



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

(11) PI 0809249-4 B1



(22) Data do Depósito: 16/01/2008

(45) Data de Concessão: 17/12/2019

(54) Título: MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE TRAJETOS LIVRES DE OBSTÁCULO PARA A MAQUINARIA DE ESCAVAÇÃO ROTATÓRIA

(51) Int.Cl.: G06T 17/05; G01S 13/93; G08G 1/16.

(30) Prioridade Unionista: 21/03/2007 AU 2007901489.

(73) Titular(es): COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION.

(72) Inventor(es): MATTHEW DUNBABIN; PETER CORKE; GRAEME WINSTANLEY; KANE USHER.

(86) Pedido PCT: PCT AU2008000057 de 16/01/2008

(87) Publicação PCT: WO 2008/113098 de 25/09/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/09/2009

(57) Resumo: MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE TRAJETOS LIVRES DE OBSTÁCULO PARA A MAQUINARIA DE ESCAVAÇÃO ROTATÓRIA Esta invenção refere-se ao controle de maquinaria de escavação rotatória, por exemplo para evitar colisões com obstáculos. Em um primeiro aspecto a invenção é um sistema de controle para o planejamento de trajeto autônomo na maquinaria de escavação, compreendendo: Um subsistema de geração de mapa para receber dados de um arranjo de sensores díspares e complementares para gerar um mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional referenciado a um quadro de coordenadas relativo à geometria da máquina, durante a operação normal da máquina. Um subsistema de detecção de obstáculo para localizar e identificar obstáculos no mapa de terreno e obstáculo digital, e então para refinar o mapa identificando as zonas de exclusão que estão dentro do alcance da máquina durante a operação. Um subsistema de detecção de colisão que usa o conhecimento da posição e movimentos da máquina, bem como o mapa de terreno e obstáculo digital, para identificar e prever as colisões possíveis com a própria ou outros obstáculos, e então usar um planejador de movimento para frente para prever colisões em um trajeto planejado. E, um subsistema de planejamento de trajeto (...).

**MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE TRAJETOS LIVRES DE
OBSTÁCULO PARA A MAQUINARIA DE ESCAVAÇÃO ROTATÓRIA**

CAMPO TÉCNICO

Esta invenção refere-se ao controle de maquinaria de
5 escavação rotatória, por exemplo para evitar colisões com
obstáculos. Em seus vários aspectos da invenção inclui um
sistema de controle para o planejamento de trajeto autônomo
na maquinaria de escavação; maquinaria de escavação
incluindo o sistema de controle; um método para o controle
10 de maquinaria de escavação; e versões de firmware e
software do sistema de controle.

TÉCNICA DE FUNDAMENTO

Em aplicações de mineração geralmente a percepção
situacional dos operadores de grande maquinaria de
15 escavação, tais como guindastes de arrasto (draglines), pás
e escavadoras, é muito importante. A melhor prática atual
para evitar obstáculos é centrada no treinamento dos
operadores. Os operadores confiam primeiramente na
observação visual dos obstáculos, e seu conhecimento de um
20 comportamento da máquina para planejar trajetos seguros e
eficazes para a operação da máquina.

Entretanto, a visão humana é afetada às vezes pela
visibilidade limitada, por exemplo, à noite ou em períodos
de teor de poeira atmosférica elevado. Isto tem implicações
25 para detectar e evitar obstáculos, tais como grandes
pedregulhos, caminhões e outro equipamento, bem como a
detecção de colisão com a parede da escavação, a própria
máquina, outras máquinas e funcionários. Além disso, pode
haver grandes variações no nível de habilidade e
30 produtividade de operadores diferentes, ou de um único

operador durante um ciclo de deslocamento.

Várias tentativas foram feitas para melhorar a percepção situacional para um operador pela inclusão de câmeras e outros meios de captação de imagem da cena. 5 Infelizmente, estes frequentemente distraem o operador de sua tarefa primária, e ainda sofre muitas limitações de "cegueira" causadas pela poeira e pouca luz.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção é um sistema de controle para o 10 planejamento autônomo de trajeto na maquinaria de escavação, compreendendo:

Um subsistema de geração de mapa para receber dados de um arranjo de sensores díspares e complementares para gerar um mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional 15 referenciado a um quadro de coordenadas relacionado à geometria da máquina, durante o funcionamento normal da máquina.

Um subsistema de detecção de obstáculo para encontrar e identificar obstáculos no mapa de terreno e obstáculo 20 digital, e então para refinar o mapa identificando as zonas de exclusão que estão dentro do alcance da máquina durante a operação.

Um subsistema de detecção de colisão que usa o conhecimento da posição e movimentos da máquina, bem como o 25 mapa de terreno e obstáculo digital, para identificar e prever colisões possíveis com o próprio ou outros obstáculos, e então usar um planejador de movimento para frente para prever colisões em um trajeto planejado.

Um subsistema de planejamento de trajeto que usa a 30 informação dos outros subsistemas para variar trajetos

planejados para evitar obstáculos e colisões.

A invenção é apropriada para a maquinaria de escavação tendo um eixo central de rotação, tal como guindastes de arrasto, pás e escavadoras.

5 O arranjo de sensores usados para gerar o mapa de terreno e obstáculo pode compreender sensores passivos, tais como sensores de visão; sensores ativos, tais como telêmetros a laser ou telêmetros de radar; e sensores de GPS. Estes sensores podem ser montados na ou fora da
10 máquina, ou ambos, para coletar uma variedade de dados. A invenção é capaz de fundir sensores a bordo para melhorar a geração e a visibilidade de mapa; e sensores fora de bordo para ajudar a construir o mapa de percepção situacional e destacar perigos e obstáculos potenciais.

15 Além disso, estes sensores podem ser usados para estimar os volumes de sobrecarga movida e para automaticamente guiar a máquina durante operações de escavação e carregamento.

Os mapas são dinamicamente construídos durante a
20 operação normal da máquina para melhorar a percepção situacional de operadores. Os mapas podem ser geo-referenciados através de GPS ou similar com relação à maquinaria de escavação.

No caso de itens que não podem ser identificados com
25 outros sensores, por exemplo, humanos, outros veículos que entram no espaço de trabalho, ou zonas inacessíveis, obstáculos virtuais podem ser incorporados nos mapas a qualquer hora para limitar a operação da máquina. Estes obstáculos virtuais podem ser incorporados no mapa de
30 obstáculo a qualquer hora para limitar operações.

Além disso, as zonas de segurança ou “bolhas de segurança” podem ser atribuídas aos obstáculos detectados em um mapa de terreno e obstáculo para definir a área de afastamento mínimo para que a máquina evite a colisão.

5 O conhecimento da posição e movimentos da máquina pode ser *a priori* ou aprendido online. Para determinar como a máquina responderá às entradas, que é prever como se move, um ou mais dos seguintes é exigido: a geometria da máquina; os estados críticos da máquina, tais como ângulos de junção
10 e comprimentos de corda; e os aspectos dinâmicos da máquina, tais como seus tempos de resposta de motor.

O planejamento de trajeto é executado usando o conhecimento dos estados atuais e desejados da máquina e seu movimento em resposta às entradas. O trajeto livre de
15 colisão ótimo é gerado através de um Mapa de Obstáculo Traversal Seguro (*Safe Transversal Obstacle Map - STOM*) e pode ser calculado baseado em critérios, tais como o trajeto mais curto, energia potencial, energia mínima usada e o tempo mínimo tomado. Vantajosamente, o planejamento de
20 trajeto melhora a produtividade permitindo a operação em condições de baixa visibilidade e melhora a segurança operacional permitindo a máquina de escavação determinar e evitar colisões com a própria e outros obstáculos.

O aspecto de planejamento de trajeto da invenção pode
25 usar qualquer combinação de métodos de planejamento de trajeto robóticos bem conhecidos, incluindo o mecanismo tipo reativo em tempo real para situações de emergência.

Adicionalmente, o sistema pode incorporar outros mapas situacionais, por exemplo de outras máquinas ou sensores
30 fora de bordo, para melhorar a percepção própria da máquina

do ambiente.

A invenção pode suportar dois ajustes de controle: automatização parcial ou completa; ou um espectro de ajustes de controle entre a automatização parcial e completa. Por exemplo, a automatização parcial poderia significar que um sistema assume de um operador uma vez uma escavação está terminada, realiza o oscilação e descarga e então retorna pronto para a escavação seguinte. Pode também ser um sistema que operador controla, mas previne o operador de realizar uma requisição, ou requisições alteradas à máquina, a fim de evitar colisões. As colisões possíveis e o trajeto livre de obstáculo gerado pela invenção podem também ser indicado ao operador da máquina. Quando a automatização completa é usada, o trajeto livre de obstáculo gerado pela invenção é automaticamente realizado pela máquina.

Adicionalmente, a invenção pode ser usada a bordo, que é da máquina; ou fora de bordo, que é de uma posição remota que está em comunicação com a máquina através de ligação com fio ou sem fio. Isto permite aos trabalhadores de mineração além do operador de uma máquina de escavação monitorar e aliviar os problemas enfrentados pelo operador durante uma operação de escavação.

A invenção pode ser usada para determinar a posição de escavação ótima e indicar quando mover a máquina durante o reposicionamento.

Em aspectos adicionais a invenção é a maquinaria de escavação incluindo o sistema de controle, um método para o controle da maquinaria de escavação; e versões de firmware e software do sistema de controle.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Um exemplo da invenção será descrito agora em referência aos desenhos acompanhantes, em que:

A Fig. 1 é um diagrama de um guindaste de arrasto 5 equipado com um sistema de planejamento de trajeto autônomo.

A Fig. 2 é um fluxograma de operação do sistema de planejamento de trajeto autônomo.

MELHORES MODOS DA INVENÇÃO

Referindo-se primeiro à Fig. 1, o guindaste de arrasto 10 100 compreende uma câmara 110, um mastro 120, um braço de grua 130, cabos de grua 140, cabos de arrasto 145 e uma pá 150 suspensa do braço de grua 130 pelos cabos de grua 140. O guindaste de arrasto inteiro 100 é capaz de balançar sobre seu eixo vertical 160. Em um ciclo de escavação 15 típico, a pá 150 é primeiramente abaixada para escavar o material do local de escavação 190. A pá 150 é então arrastada para a câmara 110 usando os cabos de arrasto 145 e levantada usando os cabos de grua 140, enchendo a pá 150. Em seguida, o guindaste de arrasto 100 é balançado sobre o 20 eixo de oscilação vertical para posicionar a pá 150 acima do lugar onde o material deve ser despejado. O guindaste de arrasto 100 é tipicamente operado usando sensores e acionadores sob o controle de código em um Controlador Lógico Programável (PLC).

25 A operação de oscilação tipicamente é responsável por 80% do tempo de um ciclo de escavação. Em sistemas atuais, os operadores confiam em seu conhecimento do comportamento da máquina, bem como a observação visual de obstáculos para planejar e realizar a operação de oscilação. Os obstáculos 30 que podem estar presentes em um local de mineração podem

incluir veículos, tais como caminhões, trabalhadores de mineração, outro equipamento local e rochas, ver 180.

Além disso, o sistema 230 pode estar localizado fora da máquina em uma posição remota 300 (veja Fig. 1) que se
5 comunica com a máquina 100 através de um rádio ou uma ligação de comunicação com fio. Os dados coletados pelos sensores a bordo 260 e fora de bordo 265 são transmitidos à posição remota para realizar a geração de mapa, detecção de obstáculo, detecção de colisão e planejamento de trajeto.
10 As soluções de planejamento são então comunicadas à máquina 100 para auxiliar parcialmente ou completamente o operador.

Referindo-se agora à Fig. 2, o sistema de planejamento de trajeto autônomo 200 compreende um visor 210 para o operador do guindaste de arrasto 100, um meio de
15 armazenamento de computador 220, vários sensores a bordo 260 e fora de bordo 265 e um sistema de controle 230 compreendendo os seguintes subsistemas:

Subsistema de geração de mapa 232;

Subsistema de detecção de obstáculo 234;

20 Subsistema de detecção de colisão 236; e

Subsistema de planejamento de trajeto 238.

A geração de mapa 232, a detecção de obstáculo 234, a detecção de colisão 236 e os subsistemas de planejamento de trajeto 238 podem compreender o software situado em um
25 computador separado (PC) ou micro controlador que se conecta com o guindaste de arrasto 100, sistema de controle 230 e visor de operador 210. Alternativamente, todo ou parte do sistema de controle 230 e seus subsistemas podem ser encaixados dentro de um Controlador Lógico Programável
30 (PLC); por exemplo o PLC que controla o guindaste de

arrasto 100.

Os subsistemas 232, 234, 236 e 238 serão explicados agora em maior detalhe:

SUBSISTEMA DE GERAÇÃO DE MAPA 232

5 O subsistema de geração de mapa 232 usa um arranjo de sensores díspares e complementares para diretamente gerar, ou adicionar a um existente, mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional durante a operação normal do guindaste de arrasto 100. Os sensores podem ser adaptados
10 ou instalados durante a fabricação. Qualquer número e tipo de sistemas de sensor podem ser incorporados dependendo das exigências e capacidades do sistema. Por exemplo, sensores passivos (visão), ativos (laser, radar) e GPS podem ser usados para gerar o mapa.

15 Os sensores podem ser montados em 260 ou fora de 265 da máquina 100, e são colocados para maximizar a utilidade dos dados coletados. Em algumas situações descobriu-se que quando o guindaste de arrasto é balançado, os sensores montados no corpo e braço de grua 260 são mais úteis, e
20 enquanto a pá, ou outras ferramentas da escavadora, está se movendo outros sensores 265 montados fora do guindaste de arrasto são melhores.

Os mapas de obstáculo e terreno são construídos usando o conhecimento dos deslocamentos geométricos de sensor do
25 centro de rotação de máquina 160 e o conhecimento da posição rotacional atual da máquina. Estes mapas podem ser estáticos ou dinamicamente atualizados, ou ambos, durante a operação normal da máquina 100. O mapa pode ser referenciado a um quadro de coordenadas apropriado com
30 relação à máquina. Este quadro de coordenadas pode ser geo-

referenciado através do GPS ou outro dispositivo de posicionamento externo para integração com um mapa global. O mapa pode ser transformado em outro sistema de coordenada, por exemplo se as medidas de oscilação lateral e frontal
5 estão disponíveis.

Os mapas de terreno e obstáculo digitais da vizinhança em torno da máquina 100 são usados para medir a posição e volume de material na pilha de entulho, e para localizar os obstáculos 180.

10 Os objetos virtuais podem ser incorporados no mapa para limitar a operação da máquina. Estes podem incluir as áreas que a máquina não deve operar, ou inclusão de pessoas ou equipamento que são dinâmicos na natureza, ou não visíveis ao sistema de sensor. Os mapas podem ser exibidos
15 a um operador, a bordo da máquina 100 ou em uma posição remota 300. O operador pode manipular o ponto de vista dos mapas 3D usando o teclado, mouse ou tela sensível ao toque. Os mapas podem ser armazenados localmente no meio de armazenamento 220 ou externamente em uma posição remota 300
20 em qualquer formato digital.

SUBSISTEMA DE DETECÇÃO DE OBSTÁCULO 234

O subsistema de detecção de obstáculo 234 refina o mapa de terreno e obstáculo digital gerado pelo subsistema de geração de mapa 232 para identificar as zonas de
25 exclusão que estão dentro do alcance da máquina durante a operação. Primeiramente, um sistema de detecção de objeto é usado para localizar ou identificar obstáculos, tais como veículos, equipamento, rochas e as esteiras da própria máquina do mapa. O subsistema também enche quaisquer
30 "orifícios" ou "aberturas" no mapa em que nenhum dado de

sensor válido está disponível.

Uma vez que os obstáculos são identificados, as zonas de segurança ou bolhas de segurança são dinamicamente atribuídas em torno de quaisquer obstáculos no mapa de percepção situacional para definir as áreas de exclusão. O tamanho de cada zona de segurança é escolhido para assegurar o afastamento adequado e acesso às áreas chaves no alcance operacional da máquina. Por exemplo, o tamanho de uma zona de segurança pode ser zero em torno de uma face de escavação; 0,5 m em torno das esteiras de caminhões e rochas na terra; e 5 m em torno de humanos.

Adicionalmente, o sistema é capaz não somente de detectar obstáculos, mas de seguir seu movimento através do espaço de trabalho. Os trabalhadores e veículos entrando no espaço de trabalho podem carregar uma plaqueta de identificação rastreável para esta finalidade; permitindo a escavadora detectá-los e o sistema recolher a informação sobre seus movimentos. Uma grande bolha de segurança pode ser atribuída a estes objetos rastreáveis para assegurar que a pá ou outra parte de máquina não possa colidir com eles.

SUBSISTEMA DE DETECÇÃO DE COLISÃO 230

O subsistema de detecção de colisão 230 usa o mapa de terreno e obstáculo gerado pelo subsistema de geração de mapa 232, e adicionalmente refinado pelo subsistema de detecção de obstáculo 234, e por seu conhecimento da posição e movimentos da máquina 100 para determinar as colisões possíveis com ela própria ou outros obstáculos. O sistema pode também incorporar outros mapas situacionais, por exemplo de outras máquinas, para melhorar a própria

percepção da máquina do ambiente.

Em particular, a posição 3D de Pontos de Contacto Potenciais (PCP) em torno da máquina 100 é determinada usando a geometria de máquina medida ou pressuposto. Os
5 exemplos de PCPs incluem cantos de pá, cesto, braço de grua, cuba, cabos e acionadores. Outros pontos podem incluir pontos "virtuais" que não estão fisicamente localizados na máquina. Os dados na geometria da máquina podem ser baseados no conhecimento *a priori* ou aprendidos em tempo
10 real durante a operação.

Para prever como a máquina se move em resposta às entradas, o conhecimento de um ou mais dos seguintes é exigido:

a geometria da máquina;
15 as estimativas dos estados críticos, tais como ângulos de união e comprimentos de cabo;
os estados atuais e desejados da máquina; e
outros aspectos dinâmicos da operação de máquina, tais como tempos de resposta de motor.

20 Usando o mapa de obstáculo, um planejador de movimento para frente então prevê (em programações diferentes) o movimento de todos os Pontos de Contacto Potenciais (PCPs) no espaço 3D para determinar se uma colisão de quaisquer desses pontos ocorrerá. Se quaisquer dos Pontos de Contacto
25 Potenciais são descobertos se cruzar, isto é colidir, com o mapa de obstáculo, a informação de colisão é passada ao subsistema de planeamento de trajeto 238 para consequentemente modificar o trajeto desejado.

SUBSISTEMA DE PLANEJAMENTO DE TRAJETO 238

30 O subsistema de planeamento de trajeto 238 usa o

conhecimento do ambiente circunvizinho da máquina 100 e como a máquina se move em resposta às entradas para determinar trajetos livres de obstáculo ao planejar uma operação de oscilação. Os métodos de planejamento de
5 trajeto robóticos conhecidos são usados para gerar um ângulo de oscilação livre de colisão e trajetória de pá, levando em conta as zonas de segurança em torno dos obstáculos e quaisquer obstáculos virtuais adicionais impostos pelo operador.

10 O problema de planejamento de trajeto é ajustado usando um custo apropriado ou função objetiva descrevendo a operação. O trajeto ótimo livre de colisão é gerado através de um Mapa de Obstáculo de Traversal Seguro (STOM) e pode ser calculado baseado em critérios, tais como o trajeto
15 mais curto, a energia mínima usada, o tempo mínimo tomado e o trajeto mais seguro. Dependendo das exigências de uma operação de oscilação particular, a detecção de colisão não é limitada à pá e pode incluir todos os elementos da máquina e do ambiente detectado, incluindo a autocolisão.

20 O trajeto ótimo computado é então exibido no visor do operador para pedir ações adicionais do operador. Alternativamente, se a máquina é inteiramente automatizada, o trajeto ótimo computado será traduzido a uma sequência de comandos de máquina para ser realizada pelo sistema de
25 controle de máquina.

AUTOMATIZAÇÃO PARCIAL OU COMPLETA

Usando a invenção, a máquina 100 pode ser parcialmente ou inteiramente automatizada, permitindo o sistema 230 avisar o operador através do visor 210 ou através de
30 alarmes audíveis; ou tomando o controle do controle da

máquina quando uma colisão possível for detectada.

No caso de autonomia parcial o sistema atua como um sistema "auxiliar de operador" para fornecer orientação ao operador para trajetórias de pá e oscilação seguras. Aqui,
5 o subsistema de planejamento de trajeto 238 usa os subsistemas de detecção de colisão 236 e obstáculo 234 para gerar ações de controle para evitar colisões ou parar completamente a máquina. O controle pode ser aplicado a qualquer eixo da máquina, e não é necessariamente
10 restringido para o movimento de oscilação e pá. Dependendo do nível de autonomia permissível, o sistema de controle a bordo realiza as requisições do planejador de trajeto.

No caso de um sistema completamente automatizado, o subsistema de planejamento de trajeto 238 controla todas as
15 ações do ciclo de escavação usando entradas dos subsistemas de detecção de obstáculo 234 e subsistemas de detecção de colisão 236.

Será apreciado por pessoas hábeis na técnica que numerosas variações e/ou modificações podem ser feitas à
20 invenção como mostrado nas modalidades específicas sem sair do conceito inventivo ou escopo da invenção como amplamente descrito. As modalidades presentes devem ser, conseqüentemente, consideradas em todos os aspectos como ilustrativas e não restritivas. Por exemplo, a invenção 200
25 pode ser instalada em outras maquinarias de escavação que têm um eixo de oscilação durante a escavação normal, tal como pás e escavadoras de mineração elétricas e hidráulicas.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de controle para o planejamento de trajeto autônomo de uma maquinaria de escavação tendo um eixo central de rotação, o sistema de controle caracterizado
5 pelo fato de que compreende:

um subsistema de geração de mapa para receber dados de um arranjo de sensores para gerar um mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional;

um subsistema de detecção de obstáculo para localizar
10 e identificar obstáculos no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional, e então para refinar o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional identificando as zonas de exclusão tridimensionais que estão dentro do alcance da máquina durante operação;

um subsistema de detecção de colisão que usa o
15 conhecimento da geometria da máquina, posição e movimentos da máquina, bem como o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional, para identificar possíveis colisões entre a máquina, os obstáculos e as zonas de exclusão
20 tridimensionais no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional refinado durante a rotação da maquinaria de escavação em torno do eixo central de rotação;

um subsistema de planejamento de movimento para frente para prever colisões em um trajeto planejado; e

um subsistema de planejamento de trajeto que usa a
25 informação do subsistema de geração de mapa, do subsistema de detecção de obstáculo, do subsistema de detecção de colisão e do subsistema de planejamento de movimento para variar os trajetos planejados para gerar um ângulo de
30 oscilação livre de colisão e trajetória de pá.

2. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o arranjo de sensores inclui um sensor fora de bordo que é unido a um obstáculo móvel conhecido, e o subsistema de detecção de obstáculo encontra o obstáculo móvel conhecido no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional baseado nos dados recebidos do sensor fora de bordo.

3. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o subsistema de detecção de obstáculo é ainda operável para rastrear o movimento do obstáculo móvel conhecido e o subsistema de detecção de colisão ainda identifica as colisões possíveis com o obstáculo móvel conhecido baseado no movimento rastreado.

4. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o sensor fora de bordo é um marcador de identificação rastreável que é unido a um humano ou um objeto.

5. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a maquinaria de escavação tem um eixo central de rotação e pelo menos um sensor é montado em um braço de grua da maquinaria.

6. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que a maquinaria é um guindaste de arrasto, pá ou escavadora.

7. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o arranjo de sensores usados para gerar o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional compreende sensores passivos e sensores ativos.

8. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação

7, caracterizado pelo fato de que os sensores passivos incluem um sensor de visão.

9. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional é dinamicamente construído durante a operação normal da máquina.

10. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional é referenciado a um quadro de coordenadas relativo à geometria da máquina, e é construído durante a operação normal da máquina.

11. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os obstáculos virtuais que não são detectáveis pelo arranjo de sensores são incorporados no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional a qualquer momento para limitar a operação da máquina.

12. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que as zonas de segurança tridimensionais são atribuídas aos obstáculos detectados no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional para definir a área de afastamento mínimo.

13. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o planejamento de trajeto é realizado usando o conhecimento dos estados desejados e atuais da máquina e seu movimento em resposta às entradas.

14. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que o planejamento de trajeto é realizado baseado em critérios, tais como trajeto mais curto, energia mínima usada e tempo mínimo tomado.

15. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o sistema suporta a automatização parcial onde as colisões possíveis e o trajeto planejado é indicado ao operador da máquina.

5 16. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o sistema suporta a automatização completa onde o trajeto planejado é automaticamente realizado pela máquina.

10 17. Sistema de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o sistema de controle está localizado em uma posição remota à máquina, e se comunica com a máquina através de uma ligação sem fio.

15 18. Maquinaria de escavação **caracterizada** pelo fato de que inclui um sistema de controle conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 16.

19. Método para o controle de maquinaria de escavação tendo um eixo central de rotação, o método **caracterizado** pelo fato de que compreende as etapas de:

20 receber dados de um arranjo de sensores para gerar um mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional;

encontrar e identificar obstáculos no mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional, e então refinar o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional identificando as zonas de exclusão tridimensionais que estão dentro do alcance da máquina durante a operação;

25

usar o conhecimento da geometria da máquina, posição e movimentos da máquina, bem como o mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional, para identificar as possíveis colisões com a máquina, os obstáculos e as zonas de exclusão tridimensionais no mapa de terreno e obstáculo

30

digital tridimensional refinado durante uma rotação da
maquinaria de escavação em torno do eixo central de rotação;
prever colisões em um trajeto de planejamento; e
usar o mapa de terreno e obstáculo digital
5 tridimensional, as zonas de exclusão tridimensionais e o
conhecimento da posição e movimentos da máquina para variar
trajetos planejados para gerar um ângulo de oscilação livre
de colisão e trajetória de pá.

20. Meio legível por computador, caracterizado por
10 armazenar instruções que, quando executadas por um
computador realizam as etapas do método conforme definido
na reivindicação 19, em que as etapas compreendem:

receber dados de um arranjo de sensores para gerar um
mapa de terreno e obstáculo digital tridimensional;

15 encontrar e identificar obstáculos no mapa de terreno
e obstáculo digital tridimensional, e então refinar o mapa
de terreno e obstáculo digital tridimensional identificando
as zonas de exclusão tridimensionais que estão dentro do
alcance da máquina durante a operação;

20 usar o conhecimento da geometria da máquina, posição e
movimentos da máquina, bem como o mapa de terreno e
obstáculo digital tridimensional, para identificar as
possíveis colisões com a máquina, os obstáculos e as zonas
de exclusão tridimensionais no mapa de terreno e obstáculo
25 digital tridimensional refinado durante uma rotação da
maquinaria de escavação em torno do eixo central de rotação;
prever colisões em um trajeto de planejamento; e
usar o mapa de terreno e obstáculo digital
tridimensional, as zonas de exclusão tridimensionais e o
30 conhecimento da posição e movimentos da máquina para variar

trajetos planejados para gerar um ângulo de oscilação livre de colisão e trajetória de pá.

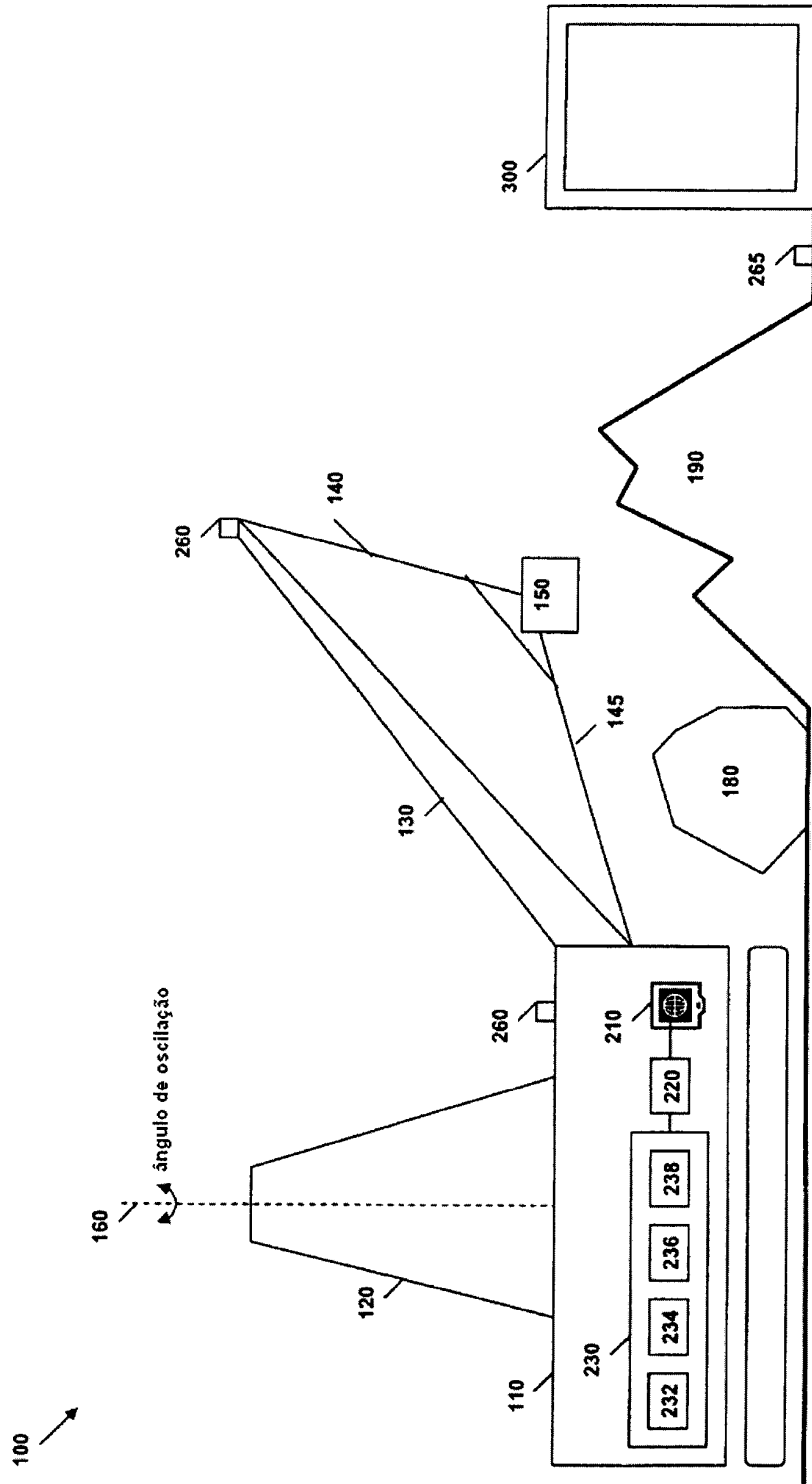


FIG. 1

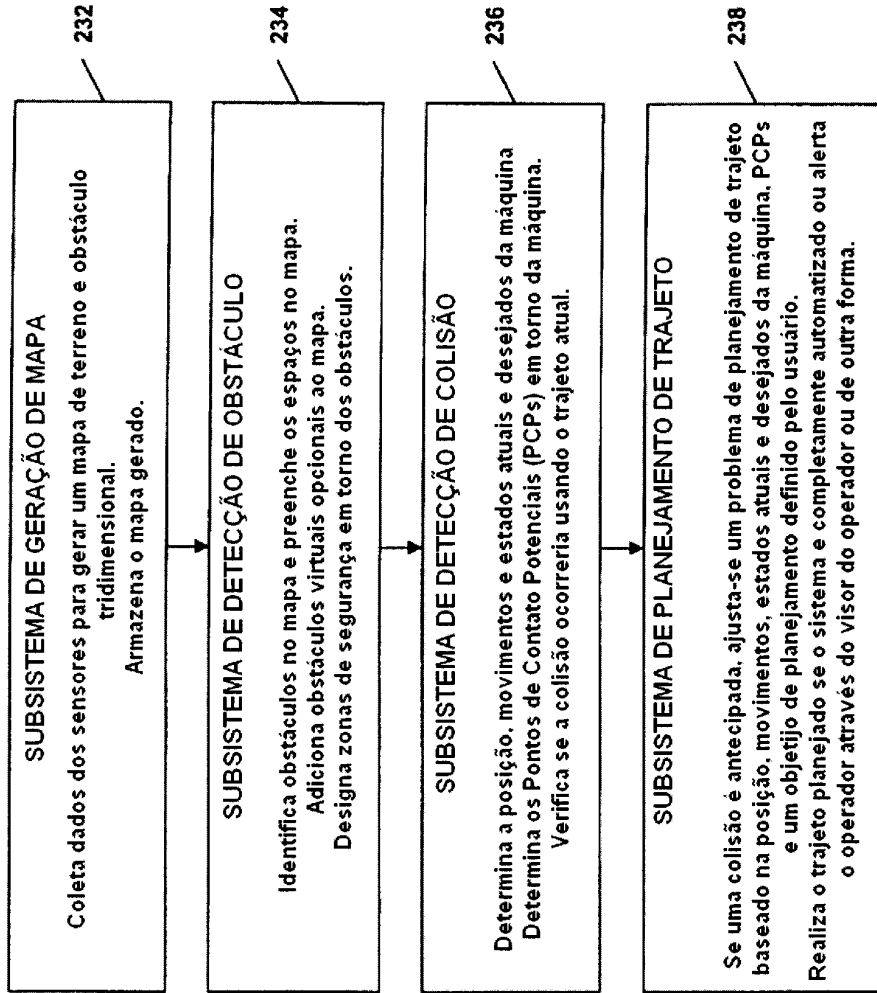


FIG. 2