

PROJETO E CONTROLE DE UM TRANSPORTADOR PESSOAL ROBÓTICO AUTO-EQUILIBRANTE

Aluno: Guilherme Machado Pereira
Orientador: Marco Antonio Meggiolaro

Introdução

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, pode-se perceber a incorporação progressiva da robótica em nosso cotidiano. Exemplos de áreas com expressiva atuação de sistemas robóticos incluem tanto as indústrias automobilísticas e demais indústrias com alta tecnologia agregada, assim como os veículos e residências automatizados. Essa automação visa ao aumento da eficiência de algum processo, o que só é possível através de técnicas de controle. Estas atribuem ao sistema alguma inteligência computacional capaz de efetuar medições e verificar seu próprio funcionamento, introduzindo correções de forma adaptativa às mudanças dos principais elementos sob controle.

Dentro da área da robótica encontram-se os transportadores pessoais auto-equilibrantes, que são veículos de 2 rodas que possuem como princípio de funcionamento o equilíbrio do indivíduo que o usa. Através de um giroscópio e de um acelerômetro, o transportador é capaz de perceber variações na posição do corpo do condutor, conforme este se inclina tanto para frente quanto para trás. O transportador, na tentativa de manter-se em constante equilíbrio vertical, avança automaticamente conforme o condutor projeta seu peso e se inclina para frente. O equivalente acontece ao inclinar a haste de comando para trás [1]. O deslocamento do transportador é consequência de seu comportamento adaptativo às mudanças impostas, ou seja, de sua estabilização dinâmica.

Esta interação intuitiva entre homem e máquina torna a utilização dos transportadores pessoais auto-equilibrantes confortável e semelhante ao ato de caminhar. Essa vantagem, associada à sua grande flexibilidade de movimentos e tamanho compacto, o torna uma grande ferramenta de transporte urbano, principalmente nas grandes metrópoles em que o sistema de transporte público não é satisfatório [2].

A sua aplicação na substituição dos veículos à combustão também traz benefícios para o meio ambiente. Por fazer uso de energia elétrica, não libera gases de efeito estufa para a atmosfera. Além disso, por ocupar um volume consideravelmente menor que um carro de passeio comum, promove um aproveitamento significativo de espaço.

Objetivos

Este trabalho teve por objetivo o projeto e desenvolvimento de um sistema de transporte pessoal elétrico auto-equilibrante de apenas duas rodas. Isto incluiu desde a estrutura mecânica e alguns componentes eletrônicos até simulações no *software MATLAB* e testes finais. Este projeto também visa obter um custo de construção relativamente baixo em comparação aos preços comerciais de transportadores desse tipo, que custam em torno de sete mil euros, para facilitar e acelerar sua incorporação no cotidiano das grandes cidades.

Metodologia

Inicialmente foi realizada uma pesquisa acerca de projetos e estudos relacionados ao tema, a fim de se analisarem os conceitos básicos e maiores dificuldades associados à construção de transportadores auto-equilibrantes. Em seguida, com base nessas informações, as peças que comporiam a estrutura mecânica foram selecionadas e devidamente importadas

através do catálogo virtual da *Bosch Rexroth - Aluminum Framing Shop*. Optou-se por peças de alumínio devido à sua baixa densidade, qualidade fundamental em estruturas móveis.

Para que o projeto se tornasse viável em curto prazo, alguns componentes foram aproveitados de um robô de competições pré-existente no laboratório, incluindo os motores, baterias, rodas, caixas de redução e placa eletrônica de alta potência. Nesta etapa, foi necessário desenhar as modificações estruturais para transformar o robô de competição teleoperado em um transportador pessoal, de acordo com os requisitos do projeto. Tais requisitos incluíam algumas melhorias aos transportadores comerciais, para torná-los mais ergonômicos e seguros. Foi introduzida uma fácil regulagem da altura vertical e da angulação da haste vertical, capacitando o transportador a se adaptar a cada usuário. Além disso, foi alterada a maneira de se realizar curvas, de modo que a haste vertical permanecesse imóvel e somente o guidão fosse deslocado no sentido desejado. Nos transportadores comerciais, como é o caso do *Segway®*, a haste toda se inclina para a realização de uma curva, o que pode ser perigoso em caso de queda.

O aluno de mestrado César Raúl Mamani Choquehuanca foi o responsável pela implementação da estratégia avançada de controle no sistema construído. Em função do comportamento não-linear do transportador, optou-se por uma técnica de controle usando Lógica *Fuzzy*. A técnica de controle PID não apresentou resultados satisfatórios nos testes realizados, apesar de sua facilidade de implementação, por ser uma técnica linear.

Após a realização das tarefas acima descritas, procedeu-se com a execução da simulação tridimensional do transportador através do *software MATLAB*. Para tal, todas as dimensões do protótipo foram medidas e seus principais componentes foram pesados. Com o auxílio do mestrando César foi possível analisar o desempenho teórico do transportador, levando-se em conta o tempo de estabilização, o erro em regime permanente, resposta ao impulso, e frequência natural do sistema.

Com o projeto quase finalizado, foram feitos testes de desempenho do transportador. Essa etapa foi essencial para a calibração dos parâmetros do controle, tais como os ganhos dos controladores, obtenção de melhores estimativas sobre o desempenho dos motores. Por medidas de segurança, os testes iniciais foram realizados com o transportador parcialmente imobilizado e sem passageiros. Após uma série de testes, em que foi verificada a estabilidade do sistema e sua resposta adequada aos comandos, foram realizados testes com usuários sobre o veículo. Esses testes foram comparados, então, com os resultados da simulação.

Conclusões

A análise dos resultados teóricos da simulação permitiu uma melhor compreensão de como deveria ser o comportamento do transportador nos testes reais. Além disso, os testes utilizando os controles PID e *Fuzzy* mostraram grandes diferenças, confirmando a escolha adequada pela técnica *Fuzzy*, devido à sua melhor funcionalidade e estabilidade.

A realização do projeto mostrou que é possível construir um transportador pessoal auto-equilibrante com custo reduzido. O protótipo desenvolvido pode ser utilizado como substituto aos carros de passeio em trajetos curtos, com cerca de 15 quilômetros de autonomia, ou em diversas outras aplicações, como policiamento urbano e deslocamento dentro de indústrias.

Referências

- [1] Nguyen, H. G., Morrel, J., Mullens, K. **Segway Robotic Mobility Platform**, SPIE Mobile Robots XVII, v.5609, Philadelphia, PA, October 2004.
- [2] SHAHEEN, S. A., FINSON, R. **A study of the Behavioral, institutional and economic potential of the Segway Human Transporter**, Transportation Research Board, Paper 03-4470, Jan. 2003.