

Simulador de Manobras de Atracação de Satélites Dotados de Manipuladores Robóticos

NARDIN, A. B.¹, ROCCO, E. M.²

^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

¹Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais/Mecânica Espacial e Controle – ETE/CMC.

anderson.nardin@inpe.br

Resumo. *Este trabalho trata da modelagem de um sistema robótico em ambiente espacial, levando em consideração as perturbações causadas à atitude do satélite decorrentes de torques gerados pelo acionamento dos mecanismos robóticos na fase de atracação (berthing) entre satélites artificiais. O movimento da base do robô, em virtude do reposicionamento do satélite por meio de seus atuadores, altera dinamicamente a distância do ponto meta. A mitigação dos erros de posicionamento, gerados pelos movimentos do satélite artificial e aqueles oriundos dos movimentos do aparato robótico, nos possibilita uma visão mais clara sobre as estratégias necessárias para o uso futuro desta tecnologia. A análise realizada sugere que a elaboração de modelos que contemplem a correção dinâmica de erros de posicionamento e operação simultânea, bem como cooperativa, dos sistemas de controle do satélite artificial e do robô proporciona vantagens em missões deste tipo.*

Palavras-chave: Controle; Robótica; Dinâmica de Satélites.

1. Introdução

Missões espaciais que utilizaram robôs tiveram grande importância. Projetos utilizando manipuladores espaciais foram propostos e desenvolvidos nas últimas décadas.

Robôs, quando corretamente projetados, são muito eficientes e normalmente apresentam grande precisão na execução de suas tarefas. Assim, em virtude de suas características, a aplicação de tecnologia robótica em ambiente espacial mostra ser uma alternativa atraente.

Neste trabalho, propõe-se o uso de um manipulador robótico servindo como ferramenta a contribuir com a efetivação do acoplamento entre satélites, ou seja, o manipulador representa uma alternativa de atuador com o propósito de reposicionar os satélites envolvidos na manobra. Porém, a análise se concentra na atracação.

Para executar serviços em órbita em missões do tipo montagem de grandes unidades, reabastecimento de estações e plataformas orbitais, troca de tripulação entre veículos, reparo de satélites em órbita, união de veículos espaciais em missões lunares e planetárias, entre outras, é imprescindível o domínio das técnicas de rendezvous

(aproximação de dois veículos), docking (acoplamento) e berthing (atracação), bem como do controle de atitude.

É, portanto, fundamental que investiguemos as perturbações causadas à atitude do satélite em decorrência da atuação do braço robótico acoplado. Neste sentido, nos concentraremos na análise dos torques perturbadores, por vezes chamados de torques externos, visto que a base do robô não pode ser considerada, para fins de posicionamento preciso, como sendo de um sistema inercial (sem movimento).

Em virtude dos movimentos realizados pelo manipulador, acoplado estruturalmente ao satélite, torques perturbarão a atitude do satélite. As alterações na orientação do satélite, igualmente, interferem no posicionamento do robô.

Segundo [Ellery 2000] o termo “robótica espacial” está aberto a interpretações. Quando se fala em veículos espaciais robóticos pode-se referir a sondas de espaço profundo, por exemplo, por conta de sua natureza autônoma, ou veículos de exploração planetária (planetary rovers). Portanto, é importante que façamos a seguinte diferenciação: a robótica espacial apresenta aplicações diferentes dependendo do ambiente, sendo notória a distinção feita quanto ao uso em órbita e em superfície.

Neste trabalho, nos concentraremos na aplicação robótica em órbita para realização de serviços ou, mais especificamente, manobras de atracação, nas quais o manipulador, acoplado a um satélite, procura agarrar-se a um elemento de outro satélite. São usados, sem distinção, os termos: robô, braço mecânico, mecanismo robótico, manipulador, manipulador robótico.

O órgão terminal é um dispositivo fixado à extremidade do manipulador e que permite a um robô de finalidades gerais realizar uma tarefa específica [Groover et al. 1989]. Por exemplo, uma garra, maçarico ou furadeira.

Existem características únicas encontradas na dinâmica de robôs espaciais. Dependendo do movimento realizado pelo braço manipulador, a espaçonave, que serve de base, se move devido ao princípio de ação e reação. A reação do braço perturba seu apoio, portanto, a coordenação entre o braço e a base torna-se uma questão importante [Yoshida 2000].

O ambiente espacial introduz um fator complicador aos sistemas robóticos que não é aparente na Terra. A base do manipulador não é fixa no espaço então o sistema de referência não pode ser considerado fixo com relação a espaçonave. Isto introduz um alto grau de complexidade à dinâmica do manipulador [Ellety 2000].

À medida que o braço se movimenta ao longo do tempo, os momentos de inércia do conjunto formado com o satélite se alteram. Deste modo, deve-se calcular os momentos de inércia do arranjo formado pela composição do satélite, base, mais o braço robótico a cada passo da simulação. Este arranjo também apresentará um centro de massa dependente da configuração do braço, tal centro de massa será calculado, igualmente, a cada passo da simulação.

A modelagem matemática do arranjo formado pelo braço robótico e satélite leva a evidências da real existência de uma problemática envolvendo a movimentação de atuadores robóticos durante a fase de atracação (berthing) entre satélites ou durante a execução de serviços em órbita. Tendo em mente a forma como os sistemas individuais do satélite-robô (sistema formado pela associação do satélite artificial com o manipulador robótico) estão acoplados e se interferem mutuamente, a atuação conjunta e cooperativa dos sistemas de controle do braço robótico e do satélite mostra-se como uma abordagem promissora na mitigação dos erros de posicionamento do órgão terminal do manipulador e digna de estudo.

A análise do conjunto formado por satélite e robô mostra sua aplicação como uma alternativa para solucionar o problema da atitude não sincronizada entre satélites com os quais se deseja realizar serviços em órbita ou um possível acoplamento, passando primeiramente pela fase de atracação.

Como trabalhos notórios neste campo podemos citar os seguintes:

[Papadopoulos and Moosavian 1994] estudaram o controle de movimento de um robô livre no espaço e com múltiplos manipuladores perseguindo um corpo próximo. O movimento do centro de massa foi usado para descrever a translação do robô espacial em relação a um sistema de referência inercial.

[Yoshida 2000, 2003] ratifica conceitos importantes ensaiados e executados nos experimentos ETS-VII, incluindo o tratamento dado aos movimentos de atitude do satélite, base do manipulador robótico.

[Ellery 2000] elabora estudos sobre a dinâmica de satélites equipados com manipuladores robóticos. Em especial, em seu capítulo sétimo, cita diversos trabalhos nos quais as diferentes formulações da dinâmica robótica foram testadas levando em conta a eficiência computacional de cada uma.

[Matsumoto et al. 2003] desenvolveram um método de aproximação e captura de um veículo alvo não-cooperativo. No trabalho, propõe-se que um satélite perseguidor se aproxime do alvo e, tendo obtido êxito na manobra de aproximação, realize a tarefa de captura usando um manipulador.

Este trabalho, tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de manipulador robótico acoplado a um satélite artificial, simulando uma possível manobra de atracação entre satélites.

2. Metodologia

Foi desenvolvido um simulador que considera o movimento do braço robótico e seus torques como perturbadores da atitude do satélite, neste caso compreendido como base do arranjo. O satélite possui um sistema de controle que reage às perturbações oriundas do manipulador. Tal reação reposiciona a base do braço e, por consequência, altera a distância ao ponto meta, ponto ao qual deseja levar o órgão terminal do manipulador.

Logo, o controle cíclico entre satélite e robô converge para que se alcance o ponto meta. Essa abordagem permite que seja simulado e controlado, em malha fechada, o movimento do satélite-robô. A atitude do satélite pôde ser obtida a cada passo da simulação definida no SAS (Satellite Attitude Simulator) desenvolvido em [Rocco 2008] e [Rocco et al 2011].

O controle do satélite, ao qual um manipulador encontra-se acoplado, é um dos maiores desafios em se tratando de serviços em órbita. O movimento do manipulador induz torques de reação em sua base. Tais torques afetam a atitude do satélite [Seweryn et al. 2011]. Tendo em vista a dificuldade inerente ao controle do satélite artificial, os torques do manipulador são tratados como perturbações do sistema de controle de atitude do satélite.

As animações do manipulador robótico utilizam o pacote Robotics Toolbox for MATLAB (Release 9) de [Corke 2011], porém, com modificações implementadas.

O movimento do braço robótico perturba a atitude do satélite que reage a esta perturbação por meio do sistema de controle de atitude que, por sua vez, perturba o posicionamento do órgão terminal do robô. A atuação do controle de atitude tem por objetivo corrigir a orientação do satélite compensando o efeito devido à movimentação do braço. Dada a complexidade do arranjo, o modelo desenvolvido simula o controle simultâneo dos movimentos do satélite e do braço robótico considerando os torques aplicados, o deslocamento dos centros de massa e, ainda, a evolução dos momentos de inércia ao longo do tempo.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra o manipulador robótico no término de seu movimento, alcançando a posição desejada, ponto meta.

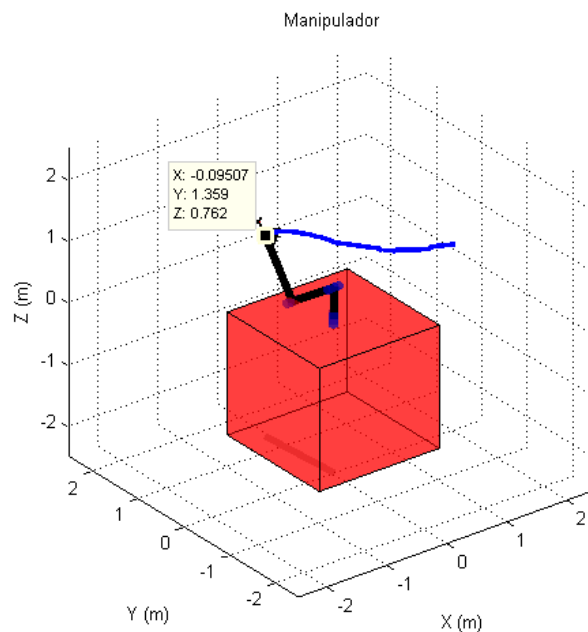


Figura 1. Manipulador com satélite de base. [Nardin 2015]

Os gráficos que seguem representam os resultados da simulação. Na Figura 2, é evidenciado o tempo no qual a última junta interrompe seu movimento, posicionando o órgão terminal no ponto meta.

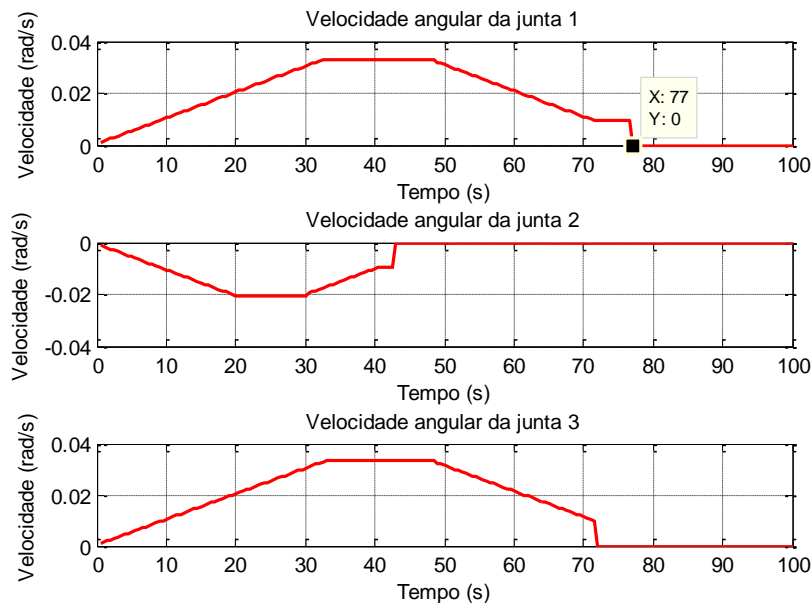


Figura 2. Velocidades angulares das juntas. [Nardin 2015]

O sistema de controle de atitude do satélite esteve incumbido de manter a atitude inicial, o tempo para que as juntas levassem o órgão terminal ao ponto meta foi de 77,0 segundos.

4. Conclusão

Os resultados aqui apresentados são diretamente orientados à manobra de atracção, porém o entendimento obtido pode ser estendido para a realização de serviços em órbita, como uma rotina de soldagem, por exemplo, que consistem na busca de sucessivos pontos meta na execução da tarefa. Para a execução deste tipo de tarefa, é necessário domínio da dinâmica de contato.

Em suma, foi obtido êxito na modelagem do mecanismo robótico integrável ao simulador de atitude de satélites, provendo resultados acerca do controle aplicado em missões de atracção. Por meio da simulação, foi possível a investigação de características importantes das manobras, como o tempo de manobra.

Concluindo, cumpriu-se o objetivo desenvolvimento de um modelo de manipulador robótico acoplado a um satélite artificial, simulando uma possível manobra de atracção entre satélites. Foi elaborada uma plataforma com a qual pôde ser criado um modelo de manipulador vinculado à um modelo de satélite artificial, servindo de ferramenta na análise das manobras de atracção.

Agradecimentos: Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela colaboração com este projeto.

Referências

- Corke, P.I. (2011). *Robotics, vision & control: fundamental algorithms in MATLAB*. Queensland: Springer. 570 p.
- Ellery, A. (2000). *An introduction to space robotics*. Chichester. UK: Springer-Praxis Publishers. 672 p. ISBN (978-1-85233-164-1).
- Groover, M.P.; Weiss, M.; Nagel, R.N.; Odrey, N.G. (1989). *Robótica: tecnologia e programação (Edição esgotada)*. São Paulo: McGraw-Hill. 401 p.
- Matsumoto, S.; Dubowsky, S.; Jacobsen, S.; Ohkami, Y. (2003). Fly-by approach and guidance for uncontrolled rotating satellite capture. In: *AIAA GUIDANCE, NAVIGATION AND CONTROL CONFERENCE AND EXHIBIT, 2003*, Austin. Proceedings... Austin, Texas: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Nardin, A. B. (2015). *Análise de manobras de atracação de satélites dotados de manipuladores robóticos*. 181 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.18.23.42-TDI). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J259P2>>. Acesso em: 02 dez. 2016.
- Papadopoulos, E. and Moosavian, S. (1994). Dynamics & control of multi-arm space robots during chase & capture operations. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 1994*, Munich. Proceedings... Munich, Germany: [s.n.].
- Rocco, E. M. (2008). Perturbed orbital motion with a PID control system for the trajectory. In: *Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 14.*, 2008, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: ABCM.
- Rocco, E. M.; Costa Filho, A. C; Carrara, V. (2011). Effect of the coupling between attitude and orbital control in maneuvers using continuous thrust. *Minissimpósio: Aerospace Engineering*. In: *CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES, 10.*, 2011, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: [s.n.].
- Seweryn, K.; Banaszekiewicz, M; Maediger, B.; Rybus, T.; Sommer, J. (2011). Dynamics of space robotic arm during interactions with non-cooperative objects. In: *ESA WORKSHOP ON ADVANCED SPACE TECHNOLOGIES FOR ROBOTICS AND AUTOMATION (ASTRA 2011)*, 11., 2011, Noordwijk. Proceedings... Noordwijk, The Netherlands: [s.n.].
- Yoshida, K. (2000). Space robot dynamics and control: to orbit, from orbit, and future. In: *International Symposium of Robotics Research (ISRR), 9.*, 1999, Snowbird. Proceedings... Snowbird, Utah: Springer. p. 449-456.
- Yoshida, K. (2003). ETS-VII Flight experiments for space robot dynamic and control: theories on laboratory test beds ten years ago, now in orbit. *International Journal of Robotics Research*, v. 22, n. 5, p. 321-335