



Modelagem da Missão de Patrulha Marítima com MBSE e *State Machine* em apoio às Simulações e à Otimização de Arquiteturas no Projeto Virtual Demonstrator

Leonan Entringer Falqueto¹, Emilia Villani¹ e Christopher Shneider Cerqueira¹

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Resumo — O Projeto Virtual Demonstrator (VD) tem como objetivo estruturar cenários operacionais em uma arena de simulação construtiva para testar as tecnologias desenvolvidas na cooperação Brasil Suécia *Air Domain Study* de forma conjunta e simultânea. Um dos cenários propostos é a execução da missão de Patrulha Marítima com uso de *Unmanned Air Vehicles*, o qual será estudado por meio da metodologia de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelo (MBSE) Arcadia. O comportamento dos entes será modelado por eventos discretos (autômatos ou máquinas de estado) utilizando os diagramas *statechart* da ferramenta Capella. Os efeitos serão mensurados na simulação construtiva obtida com o VR Forces. Como o Capella ainda não possui a capacidade de simulação simbólica, uma modelagem inicial foi elaborada com a ferramenta UPPAAL. Após a modelagem da missão e a integração com a simulação construtiva, objetiva-se analisá-la e otimizar a respectiva arquitetura, considerando algumas medidas de eficiência e restrições típicas dessa atividade operacional.

I. INTRODUÇÃO

A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (*Model Based System Engineering* – MBSE) é a aplicação formalizada de modelagem para apoiar a definição de requisitos, o projeto, a análise, as atividades de verificação e validação de um sistema, começando na fase de projeto conceitual e continuando através do desenvolvimento e fases posteriores do ciclo de vida [1]. Na abordagem MBSE, o modelo constitui um artefato primário do processo de engenharia de sistemas. A utilização de modelos facilita a reutilização e oferece o potencial para melhorar a qualidade do produto por meio de otimização [1][2].

Em [3] foi utilizada a metodologia OOSEM para modelar missões típicas de vigilância, construindo-se uma arquitetura inicial de Sistemas de Sistemas (*System of Systems* – SoS) de meios espaciais e aeronáuticos que foi posteriormente otimizada. Outras aplicações semelhantes de construção de arquiteturas por meio de MBSE e a respectiva otimização são encontradas em [2][4-7].

Nesse contexto, o Projeto *Virtual Demonstrator* (VD), financiado por meio do projeto EBMB (FINEP 0004/22), pretende estruturar cenários operacionais em uma arena de simulação construtiva para testar as tecnologias desenvolvidas por cada projeto do *Air Domain Study* [8] de forma conjunta e simultânea, procurando demonstrar o emprego, analisar a performance e ilustrar possíveis *gaps* para desenvolvimento futuro. Dentre os cenários propostos, pretende-se estudar o emprego das tecnologias em desenvolvimento aplicadas à missão de Patrulha Marítima [9].

II. MODELAGEM DA MISSÃO DE PATRULHA MARÍTIMA

A missão de patrulha marítima empregando meios aéreos, seja tripulados ou não, utiliza sensores específicos para a identificação de embarcações de interesse para sistemas de vigilância de áreas oceânicas [10]. Normalmente, essa atividade objetiva coibir atividades criminosas ou aquelas prejudiciais ao meio ambiente, bem como estabelecer a soberania de um Estado por meio da presença e controle de áreas extensas, longínquas e inóspitas.

Nota-se um emprego mais frequente de *Unmanned Air Vehicles* (UAV) para executar essa missão. As causas advêm da economia de recursos e do aumento da segurança dos recursos humanos por meio de automatização de tarefas arriscadas utilizando sistemas cibernéticos. Há também vantagens táticas, como maior autonomia e menor *Radar Cross Section* (RCS) dos UAV em comparação com aeronaves tripuladas [10][11].

Os estudos apresentados em [10] e em [11] modelam a patrulha marítima executada com drones. O primeiro possui foco em agilizar a identificação de embarcações pesqueiras utilizando uma nova técnica de roteamento modificando a tradicional abordagem do Problema do Caixeiro Viajante (*Travelling Salesman Problem* – TSP). O segundo também considera os sensores embarcados na aeronave e uma rede neural para pré-classificação e priorização dos alvos antes do roteamento da missão. Ambos possuem uma revisão dos trabalhos recentes sobre o assunto.

Também em [12], a missão de Patrulha Marítima é modelada como um TSP, comparando os resultados de uma missão real com os obtidos após a otimização do planejamento da rota de patrulha por meio do algoritmo *Extremal Optimization* (EO).

Nota-se que normalmente a atividade de vigilância marítima é modelada por meio de variações do TSP para o roteamento. Nos cenários do VD, pretende-se estudar o emprego de múltiplas plataformas testando todas as fases da missão, desde procedimentos normais de voo até os procedimentos empregados na fase tática da missão. Portanto, haverá, por exemplo, a necessidade de modelar como dividir o trabalho de reconhecimento das embarcações entre os recursos disponíveis. Uma possível abordagem seria tratar a questão como um problema de *scheduling* ou *task assignment*, combinando com o roteamento propostos nos trabalhos anteriores [10-12].

III. APLICAÇÃO DE MBSE E DA MODELAGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS POR EVENTOS DISCRETOS NO PROJETO VIRTUAL DEMONSTRATOR

A base metodológica para o VD é a MBSE, especificamente a Metodologia Arcadia, proposta por [13]. O processo dessa metodologia passa por camadas de especificação da arquitetura de um sistema: *Operational Analysis*, *System Analysis*, *Logical Architecture* e *Physical Architecture*. As duas primeiras estão relacionadas com o entendimento da missão, respondendo a perguntas sobre o que os *stakeholders* necessitam e o que a missão necessita entregar de resultados. As duas últimas são correspondentes ao como e com quais recursos a missão deverá ser conduzida para entregar o valor que os *stakeholders* elencaram nas etapas anteriores.

A ferramenta *opensource* Capella [15] é utilizada para aplicar a metodologia Arcadia. No VD, pretende-se integrá-la através de um ambiente ROS (*Robotic Operational System*) junto com uma máquina de simulação, especificamente, o *software* MAK VR Forces para conseguir demonstrar as tecnologias do ADS. Para tal, o comportamento dos entes será modelado por eventos discretos (autômatos) utilizando os diagramas do Capella. Os efeitos dinâmicos dos eventos seriam mensurados na simulação construtiva obtida com o VR Forces ou até mesmo pela resposta das soluções tecnológicas em teste conectadas ao ambiente ROS [9].

Os principais diagramas utilizados para modelar o comportamentos de sistemas que compõe uma missão são os de sequência e *statechart*, os quais guardam estreita relação entre si. A Fig.1 apresenta um autômato temporizado de um alvo de patrulha marítima, com os respectivos estados, eventos, guardas, atualizações de variáveis e invariantes de tempo. Como o Capella ainda não possui a capacidade de simulação simbólica, a modelagem foi elaborada com a ferramenta UPPAAL [14]. De forma a viabilizar o Projeto VD, um dos trabalhos em desenvolvimento é justamente proporcionar essa capacidade de simulação simbólica para os diagramas de máquina de estado (*statechart*) do Capella, com possibilidade de também agregar a capacidade de verificação formal.

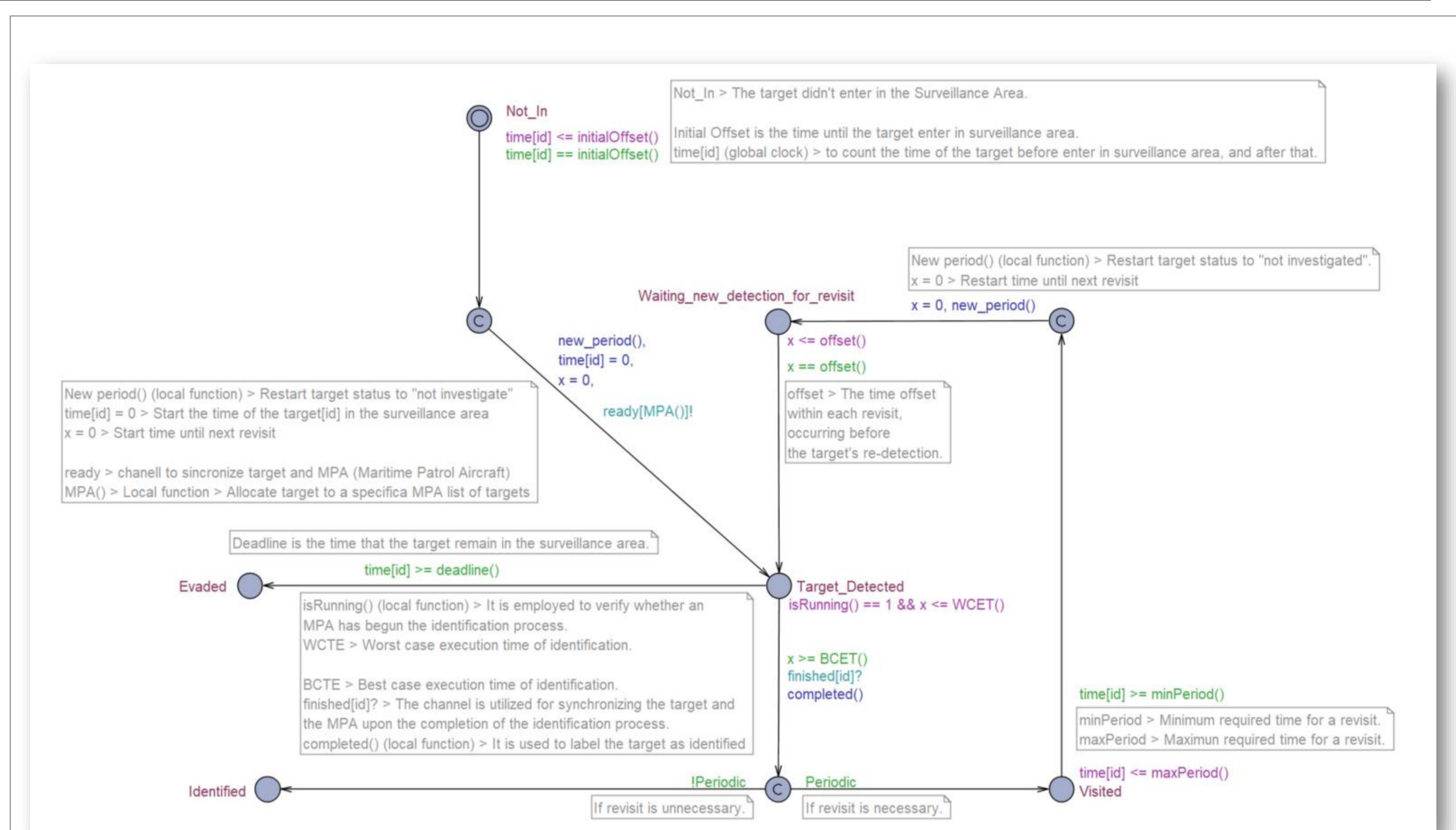


Fig. 1. Autômato (Máquina de Estado Finita) de um alvo da missão de patrulha marítima.

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Após a modelagem da missão e a integração com a simulação construtiva, pretende-se analisá-la em cenários diferentes e otimizar a arquitetura da missão, considerando algumas medidas de eficiência tais como:

- Número de embarcações identificadas em determinado tempo;
- Tempo para identificar um número específico de embarcações;
- Tempo até identificar uma embarcação específica;
- Área Coberta;
- Tempo entre revisitas ou número de revisitas às embarcações presentes na área de patrulha;
- Tempo até encontrar determinada embarcação; etc.

Considera-se também que haja restrições a serem respeitadas, tais como:

- Quantidade de aeronaves de patrulha;
- Autonomia/alcance dos meios e sensores;
- Custos de operação;
- Janelas temporais para execução da missão; etc.

V. AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem o suporte financeiro da FINEP realizado por meio do Projeto de Pesquisa FINEP nº 0004/22 – Engenharia de Missão Baseada em Modelos. Também registra-se o suporte gerencial prestado pelo EMAER e IAOp, bem como a participação da empresa EMBRAER, representando respectivamente o lado governamental e industrial da trílice hélice brasileira da cooperação no Projeto Virtual Demonstrator.

REFERÊNCIAS

1. SEBoK Editorial Board. 2023. **The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)**, v. 2.8, R.J. Cloutier (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Disponível em: www.sebokwiki.org Acesso em: 15 jul. 2023.
2. Hällqvist, R. et al. Realizing interoperability between MBSE domains in aircraft system development. **Electronics**, v. 11, n. 18, p. 2901, 2022.
3. Palmer, C. G.; AFIT. **Optimizing Multi-Domain System-of-Systems Using Model-Based Systems Engineering**. 2016. Tese de Doutorado. Air Force Institute of Technology (AFIT). Ohio. US.
4. Peugeot, T. et al. MBSE, PLM, MIP and robust optimization for system of systems management, application to SCCOA French Air Defense Program. In: **Complex Systems Design & Management: Proceedings of the Seventh International Conference on Complex Systems Design & Management, CSD&M Paris 2016**. Springer International Publishing, 2017. p. 29-40.
5. Gao, Su, et al. "MBSE for satellite communication system architecting." **IEEE Access**, vol. 7, 2019, pp. 164051–164067.
6. Bussemaker et al. From system architecting to system design and optimization: A link between MBSE and MDAO. In: **32nd Annual INCOSE International Symposium**. 2022.
7. Ciampa et al. A MBSE approach to MDAO systems for the development of complex products. In: **AIAA Aviation 2020 Forum**. 2020. p. 3150.
8. Brasil, Suécia. Long term strategic plan for brazilian-swedish cooperation in aeronautics version 1.0. **Annex 2 2016 HLG Meeting**. 26 Oct 2017.
9. Cerqueira C. et al. **Conceptio Lab**. Disponível em: www.conceptions.dev.br Acesso em: 15 jul. 2023.
10. De Lima Filho, G. M. et al. "A Novel Bias-TSP Algorithm for Maritime Patrol." **IEEE Access**, 11, p. 28190-28198, 2023.
11. De Lima Filho, G. M. et al. Time-critical maritime UAV mission planning using a neural network: An operational view. **IEEE Access**, 10, 111749-111758, 2022.
12. Costa, A. N. et al. Scenario analysis as a decision-support tool: a maritime patrol case study. **Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, v. 22, p. 30-34, 2021.
13. Voinin, J. **Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia Method**. Elsevier, 2017.
14. Behrmann, G. et al. Developing UPPAAL over 15 years. **Software: Practice and Experience**, v. 41, n. 2, p. 133-142, 2011.
15. Roques, P. **Systems architecture modeling with the Arcadia method: a practical guide to Capella**. Elsevier, 2017.