

Andrei Steschenko (9836502)
Gabriel Jenner de Faria Orsi (10772800)
João Pedro Dias Nunes (10705846)
Rogério Yukio Tamaoki Rodriguez (10772709)

Modelagem de Sistemas Dinâmicos

***Plataforma estabilizadora para
otimização da transmissão de dados***

Brasil

2020

Andrei Steschenko (9836502)
Gabriel Jenner de Faria Orsi (10772800)
João Pedro Dias Nunes (10705846)
Rogério Yukio Tamaoki Rodriguez (10772709)

Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Plataforma estabilizadora para otimização da transmissão de dados

Modelagem de uma plataforma estabilizadora para otimização de transmissão de dados

Universidade de São Paulo - USP

Escola Politécnica

PME 3380

Orientador: Prof. Dr. Agenor de Toledo Fleury

Brasil

2020

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ilustrações sobre plataformas estabilizadoras	1
Figura 2 – Exemplo de ângulos de Euler	2
Figura 3 – Esquema do Modelo Físico	3

Sumário

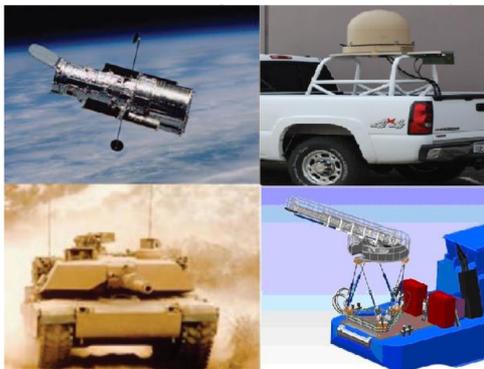
1	INTRODUÇÃO	1
2	PLATAFORMA ESTABILIZADORA	2
2.1	Definição do problema	2
2.2	Revisão bibliográfica	2
2.2.1	Giroscópio e os Ângulos de Euler	2
2.2.2	Plataformas estabilizadoras	3
2.3	Modelo físico	3
2.3.1	Elementos de análise	4
2.3.2	Hipóteses simplificadoras	4
	REFERÊNCIAS	5

1 Introdução

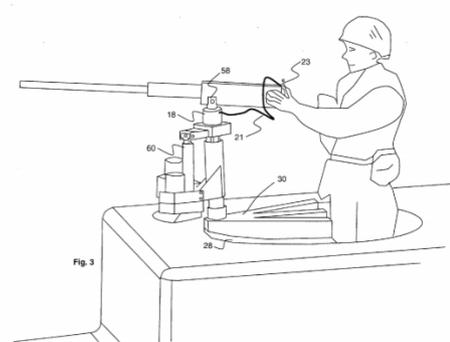
Plataformas inercialmente estabilizadas são mecanismos que têm como finalidade isolar algum objeto de um movimento externo. Em particular uso, foi muito desenvolvida para a manutenção da direção de antenas em submarinos, uma vez que eles estavam sujeitos a movimentos das ondas do mar (LEGHMIZI; LIU, 2011). No entanto, essa tecnologia, que já é usada há aproximadamente 100 anos, se mostra promissora em outros segmentos da sociedade (HILKERT, 2008), como mostra a figura 1a. Esse vasto campo de aplicação de componentes estabilizadores é devido à importância que a estabilidade de algum elemento pode significar para o funcionamento do sistema como um todo.

No campo científico, pode-se citar seu uso em diversos telescópios com um controle de estabilidade que garante o foco em astros a milhares de quilômetros de distância, o que permite um aumento considerável na comunicação entre o espaço e a Terra (JACKA et al., 2017); militarmente, existem diversas plataformas para estabilização de armas e sua consequente utilização remota; comercialmente, podem-se encontrar controladores de estabilidade em diversos dispositivos portáteis, como em câmeras e filmadoras (NEGRO; GRIFFIN, 2006).

Já no campo corporativo, existem empresas que trabalham diretamente ou indiretamente com esse ramo. A *LORD Microstrain[®] Sensing Systems*, por exemplo, é uma empresa que fornece sensores para mecanismos robóticos e trabalha com uma linha voltada para plataformas estabilizadoras (MICROSTRAIN, 2015). Outros modelos também já foram desenvolvidos até mesmo em patentes, como a *US 2008.0034954A1*, ilustrada na figura 1b que possui aplicações em câmeras, sensores e armas em movimento nos diversos veículos (GROBER, 2008).



(a) Exemplos de aplicação de plataformas estabilizadoras. Extraído de Leghmizi e Liu (2011)



(b) Ilustração de uma das aplicações da patente. Fonte: Grober (2008)

Figura 1 – Ilustrações sobre plataformas estabilizadoras

2 Plataforma estabilizadora

2.1 Definição do problema

Neste trabalho será modelada **uma plataforma com três graus de liberdade composta por dois aros retangulares externos à plataforma (suportes cardan) que será posteriormente estabilizada**. Sua utilização será na estabilização, em carros, de transmissores ou receptores que precisam estar sempre voltadas para o mesmo ponto, evitando assim a perda de sinal ou falha na transmissão de dados.

2.2 Revisão bibliográfica

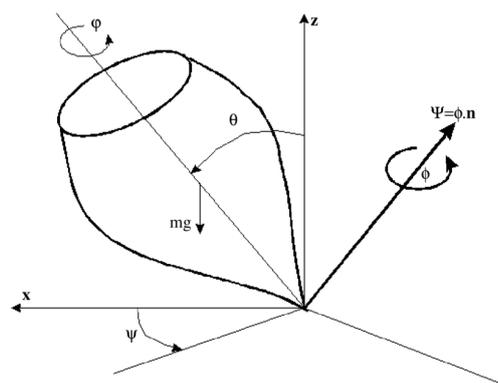
2.2.1 Giroscópio e os Ângulos de Euler

Como dito no capítulo 1, a modelagem desse sistema possui diversas aplicações, ainda mais quando integrada com aplicações com giroscópio, regidas pelos ângulos de Euler.

Como propriedade, a inércia giroscópica faz com que o eixo de rotação tenda a conservar sua direção com relação ao ponto fixo que define o referencial ([JUNIOR, 2014](#)). Dado que o giroscópio está em constante movimento, um referencial baseado em coordenadas cartesianas pode não ser o mais eficiente para descrever o movimento realizado. Todavia, dado que o giroscópio movimenta-se ao redor de um ponto fixo, é conveniente representá-los através dos ângulos de Euler ([ABRAHAO; MARCONI, 1975](#)).

A representação através dos ângulos de Euler consiste na representação de um vetor através de versores dependentes dos ângulos de rotação (φ), de precessão (ψ), e de nutação (θ), conforme a figura 2.

Figura 2 – Exemplo de ângulos de Euler



Fonte: [Trindade \(1996\)](#)

2.2.2 Plataformas estabilizadoras

Utilizando apenas dois dos três ângulos de Euler, uma proposta de controle para uma plataforma estabilizadora foi feita, no sistema de inspeção de uma linha de energia aerotransportada (ZHOU; ZHANG; YU, 2014). O objetivo, nesse caso, era desenvolver um sistema inverso dos estados do sistema medidos, considerando efeitos não lineares e de acoplamento.

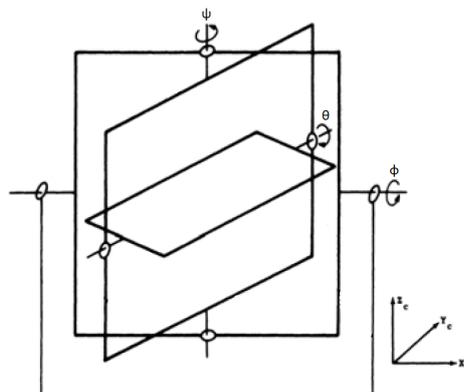
No entanto, esse não é um problema recente. A combinação de uma plataforma já com os três graus de liberdade e uma integração com o sistema e controle de servos (BARNES, 1971) foi utilizada para implementação em um sistema de medição de movimentos de um veículo. A partir de uma plataforma dentro de dois suportes com três acelerômetros (um para cada ângulo de Euler), foi possível a modelagem da estabilização do componente alvo, a partir de torques como entradas forçantes no sistema. Em específico, essa análise foi feita com um sistema de 12ª ordem, visto que além dos ângulos de Euler, havia, também os ângulos do giroscópio.

Para mitigar os erros de turbulências e incertezas de medição, também foi proposta uma outra modelagem utilizando conceitos de inteligência artificial e aprendizado de máquinas em uma plataforma estabilizadora com três graus de liberdade. A modelagem também foi feita utilizando a mecânica de Newton-Euler, com os três ângulos de Euler, a fim de promover uma comparação entre o modelo de controle tradicional PID e um por redes neurais. Como conclusão, o erro de rastreamento foi reduzido em 80% (FANG; YIN; LEI, 2015).

2.3 Modelo físico

Na figura 3 está representado como será o modelo físico do projeto, como descrito na seção 2.1.

Figura 3 – Esquema do Modelo Físico



Fonte: Said e Latifa (2011)

2.3.1 Elementos de análise

Os elementos que compõem o sistema consistem na plataforma, suporte cardan interno, suporte cardan externo e base (fixa no veículo no qual está instalada a plataforma estabilizadora). Os ângulos de Euler respectivos a cada elemento são: θ , ψ e ϕ como se pode observar na figura 3. O sistema é, portanto, de 6^a ordem, pois envolve as segundas derivadas no tempo dos ângulos de Euler: $\ddot{\theta}$, $\ddot{\psi}$ e $\ddot{\phi}$. Os sensores são os giroscópios e acelerômetros e os atuadores são servos-motores que aplicam torques restauradores de acordo com dados colhidos pelos sensores para estabilizar a plataforma. As entradas por sua vez correspondem aos movimentos externos, ou seja, os movimentos nos quais a base está submetida e gera torques nos suportes e na plataforma. O sistema responde a esses esforços gerando torques contrários para estabilizar o sistema.

Os vínculos (anéis) entre a plataforma e o suporte cardan interno, entre o suporte cardan interno e externo, e entre o suporte cardan externo e a base apresentam atrito.

2.3.2 Hipóteses simplificadoras

Assim, adotaremos as seguintes hipóteses para modelagem do mecanismo simplificado:

- todos os suportes e a plataforma são considerados corpos rígidos ideais;
- a plataforma é considerada o único elemento com massa e inércia consideráveis;
- todos os vínculos cinemáticos permitem movimento relativo de um grau de liberdade entre dois componentes;
- os atritos dos anéis são modelados como amortecedores viscosos lineares em função das velocidades angulares respectivas;
- o sistema é linearizado ao redor da posição de equilíbrio estável;
- as únicas entradas são os deslocamentos angulares aplicados pela base, resultantes do movimento do veículo no qual a plataforma estabilizadora está instalada. Essas, por sua vez, não estão presentes nas saídas do sistema (matriz 'D' nula).

Referências

- ABRAHAO, I. O.; MARCONI, A. *As fórmulas de Euler em projeção estereográfica e seu significado físico no levantamento de indicatrizes óticas*. 1975. Citado na página 2.
- BARNES, F. N. Stable member equations of motion for a three-axis gyro stabilized platform. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, IEEE, n. 5, p. 830–842, 1971. Citado na página 3.
- FANG, J.; YIN, R.; LEI, X. An adaptive decoupling control for three-axis gyro stabilized platform based on neural networks. *Mechatronics*, Elsevier, v. 27, p. 38–46, 2015. Citado na página 3.
- GROBER, D. E. *Stabilizing mount for hands-on and remote operation of cameras, sensors, computer intelligent devices and weapons*. [S.l.]: Google Patents, 2008. US Patent App. 11/343,711. Citado na página 1.
- HILKERT, J. Inertially stabilized platform technology concepts and principles. *IEEE control systems magazine*, IEEE, v. 28, n. 1, p. 26–46, 2008. Citado na página 1.
- JACKA, N. et al. Design of stabilized platforms for deep space optical communications (dsoc). In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Free-Space Laser Communication and Atmospheric Propagation XXIX*. [S.l.], 2017. v. 10096, p. 100960P. Citado na página 1.
- JUNIOR, H. C. de S. *Modelagem, simulação e controle de um giroscópio*. 2014. Projeto de Graduação, UFRJ (Escola Politécnica), Rio de Janeiro, Brazil. Citado na página 2.
- LEGHMIZI, S.; LIU, S. A survey of fuzzy control for stabilized platforms. *arXiv preprint arXiv:1109.0428*, 2011. Citado na página 1.
- MICROSTRAIN. *Platform Stabilization on Dynamic Vehicles*. 2015. Disponível em: <<https://www.microstrain.com/sites/default/files/Platform.pdf>>. Citado na página 1.
- NEGRO, J.; GRIFFIN, S. *Inertially Stabilized Platforms for Precision Pointing Applications to Directed-Energy Weapons and Space-Based Lasers (Preprint)*. [S.l.], 2006. Citado na página 1.
- SAID, L.; LATIFA, B. Modeling and control of mechanical systems in simulink of matlab. *Applications of MATLAB in science and engineering*. UK: InTech, p. 317–335, 2011. Citado na página 3.
- TRINDADE, M. *Uma introdução à dinâmica de sistemas multicorpos*. 1996. Citado na página 2.
- ZHOU, X.; ZHANG, H.; YU, R. Decoupling control for two-axis inertially stabilized platform based on an inverse system and internal model control. *Mechatronics*, Elsevier, v. 24, n. 8, p. 1203–1213, 2014. Citado na página 3.