



INPI INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102014021691-0

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102014021691-0

(22) Data do Depósito: 02/09/2014

(43) Data da Publicação Nacional: 07/06/2016

(51) Classificação Internacional: G01C 21/26; G01D 1/02.

(54) Título: SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO RODOVIÁRIO POR FERROVIAS VIRTUAIS

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 32479123000143. Endereço: Avenida Fernando ferrari, 514 - Campus Universitário Goiabeiras, Goiabeiras, Vitória, ES, BRASIL(BR), 29075-910; INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 10838653000106. Endereço: Avenida Rio Branco, nº 50 - Santa Lúcia, Vitória, ES, BRASIL(BR), 29056-255

(72) Inventor: FELIPE NASCIMENTO MARTINS; RAFAEL PEIXOTO DERENZI VIVACQUA; RAQUEL FRIZERA VASSALLO.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 02/09/2014, observadas as condições legais

Expedida em: 17/05/2022

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO RODOVIÁRIO POR FERROVIAS VIRTUAIS

Campo da Invenção

[01] A presente invenção se refere a sistemas e métodos para habilitar um sistema de transporte rodoviário a operar em modo autônomo. Esta invenção está correlacionada com o controle de posição, curso e posição de veículos terrestres. Por exemplo, pilotos automáticos. Também está correlacionada, com medição da distância percorrida em terra por veículos, por exemplo, usando odômetros.

Fundamentos da Invenção

[02] Atualmente, o sistema de transporte rodoviário utilizado no mundo todo usa um motorista humano para dirigir o veículo desde a origem até o destino com segurança. O grande problema de se usar um motorista humano é que ele está sujeito a falhar por diversas razões como, cansaço, distração, estado emocional debilitado, imprudência, imperícia, etc.

[03] Quando comparamos o transporte rodoviário com os outros, percebemos que a tarefa de conduzir o veículo requer um grau elevado e permanente de atenção do motorista durante todo o percurso. Primeiro porque o motorista tem que manter manualmente o carro no centro da via com tolerância de erro de poucos centímetros. Segundo porque ele deve estar permanentemente atento aos outros veículos e obstáculos, de modo que possa tomar ações que evitem colisões. Este estado permanente de atenção causa estresse ao motorista, que pode levar a fadiga e conseqüentemente a acidentes. Por outro lado, a realidade dos transportes aéreo, marítimo e ferroviário, é bem diferente. Nestas modalidades de transporte, os condutores atuam como supervisores durante as viagens, já que sistemas de guiamento automático e piloto automático assumem o controle do veículo. Com isso o condutor recebe uma carga de estresse bem

menor, o que contribui para a redução dos riscos de acidente e contribui para o aumento da sua qualidade de vida.

[04] A presente invenção se fundamenta na aplicação de novas tecnologias tais como, sensores *laser* e visão computacional além de técnicas de mapeamento e localização para permitir que o transporte rodoviário também consiga operar com guiamento automático e obtenha todas as vantagens descritas acima.

[05] A tecnologia de veículos autônomos não é tão nova assim. Em 1999 o projeto de pesquisa ARGO, da Universidade de Parma – IT, desenvolveu um sistema de direção autônoma baseado em uma câmera que foi capaz de dirigir um veículo adaptado por 2000 km em rodovias italianas. Esta tecnologia vem se desenvolvendo constantemente em vários países e os avanços obtidos nessa área podem ser vistos nas competições de veículos robóticos DARPA Grand Challenge e DARPA Urban Challenge, que representam um marco na evolução desse tipo de veículo. O desenvolvimento dos sensores de varredura (*Laser Range Finder*), capazes de medir a distância dos objetos ao redor em um ângulo de 360°, de computadores cada vez mais poderosos, sistemas de localização global, e sensores de navegação inercial contribuíram muito para o desenvolvimento da tecnologia da robótica móvel e veículos autônomos.

[06] Projetos como o carro autônomo Google – EUA, o projeto VisLab da universidade de Parma – IT ou o Projeto Autônomos da universidade de Berlin – ALE mostram todo o potencial desta tecnologia, mas ainda estão operando como protótipos.

[07] Em escala comercial, vários fabricantes de veículo como a Volvo, VW, BMW, Toyota, Mercedes, já tem em alguns de seus veículos de série sistemas de assistência ao motorista (*Driver Assistance System*), capazes de tomar ações como avisar se o carro está saindo da faixa, ajustar automaticamente a velocidade de cruzeiro mantendo a correta distância com o veículo a frente, avisar sobre risco de colisão entre outras coisas.

[08] O guiamento automático de um automóvel requer algum tipo de sensor e/ou método capaz de localizar o veículo em relação ao caminho. Na aviação comercial já são amplamente utilizados sistemas de guiamento automático baseados principalmente em sistema de localização global, como GPS, que possui precisão de localização de poucos metros. Este erro de precisão não prejudica o guiamento automático da aeronave, haja vista que um desvio lateral de poucos metros não atrapalha a operação. Se o sistema GPS for usado em conjunto com o sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*) a precisão da localização fica aumentada a ponto de permitir que a aproximação para o pouso também seja feita em modo automático. Da mesma maneira que a aviação, o transporte marítimo também usa os benefícios do sistema de localização global, já que um erro de poucos metros na rota de um navio no oceano pode ser tolerado. No caso do transporte ferroviário o guiamento automático já é uma característica natural do sistema.

[09] No caso do transporte rodoviário, o guiamento automático é bem mais crítico, pois o veículo deve se manter centralizado em uma pista de rodagem com tolerância a desvios de poucos centímetros. Por esta razão as técnicas de localização usadas nos transportes aéreo e marítimo não se aplicam. Além disso, o guiamento automático deve ser capaz de lidar com a presença de outros obstáculos e reagir rapidamente. O princípio de funcionamento se baseia em sensores instalados no veículo para detecção da sua posição em relação a estrada e um motor de controle acoplado ao volante para corrigir a direção.

Técnica relacionada

[010] A patente de número US8078349 e título “*Transitioning a mixed-mode vehicle to autonomous mode*” mostra um método de transição para operação autônoma para veículos de modo misto, manual ou autônomo, mas não descreve como o veículo opera uma vez que ele entra em modo autônomo.

[011] A patente US7610146 e título “*Vehicle position determining system and method*” mostra sistemas e métodos de localização para veículos autônomos operando em rodovias, porém se restringe apenas à questão da localização e do guiamento automático ao longo da rodovia. A descrição do comportamento do veículo no contexto de uma operação completa de transporte, não é apresentada.

[012] A patente de número US4361202 e título “*Automated road transportation system*”, mostra um sistema de transporte rodoviário autônomo. Apesar da grande confiabilidade, o sistema tem a desvantagem de necessitar da instalação de *transponders* para identificação da rodovia e da obrigatoriedade dos sistemas de trilhos guias metálicos.

Sumário da invenção

[013] A requerente descobriu que a aplicação de técnicas modernas de robótica móvel como mapeamento, localização, trilhos guias, sensores e métodos de detecção de obstáculos podem ser adaptadas com baixo custo a veículos rodoviários convencionais para operar como veículos autônomos. Nesse novo modelo, a operação de transporte se parece com o sistema ferroviário, onde o veículo inicia uma viagem em uma estação, viaja guiado por um sistema de trilhos, neste caso virtuais, e termina a viagem em outra estação.

[014] As vantagens desse sistema são:

[015] O motorista passa a trabalhar como um supervisor de viagem o que melhora sua condição de trabalho e, principalmente, aumenta a segurança da viagem já que a maior parte dos acidentes é causada por erro humano.

[016] O sistema proposto pode ser adaptado em qualquer tipo de veículo rodoviário, como ônibus, caminhões ou automóveis. Em condições de rodovias bem sinalizadas é possível uma configuração de sensores com custo baixo.

[017] O sistema proposto pode usar diferentes técnicas e métodos de guiamento automático. Em condições de rodovias bem sinalizadas é possível usar técnicas de trilhos virtuais que não requerem a instalação de nenhum equipamento

ou sinalizador especial pela rodovia, reduzindo drasticamente o custo de montagem e manutenção do sistema.

Breve descrição das figuras

[018] A **Figura 1** mostra um exemplo de uma montagem de um sistema de transporte autônomo por ferrovias virtuais.

[019] A **Figura 2** mostra um exemplo de montagem dos equipamentos em um veículo para que ele esteja apto a operar em modo autônomo na ferrovia virtual.

[020] As **Figuras 3A, 3B e 3C** mostram exemplos de montagem das estações.

[021] As **Figuras 4A e 4B** mostram exemplos de montagem de marcas de parada simples que podem ser usadas para definir o local exato de parada dos veículos nas estações.

[022] As **Figuras 4C e 4D** mostram exemplos de montagem de marcas de localização inicial que podem ser usadas para calcular o posicionamento inicial do veículo dentro da estação.

[023] A **Figura 5** mostra um exemplo de montagem de um sistema de trilhos virtuais, baseado em mapas detalhados da rodovia e técnicas de localização precisa.

[024] As **Figuras 6A e 6B** mostram um exemplo de montagem de um sistema de trilhos virtuais baseado em marcadores magnéticos instalados sobre o pavimento da estrada.

[025] As **Figuras 6C e 6D** mostram um exemplo de montagem de um sistema de trilhos virtuais baseado em uma faixa pintada no pavimento.

[026] A **Figura 7** mostra um exemplo de montagem de um sistema de sensores para detecção de obstáculos.

[027] A **Figura 8** mostra um exemplo de uma operação de transporte autônomo através de uma ferrovia virtual.

[028] A **Figura 9** mostra um exemplo de um procedimento que habilita o veículo a operar em modo autônomo.

[029] A **Figura 10A** mostra um exemplo de uma missão de transporte autônomo simples.

[030] A **Figura 10B** mostra um exemplo de uma missão de transporte autônomo realizada em duas etapas.

[031] A **Figura 11** serve de referência para descrever os exemplos de missões das **Figuras 10A e 10B**.

Descrição detalhada da invenção

[032] Os exemplos de montagens e métodos apresentados na descrição detalhada, figuras e reivindicações não devem ser entendidas como fator limitante. Outras montagens podem ser utilizadas, e mudanças podem ser feitas, sem se afastar do teor do assunto apresentado aqui. Será prontamente entendido que os aspectos da presente divulgação, descritos de maneira geral aqui, e ilustrados nas figuras, podem ser arranjados, substituídos, combinados, separados, e concebidos em uma ampla variedade de configurações diferentes, todos os quais estão explicitamente aqui contemplados.

[033] Os métodos e sistemas revelados aqui se referem a um sistema de transporte rodoviário autônomo baseado em veículos autônomos operando de maneira similar a trens em ferrovias. No modelo de transporte apresentado aqui, um veículo rodoviário comum, como carro, ônibus ou caminhão, pode ser devidamente equipado com sensores e computadores para se autodirigir, guiado por trilhos virtuais de uma estação a outra. Em um exemplo de montagem, uma ferrovia virtual é construída a partir de um conjunto de estações interligadas por trilhos virtuais. Os trilhos virtuais podem ser qualquer tipo de técnica ou equipamento capaz de guiar o veículo pelo centro da rodovia de modo autônomo, como por exemplo, técnicas avançadas de mapeamento e localização ou ímãs instalados sob o pavimento.

[034] A **Figura 1** mostra um exemplo de uma montagem de um sistema de transporte autônomo por ferrovias virtuais. Nesse exemplo de montagem, o sistema de transporte autônomo (100) pode ter um veículo autônomo (102), trilhos virtuais (101) e estações (103). O veículo autônomo (102) pode ser equipado com um sensor de localização global (202) usado para identificar em qual estação o veículo está, um sensor de localização inicial (203) para determinação precisa da posição do veículo dentro da estação, um sensor de seguimento de trilho virtual (204) usado para manter o veículo centralizado nos trilhos durante a operação autônoma, um sensor de obstáculos (205) para detectar outros veículos e/ou obstáculos, um sistema de computação central (também chamado de módulo de controle automático) (201) para o processamento da informação recebida dos sensores e uma interface de operação (206) por onde um operador humano pode comandar o veículo. Adicionalmente o veículo autônomo (102) ainda pode ser equipado com uma unidade *dead reckoning* (207) para medir os deslocamentos incrementais. Os trilhos virtuais (101) descrevem o caminho exato por onde o veículo (102) deve passar e também marca a localização exata dos pontos de parada (marcas de parada (104)) dentro das estações. Cada percurso do trilho virtual pode ser percorrido com velocidade diferente de acordo com a regulamentação de trânsito. Em um exemplo de montagem de estação (103), temos uma estação com um ponto de parada, definido pela marca de parada (104) e uma marca de localização inicial (105) que é detectada pelo sensor de localização inicial (203) para determinar a exata posição do veículo (102) dentro da estação.

[035] As duas principais funções de uma estação dentro do sistema de transporte autônomo por ferrovias virtuais são: (a) Servir como ponto de entrada e saída de veículo ao sistema da ferrovia virtual, num processo aqui denominado conexão ou desconexão com a ferrovia virtual. Este processo basicamente envolve a determinação da posição inicial com grande precisão. (b) Servir como ponto de

parada para carga ou descarga de produtos ou pessoas, durante as operações em modo autônomo.

[036] Dependendo das necessidades de operação do sistema de transporte autônomo (100), algumas estações podem operar somente em um lado da rodovia (300) e outras podem operar nos dois lados (330). Cada estação pode conter uma ou mais marcações de parada (104) que podem ser, por exemplo, qualquer tipo de marca impressa no chão que delimite o espaço ocupado pelo veículo quando ele estiver ali estacionado. Também em cada estação pode haver um ou mais marcas de localização inicial (105) que podem ser, por exemplo, um padrão gráfico apropriado em uma placa ou mesmo no chão que esteja dentro da linha de visão do sensor de localização inicial do veículo (203).

[037] O sensor de seguimento de trilho virtual (204) que equipa o veículo pode ser, por exemplo, uma câmera que usa a informação visual disponível ao longo da rodovia, tais como placas, marcas no chão ou árvores, para calcular constantemente sua posição em relação ao trilho virtual (101) descrito em um mapa. Em outro exemplo de montagem o veículo pode estar equipado com mais de um sensor de seguimento como, por exemplo, duas câmeras ou então uma câmera e um sensor de varredura LASER de modo a melhorar ainda mais a precisão da localização e conseqüentemente a capacidade de seguir os trilhos. O veículo também pode ter um ou mais sensores de obstáculos (205), como por exemplo, câmeras e/ou sensores de varredura LASER para detectar obstáculos e outros veículos nos arredores. Em outro exemplo de montagem o sensor de localização inicial (203), o sensor de seguimento de trilho (204) e sensor de obstáculos (205) podem ser um só com múltiplas funções. O sensor de localização global (202) permite ao veículo identificar em qual estação está, mas pode não ter precisão alta suficiente para determinar a posição do veículo em relação aos trilhos virtuais na ordem de poucos centímetros. Nestes casos faz-se necessário o uso de sensores adicionais.

[038] A principal função do trilho virtual é guiar o veículo autônomo nos percursos entre as estações. Ele define o caminho exato por onde o veículo pode passar quando está operando em modo autônomo e deve estar preferencialmente localizado no centro da rodovia. No caso de rodovias com múltiplas pistas, pode haver um trilho para cada pista. Quando houver uma situação de bifurcação na rodovia, o trilho virtual pode se dividir em dois, onde cada trilho continua por um caminho. Neste caso, a decisão de qual caminho o veículo vai tomar pode estar definida, por exemplo, na missão de transporte que o veículo está executando. O trilho virtual deve ser detectado pelo sensor de trilho virtual (204) para que o veículo autônomo (102) possa segui-lo.

[039] Uma operação de transporte autônomo pode começar quando um motorista dirige o veículo até uma estação (103), estaciona em um ponto de parada indicado por uma marca de parada (104) e seleciona através da interface do usuário (206) que o veículo se conecte a um trilho virtual (101). Uma vez que este procedimento tenha ocorrido com sucesso, o veículo fica habilitado a operar em modo autônomo e aguarda a permissão do usuário para iniciar a execução de uma missão de transporte autônomo. Uma missão de transporte autônomo pode ser, por exemplo, partir de uma estação e dirigir com velocidade controlada até outra estação. Chegando ao destino, o veículo pode, por exemplo, permanecer parado aguardando uma nova missão ou então ser retirado do sistema, desconectando-se da ferrovia virtual. Em outro exemplo de missão o veículo pode percorrer uma sequência determinada de estações, parar em cada estação e aguardar permissão para continuar, que pode ser dada por um operador humano ou automático. A programação de uma missão pode ser feita em qualquer computador, inclusive no do próprio veículo. No caso de se usar um computador externo, as missões programadas devem ser copiadas para a memória do sistema de computação central (201) para que ele execute a missão.

[040] Para se conectar aos trilhos, o veículo pode usar o sensor de localização global (202) para identificar em qual estação está, e em seguida usar

o sensor de localização inicial (203) para determinar com precisão sua posição e orientação dentro da estação e, portanto, em relação aos trilhos virtuais (101). Em um exemplo de montagem, o sensor de localização global (202) mede a posição global do veículo e usa esta informação na base de dados do sistema de computação central (201) do veículo para descobrir em qual estação está. Como as distâncias entre as estações são grandes comparadas ao erro do sensor de localização global, normalmente de poucos metros, não há risco de se errar em qual estação se está. Em um exemplo de montagem, o sensor de localização inicial (203) pode ser uma câmera que “enxerga” a marca de localização inicial (105) da estação e usa esta informação para calcular com precisão a posição e orientação do veículo. Para se conectar corretamente nos trilhos virtuais (101) a precisão da posição inicial (x,y) deve ser de poucos centímetros e a precisão de orientação (θ) na ordem de décimos de grau. Normalmente, usando-se somente o sensor de localização global e a bússola, este nível de precisão não pode ser alcançado.

[041] Exemplos de montagens das estações: As **Figuras 3A, 3B e 3C** mostram exemplos de estações que podem ser usadas no sistema de transporte autônomo. A **Figura 3A** mostra uma montagem de estação que opera apenas em um lado da rodovia (300), que possui uma marca de parada (104) para o veículo estacionar e uma marca de localização inicial (105) para o veículo calcular precisamente sua posição em relação aos trilhos virtuais (101). A **Figura 3B** mostra um exemplo de uma estação (320) que pode operar com múltiplos veículos simultaneamente (três veículos no caso da ilustração, mas o número pode variar). Por último, a **Figura 3C** mostra uma estação (330) que opera nos dois lados da rodovia, possui duas marcas de parada (104) e duas marcas de localização inicial (105). Outros exemplos de montagem de uma estação podem ser obtidos combinando as características das estações (300), (320) e (330).

[042] A marca de parada (104) pode ser qualquer objeto gráfico que sirva para indicar o local dentro da estação onde o veículo deve parar. A **Figura 4A** mostra um exemplo de marca de parada que pode ser usada para operar com

veículos de comprimentos diferentes como automóveis e caminhões. As faixas pontilhadas (401) servem para o alinhamento lateral e a faixa sólida (402), o alinhamento frontal. A **Figura 4B** mostra um exemplo de uma marca de parada de largura dupla (410) adequada para operar com veículos de larguras diferentes. A marca de parada também serve, por exemplo, para mostrar a um motorista humano o local onde ele deve estacionar o veículo antes de iniciar o procedimento de localização precisa que precede uma missão de transporte. Outra utilidade da marca de parada é indicar a uma pessoa, que espera na estação, a chegada de um veículo autônomo, o exato local onde o veículo vai estacionar. A posição da marca de parada deve ser tal que respeite o afastamento lateral mínimo da rodovia e com isso não atrapalhe nem represente risco aos outros veículos (definido pelas normas de trânsito). Quando o veículo autônomo estiver estacionado sobre a marca de parada (104), seu sensor de localização inicial (203) deve ter uma boa linha de visão da marca de localização inicial (105) para poder fazer com precisão a medição de localização inicial.

[043] A marca de localização inicial (105) pode ser, por exemplo, um poste, uma placa, um retângulo pintado em uma parede ou mesmo no chão de modo que possa ser detectado com facilidade pelo sensor de localização inicial (203) montado no veículo. As **Figuras 4C e 4D** mostram dois exemplos de montagem de marcas de localização inicial (421) e (422) impressas em uma placa de sinalização vertical (420), formada por retângulos dispostos de modo a criar regiões com alto contraste, considerando-se que o sensor de localização inicial (203) do veículo seja uma câmera. Em outro exemplo, o veículo pode ter um sensor de varredura LASER como sensor de localização inicial (203) e usar um conjunto de marcadores em relevo ou mesmo árvores (502) como marca de localização inicial (105). Nos exemplos de estações com múltiplos pontos de parada (320) e (330), cada marca de localização inicial deve ser diferente da outra para permitir que o veículo identifique em qual parada está. Por exemplo, pode-se usar as marcas (421) e (422). Em outro exemplo de montagem, pode-se usar

marcas de localização inicial pintadas com cores diferentes para permitir sua diferenciação pelo veículo.

[044] Exemplos de métodos de guiagem por trilhos virtuais: Assim como um trilho real, o trilho virtual tem a função de manter o veículo centralizado com a via de transporte. A diferença é que o trilho virtual não exerce força mecânica diretamente sobre o veículo para alterar sua direção de modo a trazê-lo de volta ao centro. Ao invés disso, o trilho virtual serve apenas como uma referência que permite ao veículo medir o quão afastado ele está do centro da via de transporte. Por exemplo, um sensor montado no veículo pode ser usado para medir esse desvio e o sistema de computação central comandar automaticamente o volante de modo a trazer o veículo de volta para o centro do trilho virtual.

[045] O exemplo de montagem da **Figura 5** apresenta uma técnica de montagem de trilhos virtuais que não precisa da instalação de nenhum marcador especial ao longo da rodovia. Ao invés disso, esta técnica aproveita a própria informação de sinalização rodoviária disponível, tais como faixas horizontais (503) ou placas de sinalização vertical (501), para localizar o veículo em um mapa de trilho virtual, com certo grau de incerteza. Qualquer objeto fixo que seja detectável pelo sensor de seguimento de trilho (204), como por exemplo, uma árvore (502) à margem da rodovia, pode ser considerado um objeto de localização e aproveitado no processo de localização do veículo. Quanto mais objetos de localização houver ao longo da estrada, menor será a incerteza da localização do veículo e, conseqüentemente, maior será a confiabilidade da direção autônoma. Para que o veículo tenha condição de se auto dirigir com segurança por todo o trecho mapeado, a incerteza de localização nunca deve ficar acima de valores limites, como por exemplo, 10 cm de erro lateral e 2 m de erro longitudinal, dependendo da velocidade de operação e do raio de curvatura das curvas.

[046] O mapa de trilho virtual fica armazenado na memória do computador (506), e pode descrever características importantes da estrada como seus limites laterais (505), velocidade permitida para cada trecho, posição dos trilhos virtuais

(101), posição das estações e a posição dos objetos de localização. O mapa de trilho virtual pode ser produzido por qualquer veículo autônomo sendo dirigido por um motorista humano ao longo de um percurso rodoviário qualquer, que se inicia em uma estação e termina em outra. Durante esta viagem de mapeamento, a informação gerada pela unidade *dead reckoning* (207), tais como *encoders*, giroscópios e acelerômetros, pode ser fundida com a informação do sensor de localização global (511) para construção do caminho que o veículo percorreu. Simultaneamente o sensor de seguimento de trilho virtual (204) detecta os objetos de localização (501), (502), (503) presentes na estrada e os registra no mapa de acordo com a posição atual do veículo. O conjunto de objetos detectados, quando combinado com as medições de outros sensores, permite a construção do trilho virtual. A velocidade em que o veículo foi dirigido em cada ponto da estrada também pode ser registrada para depois servir como velocidade de referência na operação autônoma em uma missão de transporte.

[047] Por exemplo, uma operação de mapeamento se inicia com o procedimento de localização inicial precisa do veículo, feito dentro de uma estação, quando o sensor de localização inicial (510), que dependendo da montagem pode ser o mesmo sensor de seguimento de trilhos virtuais (204), detecta a marca de localização inicial (105). Este procedimento pode ser, por exemplo, igual ao procedimento “conexão aos trilhos” descrito no parágrafo [056], e garante que o novo trecho de trilho virtual comece em um ponto conhecido de uma estação (ponto de parada) e com isso seja precisamente concatenado ao trilho virtual que chega nesse mesmo ponto. Seguindo esta metodologia, um mapa de uma ferrovia virtual completa, com trilhos e estações, pode ser construído pela concatenação de trilhos virtuais mapeados um a um.

[048] O caminho que o veículo percorre durante o mapeamento pode ser considerado diretamente como o trilho virtual dentro do mapa, pois ele representa um caminho livre, centrado na rodovia e que se for reproduzido corretamente de maneira autônoma vai ser capaz de conduzir o veículo de uma estação a outra com

segurança. Se durante a viagem de mapeamento ocorreu alguma manobra brusca, como por exemplo, para desvio de um obstáculo inesperado, o trilho virtual pode ser posteriormente corrigido em um programa específico, onde ajustes podem ser feitos para a remoção de guinadas, suavização da trajetória, adição de deslocamentos laterais, modificação das velocidades de referência para cada trecho, e indicação da existência de faixas laterais paralelas e acostamento.

[049] A direção autônoma do veículo ao longo de um caminho entre duas estações se faz pelo seguimento de um trilho virtual descrito em um mapa de trilho virtual. Normalmente este processo exige que o veículo seja capaz de determinar com elevado nível de confiabilidade sua localização no mapa e com isso calcular, por exemplo, o desvio lateral em relação ao trilho. Em um exemplo de montagem, uma técnica probabilística de localização baseada em filtro de partículas, pode usar a informação recebida do sensor de seguimento de trilho do veículo para calcular a função distribuição de probabilidade da posição e orientação do veículo no mapa a cada instante. Ainda neste exemplo, o programa de localização pode usar a função distribuição de probabilidade para calcular o grau de confiabilidade da localização e, por exemplo, decidir se o veículo tem condição de continuar operando em modo autônomo ou não. Por exemplo, se por razão de chuva, as condições de visibilidade pioram e conseqüentemente a leitura do sensor de seguimento de trilho fica prejudicada, pode ocorrer que o nível de confiabilidade da localização caia abaixo de um limite de segurança e, portanto, o veículo não tenha mais condição de se autodirigir. Neste caso, a direção pode ser assumida por um motorista humano de reserva, caso haja, ou então o próprio veículo realizar uma manobra de parada de segurança automática, como reduzir a velocidade, parar no acostamento, ligar o pisca alerta e enviar uma mensagem de texto ao destino solicitando o resgate manual, por exemplo.

[050] Uma vez que o veículo conheça sua posição no mapa com alta confiabilidade e o mapa contenha a informação da posição de cada ponto do trilho virtual (que também deve ter sido mapeado com alta confiabilidade) o veículo

então tem perfeita condição de operar em modo autônomo. Ao calcular o desvio lateral do veículo em relação ao trilho, o sistema de computação central (201) pode usar esta informação para calcular o ângulo de posicionamento do volante necessário para corrigir este desvio, e enviar um comando à unidade de acionamento do volante (507).

[051] As **Figuras 6A e 6B** mostram um exemplo de montagem de um sistema de trilhos virtuais baseado em marcadores magnéticos (603) instalados sob o pavimento da rodovia. O sensor de campo magnético (602) capta o campo magnético gerado pelos ímãs (603) e transmite para o sistema de computação central (201) calcular o desvio em relação a linha do trilho virtual (101). Quando houver um desvio, o computador de direção pode calcular, por exemplo, o ângulo de giro do volante necessário para trazer de volta o veículo para o centro dos trilhos virtuais. Esta informação pode ser transmitida a uma unidade de acionamento do volante (507), por exemplo, um servo-motor, que aplica a força necessária para girar o volante até a posição comandada pelo computador. Para detecção do campo magnético pode ser usado, por exemplo, um conjunto de sensores de efeito hall ou bobinas. Cada sensor individual (602) pode ser montado lado a lado de modo que o sensor que passar exatamente sobre um magneto gere o sinal mais intenso, indicando então o desvio lateral do veículo. As **Figuras 6C e 6D** mostram outro exemplo de montagem de trilhos virtuais que usa uma faixa pintada no piso como elemento guia (613). Um sensor óptico (612), como uma câmera, captura a imagem da estrada e um computador (201), rodando um programa de visão computacional, calcula o desvio lateral do veículo em relação à faixa. Adicionalmente, o mesmo computador pode ainda calcular o ângulo de giro do volante necessário para trazer de volta o veículo para o centro dos trilhos e enviar essa informação para a unidade de acionamento do volante (507), por exemplo, um servo-motor, que aplica a força necessária para girar o volante até a posição comandada.

[052] Tanto o guiamento magnético quanto o guiamento por faixa pintada têm a desvantagem de exigir que o trilho virtual seja construído através da instalação dos dispositivos de sinalização (ímãs ou faixas especiais pintadas) ao longo das rodovias, o que é um trabalho caro e traz o inconveniente das interdições durante a instalação. Outra desvantagem é a permanente necessidade de manutenção dessa sinalização, que aumenta o custo de operação desse sistema. A grande vantagem desses dois sistemas é a grande confiabilidade e relativa simplicidade dos programas que rodam no computador do veículo.

[053] Exemplo de sensores de detecção de obstáculos: A **Figura 7** apresenta um exemplo de um arranjo de sensores de obstáculos formado por três câmeras e dois sensores de varredura LASER simples. Os dois sensores voltados para trás (702), que podem ser duas câmeras, têm a função de cobrir as laterais traseiras do veículo (711) para detectar outros veículos que se aproximem por trás. Este tipo de detecção é usado em situações, por exemplo, em que o veículo autônomo deseja mudar de faixa ou sair de uma estação para entrar na rodovia. Os dois sensores de varredura LASER (703), por exemplo, LIDAR, são responsáveis em cobrir a parte frontal das laterais (712), útil para detectar, por exemplo, pessoas ou animais que estejam se aproximando da frente do veículo pelas laterais e com isso evitar possíveis atropelamentos. Dependendo da necessidade, ainda pode ser utilizado um número maior de sensores de varredura LASER nas laterais (703) para eliminar qualquer ponto cego ao redor do veículo, ou então um sensor com ângulo de cobertura grande o suficiente para cobrir toda a lateral. O sensor (205) é responsável em cobrir a região frontal do veículo (710) e detectar, por exemplo, a distância do veículo à frente, ou se há algum obstáculo ou impedimento no meio da pista. Em outro exemplo de montagem, a cobertura da região frontal (710) pode ser feita também com a ajuda de um sensor de varredura LASER ou de um radar de micro-ondas.

[054] A informação gerada por esse conjunto de sensores de obstáculos pode ser processada separadamente por um computador dedicado a esta tarefa de

modo que não sobrecarregue o computador principal do veículo (201), que é responsável pelo controle da missão de transporte autônomo. Em outro exemplo de montagem, um único computador com grande capacidade de processamento pode gerenciar as tarefas de controle da missão, a detecção de obstáculos e o seguimento de trilho.

[055] Quando algum obstáculo é detectado pelo sistema de sensores de obstáculo, o módulo de programa responsável pela detecção de obstáculos classifica o obstáculo quanto ao tipo (ex: carro, pedestre), calcula sua localização e velocidade. Esta informação é transmitida ao módulo de controle da missão autônoma, que está dirigindo o veículo, para que a reação correta seja tomada. Por exemplo, se for detectado a aproximação de um pedestre no setor (712), se movendo com certa velocidade em direção à frente do veículo, o controle da missão pode usar esta informação, em conjunto com a informação de velocidade atual do veículo, para calcular o risco de um possível atropelamento. Se o risco for baixo, o veículo simplesmente continua seguindo pelo trilho virtual. Se o risco for alto, o veículo pode reagir executando uma manobra de desvio ou parada. Outro exemplo de reação a um obstáculo é o caso do sensor do setor frontal (710) detectar um veículo dirigindo à sua frente com velocidade inferior à programada na missão de transporte. Um exemplo de reação pode ser a redução de velocidade de modo a manter o veículo autônomo atrás do outro veículo a uma distância de segurança constante. Outra possibilidade de reação pode ser a manobra de ultrapassagem, onde a permissão para mudança de faixa é feita pela detecção de nenhum veículo se aproximando pela lateral traseira no campo de visão do setor (711), por exemplo.

[056] Exemplo de operação de transporte e missão de transporte autônomo: Um exemplo de operação de transporte autônomo está apresentado na **Figura 8**. Neste exemplo, a operação inicia com o motorista carregando o arquivo da missão (801), que define, por exemplo, qual o caminho o veículo vai tomar, em quais estações ele vai parar e qual a velocidade de cruzeiro para cada trecho da viagem.

Em seguida, o veículo aguarda o comando para iniciar a execução da missão (802), que pode ser dado através da interface de usuário (206). Ao receber este comando, e caso o veículo já esteja precisamente localizado no mapa (“conectado a ferrovia”), o veículo então inicia a execução da missão de transporte (803). Caso o veículo ainda não esteja conectado, ele executa o procedimento de conexão (804) para então prosseguir com a missão. No caso do veículo falhar durante o procedimento de conexão, a missão não poderá ser executada e o veículo pode sinalizar ao motorista esta condição de falha (805) e/ou pode enviar uma mensagem a um centro de monitoramento.

[057] A **Figura 9** mostra um exemplo de procedimento que pode ser usado para conectar o veículo à ferrovia virtual. O procedimento começa com o motorista dirigindo o veículo até uma estação e estacionando dentro da região indicada pela marca de parada (104). Em seguida, o motorista dá o comando de “conexão com os trilhos”, que pode ser feito, por exemplo, através da interface do usuário (206). Em resposta a esse comando, o computador do veículo usa a informação de localização global fornecida pelo sensor de localização global para calcular em qual estação está (903). Na continuação desse processo, o veículo usa o sensor de localização inicial para detectar a marca de localização inicial (105) e calcular com precisão sua posição inicial (904). Se não ocorrer nenhuma falha nas etapas (903) e (904) o veículo terá condição de executar uma missão de transporte autônomo. Caso ocorra alguma falha, esta condição é sinalizada (906) ao motorista por meio de um alarme, por exemplo.

[058] A **Figura 10A** mostra um exemplo de uma missão de transporte autônomo simples onde o veículo deve transportar uma carga de uma estação à outra. Neste exemplo, o veículo inicia a missão partindo da estação #6, seguindo os trilhos virtuais até entrar no ramal #4 (1001). Antes de começar a se movimentar, o veículo pode usar o sensor de obstáculos frontal (710) para verificar se não há nenhum impedimento à frente, e antes de entrar na rodovia (acessar o ramal #4), usar o sensor de obstáculos do setor (711) para verificar se

não há outro veículo se aproximando. Após entrar na rodovia, o veículo segue os trilhos virtuais com a velocidade de cruzeiro especificada na missão até se aproximar da estação #2 (1002). Durante a viagem autônoma, o veículo usa os sensores de obstáculos de modo a evitar colisões e acidentes, conforme descrito nos parágrafos [050] a [055]. Por último, ao se aproximar da estação de destino, o veículo sinaliza com as luzes da seta que vai deixar a pista, reduz a velocidade para o valor adequado à manobra, entra na estação e para suavemente sobre a marca da parada (1003). Após a parada, o veículo sinaliza que a missão foi concluída e o veículo está em modo manual, pronto para ser descarregado (1004).

A **Figura 10B** mostra outro exemplo de missão onde o veículo parte da estação #6 (1011), faz uma parada para carga e descarga na estação #5 (1013), aguarda o comando para prosseguir (1014), volta ao ramal (1016) e dirige até a estação #4 (1017) onde estaciona (1018) e sinaliza o término da missão (1019). Em outro exemplo, uma missão pode ser programada de modo que o veículo entre e pare em todas as estações que existam ao longo do percurso. Em um modo preferencial de operação, o comando para o veículo prosseguir com a viagem após parar em uma estação intermediária pode ser dado pelo próprio motorista do veículo, que age como uma espécie de maquinista supervisionando a viagem, mas também pode ser dado, por exemplo, por um trabalhador da estação que faz o carregamento/d Descarregamento do veículo.

REIVINDICAÇÕES

1. Um SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO RODOVIÁRIO POR FERROVIAS VIRTUAIS compreendido por um módulo de controle automático (201) que confere aos veículos (102) a capacidade de locomoção autônoma compreendendo um trajeto definido por meio de trilhos virtuais (101), baseado numa técnica de mapeamento e localização para calcular a posição do veículo em relação a rede de trilhos virtuais (101) **caracterizado por** fazer uso da informação visual obtida a partir de marcadores de localização *landmarks*, objetos de sinalização padrão das rodovias, como faixas de pista (503) e placas (501); uma rede de trilhos virtuais (101) responsável por definir os caminhos que interligam as estações (103); e pelo menos duas estações (103) que servem como pontos de parada para que os veículos autônomos (102) realizem operações de carga ou descarga de mercadorias ou embarque e desembarque de pessoas.

2. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelos** marcadores de localização serem detectados por câmeras.

3. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de a posição do veículo (102) em relação aos trilhos (101) ser obtida a partir da comparação de um trecho do trilho virtual já percorrido pelo veículo com o mapa completo dos trilhos virtuais (101) armazenado em memória, onde tal comparação fornece o erro longitudinal e erro lateral do veículo na pista, permitindo comandar automaticamente o volante, freio e acelerador de modo que o veículo (102) se mantenha no centro da pista.

4. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de o módulo de controle automático utilizar uma técnica de detecção de obstáculos para evitar a colisão dos veículos contra obstáculos, a partir de informação sensorial obtida de sensores como câmeras, LASER ou LIDAR.

5. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de a rede de trilhos virtuais determinar o centro das rodovias por onde os veículos devem passar, através da utilização da posição lateral do veículo, obtida no processo de localização, em relação aos trilhos mapeados.

6. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de a rede de trilhos virtuais determinar a velocidade correta de deslocamento do veículo autônomo em cada trecho, considerando a presença ou não de obstáculos, de outros veículos à frente e os perfis de velocidade definidos para cada trecho da viagem quando da criação do mapa.

7. O SISTEMA DE TRANSPORTE AUTÔNOMO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de as estações possuírem pelo menos uma marca que delimita o exato local que o veículo autônomo deve parar.

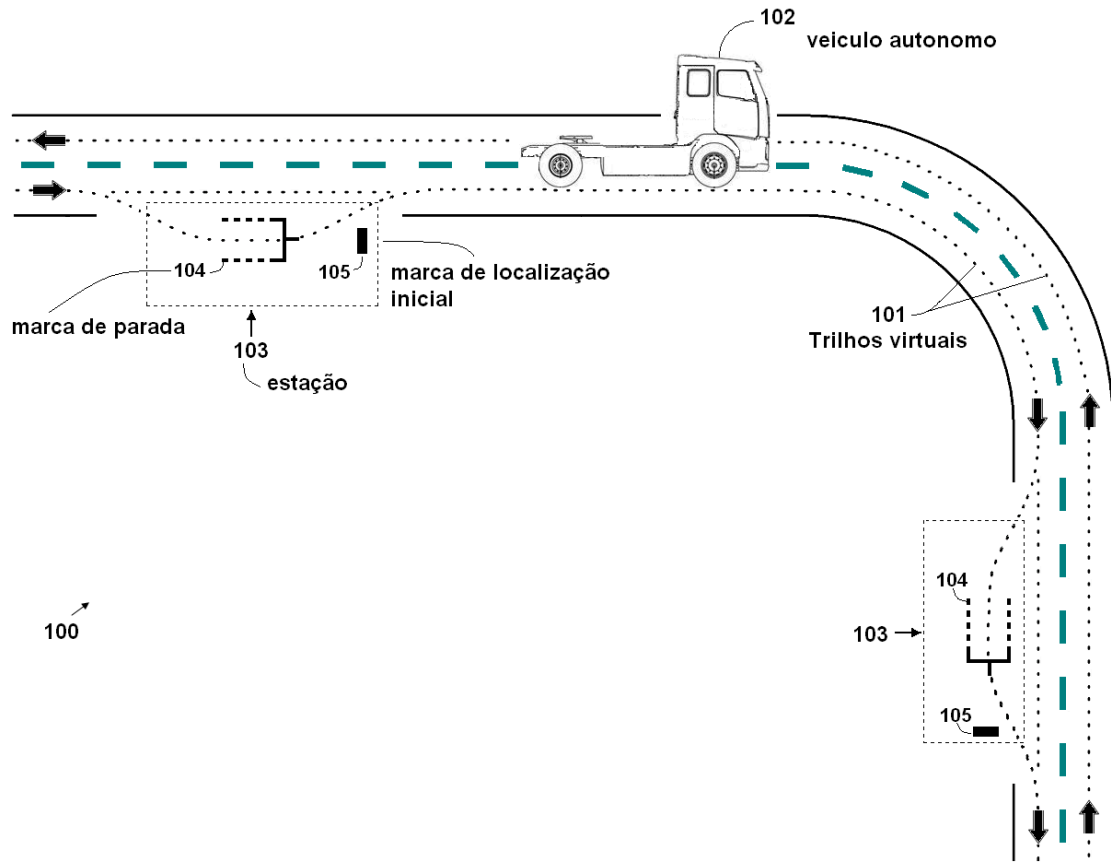


FIG. 01

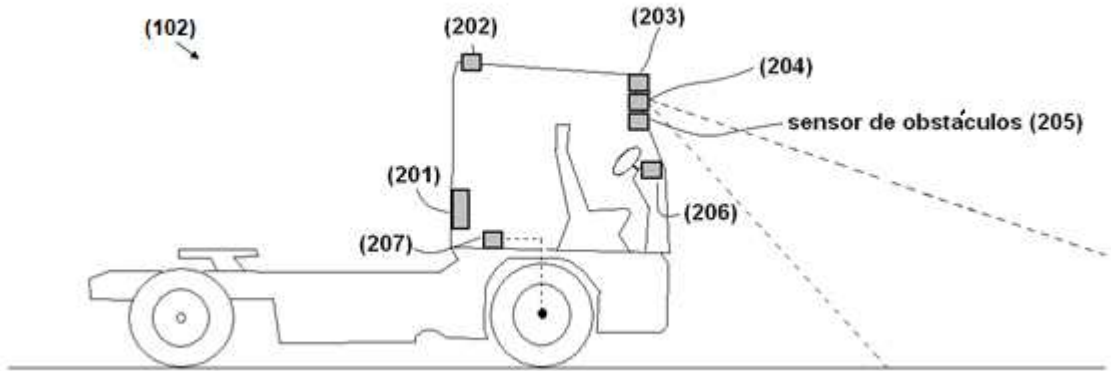


FIG. 02

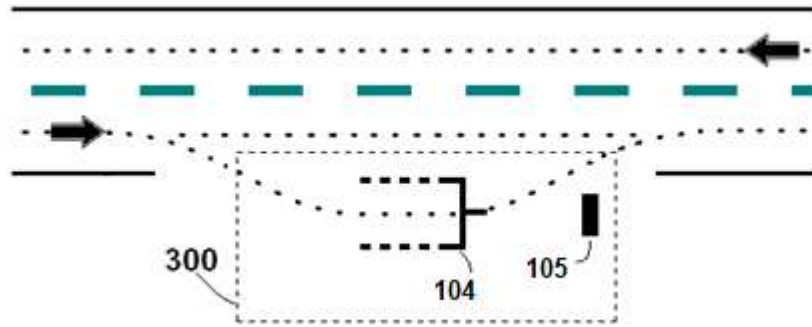


FIG. 03-a

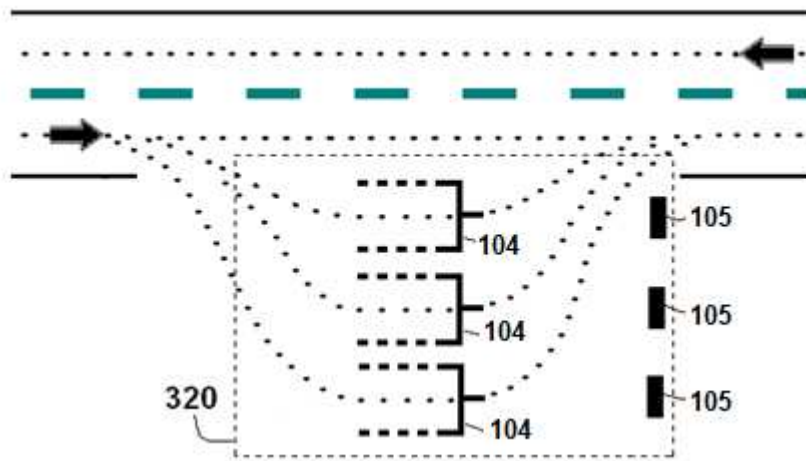


FIG. 03-b

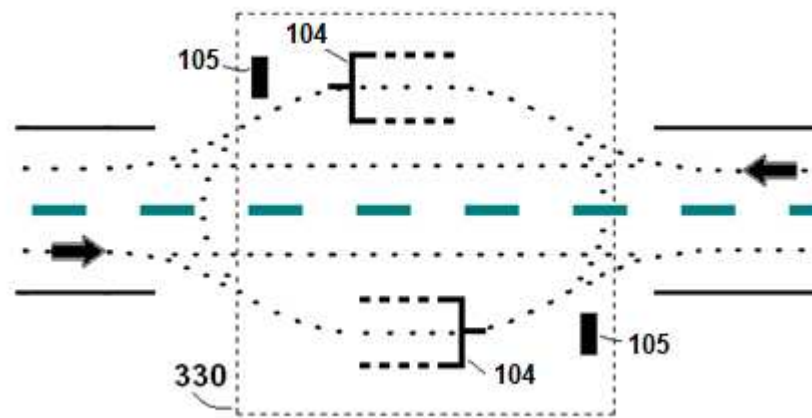


FIG. 03-c

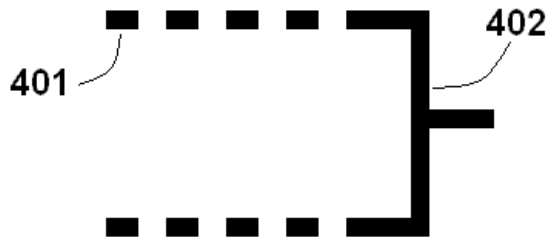


FIG. 04-a

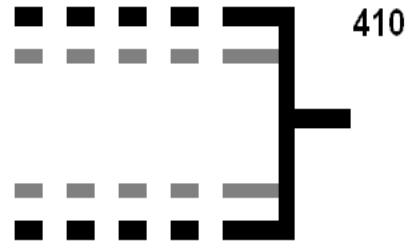


FIG. 04-b

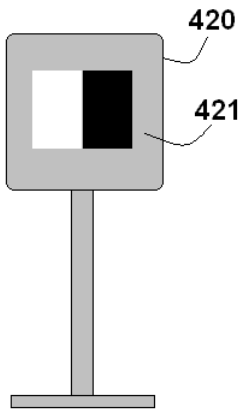


FIG. 04-c

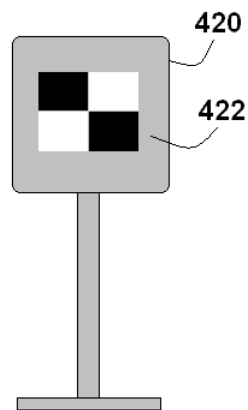


FIG. 04-d

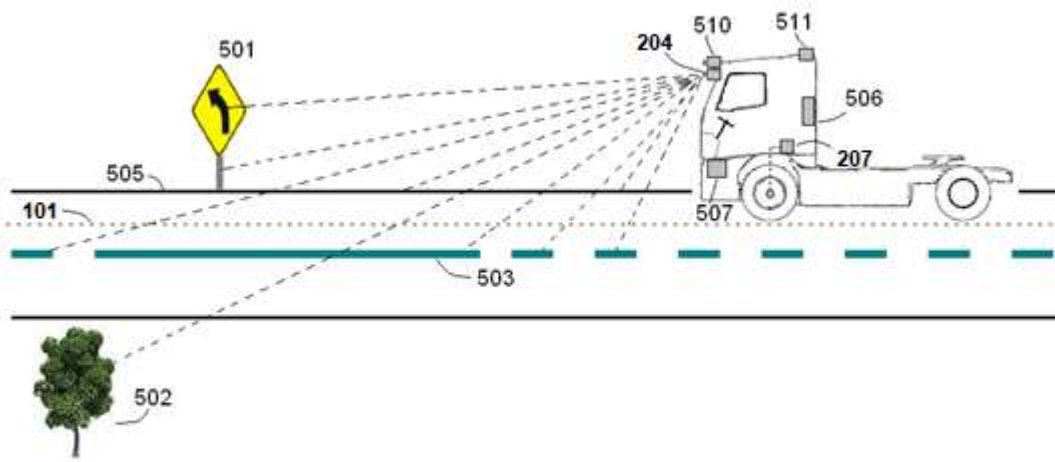


FIG. 05

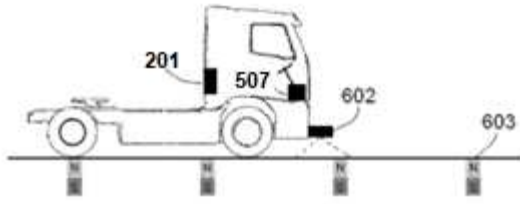


FIG. 06-a

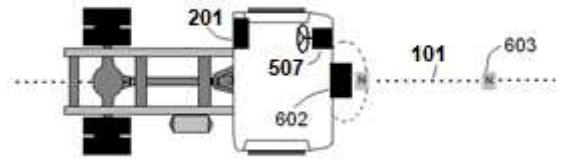


FIG. 06-b

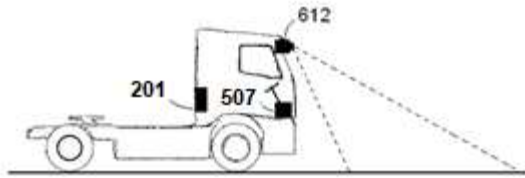


FIG. 06-c

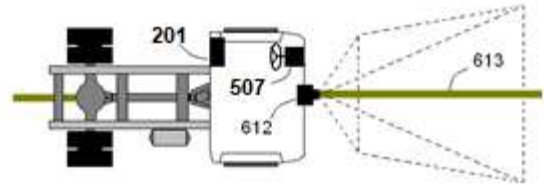


FIG. 06-d

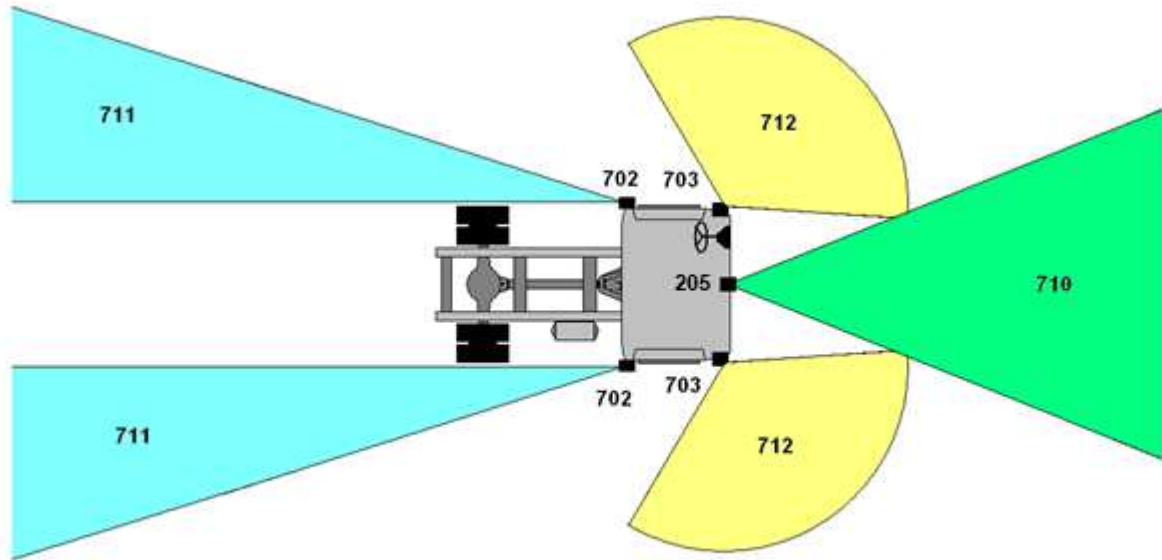
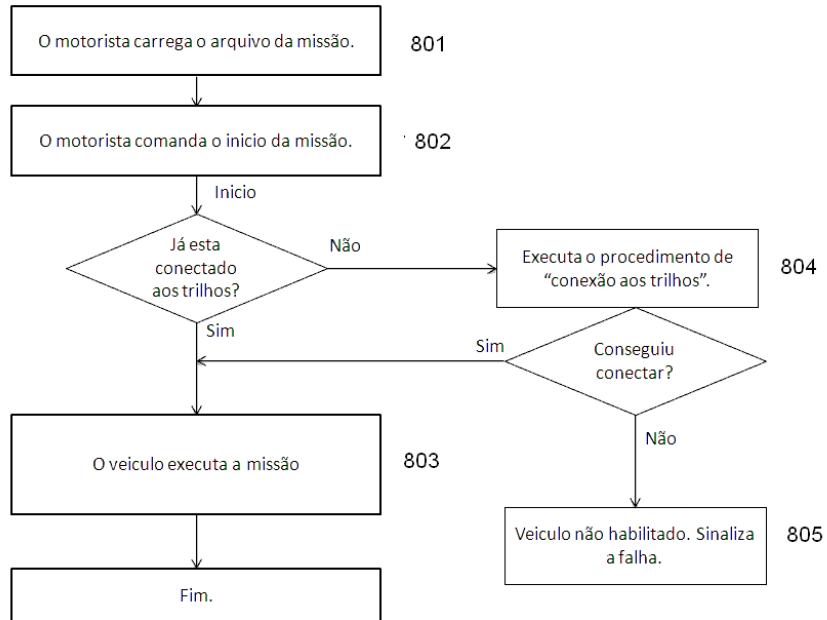
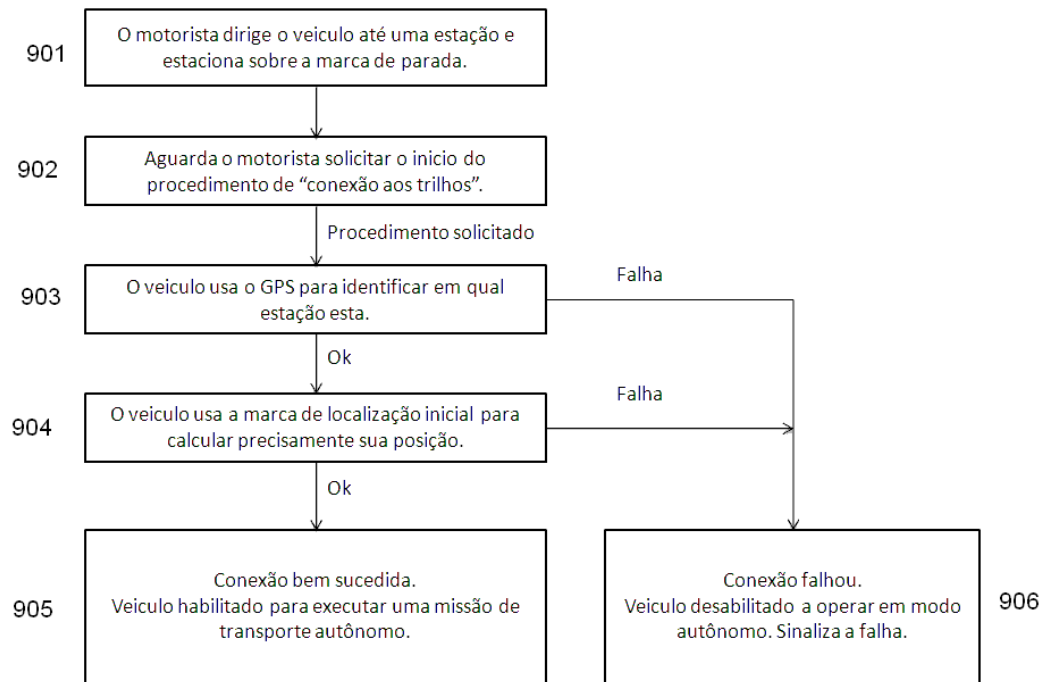
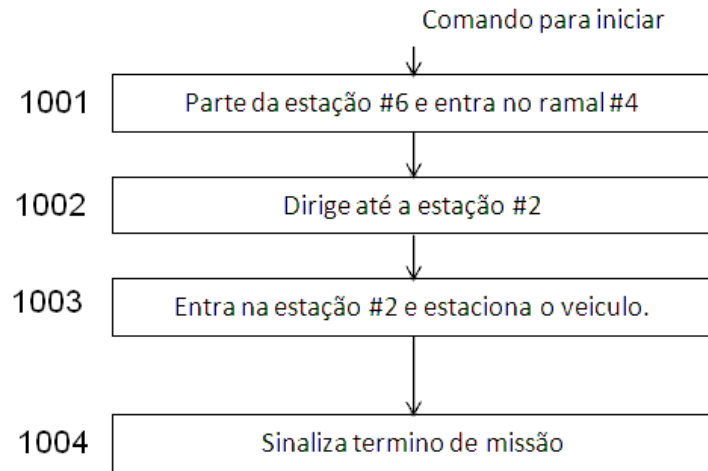
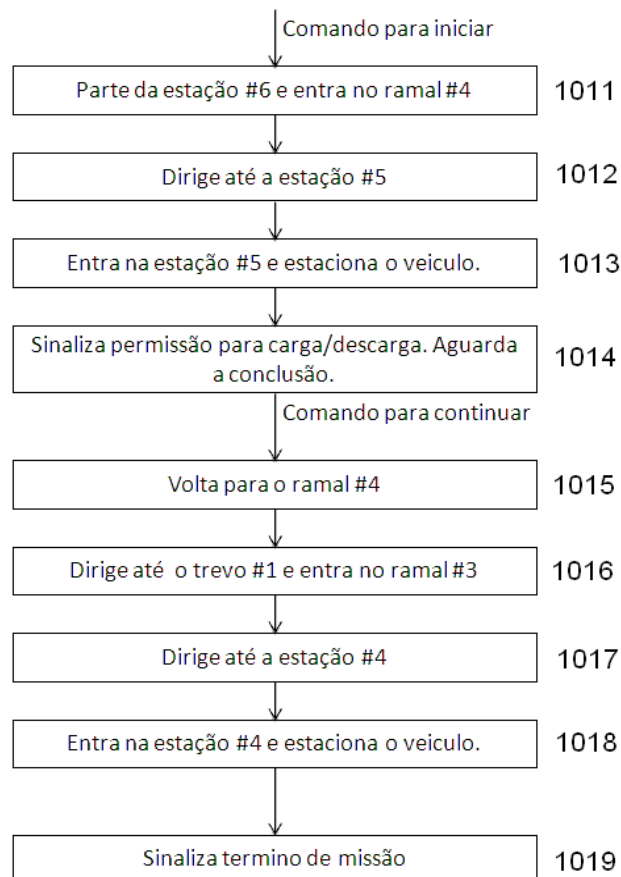


FIG. 07

**FIG. 08**

**FIG. 09**

**FIG. 10-a****FIG. 10-b**

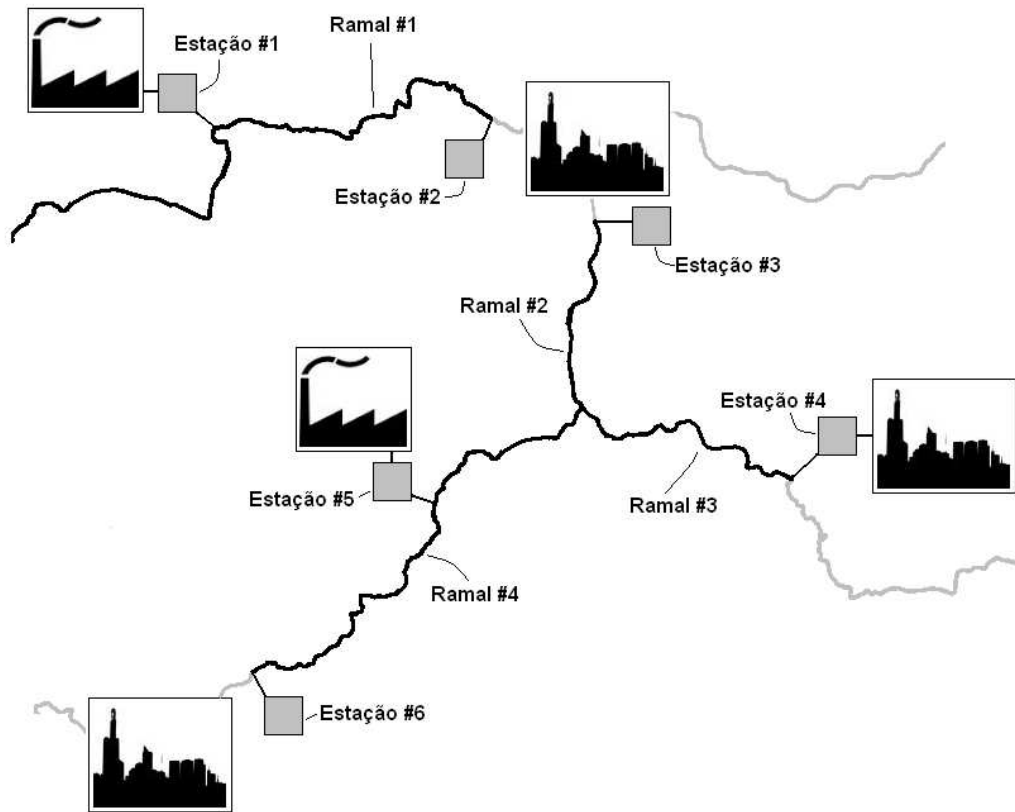


FIG. 11