as estimativas de posição de embarcação. O sistema DP pode, entretanto, utilizar qualquer informação adicional que é fornecida diretamente a partir do segundo sistema de posicionamento hidroacústico. Quaisquer medições de posição fornecidas pela unidade INS serão, evidentemente, utilizadas pelo sistema DP para derivar as estimativas de posição de embarcação.

A arquitetura alternativa da figura 11 já é possível com equipamento existente porque o sensor inercial de PHINS inclui múltiplos orifícios de entrada.

Sumário da Invenção

A presente invenção provê uma arquitetura aperfeiçoada que compreende:

um sistema de navegação inercial; e

um sistema de posicionamento dinâmico para uma embarcação tendo meio para combinar dados fornecidos por pelo menos um de uma pluralidade de equipamentos de medição de posição e dados fornecidos pelo sistema de navegação inercial para derivar uma estimativa da posição ou velocidade da embarcação;

um conjunto de interruptores; e

um controlador de conjunto de interruptores;

em que o conjunto de interruptores é operável sob o controle do controlador de conjunto de interruptores para fornecer dados fornecidos por pelo menos um da pluralidade de equipamentos de medição de posição para o sistema de navegação inercial para fins de corrigir derivação.

A integração de um sistema de navegação inercial (INS) e um sistema de posicionamento dinâmico (DP) provê certas vantagens técnicas como discutido acima. A arquitetura aperfeiçoada permite que a derivação do INS seja corrigida por fornecer atualizações periódicas de um ou mais de uma pluralidade de equipamentos de medição de posicionamento (PME). Ao contrário das arquiteturas anteriores, a seleção de qual PME combinar com o INS realiza-se automaticamente pelo conjunto de interruptores sob o controle do controlador de conjunto de interruptores para otimização do sistema DP geral.

Quaisquer dados que não são utilizados pelo INS para fins de corrigir derivação podem ser utilizados pelo sistema DP para derivar a estimativa de posição de embarcação.

A arquitetura é apropriada para uso com uma ampla gama de PME incluindo, entre outros, sistemas de posicionamento hidroacústico que fornecem dados de posição de linha de base longa (LBL) e/ou dados de posição de linha de base ultracurta (USBL) ou faixas parra posições conhecidas ou estimadas, sistemas de navegação por satélite que fornecem dados de posição de GPS ou GPS diferencial (DGPS), sistemas baseados em laser, sistemas baseados em rádio, sistemas baseados em radar, sistemas mecânicos (fio esticado), ou um registro que fornece dados de velocidade, como um registro eletromagnético ou um Registro de velocidade Doppler (DVL). Os DVLs operam mediante medição do deslocamento Doppler de sinais acústicos de frequência elevada refletidos a partir do fundo do mar (conhecido como "retorno de baixo para cima") para derivar a velocidade da embarcação em relação

ao fundo do mar; ou a partir de partículas na água abaixo da quilha (conhecido como "retorno de partículas flutuantes") para derivar a velocidade da embarcação em relação à água circundante.

5 Os dados fornecidos pela pluralidade de PME e INS representarão normalmente medições de posição, porém podem representar também medições de aceleração ou medições de velocidade, por exemplo. No caso onde o INS é uma unidade de medição inercial (IMU) - que é normalmente um sistema de
10 medição de nível mais baixo que pode ser incorporado em um INS - então os dados representariam normalmente medições de aceleração. No caso onde o PME é um DVL então os dados representariam normalmente medições de velocidade. Informações adicionais como indicadores de estado,
15 indicadores de qualidade de dados e informações estatísticas também podem ser incluídas nos dados que são fornecidos pela pluralidade de PME e INS.

Os dados podem ser transmitidos ao longo de linhas de comunicação, tipicamente fios ou cabos, que estendem entre
20 os componentes de arquitetura.

O controlador de conjunto de interruptores pode utilizar dados fornecidos pela pluralidade de PME (e opcionalmente também a posição de embarcação ou estimativa de velocidade fornecida pelo sistema DP e/ou o INS) para
25 automaticamente operar o conjunto de interruptores a fim de selecionar dados fornecidos por um ou mais da pluralidade de PME e fornecer os mesmos ao INS parra corrigir derivação. O controlador de conjunto de interruptores emprega, preferivelmente, lógica de seleção para
30 determinar, em tempo real, qual do PME deve ser combinado

com o INS e qual outro PME deve ser utilizado pelo sistema DP. A lógica de seleção utiliza dados fornecidos pela pluralidade de PME (e opcionalmente também a posição de embarcação ou estimativa de velocidade fornecida pelo sistema DP e/ou INS) para fazer essa determinação, que pode ser acionada por qualquer critério apropriado dependendo das exigências operacionais do sistema DP. Por exemplo, o controlador de conjunto de interruptores pode operar o conjunto de interruptores de tal modo que o PME que fornece os dados de melhor qualidade é combinado com o INS. Os dados a partir do PME selecionado são então fornecidos ao INS para corrigir derivação enquanto os dados a partir do PME restante, juntamente com os dados a partir do INS, são utilizados pelo sistema DP para derivar uma estimativa da posição da embarcação. Se PME diferente iniciar subsequentemente a fornecer os dados de melhor qualidade então o controlador de conjunto de interruptores operará o conjunto de interruptores de tal modo que esse PME é combinado com o INS. O controlador de conjunto de interruptores atua, portanto, para otimizar dinamicamente a operação do sistema DP.

A operação do controlador de conjunto de interruptores pode ser limitada de modo que o conjunto de interruptores selecione somente entre PME do mesmo tipo ou entre PME que fornece o mesmo tipo de dados (por exemplo, dados de posição ou dados de velocidade), por exemplo. Se o controlador de conjunto de interruptores não for reprimido então o conjunto de interruptores será tipicamente capaz de selecionar entre qualquer um do PME disponível.

Será normalmente o caso em que somente um PME será

combinado com o INS de tal modo que dados fornecidos pelo PME restante podem ser utilizados pelo sistema DP para derivar a estimativa de posição de embarcação. Entretanto, na prática não há motivo pelo qual dois ou mais PME não
5 podem ser combinados com o INS de tal modo que dados fornecidos por aqueles PME são utilizados para corrigir derivação. Na situação onde o INS recebe os dados a partir de dois ou mais PME então o INS pode ser configurado para escolher quais dados deseja utilizar para corrigir
10 derivação. Alternativamente, os dados a partir de dois ou mais PME podem ser combinados antes de serem utilizados pelo INS (por exemplo, utilizando um filtro Kalman ou outro algoritmo).

O controlador de conjunto de interruptores também pode
15 operar o conjunto de interruptores de acordo com um comando de operador. Em outras palavras, a operação do conjunto de interruptores pode ser controlada diretamente por um operador para combinar um ou mais PME com o INS. Nesse caso a otimização dinâmica da operação do sistema DP é anulada
20 pelo comando de operador. O operador pode ser um operador humano ou um sistema de controle externo, por exemplo.

O conjunto de interruptores e controlador de conjunto de interruptores pode ser incorporado como parte do sistema DP ou INS. Alternativamente, o conjunto de interruptores e
25 o controlador de conjunto de interruptores são fornecidos como uma unidade de comutação independente que é integrada com o sistema DP e o INS.

Mais de um INS pode ser fornecido. Nesse caso, um conjunto de interruptores pode ser fornecido para cada INS.
30 Cada conjunto de interruptores seria operável sob o

controle de um controlador de conjunto de interruptores para fornecer dados fornecidos por uma ou mais da pluralidade de equipamentos de medição de posição para seu INS associado para fins de corrigir derivação. Por exemplo, em arquitetura com um primeiro par de PME (por exemplo, dois sistemas de posicionamento hidroacústico) e um segundo par de PME (por exemplo, dois sistemas de navegação por satélite) então um primeiro conjunto de interruptores pode ser operado para fornecer dados a partir de um ou ambos do primeiro par de PME para um primeiro INS e um segundo conjunto de interruptores pode ser operado para fornecer dados a partir de um ou ambos do segundo par de PME para um segundo INS. Quaisquer dados que não são utilizados pelo primeiro ou segundo INS para corrigir derivação podem ser utilizados pelo sistema DP para derivar a estimativa de posição de embarcação.

Os conjuntos de interruptores associados ao primeiro e segundo INS podem ser controlados por um único controlador de conjunto de interruptores integrado. Alternativamente, cada conjunto de interruptores pode ter seu próprio controlador de conjunto de interruptores.

O ou cada INS pode ser incorporado como parte do sistema DP.

O meio para combinar os dados pode ser um filtro Kalman ou algum outro algoritmo apropriado.

Desenhos

A figura 1 é um diagrama dos seis eixos geométricos de movimento de uma embarcação;

A figura 2 é um gráfico que mostra desvios de posição simulados para acústica com/sem preenchimento pelo INS;

A figura 3 é um gráfico que mostra demandas de empuxo para acústica com/sem preenchimento pelo INS;

A figura 4 é um gráfico que mostra consumo relativo de combustível para acústica com/sem preenchimento pelo INS;

5 A figura 5 é um gráfico que mostra saltos de DGPS em água aberta;

A figura 6 é um gráfico que mostra demandas de empuxo para DGPS com/sem INS;

10 A figura 7 é um gráfico que mostra consumo relativo estimado de combustível para DGPS com/sem INS;

A figura 8 é um gráfico que mostra a evolução de derivação de INS durante interrupções de 120 s e 300 s;

15 A figura 9 é um gráfico que mostra a distribuição de frequência de corrente de INS após interrupções de 120 s e 300 s;

A figura 10 é um diagrama de blocos de uma primeira arquitetura conhecida para um sistema DP utilizando INS;

A figura 11 é um diagrama de blocos de uma segunda arquitetura conhecida para um sistema DP utilizando INS;

20 A figura 12 é um diagrama de blocos de uma arquitetura aperfeiçoada para um sistema DP, de acordo com a presente invenção; e

25 A figura 13 é um diagrama de blocos de uma arquitetura aperfeiçoada para um sistema DP, de acordo com a presente invenção mostrando uma unidade de medição inercial (IMU).

Uma arquitetura aperfeiçoada para um sistema DP 1 será explicada agora com referência às figuras 12 e 13.

30 Um sistema DP 1 inclui um filtro Kalman 2 para combinar dados para estimar a posição e curso de uma embarcação e controlar dinamicamente as mesmas. A saída do

filtro Kalman 2 é fornecida a uma unidade de controle de embarcação 4 que transmite um sinal para os empurradores (não mostrados) para fazer com que os mesmos tragam a posição da embarcação mais próxima a uma posição de referênci

5 referênci

Os dados são fornecidos por uma pluralidade de unidades de equipamentos de medição de posição (PME) (não mostradas) localizadas na embarcação. Duas unidades PME são do mesmo tipo (por exemplo, sistemas de navegação por satélite utilizando GPS ou DGPS) e os dados que fornecem são rotulados PME1 (tipo 1) e PME2 (tipo 1). Outras duas unidades PME são também do mesmo tipo (por exemplo, sistemas de posicionamento hidroacústico) e os dados que fornecem são rotulados PME3 (tipo 2) e PME4 (tipo 2).

10

Uma unidade de sistema de navegação inercial (INS) 6 é integrada ao sistema DP. A unidade INS 6 pode fornecer informações sobre a posição de embarcação, porém, devido à derivação natural requer atualizações periódicas a partir de uma unidade PME. A arquitetura pode permitir que a unidade INS 6 seja substituída por uma unidade de medição inercial básica (IMU) que transmite medições brutas de aceleração para o filtro Kalman 2 em vez de medições de posição. Será prontamente reconhecido que o filtro Kalman 2 pode ser apropriadamente adaptado para aceitar tais medições de aceleração.

15

20

25

Os dados fornecidos por cada uma das unidades PME são fornecidos a um controlador de conjunto de interruptores 8 e ao conjunto de interruptores 10. Cada interruptor individual no conjunto pode ser operado sob o controle do controlador de conjunto de interruptores 8 para fornecer os

30

dados a partir de cada uma das unidades PME para o filtro Kalman 2 ou a unidade INS 6. O resultado disso é que quaisquer dados que são fornecidos ao INS 6 para fins de corrigir derivação são excluídos a partir da estimação de
5 posição de embarcação que é realizada pelo filtro Kalman 2.

Entretanto, em certos casos os interruptores do conjunto de interruptores 10 podem ser configurados para fornecer uma terceira opção, que é evitar que dados fornecidos pela unidade PME associada sejam fornecidos para
10 o filtro Kalman 2 ou unidade INS 6.

Os dados fornecidos pela unidade INS 6 são fornecidos ao filtro Kalman 2 e utilizados na estimação de posição de embarcação.

Em termos gerais, os dados fornecidos pelas unidades
15 PME e unidade INS 6 representarão normalmente medições de posição, porém podem representar também medições de aceleração ou medições de velocidade, por exemplo. Informações adicionais como indicadores de estado, indicadores de qualidade de dados e informações
20 estatísticas também podem ser incluídas nos dados que são fornecidos pelas unidades PME e unidade INS 6. As informações adicionais podem ser utilizadas pelo filtro Kalman 2, o controlador de conjunto de interruptores 8 e a unidade INS 6. Por exemplo, o filtro Kalman 2 pode utilizar
25 as informações adicionais juntamente com quaisquer medições de posição, aceleração ou velocidade, ao derivar uma estimativa de posição de embarcação. O controlador de conjunto de interruptores 8 pode utilizar as informações adicionais para controlar a posição do conjunto de
30 interruptores 10.

A figura 12 mostra a situação onde os dados rotulados PME4 (tipo 2) são fornecidos à unidade INS 6 para corrigir derivação, representada pela linha cheia estendida entre o interruptor inferior do conjunto de interruptores 10 e a unidade INS. Os dados rotulados PME1 (tipo 1), PME2 (tipo 1) e PME3 (tipo 2) são fornecidos ao filtro Kalman 2, representado pelas linhas cheias que se estendem entre os três interruptores superiores do conjunto de interruptores 10 e o filtro Kalman.

10 O fato de que os dados rotulados PME4 (tipo 2) não estão sendo fornecidos ao filtro Kalman 2 é representado pelas linhas tracejadas que se estendem entre o interruptor inferior do conjunto de interruptores 10 e o filtro Kalman. Similarmente, o fato de que os dados rotulados PME1 (tipo 1), PME2 (tipo 1) e PME3 (tipo 2) não estão sendo fornecidos à unidade INS 6 é representado pelas linhas tracejadas se estendendo entre os três interruptores superiores do conjunto de interruptores 10 e unidade INS 6.

A principal diferença entre a arquitetura da figura 12 e as arquiteturas mostradas nas figuras 10 e 11 é a capacidade de otimizar dinamicamente a operação do sistema DP 1 por combinar, em tempo real, uma ou mais das unidades PME com a unidade INS 6. Por exemplo, o controlador de conjunto de interruptores 8 pode utilizar os dados fornecidos pelas unidades PME para escolher automaticamente entre unidades PME de um tipo específico, talvez por selecionar a unidade PME daquele tipo com a qualidade de dados melhor ou pior dependendo das exigências operacionais desejadas do sistema DP 1. O controlador de conjunto de interruptores 8 também pode escolher entre unidades PME de

tipos diferentes.

A lógica de seleção empregada pelo controlador de conjunto de interruptores 8 pode utilizar uma saída do filtro Kalman 2 bem como os dados fornecidos pelas unidades 5 PME. Por exemplo, as estimativas de posição de embarcação fornecidas pelo filtro Kalman 2 poderiam ser úteis na determinação de condições de defeito nas unidades PME. A lógica de seleção pode utilizar também informações de estatísticas fornecidas pelo filtro Kalman 2 sobre a 10 embarcação ou os dados fornecidos pelas unidades PME.

Em certas situações, o conjunto de interruptores 10 pode ser controlado diretamente por um operador para combinar uma ou mais unidades PME com a unidade INS 6. Em outras palavras, a otimização automática do sistema DP 1 e 15 a comutação dinâmica do conjunto de interruptores 10 sob o controle automático do controlador de conjunto de interruptores 8 pode ser anulada.

Se dados a partir de mais de uma unidade PME forem fornecidos à unidade INS 6 através do conjunto de 20 interruptores 8 então os dados podem ser combinados utilizando um filtro Kalman (não mostrado) ou outro algoritmo apropriado antes de serem utilizados pela unidade INS para corrigir derivação.

A figura 13 mostra a unidade INS 6 em mais detalhe. 25 Mais especificamente, pode ser visto que a unidade INS 6 inclui uma IMU 12 e uma unidade de correção de derivação 14. Os dados fornecidos por uma ou mais das unidades PME através do conjunto de interruptores 10 são fornecidos à unidade de correção de derivação 14. A unidade de correção 30 de derivação 14 também recebe dados de aceleração a partir

da IMU 12 e fornece dados corrigidos para o filtro Kalman 2 que são então utilizados na estimação de posição de embarcação que é realizada pelo filtro Kalman.

Embora a unidade de correção de derivação 14 seja mostarda como sendo incorporada na unidade INS 6, será prontamente reconhecido que poderia ser também incorporado no sistema DP 1.

A arquitetura aperfeiçoada das figuras, 12 e 13, oferece diversos benefícios adicionais:

10 (i) o sistema DP pode automaticamente evitar que medições de posição enganadoras sejam passadas para a unidade INS por comparar múltiplas medições de posição de PME,

(ii) robustez adicionada,

15 (iii) precisão de posição aperfeiçoada,

(iv) consumo reduzido de combustível,

(v) desgaste reduzido de acionadores (por exemplo, empurradores, lemes e outros aplicadores de força como jatos),

20 (vi) menos ruído na água no caso onde sistemas de posicionamento hidroacústico estão sendo utilizados.

A arquitetura aperfeiçoada pode ser implementada utilizando um sensor inercial PHINS como uma unidade INS independente 6.

REIVINDICAÇÕES

1. Arquitetura caracterizada pelo fato de compreender:
um sistema de navegação inercial (6); e

um sistema de posicionamento dinâmico (1) para uma
5 embarcação tendo meio para combinar dados fornecidos por
pelo menos um de uma pluralidade de equipamentos de medição
de posição e dados fornecidos pelo sistema de navegação
inercial (6) para derivar uma estimativa da posição ou
velocidade da embarcação;

10 um conjunto de interruptores (10); e

um controlador de conjunto de interruptores (8);

em que o conjunto de interruptores (10) é operável sob
o controle do controlador de conjunto de interruptores (8)
para fornecer dados fornecidos por pelo menos um da
15 pluralidade de equipamentos de medição de posição para o
sistema de navegação inercial (6) para fins de corrigir
derivação.

2. Arquitetura, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o controlador de conjunto de
20 interruptores (8) utiliza dados fornecidos pela pluralidade
de equipamentos de medição de posição para automaticamente
operar o conjunto de interruptores (10).

3. Arquitetura, de acordo com a reivindicação 2,
caracterizada pelo fato de que o controlador de conjunto de
25 interruptores (8) também utiliza a estimativa da posição ou
velocidade da embarcação derivada pelo meio para combinar
os dados e/ou dados fornecidos pelo sistema de navegação
inercial para automaticamente operar o conjunto de
interruptores (10).

30 4. Arquitetura, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizada pelo fato de que o controlador de conjunto de interruptores (8) opera o conjunto de interruptores (10) de acordo com um comando de operador.

5 5. Arquitetura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizada pelo fato de que o conjunto de interruptores (10) e o controlador de conjunto de interruptores (8) são incorporados como parte do sistema de posicionamento dinâmico (1).

10 6. Arquitetura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizada pelo fato de que o conjunto de interruptores e o controlador de conjunto de interruptores são incorporados como parte do sistema de navegação inercial.

15 7. Arquitetura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizada pelo fato de que o conjunto de interruptores e o controlador de conjunto de interruptores são partes de uma unidade de comutação independente.

20 8. Arquitetura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, caracterizada pelo fato de que o sistema de navegação inercial (6) é incorporado como parte do sistema de posicionamento dinâmico (1).

25 9. Arquitetura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8, caracterizada pelo fato de que o meio para combinar os dados é um filtro Kalman (2).

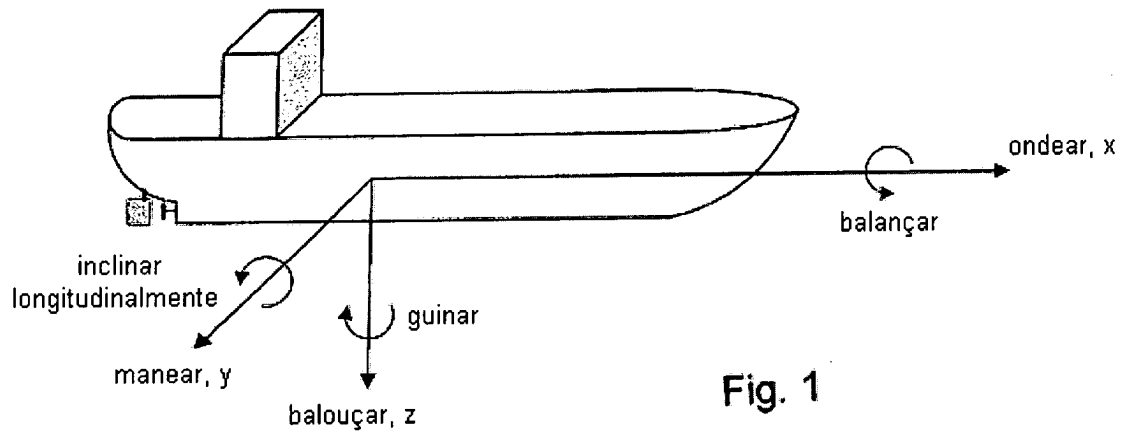


Fig. 1

Figura 1

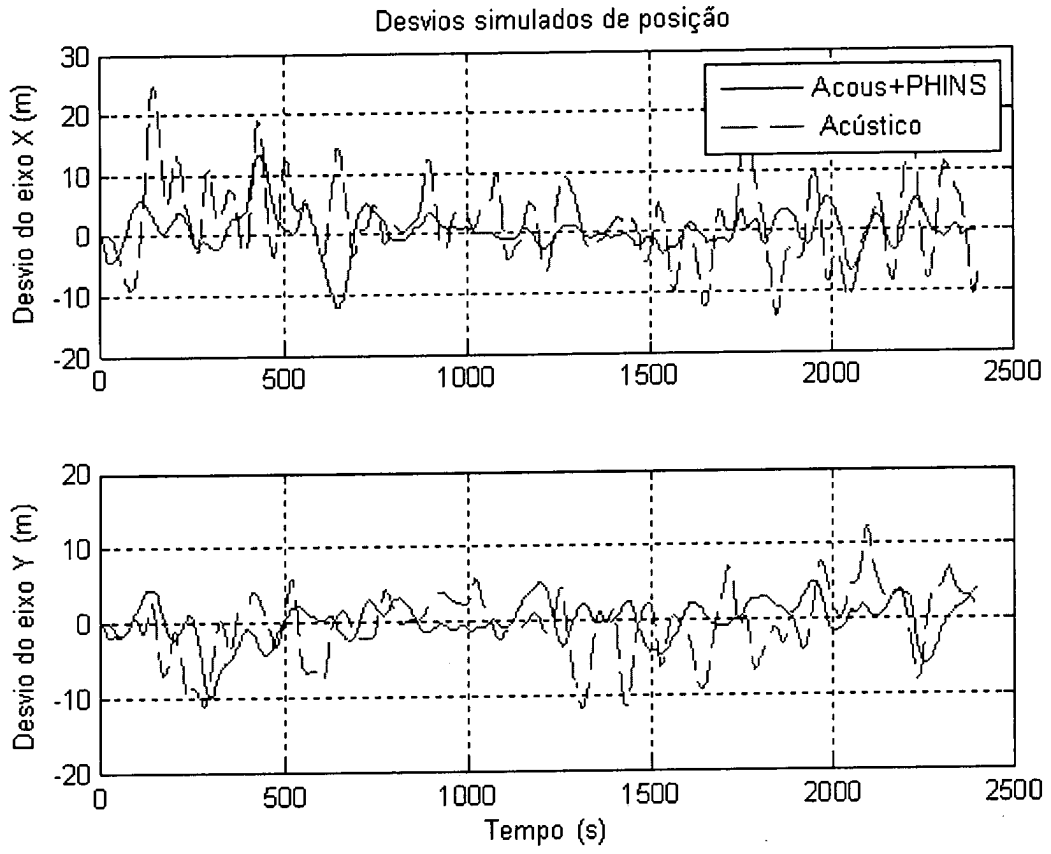


Figura 2

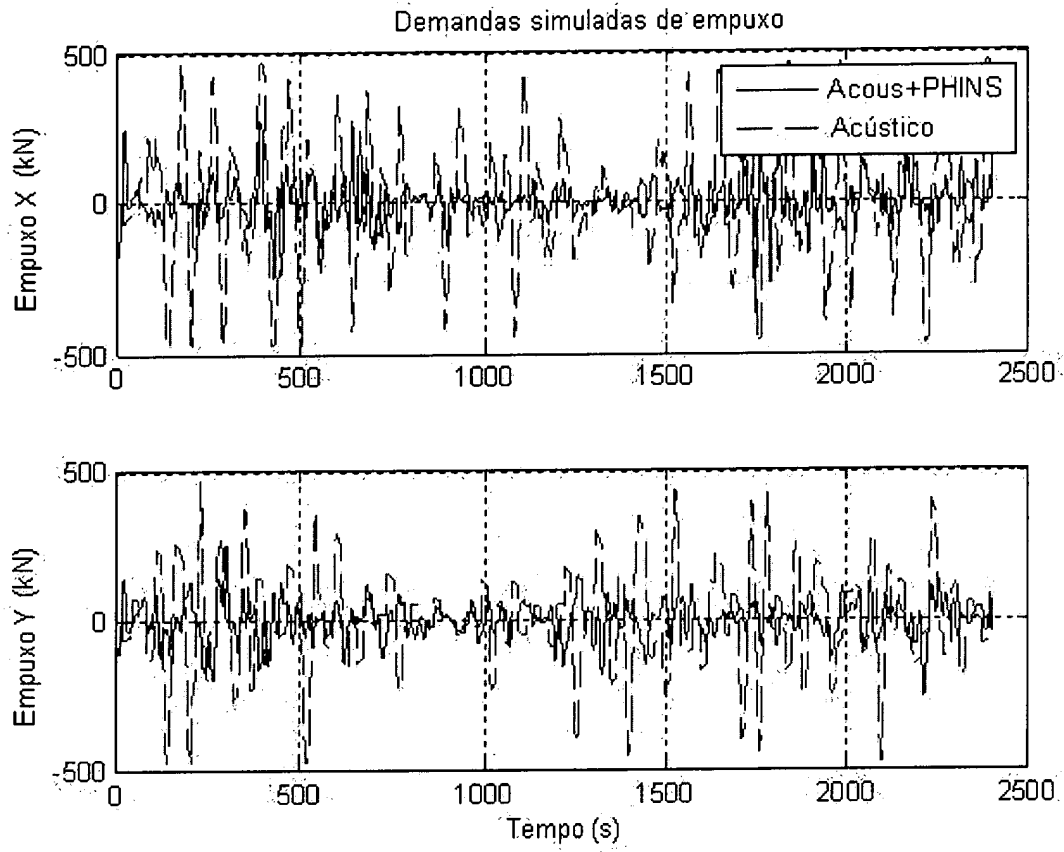


Figura 3

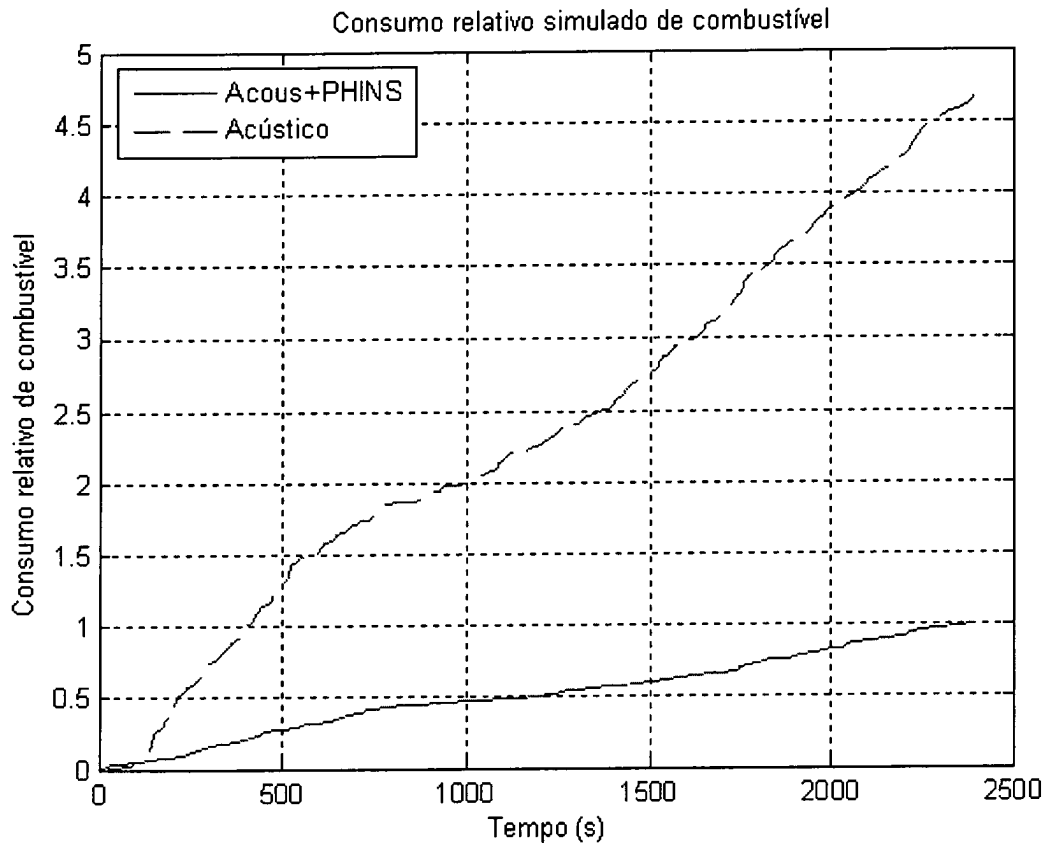


Figura 4

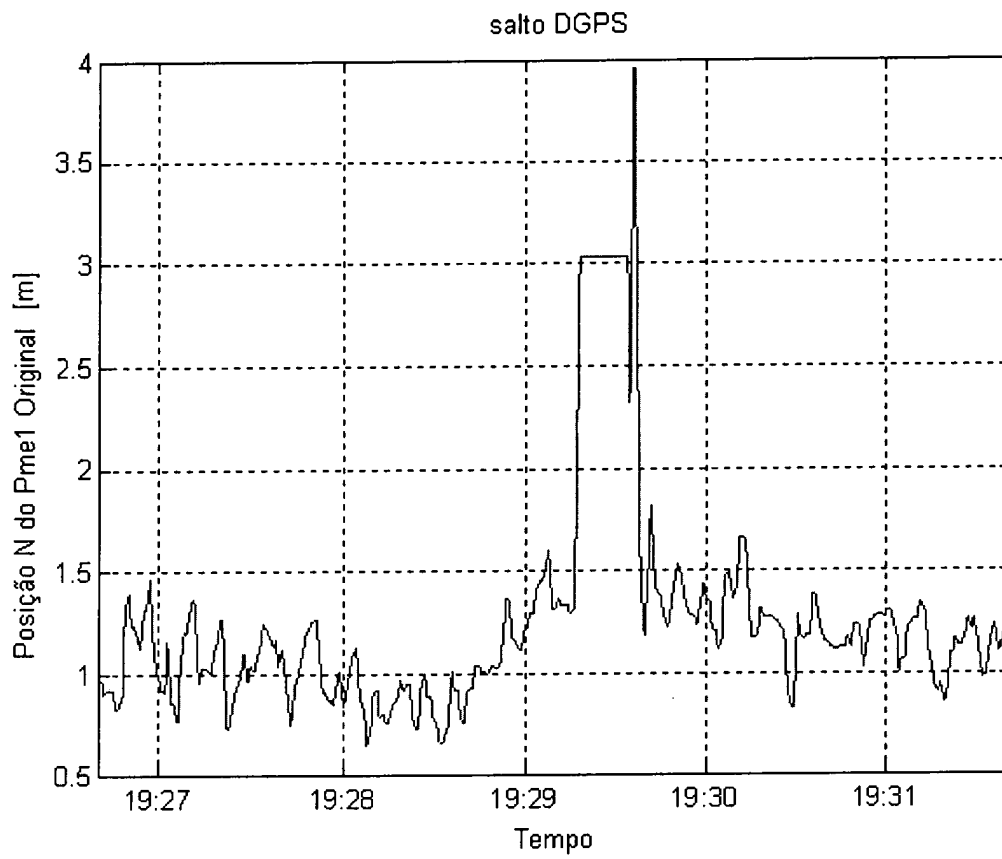


Figura 5

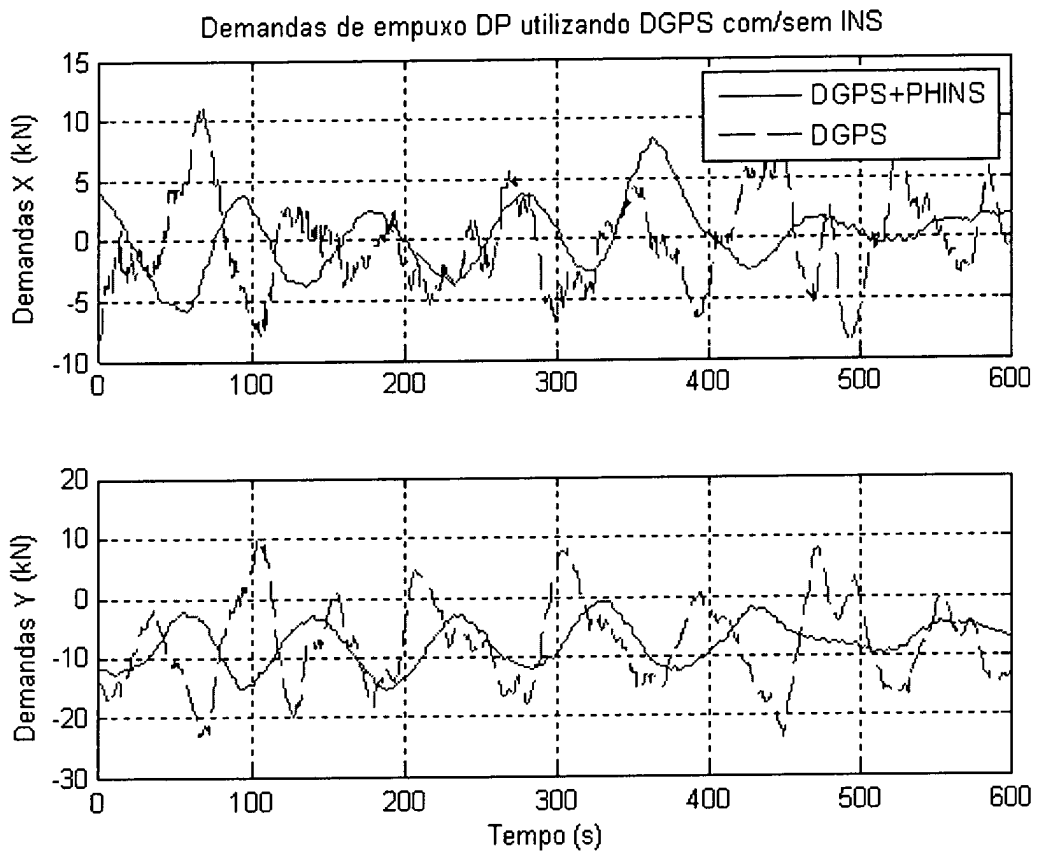


Figura 6

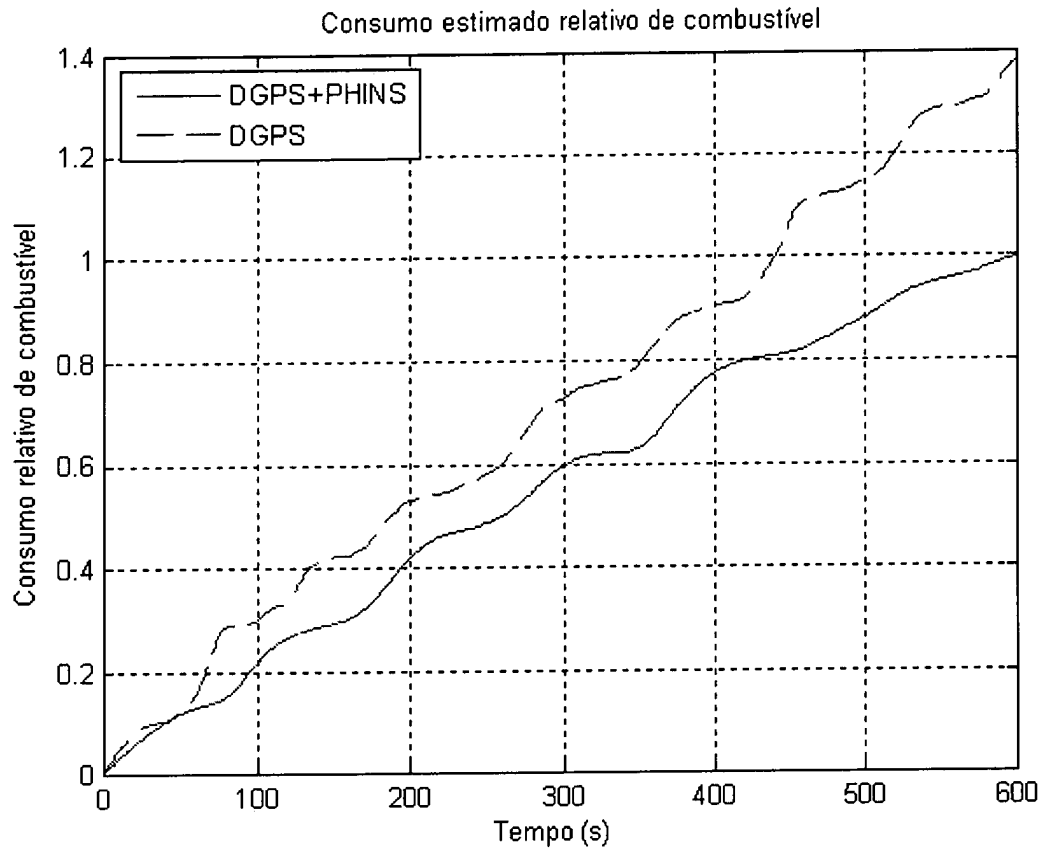


Figura 7

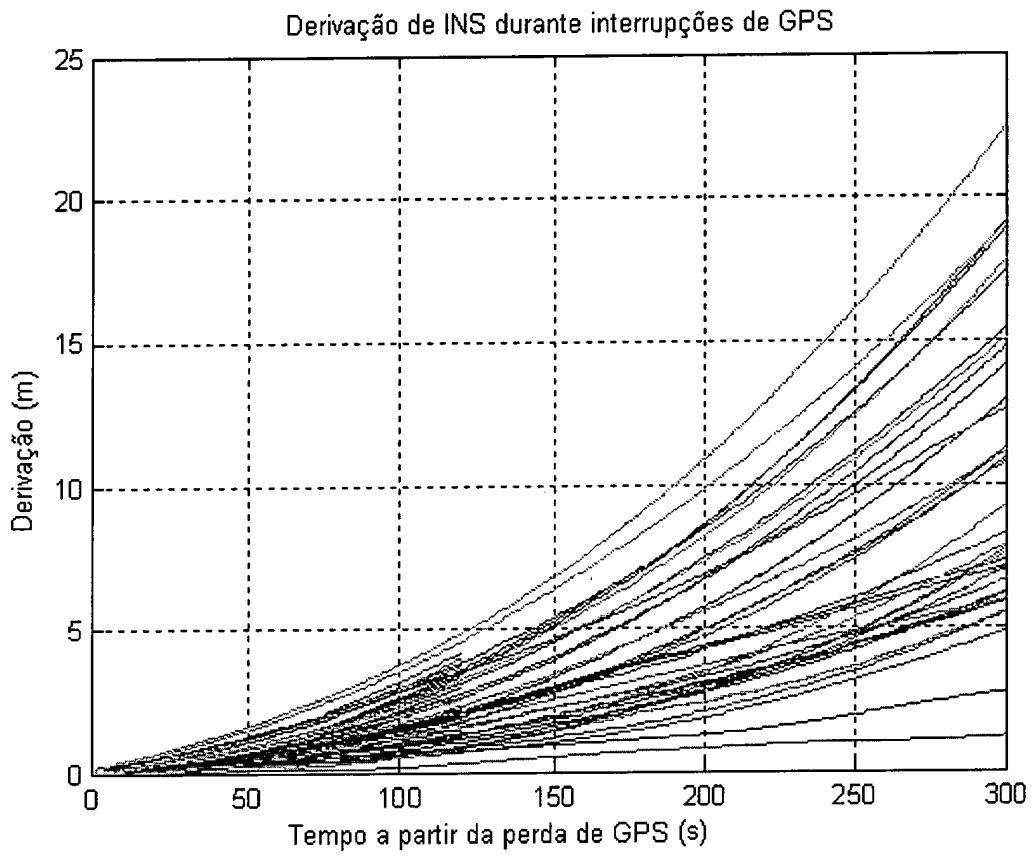


Figura 8

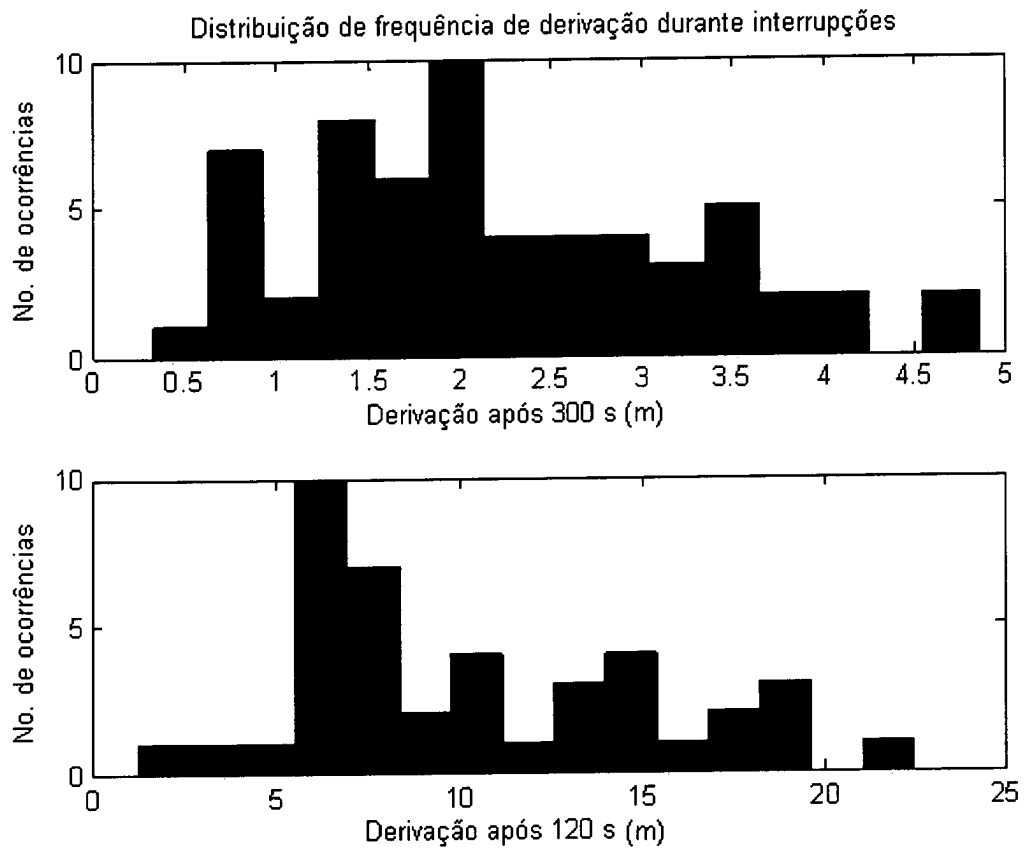


Figura 9

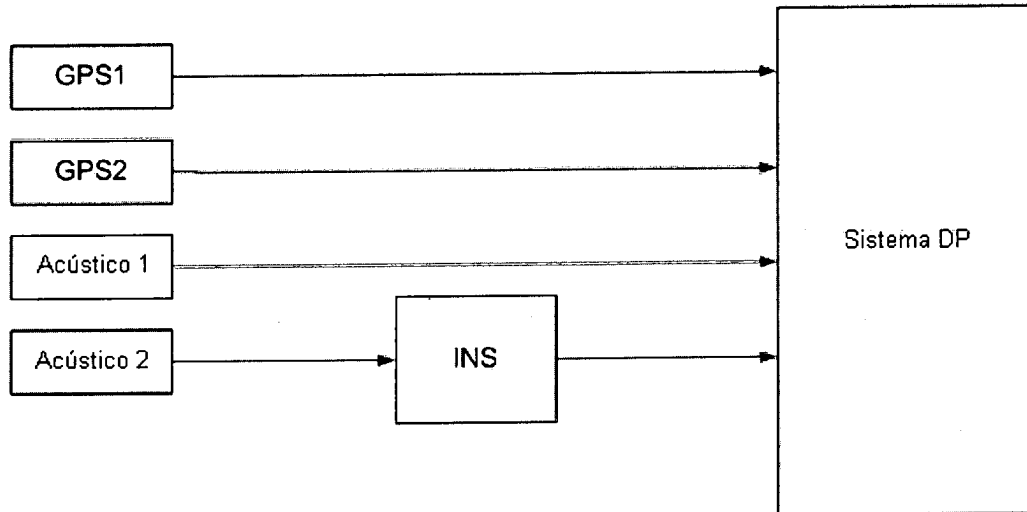


Figura 10

TÉCNICA ANTERIOR

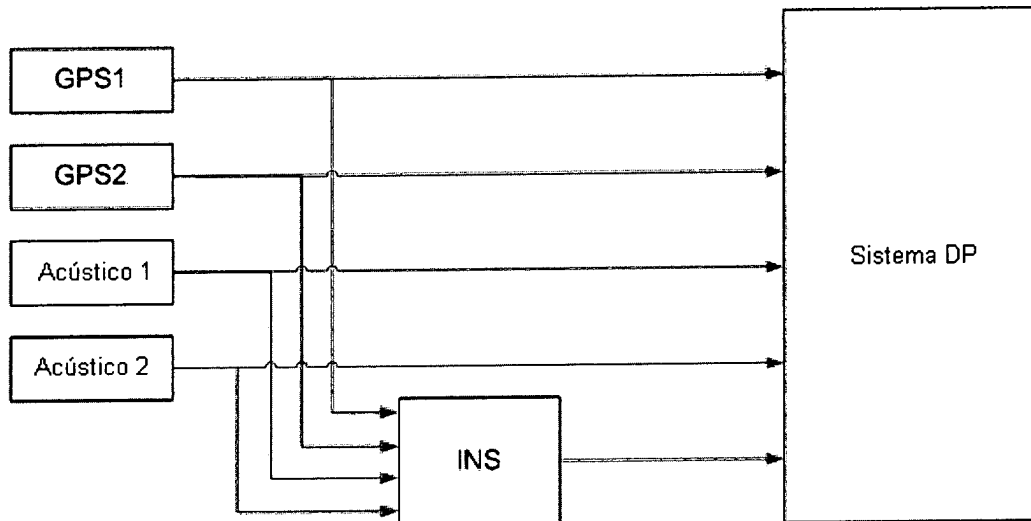


Figura 11

TÉCNICA ANTERIOR

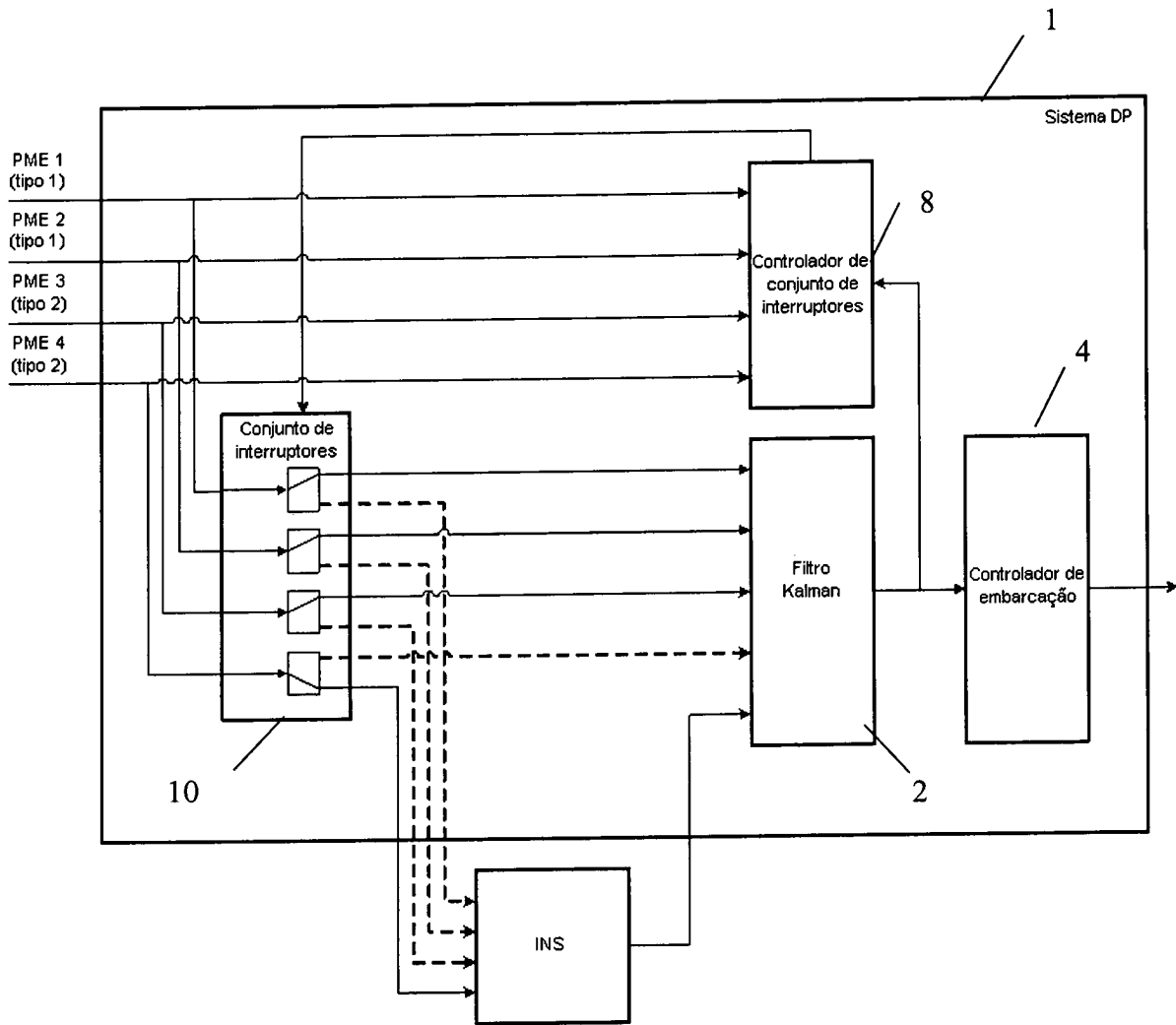


Figura 12

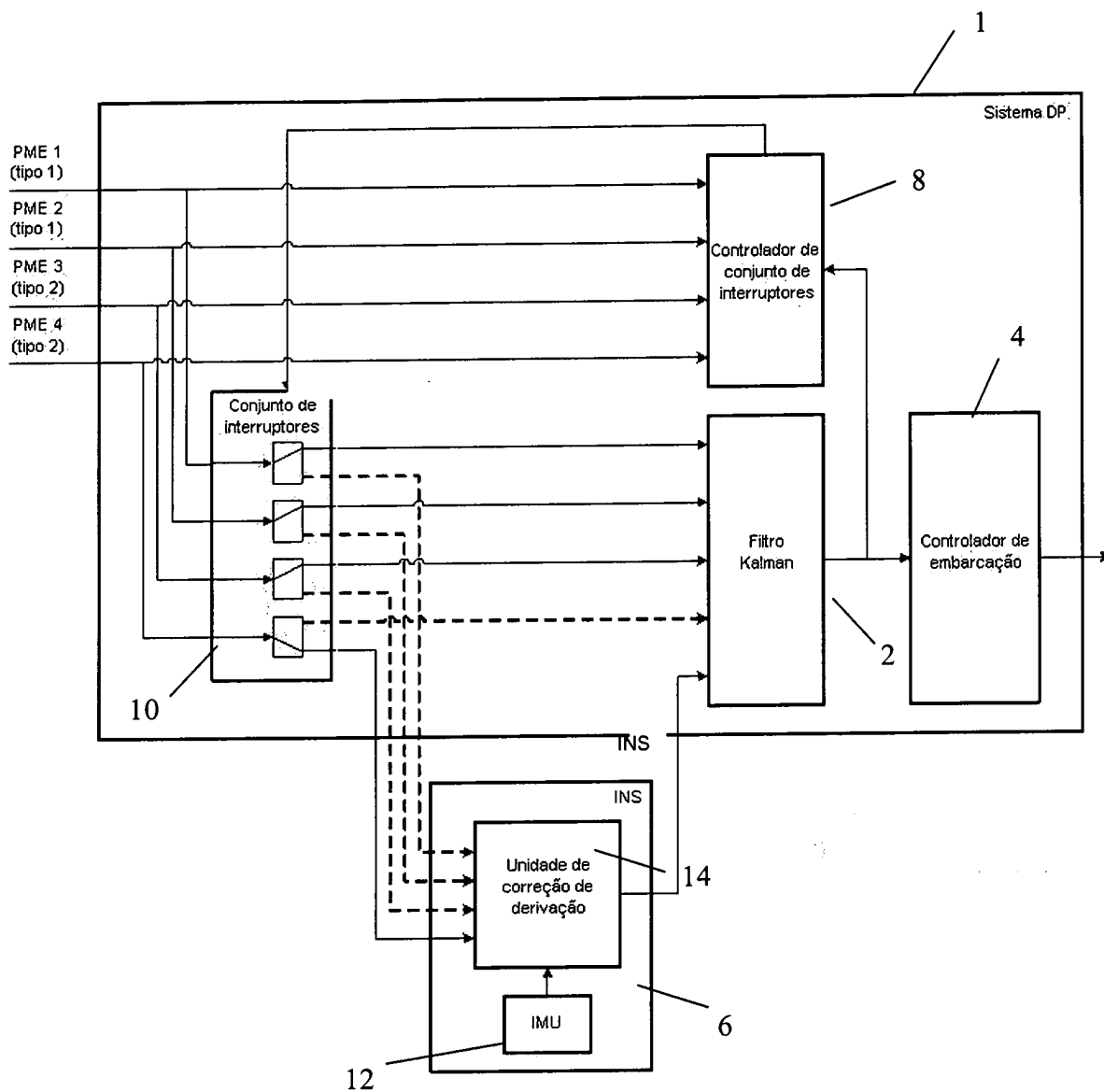


Figura 13

RESUMO

ARQUITETURA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

A presente invenção provê uma arquitetura aperfeiçoada para integrar um sistema de navegação inercial (INS) em um sistema de posicionamento dinâmico (DP) para uma embarcação. A arquitetura inclui uma unidade INS (6) e um sistema DP (1) tendo um filtro Kalman (2) ou outro algoritmo para combinar dados fornecidos por uma pluralidade de equipamentos de medição de posição (PME) e unidade INS (6) para derivar uma estimativa da posição ou velocidade da embarcação. O conjunto de interruptores (10) e um controlador de conjunto de interruptores (8) são também fornecidos. Esses podem opcionalmente formar uma parte do sistema DP. O conjunto de interruptores (10) é operável sob o controle do controlador de conjunto de interruptores (8) para fornecer dados fornecidos por um ou mais da pluralidade de equipamentos de medição de posição para a unidade INS (6) para fins de corrigir derivação. A seleção de qual um, ou mais, PME deve/devem ser combinado(s) com a unidade INS (6) é feita automaticamente, em tempo real, para otimizar dinamicamente o sistema DP (1).