

DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO MÓVEL GUIADO POR CONTROLE INTELIGENTE

Marcelo Ribeiro da Silva¹ Celso Correia de Souza² José Wanderley Scucuglia³ Cláudio Lisias Luchcchese⁴ Cristian Mara Mazzini Medeiros Patricio⁵

¹ Aluno bolsista (CNPq) junto ao NEAC – Núcleo, Energia, Automação e Controle. Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal – UNIDERP.

² Professor Adjunto Doutor do Curso de Engenharia Elétrica e dos Programas de Mestrados em Produção e Gestão Agroindustrial e Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da UNIDERP.

³ Professor Mestre do Curso de Engenharia Elétrica e Coordenador do NEAC da UNIDERP.

⁴ Arquiteto responsável pelo Laboratório de Maquetaria da UNIDERP.

⁵ Pesquisadora bolsista (CNPq/FINEP) junto ao NEAC.

Rua Ceará, 333 – Bairro Miguel Couto – CEP 79003-010 – Campo Grande-MS
Tel: (67) 348-8128

Robôs são freqüentemente utilizados na indústria visando o aumento da produtividade, bem como o trabalho em ambientes intoleráveis (temperaturas ou pressões extremas) aos seres humanos. Um Robô Móvel, de modo geral, é uma máquina que pode mover-se como um todo, de forma controlada e com alguma autonomia, que será tanto maior quanto maior for a sua capacidade de tomada de decisão. Seus movimentos possíveis podem ser analisados em termos de graus de liberdade de acordo com o meio em que ele se movimenta. Esses robôs, por sua vez, necessitam de técnicas de navegação como o mapeamento do ambiente sujeito a variações posicionais dos objetos de forma a traçar sua trajetória de percurso. A capacidade de um robô autônomo de se movimentar no espaço, evitando qualquer tipo de colisão com os objetos que o rodeiam tem sido tema de grande discussão no âmbito da robótica móvel sendo a principal motivação desse trabalho. Esse trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma móvel autônoma dotada de sensores para navegação do robô utilizando Redes Neurais Artificiais para o sistema de controle. O sistema de guiagem proposto utiliza uma rede neural multinível com "Back Propagation" no controle do Robô Móvel. Este trabalho apresenta, ainda, as dificuldades e limitações encontradas no sistema através dos experimentos realizados.

Palavras-chave: Robô Móvel, Inteligência Artificial, Controle Digital, Odometria.

Área do Conhecimento: III - Engenharias

Introdução

O controle automático tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia e da ciência em geral; a exemplo disso, citamos sua importância para veículos espaciais, sistemas de guiamento de

mísseis, sistemas robóticos. Ele é ainda essencial nas operações industriais, tais como: controle de pressão, temperatura, umidade, viscosidade e vazão nas indústrias de processo.

Robôs industriais são freqüentemente utilizados visando um

aumento de produtividade, realizando tanto tarefas monótonas quanto tarefas complexas, sem erros de operação. Os robôs podem trabalhar em ambientes intoleráveis para os seres humanos, como, por exemplo, podem operar sob temperaturas extremas (altas ou baixas) ou ainda sob valores anormais de pressão (alta ou baixa), sob a água ou no espaço sideral.

Robôs inteligentes constituem uma classe crescente de robôs industriais que possuem capacidade não apenas de repetir um ciclo de movimento programado, mas também interagir com seu ambiente de modo a parecer inteligente. Invariavelmente, a unidade controladora consiste em um computador digital ou dispositivo similar.

Os robôs inteligentes podem alterar a sua programação, em resposta a condições que ocorrem no local de trabalho. Podem tomar decisões lógicas com base nos dados sensoriais recebidos do ambiente de trabalho.

Na verdade, os tipos de aplicações que são realizadas por robôs inteligentes baseiam-se no uso de uma linguagem de alto nível para realizar as atividades complexas e sofisticadas que podem ser realizadas por esses robôs. Aplicações típicas para robôs inteligentes são tarefas de montagem e operações de soldagem a arco (DORF, 2000).

A robótica é uma área da engenharia aplicada que combina tecnologia industrial e ciência da computação, incluindo campos aparentemente tão diversos quanto projeto de máquinas, teoria de controle, microeletrônica, programação de computadores, inteligência artificial e teoria da produção.

Abordou-se neste trabalho conceitos sobre a teoria robótica visando à programação, modelagem e construção de um robô. Discutiui-se a ação de controle básico, controle digital, teoria de máquinas elétrica com ênfase aos motores de passo, eletrônica de potência, sensoriamento para navegação de robôs e algoritmo de posição do robô em um dado ambiente usando Rede Neurais Artificiais.

Os robôs industriais são acionados por três tipos de sistemas de acionamento, a saber: acionamento hidráulico, acionamento elétrico; acionamento pneumático. Neste

trabalho usou-se acionamento elétrico do robô através de controladores eletrônicos, pela sua precisão e melhor repetibilidade, além de se obter robôs mais compactos. A finalidade do controlador é comparar a saída efetiva da planta com o comando de entrada e propiciar um sinal de controle que reduz o erro a zero ou o mais próximo de zero possível.

Duas características que devem ser levadas em conta no desempenho dinâmico relacionado com o projeto de sistemas de controle é a velocidade de resposta e a estabilidade. É desejável que o sistema tenha um tempo de resposta rápido com boa estabilidade.

Navegação é a ciência (ou arte) de direcionar o curso de um robô móvel à medida que o mesmo atravessa o ambiente. Em todo sistema de navegação deseja-se alcançar o destino sem que o robô se perca ou colida em algum obstáculo. A navegação envolve três tarefas: mapeamento, planejamento e direção. De forma simples, o problema da navegação é encontrar um caminho ligando o local atual inicial até uma meta, e atravessá-lo sem colisões.

A navegação é realizada através do uso de mapas pré-armazenados ou de mapas “aprendidos” pelo sistema sensorial à medida que o robô atravessa o ambiente. A modelagem do ambiente é realizada pela análise dos dados sensoriais para a construção e modificação dos mapas.

O planejamento, etapa importante da navegação, é feito através da procura de caminhos possíveis no mapa construído. Na ausência de um mapa, o caminho é encontrado entre os objetos sentidos pelo sistema de sensoriamento no momento da construção do mapa.

A próxima etapa da navegação é a guiagem do robô através do caminho definido anteriormente. O movimento do robô é então controlado utilizando-se modelo cinemático e dinâmico e o uso de inteligência artificial. Durante a movimentação, o processo de percepção usando inteligência artificial, examina continuamente os dados sensoriais a fim de detectar colisões potenciais. Quando uma colisão é possível, o planejamento da trajetória é refeita para evitá-lo. A detecção

de colisão por sensores de toque ou contato

que inibem a continuidade do movimento.



figura 1 – Plataforma do robô móvel do NEAC/UNIDERP.

A abordagem utilizada para controlar o movimento do robô, explicitada em três perguntas sumarizadas por (LEONARD e DURRANT-WHYTE, 1991) que descreve o problema geral do posicionamento de robôs móveis: “onde estou?”, “onde estou indo?” e “como chego lá?”. A partir de então, buscou-se métodos e técnicas através de revisões bibliográficas para encontrar uma solução, ou parte dela, para desenvolver um algoritmo eficiente e robusto que fosse capaz de estimar a posição do robô.

Com a rede neural e o processo de treino determinado, procedeu-se à implementação do controlador, o qual, além da rede propriamente dita, simulada em software, consiste na interface com o robô e o sistema de mapeado.

A movimentação do robô é feita paralelamente ao sensoriamento do ambiente. Dessa forma, o sistema de navegação será capaz de detectar obstáculos não previstos no mapa e poderá tomar alguma decisão evasiva ou calcular uma nova trajetória de acordo com os obstáculos não previstos.

Fundamentação teórica

Para atingir os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento do robô e do algoritmo de navegação é de fundamental importância conhecermos o comportamento cinemático e dinâmico do sistema.

O Sistema de Direção Diferencial (SDD) é talvez o sistema de direção mais simples para um robô autônomo terrestre, consistindo em duas rodas montadas num eixo comum e controladas por motores independentes, um para cada roda. No SDD, para que cada roda tenha movimento de rotação é necessário que o robô gire em torno de um ponto fixo PF, como na Figura 2, que necessariamente está na direção do eixo comum às duas rodas. Variando a velocidade relativa das duas rodas, o ponto de giro pode ser alterado, correspondendo a trajetórias diferentes. Em cada instante, o ponto de giro do robô tem a propriedade de que a roda esquerda e a roda direita seguem caminhos que se movem em torno do ponto fixo PF, à mesma velocidade angular w .

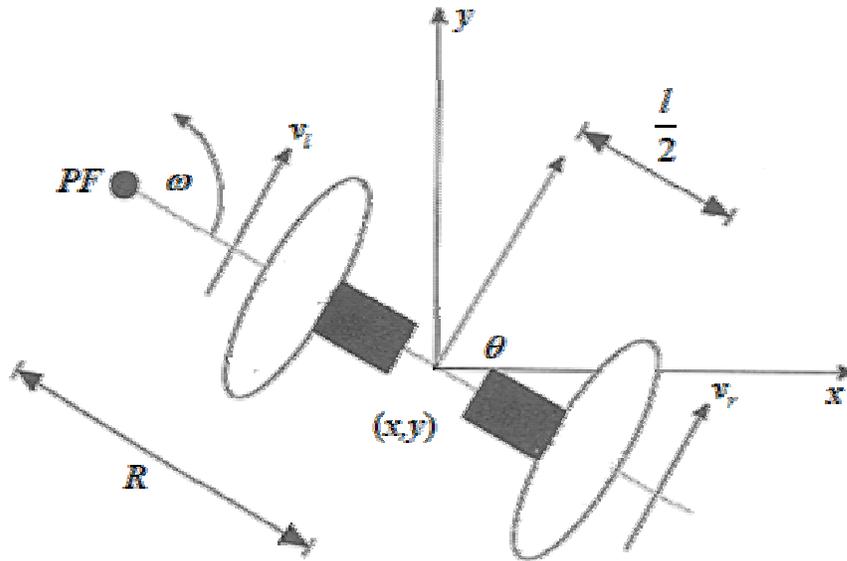


Figura 2 – Esquema de movimentação e direção do robô

Da Figura 2 pode-se relacionar as velocidades escalares relativas com a velocidade angular pelas seguintes fórmulas:

$$w \cdot R + w \cdot \frac{l}{2} = v_r$$

e

$$w \left(R + \frac{l}{2} \right) = v_r$$

$$w \left(R - \frac{l}{2} \right) = v_l$$

onde v_l , v_r , w e R são todas funções do tempo. Em qualquer instante tem-se:

$$R = \frac{l}{2} \cdot \frac{(v_l + v_r)}{(v_r - v_l)} \quad \text{e}$$

$$w = \frac{(v_r - v_l)}{l}$$

Alguns casos especiais são de interesse, se $v_l = v_r$ neste caso o raio R é infinito e o robô se move em linha reta e $v_l = -v_r$ neste caso o raio é zero e robô gira em torno de um ponto que está a meia distância entre as duas rodas, girando portanto sobre si mesmo. Para outros valores de v_l e v_r , o robô segue uma trajetória curvada em torno de um ponto

fixo à distância R do seu centro, mudando a sua posição e orientação.

A trajetória do ponto (x, y) , no centro do robô, é dado pelo sistema de equações paramétricas em t .

$$x(t) = \frac{1}{2} \cdot \int_0^t [v_r(t) + v_l(t)] \cdot \cos[\theta(t)] \cdot dt$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot \int_0^t [v_r(t) + v_l(t)] \cdot \text{sen}[\theta(t)] \cdot dt$$

$$\theta(t) = \frac{1}{l} \cdot \int_0^t [v_r(t) - v_l(t)] \cdot dt$$

onde $\theta(t)$ é o ângulo entre a trajetória e o eixo Ox do sistema da Figura 2.

O problema cinemático inverso é de solução extremamente difícil, a não ser para casos especiais como os citados acima. Considerando esses casos especiais, para comandar o robô para assumir uma posição (x, y, θ) basta que ele gire sobre si mesmo de modo a apontar para (x, y) , em seguida ande em linha reta até atingir (x, y) e, por último, gire sobre si mesmo até que a orientação θ seja atingida.

Odometria é o método mais extensamente usado em navegação para posicionamento móvel de robôs, fornecendo uma boa precisão e baixo custo. Odometria é

baseado em equações simples (Borenstein et al., 1990), que são ditas verdadeiras quando as voltas da roda podem ser traduzidas exatamente no deslocamento linear relativo ao assoalho. Entretanto, por causa do resvalamento da roda e de algumas outras causas mais sutis, as rotações da roda não podem traduzir proporcionalmente o seu movimento linear.

O sonar é uma das formas mais comuns de se medir distâncias, muito usado na robótica móvel. Seu funcionamento é baseado em um transmissor, responsável por emitir um pequeno “apito” sonoro, e uma membrana fina encarregada de detectar a saída e a entrada de ondas, onde sua ativação se dá através de um pulso elétrico, que faz com que ela se movimente, proporcionando um estalo.

A medição das distâncias é dada pelo intervalo de tempo entre a emissão e recepção da onda sonora, que ocorre ao refletir em um objeto. Este período é controlado por um circuito eletrônico temporizado, este, por sua vez, é capaz de detectar se o “apito” recebido trata-se de um sinal de retorno ou um ruído.

A Figura 3, ilustra uma forma da onda emitida por um sonar representado em um espaço bi-dimensional. Contudo é importante destacar que esta onda é tri-dimensional, porém, esta representação é válida, pois trata-se de uma onda simétrica.

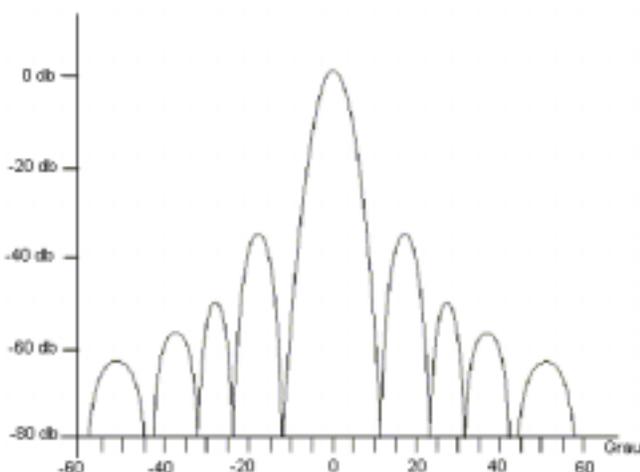


Figura 3 – Forma de onda emitida pelo sonar

O ambiente pode interferir na leitura do sonar, uma vez que a velocidade do som depende do meio. Em ambientes fechados

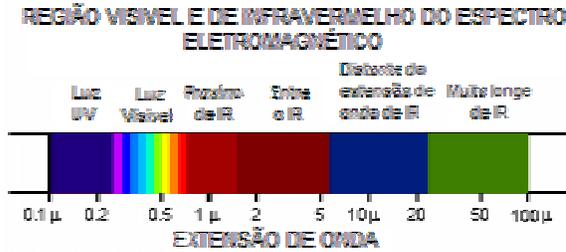
tem-se uma maior precisão, pois possui geometricamente uma maior regularidade. Existem vários problemas atribuídos ao sonares, como a incerteza de posição, *foreshortening*, reflexão especular e *crosstalk*.

As incertezas de posição são caracterizadas pelo fato de que o objeto medido pode estar em qualquer ponto e não exatamente à frente do lóbulo principal, representado na figura 3 (RIBEIRO, 2003). O problema de *foreshortening* consiste em uma parte do lóbulo chegar antes ao obstáculo do que o restante, retornando uma leitura antes (RIBEIRO, 2003). A reflexão especular é ocasionada por materiais muito lisos ou locais com ângulos muito agudos, onde a onda é refletida para um outro ponto, podendo chegar ao sonar depois de inúmeras reflexões [(RIBEIRO, 2003). O problema de *Crosstalk* consiste em um sonar receber um sinal enviado por outro. Para solucionar este caso, costuma-se apenas utilizar taxas de disparos ligeiramente distintas, associadas a técnicas de filtragem para identificação do emissor (RIBEIRO, 2003).

Sensores de infravermelho são sensores do tipo ativos de proximidade, que tem seu funcionamento baseado na emissão de energia infravermelha e na medição da quantidade de luz infra-vermelho que é retornada. Portanto, em caso de existência de algum obstáculo, o feixe emitido retornará com uma menor quantidade de energia. Os sensores de infravermelho possuem uma faixa de operação de aproximadamente 50 – 100 cm, dependente da frequência de luz utilizada e da sensibilidade do receptor. Na prática, podemos verificar falhas, devido ao feixe emitido poder ser influenciado por luzes brilhantes do ambiente ou mesmo ser absorvida por materiais negros.

Os mais simples sensores de infravermelho podem ser construídos de LEDs, com receptor de fotodiodo. Estes sensores são largamente utilizados na robótica móvel para detecção de obstáculos. Para diferenciar o raio infravermelho emitido dos raios infravermelhos presentes no ambiente, como por exemplo, reflexões de luzes fluorescentes ou mesmo os raios de sol, o sinal emitido é geralmente modulado

com uma baixa frequência (aproximadamente 100 Hz).



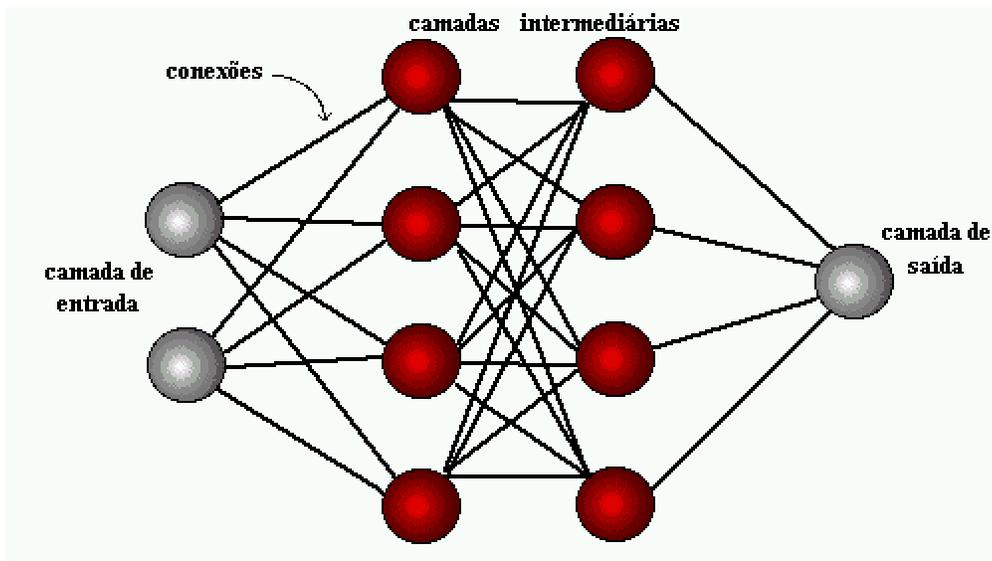
Admitindo que todos os objetos no ambiente de um robô tenham diferentes cores e estrutura de superfície, sensores de infravermelho podem ser calibrados para medir distância dos objetos, pois a intensidade da luz refletida é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Por outro lado, em cenários realísticos, as superfícies de objetos possuem diferentes cores, que refletem uma maior ou menor quantidade de luz. Superfícies pretas, por exemplo, são praticamente invisíveis ao infravermelho. Por esta razão, sensores de infravermelho podem efetivamente ser utilizados unicamente para detecção de objetos, não sendo muito indicados para

tomada de medidas. Ainda causado pela proporcionalidade da intensidade do sinal de infravermelho à d^{-2} , quedas rápidas no nível de energia recebido ocorrem com o incremento da distância d .

Se o raio do infravermelho refletido é detectado, é seguro assumir que um objeto está presente. Por outro lado, a ausência do raio refletido infravermelho não significa que o objeto não esteja presente, pois está associado a esta informação um razoável grau de incerteza.

Os modelos neurais procuram aproximar o processamento dos computadores ao cérebro. As redes neurais possuem um grau de interconexão similar à estrutura do cérebro e um computador convencional moderno a informação é transferida em tempos específicos dentro de um relacionamento com um sinal para sincronização.

O mesmo paralelo pode ser traçado comparando o computador com as redes neurais. Para tanto, a comparação não se dará com um computador específico encontrado no mercado, mas sim com o paradigma predominante nos computadores atuais.



A rede neural artificial é um sistema de neurônios ligados por conexões sinápticas e dividido em neurônios de entrada, que recebem estímulos do meio externo,

neurônios internos ou hidden (ocultos) e neurônios de saída, que se comunicam com o exterior. A forma de arranjar perceptrons em camadas é denominado Multilayer

Perceptron. O multilayer perceptron foi concebido para resolver problemas mais complexos, os quais não poderiam ser resolvidos pelo modelo de neurônio básico. Um único perceptron ou uma combinação das saídas de alguns perceptrons poderia realizar uma operação XOR, porém, seria incapaz de aprendê-la. Para isto são necessárias mais conexões, os quais só existem em uma rede de perceptrons dispostos em camadas. Os neurônios internos são de suma importância na rede neural pois provou-se que sem estes torna-se impossível a resolução de problemas linearmente não separáveis. Em outras palavras pode-se dizer que uma rede é composta por várias unidades de processamento, cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades, geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

Conclusão

Neste trabalho apresentou-se as técnicas mais usadas para o controle e navegação de um robô móvel, através de atuadores e sensores de posição, aplicando redes neurais artificiais. Definimos três categorias para estes sensores e técnicas, mas obviamente outras maneiras para organizar o assunto são possíveis. Para a navegação ao ar livre o GPS é promissor, tornando-se a solução mais apropriada para

esta aplicação. Infelizmente, o GPS em ambientes fechados é de difícil aplicação, porque nenhum dos sistemas atuais existentes, baseados em RF, usando técnicas de triangulação, trabalham de maneira confiável em ambientes fechados. Apesar da variedade de sistemas e de técnicas poderosas existentes, acredita-se que a robótica móvel ainda está dentro da necessidade de encontrar um método particularmente elegante e universal para navegação em ambientes fechados. Tal método trará provavelmente o reconhecimento científico e o sucesso comercial a seu inventor.

Bibliografia

DORF, R. C., BISHOP, R. H. Sistemas de Controle Modernos. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001, 659p.

GROOVER, M. P., WEISS, M., NAGEL, R. N., ODREY, N. G. Robótica: tecnologia e programação, Mc Graw-Hill, 1988, 401p.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Rio de Janeiro: PHB, 1998, 813p.

THOMSON, T. W. Teoria da Vibração com aplicações. Ed. Interciência, 1978. 462 p.

KOVÁCS Z. L. Redes Neurais Artificiais. São Paulo: Edição Acadêmica Editora, 1996, 174p.

NISE, N. S. Engenharia de Sistemas de Controle. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2002, 695p.

SIMÕES, M. G. Controle e Modelagem Fuzzy. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher, 1999, 165p.