

Uma Abordagem para Engenharia de Requisitos no Domínio de Software Embarcado

Milena R. S. Marques, Eliane Siegert, Lisane de Brisolará

Ciência da Computação, Grupo de Arquiteturas e Circuitos Integrados,
Centro de Desenvolvimento Tecnológico - CDTEc,
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
{mrsmarques, esiegert, lisane}@inf.ufpel.edu.br

Resumo. Este artigo apresenta uma abordagem para engenharia de requisitos orientada a modelos para o domínio de software embarcado. Para suportar a modelagem e a gerência dos requisitos são utilizadas as linguagens de modelagem UML, SysML e o perfil MARTE, todos padrões da OMG. Desta forma, a abordagem permite a completa modelagem de requisitos funcionais e não funcionais frequentes no domínio de sistemas embarcados, além da gerência desses requisitos desde a especificação até a validação. Um estudo de caso é usado para demonstrar a abordagem proposta.

Palavras Chave: UML, SysML, MARTE, Engenharia de Requisitos, Sistemas Embarcados, rastreabilidade.

1 Introdução

Sistemas embarcados executam funções dedicadas e estão inseridos em um sistema maior [1]. Usualmente, estes sistemas são constituídos de hardware e de software e incluem vários requisitos não funcionais (RNF) relacionados a desempenho, consumo energético e tamanho de memória. Estes requisitos afetam decisões de projeto e tornam-se restrições rígidas aos engenheiros de software embarcado. Estas restrições rígidas, aliadas a alta complexidade e prazos de entrega curtos, dificultam o projeto e requerem processos de desenvolvimento especializados.

Para lidar com projetos complexos, linguagens de alto nível de abstração têm sido utilizadas e integradas em metodologias orientadas a modelos (MDE, do inglês, *Model-driven Engineering*). Dentre as linguagens, destaca-se a UML, a qual é padrão para modelagem de software [2]. No entanto, a UML não suporta a modelagem de aspectos específicos do domínio de sistemas embarcados, como por exemplo, requisitos relacionados a consumo de energia, desempenho e temporização, os quais precisam ser considerados desde a modelagem do sistema. O perfil MARTE [3] estende a UML resolvendo esta limitação. No entanto, estes RNFs são aspectos transversais que influenciam vários artefatos do sistema [4], o que indica a necessidade de um procedimento que permita além da modelagem, a completa gerência destes requisitos.

A engenharia de requisitos define um caminho desde o levantamento dos requisitos até a verificação/validação do software, incluindo a gestão dos requisitos durante todas as fases do projeto [5]. A gestão ajuda a equipe a identificar, controlar e acompanhar as necessidades e suas mudanças a qualquer momento do projeto. Para gerir os requisitos, é importante dar suporte a rastreabilidade dos mesmos. Para isso, é preciso estabelecer relacionamentos entre os requisitos e artefatos do projeto como casos de uso, componentes e casos de teste [6]. A linguagem SysML [7], oferece recursos para a modelagem de requisitos e relacionamentos entre eles e por esta razão vem sendo também aplicada no domínio de sistemas embarcados [6].

O objetivo deste trabalho é apresentar a MDEReq, uma abordagem para engenharia de requisitos orientada a modelos focada no domínio de software embarcado, que suporta a gerência de requisitos. Nesta abordagem, a rastreabilidade de requisitos é suportada através de notações SysML. Mas, além desta linguagem, a abordagem também faz uso de modelos UML/MARTE. Estes modelos são integrados permitindo a completa modelagem do sistema usando uma única ferramenta de modelagem e facilitando a rastreabilidade dos requisitos em todas as fases do projeto.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 discute trabalhos relacionados. A abordagem proposta é apresentada na Seção 3 e o estudo de caso na Seção 4. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são discutidos na Seção 5.

2 Trabalhos Relacionados

A modelagem de requisitos de sistemas embarcados visando a rastreabilidade foi estudada por outros autores, dentre eles Albinet [8] e Dubois [6]. Ambos propõem uma metodologia baseada em modelos e rastreabilidade com foco em aplicações automotivas [8]. A diferença entre eles está na rastreabilidade dos requisitos. Em [8] por não ser um modelo integrado a rastreabilidade é feita somente no mesmo nível de abstração. Já em [6], um meta-modelo é proposto o qual inclui SysML e permite a rastreabilidade de requisitos em todos os níveis de abstração do projeto.

O diferencial da MDEReq em relação aos trabalhos citados é que a abordagem proposta é baseada em UML e extensões padronizados pela OMG, sem redefinir estas linguagens e, portanto, é suportada por qualquer ferramenta de modelagem disponível no mercado. Além disso, nossa abordagem integra o processo de engenharia de requisitos no desenvolvimento de software embarcado, o que favorece a gestão dos requisitos. Além disso, a MDEReq pode ser utilizada em qualquer aplicação do domínio de sistemas embarcados, pois não é focada em nenhum subdomínio específico.

3 Abordagem MDEReq

A MDEReq (do inglês, *Model Driven Engineering for Requirement Management*), é uma abordagem orientada a modelos para engenharia de requisitos de software embarcado. Esta abordagem visa facilitar a especificação de softwares embarcados através da construção de modelos abstratos baseados em linguagens padronizadas, que permitam a modelagem e gestão de requisitos funcionais e não funcionais (temporais,

de confiabilidade, consumo, etc). Desta forma, a abordagem contribui para que projetistas de sistemas embarcados tenham um controle mais efetivo das mudanças de requisitos e de seus impactos nos demais artefatos do projeto em todas as etapas do processo. A abordagem proposta baseia-se nos princípios da MDE [9], onde modelos guiam todas as decisões de projeto e são detalhados e refinados a cada etapa, até que a implementação seja alcançada.

A MDEReq é baseada no modelo de processo de software tradicional, onde a primeira atividade é a definição de requisitos. Esta é parte de um procedimento conhecido como Engenharia de Requisitos, o qual define atividades que envolvem concepção, levantamento, elaboração, negociação, especificação, validação e gestão de requisitos [5]. Com base neste procedimento, foi definido o workflow da MDEReq, ilustrado na Figura 1, o qual é composto de quatro atividades: o levantamento, a análise e especificação, a validação e a gestão dos requisitos. Segundo Pressmam [5], estas são as principais atividades da engenharia de requisitos.

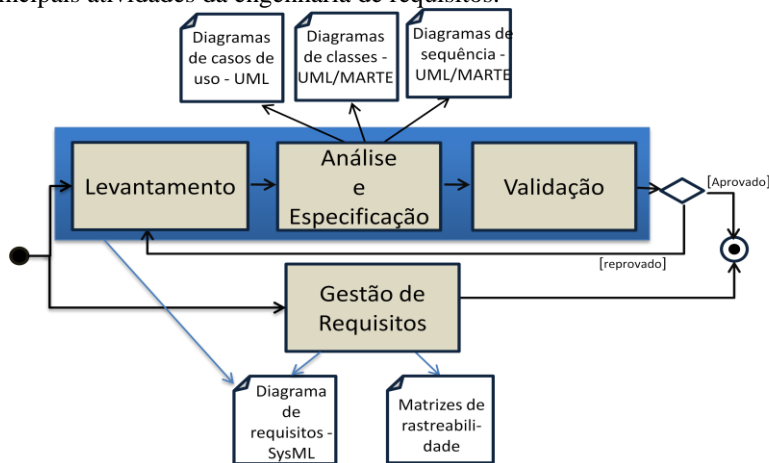


Fig. 1. Workflow da abordagem MDEReq

A atividade de levantamento de requisitos identifica e classifica os requisitos do sistema. Nesta atividade da MDEReq, o primeiro artefato gerado é uma lista de requisitos, onde os requisitos devem ser classificados em funcionais e não funcionais e podem ser priorizados. Esta lista serve como base para a criação do diagrama de requisitos, que indica os relacionamentos entre os requisitos. Este artefato evolui nas próximas atividades do workflow a medida em que os modelos são refinados.

Na atividade de análise e especificação da MDEReq, as informações obtidas no levantamento são refinadas [5] através da construção de diagramas UML de casos de uso, de classes e de sequência. Estes diagramas são adotados para a modelagem de diferentes visões dos requisitos do sistema. Para modelar aspectos específicos do domínio de sistemas embarcados (ex: *deadlines* e período de tarefas ou outros RNFs ou ainda a interação com componentes físicos do sistema), estes diagramas são decorados com estereótipos do MARTE. Após, o diagrama de requisitos é incrementado de forma a incluir relacionamentos entre requisitos e elementos dos diagramas UML,

tais como casos de uso ou diagramas de sequência. Da mesma forma, durante a atividade de validação, casos de teste são definidos e relacionados aos requisitos no diagrama de requisitos.

O workflow define também uma atividade de gestão de requisitos que ocorre em paralelo as demais. A gestão na MDEReq baseia-se na geração de matrizes de rastreabilidade. Tais matrizes são geradas a partir do diagrama de requisitos da SysML. Este diagrama permite definir diferentes tipos de relacionamentos entre requisitos e entre requisitos e outros artefatos (ou seja, elementos do modelo), além de mostrar a hierarquia dos requisitos. Na MDEReq, são utilizados os relacionamentos *derive*, *composite*, *refine*, *verify* e *satisfy* para dar suporte as matrizes de rastreabilidade em diferentes níveis de abstração ou em diferentes fases do projeto.

Nas etapas iniciais do projeto, quando os requisitos estão sendo levantados, é gerada a matriz de rastreabilidade de requisito para requisito usando relacionamentos do tipo *derive* e *composite*. Esta matriz tem a finalidade de apoiar a gestão de mudanças nos requisitos, quando um requisito é derivado a partir de um requisito base ou quando um requisito é decomposto em outros. A matriz de rastreabilidade de requisitos para os artefatos de projeto é gerada após a atividade de análise e especificação através dos relacionamentos de *refine* e *satisfy*, indicando que um elemento do modelo refina ou satisfaz um requisito. Neste caso, os elementos do modelo são diagramas de casos de uso e de sequência. Desta forma, quando o requisito é alterado, é possível identificar de forma gráfica quais elementos do modelo devem ser alterados. Por fim, a matriz de rastreabilidade de requisitos para casos de testes é gerada através do relacionamento de *verify*. Esta matriz se destina a equipe de testes e indica quais testes são usados para testar a satisfação de um requisito e também pode indicar quais testes devem ser redefinidos em função de uma mudança em um requisito.

As matrizes propostas na MDEReq permitem que os envolvidos no projeto tenham várias visões dos requisitos do sistema em vários níveis de abstrações, facilitando a gerência e o planejamento das mudanças ao longo do projeto, além de permitir o controle mais rígido sobre requisitos funcionais e não funcionais do sistema.

4 Estudo de caso

Seguindo a MDEReq, a modelagem do software de controle de freio ABS foi realizada para este estudo de caso, iniciando com a listagem de requisitos e diagrama de requisitos inicial e seguindo com o detalhamento destes requisitos através de diagramas UML/MARTE. O diagrama de requisitos é incrementado a cada atividade, incluindo novos elementos e relacionando-os aos requisitos do sistema, sejam eles funcionais ou não funcionais. Por limitação de espaço, não são apresentados todos os diagramas usados neste estudo de caso. Como muitos trabalhos já demonstram a modelagem UML/MARTE de sistemas embarcados, este estudo foca na gestão de requisitos. A Figura 2 ilustra o diagrama de requisitos completo (após as evoluções), o qual serve como base para a geração das matrizes de rastreabilidade propostas pela MDEReq. A Figura 3 ilustra a matriz requisito x requisito gerada a partir deste diagrama. Por limitação de espaço, não são apresentadas as outras duas matrizes. A matriz ilus-

trada indica, por exemplo, que uma mudança no requisito Monitorar Velocidade exige uma verificação nos requisitos Ler velocidade das rodas e Temporização do ABS.

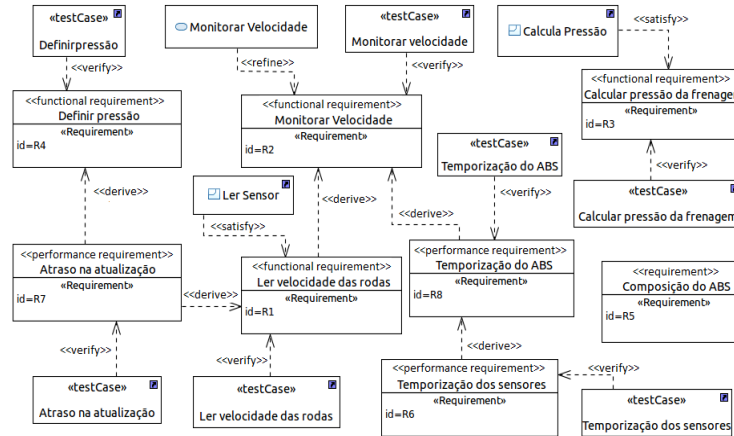


Fig. 2. Diagrama de Requisitos do sistema de freio

	Ler Velocidade das rodas	Monitorar Velocidade	Calcular pressão	Diminuir pressão	Composição do ABS	Temporização do Sensor	Atraso na atualização	Temporização do ABS
Ler Velocidade das rodas							✓	
Monitorar velocidade	✓							✓
Calcular pressão								
Diminuir pressão							✓	
Composição do ABS								
Temporização do Sensor								
Atraso na atualização								
Temporização do ABS						✓		

Fig. 3. Matriz de Rastreabilidade de requisito para requisito.

5 Conclusões

Este artigo apresentou uma abordagem de engenharia de requisitos orientada a modelos para o domínio de software embarcado, chamada MDEReq. Esta abordagem baseia-se em modelos UML, SysML e MARTE para suportar a completa especificação

de requisitos, bem como a gestão de requisitos para o domínio de sistemas embarcados. Esta integração das notações é importante neste domínio, sobretudo pelo grande número de RNFs que devem ser especificados e geridos. A gestão proposta é baseada em matrizes de rastreabilidade geradas a partir do diagrama de requisitos. Para demonstrar a abordagem, um estudo de caso foi usado, o qual envolve um sistema embarcado crítico com vários RNF a serem modelados e gerenciados. Atualmente, as matrizes de rastreabilidade são geradas manualmente, no entanto, a implementação de um suporte automatizado está prevista em nossos trabalhos futuros.

Referências

1. Marwedell, P.: *Embedded Systems Design* 1st edn. Springer (2006)
2. OMG: UML. In: Object Management Group. (Accessed 2012) Available at: <http://www.omg.org/spec/index.htm>
3. OMG: MARTE. In: Object Management Group. (Accessed 2012) Available at: <http://www.omg.org/spec/index.htm>
4. Werhmeister, M.: An aspect-oriented model-driven engineering approach for distributed embedded real-time systems. In UFRGS, ed. : Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.206 (2009)
5. Pressman, R.: *Engenharia de Software: Uma abordagem profissional* 7th edn. AMGH, Porto Alegre (2011)
6. Dubois, H., Peraldi-Frati, M.-A., Lakhali, F.: A model for requirements traceability in an heterogeneous model-based design process: Application to automotive embedded systems. In : *Engineering of Complex Computer Systems*, Oxford, pp.233-242 (2010)
7. OMG: SysML. In: Object Management Group. (Accessed 2012) Available at: <http://www.omg.org/spec/index.htm>
8. Albinet, A., Begoc, S., Boulanger, J.-L., Casse, O., Dal, I., Dubois, H., Lakhali, F., Louar, D., Peraldi-Frati, M.-A., Sorel, Y., Van, Q.-D.: The MeMVaTEx methodology: from requirements to models in automotive application design. In : *5th European Congress ERTS Embedded Real Time Software*, Toulouse, pp.19-21 (2010)
9. Selic, B.: UML 2: A model-driven development tool. *IBM Systems Journal* 45(3), 607-620 (2006)