

Uma Estratégia para Validar Plano de Operação de Vôo de Satélites do INPE

Primavera Botelho de Souza¹, Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira², José Demisio Simões da Silva³, Ana Maria Ambrosio⁴

¹³Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) C. Postal: 515 CEP: 12245-970 São José dos Campos – SP –Brasil.

²Centro de Rastreo e Controle de Satélites – CRC - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) C. Postal: 515 CEP: 12245-970 São José dos Campos – SP –Brasil.

⁴Divisão de Desenvolvimento de Sistemas de Solo – DSS - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) C. Postal: 515 CEP: 12245-970 São José dos Campos – SP –Brasil.
prima@laser.inpe.br, mauricio@ccs.inpe.br, demisio@lac.inpe.br,
ana@dss.inpe.br

***Abstract.** This paper presents a strategy for validation of an automatic satellite flight operation plan operated by INPE. Part of the strategy is based on a validation tool that applies software agent technology aiming to maintain the integrity of the satellite. The strategy is in line with the recommendations of major international spaces agencies for safety autonomous AI-based space systems.*

***Resumo.** O presente artigo apresenta uma estratégia para validação de um plano automático de operação de vôo dos satélites operados pelo INPE. Parte da estratégia baseia-se em uma ferramenta de validação que aplica tecnologia de agente de software com o objetivo de manter a integridade do satélite. A estratégia está em conformidade com as recomendações das principais agências espaciais internacionais para segurança de sistemas espaciais autônomos baseados em planejamento usando Inteligência Artificial.*

1. Introdução

Satélites e veículos espaciais, nem sempre podem ser tele-operados devido a limites impostos por aspectos operacionais [Brat et al. 2006]. Longas distâncias, limites nos canais de comunicação e altos custos operacionais por causa da necessidade de mão-de-obra especializada são limitantes decorrentes das operações tradicionais. Uma tendência dos sistemas espaciais, para minimizar tais restrições é o aumento da autonomia operacional, uma vez que as aplicações espaciais podem ser beneficiadas enormemente com a implantação de sistemas autônomos.

No entanto, a própria definição de sistemas chamados “autônomos”, refere-se à possibilidade de alteração no comportamento deles em resposta a um evento imprevisto durante uma operação. Sendo assim, apesar da capacidade desses sistemas ter expandido de forma significativa nos últimos anos, ainda existe uma resistência na utilização desses sistemas. Parte desta resistência está, não somente na dúvida quanto ao uso das novas tecnologias, mas também, está relacionada à confiabilidade, previsibilidade e segurança dos sistemas autônomos. Este aumento da autonomia pode levar à

desconfiança do comportamento do sistema em contraposição ao bem conhecido e rotineiro sistema manual. No INPE, sistemas operacionais autônomos empregando técnicas de planejamento baseado em Inteligência Artificial estão sendo desenvolvidos para controlar e monitorar satélites, mas ainda requerem um avanço em confiabilidade para se tornarem operacionais. Dentre estes sistemas, utiliza-se como estudo de caso um plano automático de operações de vôo de satélites a ser executado em solo, gerado por um planejador baseado em IA.

Com o objetivo de alcançar este avanço em confiabilidade, uma estratégia para validação de um plano automático de operações de vôo é apresentada. Trata-se de uma arquitetura formada por componentes de software, que resulta da combinação de avançadas técnicas de verificação e validação (V&V) propostas pelas principais agências espaciais internacionais interessadas em validar sistemas de software autônomos baseados em planejamento utilizando IA, com mecanismos adicionais, que inclui ainda a definição de uma base de conhecimento baseada em uma arquitetura multiagente neural, visando aumentar a robustez e previsibilidade a fim de garantir a integridade dos sistemas que operam satélites.

2. Plano Automático de Operação de Vôo de Satélites do INPE

Projetos espaciais de exploração interplanetária desenvolvidos pelas principais agências internacionais têm utilizado ferramentas baseadas em técnicas de planejamento e escalonamento em IA para desenvolver aplicações espaciais autônomas [Kucinskis 2007].

As técnicas de planejamento utilizam agentes de software que agem num ambiente com base em objetivos, selecionando as ações através de mecanismos de busca ou utilizando critérios lógicos [Russell e Norvig 2004]. No entanto, muitos problemas do mundo real exigem consideração sobre a ordem em que as ações devam ser executadas para satisfazer a um determinado critério de otimização. Neste caso são empregadas também técnicas de escalonamento em IA, que se destina a tratar o problema de seqüenciamento de ações ou tarefas.

No INPE, estão sendo realizados estudos recentes em planejamento baseado em IA, visando o desenvolvimento de ferramentas capazes de automatizar as tarefas de controle das operações de solo. O sistema de Planejamento Inteligente de Planos de Operação de Vôo (PlanIPOV) [Cardoso et al. 2006], utiliza técnicas de planejamento temporal da IA (planejador temporal) na geração automática de planos de operação de vôo (POVs) para o suporte às atividades de controle de satélites em órbita.

3. Estratégias para Validação das Aplicações Espaciais Autônomas Baseadas em IA

Os desafios crescentes em relação à segurança, previsibilidade e confiabilidade das aplicações espaciais autônomas baseadas em IA, motivaram a ESA a coordenar um projeto com o propósito de investigar continuamente as medidas para garantia do produto de software para aplicação espacial, que utiliza técnicas avançadas em IA. O SPAAS (*Software Product Assurance for Autonomy on-board Spacecraft*) resultou de uma parceria entre os diversos centros de pesquisa e tecnologia europeus.

Após análise das normas e padronizações utilizadas foram recomendados procedimentos aplicáveis às atividades de teste, voltados ao tratamento de situações imprevistas. São eles: a utilização de testes exaustivos de simulação e o uso de técnicas de

monitoramento de segurança através do desenvolvimento de dois componentes de software: o verificador de plausibilidade (*plausibility checker*) e o filtro de segurança (*safety bag*) [Blanquart et al. 2004].

O verificador de plausibilidade (*plausibility checker*) tem como função suportar e complementar a validação do software autônomo de solo, especialmente no controle dos procedimentos de bordo antes de serem enviados para execução real. A arquitetura geral e a forma como atua esse componente é apresentada na Figura 1.

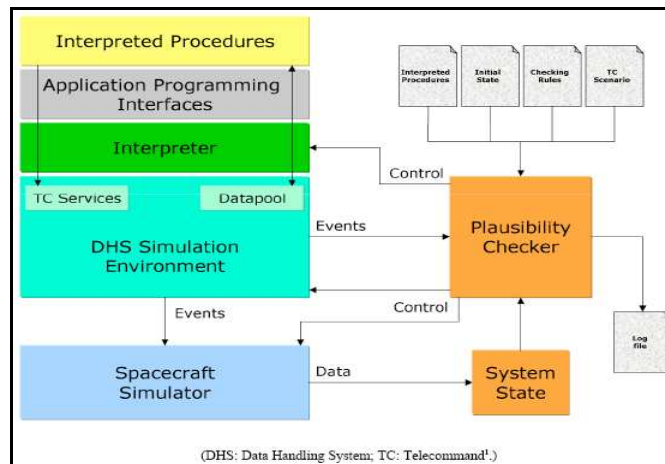


FIGURA 1. Arquitetura do verificador de plausibilidade.

FONTE: Blanquart et al. (2004), p. 5.

O segundo componente de software é o *safety bag*, que consiste em um filtro de segurança embarcado, com o propósito de realizar um monitoramento para preservação da integridade do sistema, sendo responsável por autorizar ou não a execução de comandos elaborados pelo software autônomo de bordo, ou comandos enviados por aplicações diversas embarcadas ou vindos de solo. A arquitetura e a forma de atuação do *safety bag* está descrita na Figura 2.

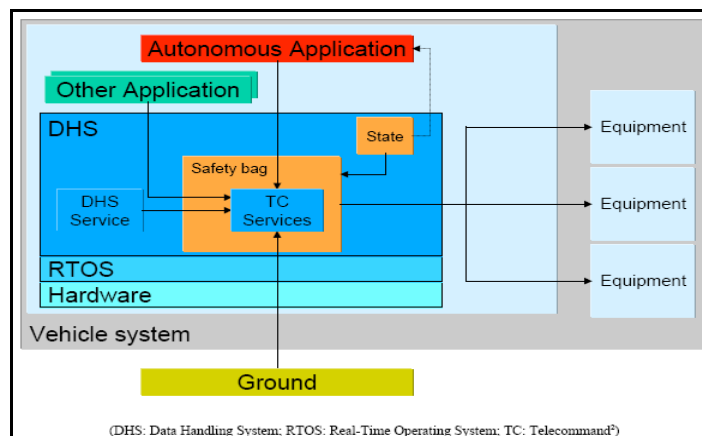


FIGURA 2. Arquitetura do filtro de segurança.

FONTE: Blanquart et al. (2004), p. 6.

O resultado obtido com o desenvolvimento dos dois componentes genéricos de software, o *safety bag* e o *plausibility checker* reafirma a necessidade deles serem utilizados e instanciados nos diversos projetos espaciais reais para cumprir o suporte à segurança e confiabilidade.

4. Validador de Planos

O Validador de Planos consiste em uma arquitetura composta de vários componentes de software (Figura 3.) concebidos como resultado de uma estratégia para validação de um plano automático de operação de vôo (POV) dos satélites do INPE a ser executado em solo (vide seção 2). O objetivo da estratégia de validação é manter a integridade do satélite, para isto, a concepção da arquitetura segue as recomendações das principais agências espaciais internacionais para segurança de sistemas autônomos baseados em planejamento usando Inteligência Artificial (vide seção 3).

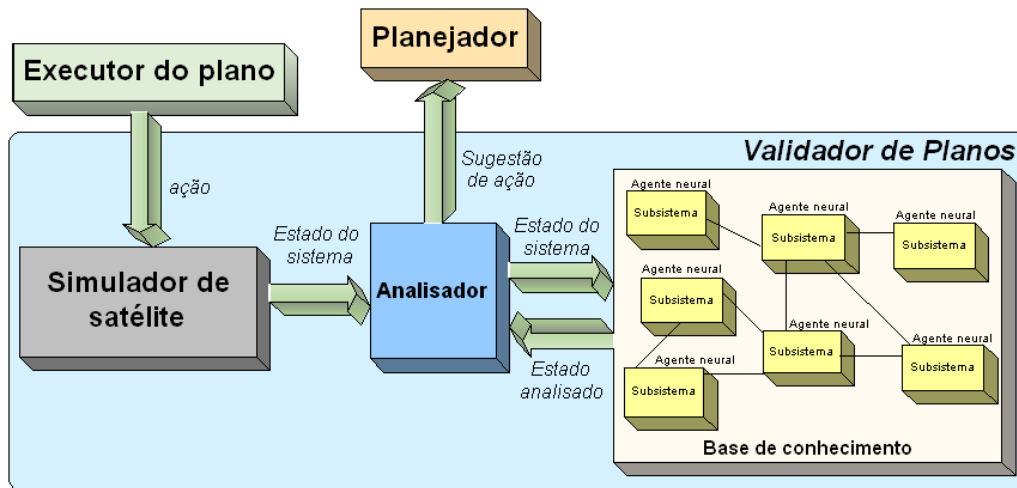


FIGURA 3. Validador de POVs gerados pelo planejador.

A partir de uma execução *off-line* do POV gerado, cada ação do plano é executada e uma simulação do comportamento do satélite é realizada pelo simulador de satélite. O simulador representa um satélite virtual, com modelos simplificados e, que constitui parte da estratégia de validação do POV gerado [Tominaga et al. 2008].

O simulador retorna para uma interface chamada Analisador, parâmetros contendo o estado do sistema resultante da execução da ação do plano. Ao receber o estado do sistema resultante da execução da ação, o analisador envia para a base de conhecimento, que retornará o estado do sistema analisado para que o analisador envie sugestões de ação para o planejador.

Sendo parte relevante da estratégia, a base de conhecimento do Validador de Planos consiste em uma arquitetura distribuída projetada sobre agentes, onde cada agente é um modelo do subsistema da plataforma, que possui um grau de fidelidade superior ao equivalente implementado no simulador, que fornece dados mais brutos.

Ao receber parâmetros base relativos ao subsistema, cada agente-subsistema realizará uma análise, devolvendo o estado analisado. Em seguida, cooperativamente, o estado retornado de cada subsistema atualizará o estado de um único agente responsável por coletar todos os estados analisados pelos agentes-subsistemas. A base de conhecimento, então, retorna o estado analisado por todos os agentes (vide Figura 3).

Em comparação com as arquiteturas propostas pelo projeto SPAAS (vide seção 3), a estrutura do Validador assemelha-se bastante a estrutura do verificador de plausibilidade (*plausibility checker*) [Blanquart et al. 2004]. No entanto, difere de forma significativa na idéia de construção da base de conhecimento (vide seção 3). O que foi proposto por Blanquart et al. (2004) consiste em uma base de conhecimento estática, baseada em regras. Enquanto o que está sendo proposto para o Validador de Planos é uma base

dinâmica no sentido de ter um conjunto de agentes trabalhando de forma cooperativa para avaliar o impacto do plano. A arquitetura do Validador também se assemelha, em parte, à arquitetura do filtro de segurança (*safety bag*), pelo fato de agentes especialistas realizarem filtragem (análise), mas difere por ser esta análise das ações do plano realizada em tempo real.

5. Considerações Finais

A motivação para esse estudo encontra-se na possibilidade de tornar-se um método eficaz de validação de um POV gerado para execução em solo, possibilitando o uso seguro de planos de operação de vôo gerados automaticamente por um planejador. E, assim contribuir de forma efetiva para o desenvolvimento de projetos futuros de automatização baseada em IA das operações espaciais de solo e de bordo dos satélites do INPE. O objetivo final deste trabalho é fornecer diretrizes para incorporar o uso dessa nova tecnologia ao programa de satélites do INPE, com a adoção de procedimentos compatíveis aos utilizados nas missões das principais agências espaciais internacionais.

6. Referências Bibliográficas

- Blanquart, P., Fleury, S., Hernek, M., Honvault, C., Ingrand, F., Poncet, J. C., Powell, D., Strady-Lécubin, N., and Thévenod-Fosse, P. Software Safety Supervision On-board Autonomous Spacecraft. In 2nd European Congress on Embedded Real Time Software (ERTS-2), Toulouse, France, 2004, 11p.
- Brat, G., Denney, E., Farrell, K., Giannakopoulou, D., Jonsson, A., Frank, J., Boddy, M., Carpenter, T., Estlin, T., and Pivtoraiko, M. A Robust Compositional Architecture for Autonomous Systems. In Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. Big Sky, MT, March 2006.
- Cardoso, L. S., Ferreira, M. G. V., and Orlando, V. An Intelligent System for Generation of Automatic Flight Operation Plans for the Satellite Control Activities at INPE. In Proceedings of the 9th International Conference on Space Operations, Rome, Italy, June 2006.
- Kucinskis, F. N. Alocação Dinâmica de Recursos Computacionais para Experimentos Científicos com Replanejamento Automatizado a Bordo de Satélites. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. INPE, 2007.
- Russell, S. and Norvig, P. Inteligência Artificial, Tradução da 2a. Edição, Editora Campus, 2004.
- Tominaga, J., Silva, J. D. S., Ferreira, M. G. V., A Proposal for Implementing Automation in Satellite Control Planning. International Committee on Technical Interchange for Space Mission Operations and Ground Data Systems (SpaceOps) Conference 2008, AIAA, Heidelberg, Germany, May 12-16, 2008.