

## DISPOSITIVO INERCIAL BASEADO EM GIROSCÓPIO PARA APLICAÇÃO EM ROBÓTICA

**Edmar José Lopes de Oliveira<sup>1</sup>, Flávio Rogério da Silva<sup>2</sup>,  
Luis Filipe Wiltgen Barbosa<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> LRA/FEAU/UNIVAP, Jacareí - SP

<sup>1</sup>edmarsjc@ig.com.br, <sup>2</sup>frdasilva@ig.com.br, <sup>3</sup>wiltgen@univap.br

**Resumo** - Este projeto de pesquisa teve como objetivo a construção de um dispositivo inercial equipado basicamente com uma plataforma de fixação para uma micro-câmera digital, dois giroscópios do tipo piezoelétrico e dois servos motores controlados por um microcontrolador, mantendo a plataforma da câmera estável em condições críticas de movimento. Os giroscópios são os responsáveis pela estabilização da plataforma, e apresentam um sinal elétrico na saída que corresponde ao ângulo de inclinação entre os giroscópios e a estrutura de referência do sistema. O controle é realizado por um microcontrolador que recebe os sinais dos sensores, atuando nos servomotores para correção automática do posicionamento mantendo sempre estabilizada a câmera fixada a plataforma.

**Palavras-chave:** Plataforma inercial, giroscópios, robótica, sensores

**Área do Conhecimento:** III Engenharia

### Introdução

Uma plataforma inercial é um sistema que dispõe de diversos tipos de sensores para informar a posição em relação aos eixos de rotação, *X* (*rolamento*), *Y* (*arfagem*) e *Z* (*guinada*). Dentre os dispositivos que compõem uma plataforma inercial comum, o de grande interesse prático, por ser fisicamente simples e relativamente barato, é o giroscópio.

O giroscópio é um dispositivo muito utilizado na orientação de navios, aviões e espaçonaves. Inventado por *Léon Foucault* em 1852, é explicado por princípios físicos newtonianos os quais fazem parte da educação formal em física ensinado nas escolas do segundo grau.

Este dispositivo consiste de um rotor suspenso por um suporte formado por dois círculos articulados, conforme Figura 1. (CLARK, et al. 1865). Seu funcionamento baseia-se no princípio da inércia, o eixo em rotação guarda a direção fixa em relação ao espaço.

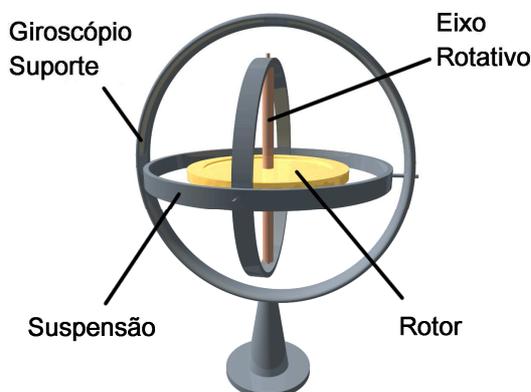


Figura 1 – Exemplo de um giroscópio mecânico.

Os giroscópios são baseados na *Lei da Inércia*, o princípio físico formulado por *Isaac Newton*, segundo o qual um corpo em movimento permanece em movimento até que uma força externa o impeça de continuar em movimento (RAND, 1881).

A inércia do plano de rotação mantém o giroscópio em sua posição inicial, durante o giro dos círculos, e a ação desta força o impede de mudar de direção durante um movimento rápido dado à resistência proporcionada pela inércia.

Para que o giroscópio fosse utilizado em aplicações práticas, houve a necessidade de um grande aprimoramento mecânico dos dispositivos existentes até então. Os primeiros modelos apresentavam um grave inconveniente relacionado ao atrito mecânico.

O atrito mecânico gerado pelo movimento de rotação do giroscópio diminuía gradativamente o efeito da inércia no decorrer do tempo de atuação, isso tornava precária sua utilização em aplicações práticas reais, as quais dependiam de um funcionamento mais preciso e estável. Conseqüentemente, o uso dos giroscópios foi deixado de lado durante muito tempo. Sendo que sua aplicação mais comum foi para fins demonstrativos acadêmicos e científicos.

Seu ressurgimento em possíveis aplicações práticas veio com a utilização e a introdução de motores elétricos em fins do século XIX. A partir desta época o giroscópio passou a ser utilizado como um dispositivo sensor aplicado em instrumentação e controle. Atualmente este dispositivo sensor é indispensável para a navegação marítima e aérea, além do uso em vôos espaciais.

Sua aplicação mais importante tem sido na orientação de espaçonaves, servindo de piloto

automático, e permitindo o voo em condições de visibilidade zero.

Neste projeto o giroscópio é utilizado como o sensor de um sistema de estabilização microcontrolado para aplicação em robótica. Existem vários tipos de sensores para esta aplicação (acelerômetros, inclinômetros, entre outros), o uso de giroscópios é uma das formas de fazer com que um determinado dispositivo possa ser mantido na horizontal através da correção dos deslocamentos nas direções de rolamento e arfagem.

A principal aplicação na área de robótica para um dispositivo de estabilização horizontal está relacionado à utilização de uma plataforma no qual encontra-se fixada uma câmera para observação/navegação de robôs móveis.

A seguir neste artigo será apresentado o desenvolvimento de um protótipo funcional de uma pequena plataforma estabilizada via giroscópios, controlada por um microcontrolador e utilizando como atuadores dois servomotores.

### Desenvolvimento do Dispositivo

Para esta aplicação os sensores de detecção de movimento de rolamento e arfagem são do tipo giroscópio.

Nos giroscópios do tipo piezoelétricos, em vez do dispositivo mecânico responder às oscilações de rotação, há um cristal dotado de propriedades piezoelétricas, cuja estrutura cristalina gera impulsos elétricos proporcionais às forças mecânicas que atuam sobre ela. Assim, caso haja algum movimento, o cristal "sente" a força de inércia e reage instantaneamente enviando um impulso elétrico na saída correspondente a intensidade de rotação.

A diferença entre um giroscópio piezoelétrico e um giroscópio mecânico está na precisão e na confiabilidade, que é muito importante para as aplicações práticas reais em engenharia.

Nesta pesquisa optou-se por utilizar o giroscópio piezoelétrico *ENC-03R*, produzido pela empresa Murata® (MURATA, 2006). A Figura 2 apresenta a fotografia deste componente.



Figura 2 – Fotografia do giroscópio utilizado como sensor de movimento do dispositivo inercial para aplicação em robótica.

Atualmente, uma das aplicações deste modelo de giroscópio está no sistema de correção de imagem em câmeras digitais. Neste caso o

sistema dotado de giroscópios permite a captura de imagens de qualidade mesmo com a câmera em movimento.

Outra aplicação é no pequeno robô "garoto propaganda" da Murata, chamado de *Murata Boy*. Este pequeno robô faz uso de giroscópios para manter-se em equilíbrio dinâmico com um atuador do tipo roda de reação, que o ajuda a andar sobre uma bicicleta construída para ele. O equilíbrio obtido com este sensor no *Murata Boy* é tão eficiente que o mesmo consegue andar ou ficar parado sobre uma pista da largura da roda de sua bicicleta.

No projeto proposto para o dispositivo inercial, foram utilizados dois giroscópios posicionados perpendicularmente um do outro. Isto foi necessário para que fosse possível medir as variações de movimento de rotação nos eixos X e Y (FARREL et al.,1999), conforme pode ser visto no esquema mostrado na Figura 3.

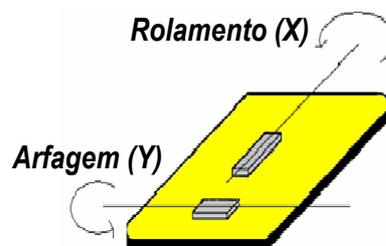


Figura 3 – Posicionamento dos sensores na placa.

Após a escolha dos giroscópios, foram iniciados os testes de desempenho dos sensores, conforme a especificação do fabricante.

Dado a dificuldade de importação deste componente, foram utilizados sensores de uma câmera digital comercial, o que foi em parte um grande desafio, pois foi necessário encontrar câmeras com defeito no qual os sensores ainda estavam preservados.

Outro problema foi à utilização destes sensores reaproveitados, visto que ao serem retirados da placa de circuito impresso em que estavam soldados, sempre se danificavam. Desta forma, optou-se por coletar os sinais dos giroscópios diretamente da placa de circuito impresso da própria câmera digital comercial, através de ligações via cabos nas saídas dos amplificadores de sinais.

O estudo dos sinais de saída dos giroscópios, só foi possível com a utilização de uma placa de captura de dados através de um conversor A/D (*AD0832*), conectado á porta paralela de um computador PC, que mostrava a variação de amplitude do sinal conforme a placa que continha os giroscópios era movimentada.

Com este procedimento, foi possível identificar e verificar os sinais típicos dos giroscópios,

quando acionados, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 4.

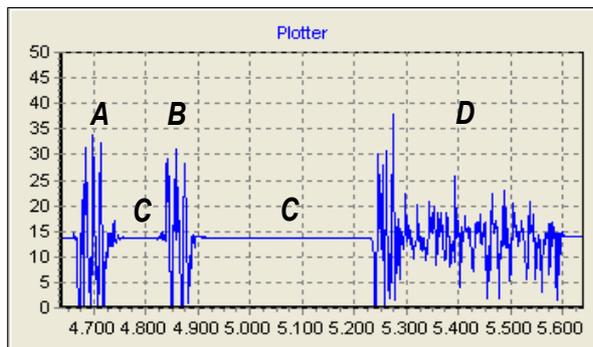


Figura 4 – Sinais de saída dos giroscópios.

Conforme pode ser observado na Figura 4, o gráfico apresenta no início dois movimentos (A e B) com um intervalo (C) que representa o momento de estabilização do sinal no giroscópio. Este sinal de repouso possui um valor constante de  $\sim 1,35$  V (leitura na faixa de 0 a 5 V). O terceiro sinal (D) no gráfico mostra o movimento do giroscópio representado pelos picos de tensão, no qual as amplitudes do sinal correspondem à variação angular deste modelo de giroscópio utilizado.

O sinal de cada giroscópio é tratado separadamente no microcontrolador e enviado para cada um dos servomotores responsável pela correção angular da plataforma.

A partir da identificação dos sinais apresentados nas saídas dos giroscópios, iniciou-se o desenvolvimento do *firmware* a ser gravado no microcontrolador PIC16F877 (Microchip). Este microcontrolador foi escolhido pela facilidade de programação, espaço de memória e pelo baixo custo de aquisição.

Este componente é o responsável pelo processamento e controle dos sinais de saída do amplificador que são enviados aos servomotores para a estabilização e correção de posição do dispositivo inercial.

### Resultados da Montagem do Dispositivo de Estabilização

Após a verificação dos resultados das partes separadas, iniciou-se a integração do dispositivo. No qual a estrutura física foi o principal desenvolvimento mecânico da plataforma de estabilização.

Para o funcionamento correto foi preciso definir a melhor posição para a fixação dos servomotores e da plataforma de fixação da micro-câmera e dos sensores, a fim de demonstrar de forma relativamente simples as correções nas variações de movimento de rotação nos eixos X (*rolamento*) e Y (*arfagem*).

No atual protótipo, os dos servomotores são fixados por um suporte metálico. Cada qual possui no qual seu eixo alinhado com uma das direções de rotação.

Na Figura 5 é possível observar os dois servomotores (azuis), sendo que um está fixado a estrutura de suporte do dispositivo (branca) responsável pela arfagem, e o outro está fixado a estrutura metálica que está interligada ao eixo do outro servomotor responsável pelo rolamento. A operação conjunta destes dois servomotores faz com que seja possível controlar a inclinação da plataforma mesmo quando estiver operando em um terreno completamente irregular.

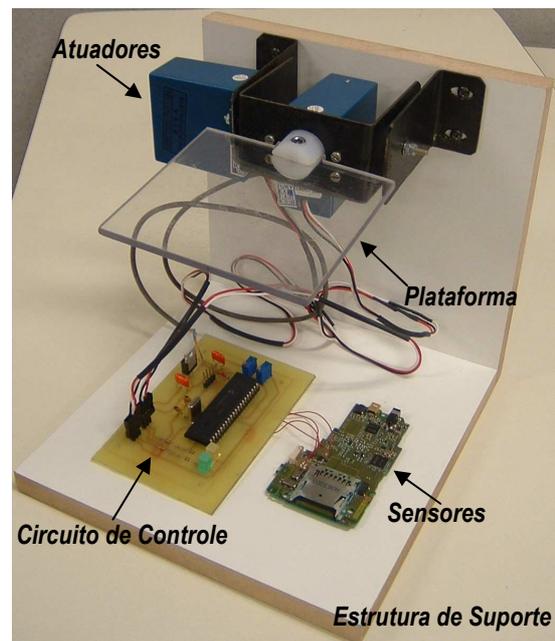


Figura 5 – Protótipo funcional do dispositivo inercial desenvolvido neste projeto.

Os testes realizados com este dispositivo mostraram resultados promissores. Para que o sistema possa funcionar corretamente será necessário aperfeiçoar a parte eletrônica de filtragem e pré-filtragem dos sinais dos sensores.

O sistema demonstra uma grande sensibilidade podendo detectar até pequenas movimentações ou qualquer tipo de vibração que ocorra na plataforma, proporcionando a devida correção de estabilização, de forma rápida e eficiente.

### Discussão

O dispositivo funciona relativamente bem para pequenas amplitudes, existe uma instabilidade associada ao movimento quando é rápido e precisa ser ajustado para não ocorrer *overshoot* (ultrapassagem).

O sistema de controle deve ser melhorado para incluir uma filtragem mais eficiente do sinal a fim

de eliminar os ruídos inerentes ao próprio sensor de forma a tornar a atuação dos servomotores mais eficiente, considerando inclusive a inércia mecânica do sistema.

O sensor captura os sinais instantaneamente, mas os servomotores demoram um tempo muito maior para atuar, e em alguns casos a oscilação a ser compensada foi tão rápida que a inércia do sistema já a absorveu, mas como o sistema tenta acompanhar todos os sinais de pico medidos pelo sensor muitas vezes a plataforma se move mesmo depois do evento.

### Conclusão

O protótipo desenvolvido neste projeto, ainda necessita de melhorias e ajustes para ser utilizado de forma eficiente em um sistema com uma câmera a bordo de um robô móvel. Entretanto, os primeiros resultados foram muito promissores, o que demonstra que o projeto pode ter continuidade.

As principais mudanças no projeto para trabalhos futuros estão relacionados à forma de capturar os sinais que vem dos sensores, para atuar de forma mais suave, sem solavancos e/ou trepidações. Essencial para que a imagem coletada pela câmera possa ser utilizada para a navegação ou mesmo simples observação e monitoramento de ambiente.

Outras melhorias incluem a substituição dos atuais servomotores por servomotores mais robustos e de maior precisão mecânica, além da aquisição de sensores giroscópios novos a serem fixados em placas de circuito impresso devidamente confeccionadas para estes dispositivos.

A aplicação deste equipamento em máquinas móveis (robôs móveis autônomos e similares teleoperados) é sem dúvida um grande aliado.

Uma das principais implicações de controle a distância (tele-operado ou não) tem sido a má qualidade de imagens obtidas dado as irregularidades do solo. O desenvolvimento de um dispositivo capaz de anular grande parte destas irregularidades do solo na captura de imagens sem dúvida pode se tornar um produto atrativo para robôs utilizados em vigilância patrimonial e de fronteiras territoriais.

Comparado aos sistemas comerciais encontrados, acredita-se que no futuro próximo, este protótipo possa ser uma alternativa de baixo custo para aplicações na área da robótica, tanto acadêmica, quanto comercial.

### Agradecimentos

Ao estudante do último ano de engenharia elétrica da FEAU/UNIVAP, *Paulo Sérgio Ferreira*,

pela ajuda no dispositivo de atuação servocontrolada utilizado neste projeto.

Aos amigos *Dimas Rogério Carlos Silva*, *Amilton Carlos Regiane* e *Fabiana Pimenta Lopes Silva*, por todo apoio ao nosso projeto.

Ao nosso professor e coordenador, Dr. *Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgen Barbosa*, por toda a ajuda e conhecimento que nos foi passado.

### Referência Bibliográfica

- STEWART, R., The gyroscope, Journal of the Franklin Institute, volume 65, Issue 2, Pages 122 – 125, February 1858.
- CLARK, J. The problem of the gyroscope, Journal of the Franklin Institute, volume 80, Issue1, Pages 21 – 24, July 1865.
- SPERRY, A., E., Engineering applications of the gyroscope, Journal of the Franklin Institute, volume 175, Issue 5, Pages 447 – 482, May 1913.
- RAND, H, B., Description of a model of the gyroscope for class illustration, Journal of the Franklin Institute, volume 111, Issue 3, Pages 213 – 217, March 1881.
- MURATA Manufacturing Co., Piezo Electric Vibrating Gyroscopes (Gyrostar), Datasheet, 2006. Disponível em: <http://www.murata.com/catalog/s42e.pdf>. Acesso em 15 fev. 2007.
- FARREL, J.; BARTH, M., The Global Positioning System and Inertial Navigation, Mc Graw – Hill Companies, 1999.