

Graduação em Engenharia da Computação

**“Calau: Um Ambiente para Modelagem e Análise de Sistemas Embarcados de Tempo-Real”**

Por

**Marcelo Macêdo Alves**

Proposta de Trabalho de Graduação

Universidade Federal de Pernambuco

Recife, 22 de janeiro de 2013

**SUMÁRIO**

|  |  |
| --- | --- |
| **Introdução ...............................................................................................................** | 3 |
| **Objetivos .................................................................................................................** | 4 |
| **Referências .............................................................................................................** | 5 |
| **Assinaturas .............................................................................................................** | 11 |

**INTRODUÇÃO**

Os sistemas embarcados estão presentes em praticamente todas as áreas do nosso cotidiano. Utilizamos esses dispositivos diariamente de forma que muitas vezes sequer percebemos que eles estão lá. Caixas eletrônicos, smartphones, leitores de livro digital, geladeiras, micro-ondas, roteadores e filmadoras são alguns exemplos de tais dispositivos. De fato, com o aumento significativo dos sistemas dedicados de controle, a maioria dos dispositivos que usamos no dia-a-dia possui um processador digital, que é responsável por realizar uma tarefa específica [AND09].

Dentre as diversas categorias de sistemas embarcados, há uma cujos resultados além de íntegros, devem ser produzidos dentro de um determinado intervalo de tempo. Aqueles que pertencem a essa categoria são chamados de Sistemas Embarcados de Tempo Real (SETR) [AND09]. Esses sistemas podem ser classificados em duas subcategorias: críticos (*hard*) e não críticos (*soft*). Nos Sistemas de Tempo-Real não críticos, caso as restrições temporais não sejam satisfeitas, poderá ocorrer uma degradação no desempenho do sistema, que poderá ser tolerada. Sistemas desse tipo podem ser encontrados, por exemplo, nos servidores web, nos telefones celulares, nas TVs digitais, nas vídeoconferências, entre outros. Sistemas Embarcados de Tempo-Real críticos são aqueles cuja restrição de tempo deve ser respeitada a todo custo, visto que a violação dela pode ser catastrófica. Exemplos desses sistemas podem ser encontrados em controle automobilístico, equipamentos médicos, aplicações militares, controle aéreo e espacial, centrais nucleares, entre outros [TMSO08, TMS+07].

Avanços tecnológicos têm possibilitado o desenvolvimento de SETR com funcionalidades cada vez mais complexas e sofisticadas, permitindo assim, o surgimento de dispositivos móveis eficientes, precisos e seguros. Esses dispositivos geralmente possuem uma fonte de energia restrita (ex.: bateria), que ao se esgotar, o sistema para de funcionar. Dessa maneira, estudos relativos à conservação/economia de energia tornaram-se extremamente relevantes nos projetos desses sistemas. Com isso, estimativas referentes ao consumo de energia podem fornecer informações importantes aos projetistas tanto relativas ao tempo de vida da bateria, como também, de partes da aplicação que precisam ser otimizadas [AMCNb, AMCNc, TMS+07].

Com o crescimento da heterogeneidade e da complexidade dos SETR, é requerida uma abordagem interdisciplinar no processo de desenvolvimento de tais sistemas, envolvendo as áreas de engenharia de *software*, mecânica, elétrica e eletrônica. Nesse sentido, foi especificada pela OMG *(Object Managment* Group) [OMG89], a linguagem de modelagem semiformal SysML *(System Modelling* Language) [Sys07]. Essa linguagem suporta a especificação, análise, desenho e verificação de sistemas complexos, que podem incluir *hardware, software,* informações, métodos, pessoas e instrumentos. SysML estende UML *(Unified Model Language)* 2.0 [UML05], para aplicação em engenharia de sistemas [Sys07].

A linguagem de modelagem SysML não possui suporte para anotações quantitativas. Essas anotações são extremamente importantes quando se está modelando sistemas embarcados críticos. A ferramenta Calau suporta a combinação de SysML e MARTE (*Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded Systems*) [MAR07] para a modelagem dos SETR. MARTE prover facilidades na construção de modelos com informações necessárias à realização de análises específicas, entre elas, estimações do tempo de execução e consumo de energia. Contudo, a combinação de SysML e MARTE carece de semântica formal não sendo possível aplicar diretamente técnicas matemáticas para a avaliação de desempenho e consumo de energia dos SETR.

Dessa maneira, é sensato adotar o uso colaborativo dos modelos semiformais e formais [AND09]. Modelos formais são apoiados por fundamentos matemáticos sólidos, que suportam sua semântica precisa, estimulam a avaliação de desempenho e fornecem suporte para verificações das propriedades qualitativas e análises. Em se tratando de análise de desempenho, os modelos formais mais utilizados são Álgebra Min-Max [HoCU93], Cadeias de Markov [BGdMT98b], teoria das filas [Wal88] e as Redes de Petri temporizadas [MF76]. Em contrapartida, os modelos semiformais são usados largamente para modelagem de requisitos dos SETR, justamente por sua notação amigável e intuitiva.

A integração dos modelos formais e semiformais, bem como, as análises e verificações dos SETR não são tarefas triviais. O tempo para o mapeamento de um modelo semiformal em um modelo formal pode consumir bastante tempo e esforço dos projetistas. Além disso, essa tarefa é propensa a erros por causa da quantidade de estados que podem ser gerados. Assim, é fundamental o desenvolvimento de uma ferramenta que automatize todo esse processo. Essa ferramenta também permitirá uma completa abstração, com relação à utilização dos modelos analíticos usados para as análises.

**OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é implementar uma ferramenta denominada Calau. Ela realiza o mapeamento automático do diagrama de estados da SysML, anotado de acordo com o *profile* MARTE, em uma rede de Petri temporizada com anotações de consumo de energia [Tav06], afim de realizar análises e verificações nas fases iniciais do desenvolvimento dos SETR. Este trabalho é uma extensão do trabalho proposto por [AND09].

A criação dessa ferramenta trará um conjunto de benefícios para o processo de modelagem e avaliação desses sistemas. O tempo do mapeamento é reduzido, uma vez que o modelo ETPN é gerado automaticamente, a partir de especificações descritas em SysML. Devido a este processo automático, também se garante que não ocorreram falhas no processo de conversão do modelo de alto-nível (Diagramas da SysML) para as ETPNs. Esta ferramenta também permitirá uma completa abstração com relação à utilização das ETPN. Isto é, os projetistas poderão obter as estimativas de interesse sem ter conhecimentos específicos sobre as ETPNs.

**REFERÊNCIAS**

|  |  |
| --- | --- |
| [AAM12] | Andrade, E., Alves, M. and Maciel, P. (2012). Calau: An Environment forModeling and Analyzing Embedded Real-Time Systems. *http://www.cin.ufpe.br/ mma2/Calau/*. |
| [AMCNb] | Andrade, E., Maciel, P., Callou, G., and Nogueira, B.(2009)*.* Mapping uml sequence diagram to time petri net for requirement validation of embedded real-time systems with energy constraints*. Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on Applied Computing, 2009.* |
| [AMCNc] | Andrade, E., Maciel, P., Callou, G., and Nogueira, B.(2009)*.* **A Methodology for Mapping SysML Activity Diagram to Time Petri Net for Requirement Validation of Embedded Real-Time Systems with Energy Constraints. *Proceedings of the 2009 Third International Conference on Digital Society, 2009.*** |
| [AMCNd] | Andrade, E. C., Maciel, P., Callou, G., Nogueira, B. And Araújo, C. (2010). An Approach Based in Petri Net for Requirement Analysis. *Pawel Pawlewski. (Org.). Petri Nets Applications. : INTECH, 2010, v. , p. 1-20.* |
| [AMF+09] | Andrade, E., Maciel, P., Falcão, T., N., Bruno, Araújo, C. and Callou, G. (2009). Performance and energy consumption estimation for commercial off-the-shelf component system design. *Innovations Syst Softw Eng (2010) 6:107–114.* |
| [AMN+05] | Amorim, L., Maciel, P., Nogueira, M, Barreto, R. and Tavares E. (2005). A Methodology for Mapping Live Sequence Chart to Coloured Petri Net. *Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on*, 2005. |
| [AMN+06] | Amorim, L., Maciel, P., Nogueira, M, Barreto, R. and Tavares E. (2006). Mapping live sequence chart to coloured petri nets for analysis and verification of embedded systems. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 31(3):1{25, 2006. |
| [AMN+10] | Andrade, E., Maciel, P., Callou, G., Nogueira, B and Araújo, C.(2009)*.* A COTS-based approach for estimating performance and energy consumption of embedded real-time systems. *Information Processing Letters 110 (2010) 525–534.* |
| [AND09] | Andrade, E.Modelagem e Análise de Especificações de Sistemas Embarcados de Tempo-Real Críticos com Restrições de Energia (2009). Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco. |
| [BGdMT98b] | Bolch, G., Greiner, S., de Meer, H., and Trivedi, K.S. (1998)Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications. *Wiley-Interscience New York, NY, USA, 1998.* |
| [BP01a] | Baresi, L. and Pezzé, M. (2001). Improving UML with Petri nets. *Electronic Notesin Theoretical Computer Science*, 44(4):107-119, 2001. |
| [BP01b] | Baresi, L. and Pezzé, M. (2001). On formalizing uml with high-level petri nets. *Electronic Notesin Theoretical Computer Science*, 276-304, 2001. |
| [Dav05] | David, R. (2005). Discrete, Continuous, And Hybrid Petri Nets. *Springer, 2005.* |
| [DdSS] | Döll, L.M., de Souza, J.U.F., and Stadzisz, P.C. Verificação e validação de Sistemas Orientados a Objetos Usando Redes de Petri. |
| [DSP05] | Distefano, S., and Puliafito, A. (2005).Software performance analysis in uml models. *Techniques, Methodologies and Tools for Performance Evaluation of Complex Systems, 2005. (FIRB-Perf 2005).* |
| [EES+03] | Engblom, J., Ermedahl, A., Sjoedin, M., Gustafsson, J. and Hansson H. (2003). Worst-case execution-time analysis for embedded real-time systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT), 4(4):437–455, 2003.* |
| [GUE04] | Guedes, G.T.A. (2004). UML: Uma abordagem prática. *Novatec, São Paulo,2004.* |
| [GKZH94] | German, R., Kelling, C., Zimmermann, A. and Hommel G. (1994). *TimeNET: A Toolkit for Evaluating Non-Markovian Stochastic Petri Nets*. Technische UniversitÄat Berlin, 1994. |
| [H+87] | Harel, D et al. (1987). Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems. 1987. |
| [HoCU93] | Hennessy M. (1993). Timed process algebras: A tutorial. *Program Design Calculi. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute. Marktoberdorf, Germany 28 July-9 Aug 1992, M. Broy, Ed., Berlin, 1993, pp. 325–359, Springer Verlag.* |
| [J98] | Junior, M.N.O. (1998). Desenvolvimento de um protótipo para a medida não invasiva da saturação arterial de oxigênio em humanos – Oxímetro de Pulso (*in portuguese*)*.* MSc Thesis, Departamento de Biofísica e Radiologia. Universidade Federal de Pernambuco, 1998. |
| [Jan98] | Janousek, C.V. (1998). Modelling Objects by Petri Nets. PhD thesis, PhD thesis, Department of Computer Science and Engineering, Technical University of Brno, Czech Republic, 1998. |
| [Jen91] | Jensen, K. (1991). Coloured Petri Nets: A High Level Language for System Design and Analysis. *Advances in Petri Nets 1990, 1991.* |
| [Jen92] | Jensen, K. (1992). *Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods, and Practical Use*. Springer, 1992. |
| [KCC+05] | Keegan, P., Champenois, L., Crawley, G., Hunt, C. and Webster, C. (2005). Netbeans ide field guide: developing desktop, web, enterprise, and mobile applications. *Prentice Hall Press, 2005.* |
| [KP00] | King, P.and Pooley, R. (2000). Derivation of Petri Net Performance Models from UML Specifications of Communications Software. *Computer Performance Evaluation: Modelling Techniques and Tools: 11th International Conference, TOOLS 2000, Schaumburg, IL, USA, March 27-31, 2000: Proceedings*, 2000. |
| [KP99] | King , P. and Pooley, R. (1999). Using UML to Derive Stochastic Petri Net Models. *Proceedings of the Fifteenth Annual UK Performance Engineering Workshop*, pages 45–56, *1999.* |
| [LPK+00] | Lee, J., Pan, J.I., Kuo, J.Y, Fanjiang, Y.Y and Yang S. (2000). Towards the verification of scenarios with time Petri-nets. *Computer Software and Applications Conference, 2000. COMPSAC 2000. The 24th Annual International,* pages 503{508, 2000. |
| [MAR07] | OMG MARTE. (2007). Profile for Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded systems (MARTE), *Beta1. 2007.* |
| [Mar89] | Marsan M.A.. (1989). Stochastic Petri Nets: An Elementary Introduction. *Advances in Petri Nets, 424:1–29, 1989.* |
| [MCBD02a] | Merseguer, J., Campos, J., Bernardi, S. and Donatelli S. (2002). A compositional semantics for UML state machines aimed at performance evaluation. *Discrete Event Systems, 2002. Proceedings. Sixth International Workshop on*, pages 295{302, 2002. |
| [MLC96] | Maciel, P., Lins, R. and Cunha, F. (1996). Introdução às Rede de Petri e Aplicações. *X Escola de Computação, Campinas, SP, 1996.* |
| [MF76] | Merlin, P. and Faber, D. (1976). Recoverability of communication protocols: Implicatons of a theoretical study. *IEEE Transactions on Communications, 24(9):1036–1043, Sept. 1976.* |
| [MKF06] | Murphy, G.C., Kersten, M., and Findlater, L.. (2006). How are java software developers using the elipse ide?. *Software, IEEE, 23(4):76–83, 2006.* |
| [MUR89] | Murata, T.. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proc. IEEE, 77(4):541–580, April 1989.* |
| [OMG89] | The object management group (OMG). (1989). <http://www.omg.org/>. |
| [Pet62] | C. A. Petri. Kommunikation mit Automaten. PhD Dissertation, Darmstad University, Germany, 1962. |
| [SR99] | Starke, P. and Roch, S. (1999). INA - Integrated Net Analyzer - Version 2.2. Institut für Informatik, Humbolt Universiät zu Berlin. |
| [Sys07] | OMG SysML, Systems Modeling. (2007). Language (SysML) specification final report. Object Management Group. |
| [Sin96] | Singhal, A. (1996). Real time systems: A survey. Technical report, Computer Science Departmen,. University of Rochester. |
| [SPT03] | OMG SPT. (2003). Profile for Schedulability, Performance, and Time Specification. *Object Management Group*, 2003. |
| [Tav06] | Tavares, E. (2006). A Time Petri Net Based Approach for Software Synthesis in Hard Real-Time Embedded Systems with Multiple Processors. MSc Thesis, Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco, 2006. |
| [TMSOJ08] | Tavares E., Maciel, P., Silva, B., and Oliveira Jr, M.N.Hard real-time tasks’ scheduling considering voltage scaling, precedence and exclusion relations. (2008). *Information Processing Letters, 108(2):50–59, 2008.* |
| [TJZ07] | Trowitzsch, J., Jerzynek, D., and Zimmermann, A.(2007). A toolkit for performability evaluation based on stochastic UML state machines. *Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering) ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2007.* |
| [TMS+07] | Tavares, E., Maciel, P., Silva, B., Oliveira, M., and Rodrigues,R. (2007). Modelling and scheduling hard real-time biomedical systems with timing and energy constraints. *Electronics Letters, 43(19):1015–1017, 2007.* |
| [TMSO08] | Tavares, E., Maciel, P., Silva, B. and Oliveira, M. (2008). Hard real-time tasks' scheduling considering voltage scaling, precedence and exclusion relations. *Information Processing Letters, 2008.* |
| [TZ05] | Trowitzsch, J. and Zimmermann, A. (2005). Real-Time UML State Machines: An Analysis Approach. *Object Oriented Software Design for Real Time and Embedded Computer Systems, 2005.* |
| [TZ06] | Trowitzsch, J. and Zimmermann, A. (2006).Using UML state machines and petri nets for the quantitative investigation of ETCS. *Proceedings of the 1st international conference on Performance evaluation methodolgies and tools, 2006.* |
| [TZH05] | Trowitzsch, J., Zimmermann, A. and Hommel G. (2005). Towards Quantitative Analysis of Real-Time UML Using Stochastic Petri Nets. *13th Int. Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems (WPDRTS)*, 2005. |
| [UML05] | OMG UML. 2.0 Superstructure Specification. *Object Management Group, 2005.* |
| [VCF+06] | Vijaykumar, N.L., Carvalho, S.V., Francês, C.R.L., Abdurahiman, V. and Amaral, A.S.M. (2006). Performance Evaluation from Statecharts Representation of Complex Systems: Markov Approach. *IV WPerformance, SBC*, pages 183{202, 2006. |
| [VH99] | Vahid, F., and Givargis, T. (1999). Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Approach. Department of Computer Science and Engineering, University of California. |
| [VLM+03] | Vinter, R.A., Lisa, W., Michael, L.H. et al. (2003). CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Net. *Proceedings of Applications and Theory of Petri Nets*, pages 23{27, 2003. |
| [Wal88] | Walrand, J. (1998).An Introduction to Queueing Networks. *Prentice Hall, 1988.* |

**ASSINATURAS**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Paulo Romero Martins Maciel**

**(Orientador)**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Marcelo Macêdo Alves**

**(Aluno)**