

Componentes para simulação de hardware em alto nível

Volnir dos Santos Sobrinho¹, Maiara Heil Cancian¹, Rafael Luiz Cancian¹

¹Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar (CTTMar)
Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)
Email: {volnir, maiara.heil, cancian}@univali.br

Abstract. *This paper presents the development of components for hardware simulation of embedded systems in a generic simulation tool. This simulator can simulate models described by the user and to collect statistics automatically for further analysis. This simulator was used to model embedded systems at high level of abstraction and to verify if it's possible to obtain performance estimates in the very first steps of development, without completely specify the embedded system and without using low level and accurate simulators. Validation was performed by statistically comparing the results with hypothesis tests. Results show that high level simulators using the developed components can be useful if confidence level is relaxed to something like 73%.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de componentes para simulação de hardware de sistemas embarcados em uma ferramenta de simulação genérica, capaz de simular modelos descritos pelos usuários e mostrar resultados estatísticos para posterior análise. Essa ferramenta foi utilizada para representação de alto nível de sistemas embarcados, verificando se é possível conseguir indicadores estatísticos de desempenho de um futuro sistema embarcado já nas etapas iniciais de projeto, sem a necessidade de sua especificação completa e de simuladores de baixo nível. A validação foi concebida através de modelos projetados, analisados e implementados em diferentes ferramentas de simulação e os resultados comparados estatisticamente através de teste de hipóteses. Os resultados indicam que a simulação de alto nível, conseguida nas etapas iniciais do projeto de um sistema embarcado, a partir dos componentes criados, pode ser útil se a confiança estatística nos resultados for relaxada até cerca de 73%.*

1. Introdução

A crescente complexidade dos sistemas embarcados tem conduzido projetistas e pesquisadores a elevar cada vez mais o nível de abstração de tarefas, como especificação e validação desses sistemas. Diversos simuladores de circuitos digitais existem no mercado. Entretanto, muitos deles simulam unicamente hardware, e não permitem associar softwares ao modelo para simular um sistema embarcado (composto sempre de software e de hardware). Os simuladores que permitem a integração de hardware e software operam em baixo nível de abstração, exigindo tipicamente a definição completa do hardware para que sejam usados simuladores físicos de corrente elétrica e outras grandezas físicas contínuas e também o código-fonte do software que é associado aos elementos processadores.

Com isso, torna-se possível simular o sistema embarcado e obter informações sobre seu desempenho e atendimento dos requisitos de projeto apenas depois do sistema

ter sido implementado, o que ocorre apenas nas fases finais do projeto. Nesse momento, pode ser muito tarde para fazer mudanças no projeto do mesmo, como a arquitetura usada para execução do software. Projetistas de sistemas embarcados podem se beneficiar de simulações que permitam obter indicadores de desempenho ainda nas fases iniciais de projeto. Mesmo que simulações em níveis mais abstratos usados nesses casos possam oferecer indicadores menos precisos e com menor nível de confiança, eles ainda podem ser muito úteis e fornecer bons indícios de se o sistema irá ou não posteriormente atender os requisitos de projeto.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de componentes de simulação que modelam em alto nível o funcionamento de alguns elementos de hardware presentes em sistemas embarcados, tais como microcontroladores, memórias, barramentos, dispositivos de entrada/saída e outros sistemas digitais. Para isso utilizou-se a ferramenta de simulação discreta Genesys, desenvolvida pela empresa ZeroUm Soluções LTDA. Esse simulador genérico permite que o usuário defina seus próprios elementos de simulação que podem ser usados para criar modelos e dos quais o simulador obtém estatísticas automaticamente. Os componentes criados foram usados em modelos de alto nível que representavam sistemas embarcados previamente implementados e validados. Indicadores de desempenho obtidos a partir dos modelos de alto nível foram comparados com os valores reais obtidos a partir dos sistemas reais, e testes estatísticos permitiram estimar o erro obtido ao estimar os indicadores de desempenho do sistema real a partir dos modelos de simulação de alto nível. Neste artigo, a análise de um desses modelos é apresentada.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta alguns conceitos utilizados no desenvolvimento da pesquisa, a seção 3 apresenta os aspectos gerais do desenvolvimento e os resultados obtidos num estudo de caso e a seção 4 apresenta algumas considerações finais.

2. Fundamentação Teórica

A simulação pode ser entendida como o ato de imitar uma situação real em um modelo que o represente, considerando fatores como a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica. Isto permite que se tenha um melhor entendimento do sistema real, compreendendo as inter-relações existentes no mesmo [PEDGEN et al. 1995].

Para Milone [MILONE and ANGELINI 1993], o papel da estatística na simulação é extremamente fundamental para que se possam obter dados significativos sobre os resultados dos experimentos, bem como na alimentação de dados ao modelo. A estatística é utilizada diretamente nas seguintes etapas da simulação: (i) Busca de Informações de Entrada (Cálculo do tamanho necessário da amostra; Busca e verificação das amostras realizadas); (ii) Validação do Modelo (Testes para verificação e validação do modelo através dos resultados obtidos); (iii) Experimento da Simulação (Duração da simulação, Quantidade de replicações necessárias, Mudança de parâmetros em cada replicação); e (iv) Análise dos resultados (Teste das suposições feitas).

Na simulação, todos resultados obtidos são somente validados se estiverem próximos de resultados de experimentos reais. Geralmente, os resultados de uma pesquisa são obtidos através de amostras que, em muitas vezes, quando mal obtidas, interferem nos resultados da simulação e, conseqüentemente, a comparação com a realidade. Entre os

métodos de inferência estatística utilizados para validação de modelos de simulação estão as estimativas intervalares e os testes de hipótese.

Um simulador de baixo nível que permite a simulação conjunta de software e hardware é o Isis, produzido pela Labcenter Electronics [Electronics 2009]. Uma vantagem do uso de um simulador como o Isis é a facilidade de simular um sistema embarcado completo, sem a necessidade de adquirir os componentes para implementar o projeto real. Assim, pode-se validar um projeto proposto ou simplesmente um componente como um microcontrolador recém lançado, para que possa partir posteriormente para uma implementação física do sistema. Entretanto, Isis exige que todo o esquemático do hardware seja definido, bem como todo o software embarcado implementado para que possa ser simulado em baixo nível: modelos de processador com precisão de ciclo e modelos contínuos para componentes eletrônicos (SPICE). Isis também não possui nenhuma ferramenta de análise estatística incorporada, obrigando o usuário que deseja obter métricas de desempenho, custo e validação, a buscar outros softwares para esse fim.

O Genesys (*GENeric and Extensible SYstem Simulator*) é uma ferramenta de simulação genérica que foi desenvolvida pela empresa ZeroUm Soluções LTDA [Soluções 2009] e estendida por projetos de pesquisa. Nessa ferramenta, além dos componentes básicos para simulação genérica, análogos ao de outros simuladores do gênero, como o Arena [Automation 2009], permite que novos componentes desenvolvidos pelo usuário sejam incorporados. Os componentes desenvolvidos para o simulador Genesys são incluídos de forma dinâmica e transparente, na forma de plug-ins ligados dinamicamente.

3. Desenvolvimento

Na pesquisa associada a este artigo foram desenvolvidos os seguintes componentes de simulação para o Genesys: microcontrolador, memória flash, barramento, motor-de-passo, porta paralela/serial, conversor A/D, conversor D/A, display de 7 segmentos, LED, canal, núcleo e roteador (os três últimos diretamente relacionados às redes-em-chip).

Foram utilizados sistemas embarcados já completamente desenvolvidos, validados e implementados para serem comparados com modelos de simulação de alto nível, criados com os componentes citados acima e simulados pela ferramenta Genesys. Por limitação de espaço, este artigo apresenta apenas os resultados associados ao sistema embarcado mais simples: um cronômetro digital.

Esse sistema foi desenvolvido e validado por simulação de baixo nível usando o simulador Isis, e posteriormente prototipado fisicamente. Estatísticas de desempenho precisas e determinísticas desse sistema foram extraídas da simulação com o Isis, usando contadores de eventos, conforme mostra a figura 1. Um modelo de simulação de alto nível equivalente a esse sistema embarcado também foi modelado e simulado no Genesys. Nesse segundo modelo não foram inseridos nem código-fonte nem detalhes da interconexão dos componentes de hardware, que não estariam disponíveis nas fases iniciais de projeto. Apenas estimativas de taxas de execução de instruções e frequências de acesso aos dispositivos foram fornecidas. Os resultados dos dois modelos foram então comparados por inferência estatística para verificar sua equivalência e o nível de significância (erro) obtido pela utilização de simulação de alto nível com os componentes que foram criados.

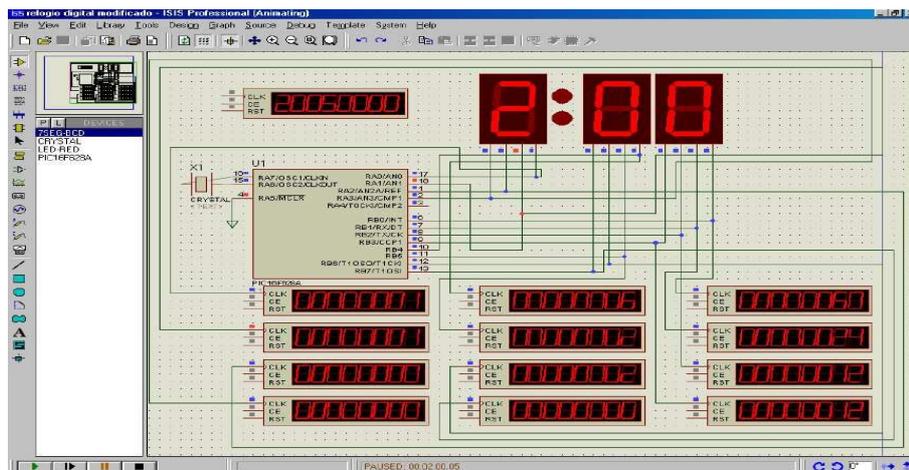


Figura 1. Tela do simulador Isis com o primeiro sistema embarcado desenvolvido

INDICADOR ESTATÍSTICO	DISPLAY		
	UN	DZ	HR
Intervalo de Confiança (95%)	100,554 a 117,599	8,209 a 11,022	0,874 a 2,357
Semi-Intervalo de Confiança (e_0)	8,523	1,406	0,741
Valor da Variável de Teste (t)	0,323	0,700	1,328
Probabilidade da Variável de Teste (-t a +t)	87,595%	74,859%	60,437%

Tabela 1. Resultados da simulação de alto nível

Neste sistema, o tempo de simulação foi de pouco mais de 2 horas. Foram analisadas as diferenças relativas à quantidade de acessos aos dispositivos periféricos do sistema: displays de 7 segmentos de unidades (UN) e dezenas (DZ) de minutos e de horas (HR). As quantidades exatas de acesso aos dispositivos, obtidas pela simulação de baixo nível, foram: 108 (Display UN), 10 (Display DZ) e 2 (Display HR). Dado que o modelo de alto nível utiliza distribuições de probabilidade e taxas de acesso, ele é estocástico e precisa ser executado mais de uma vez. Assim, o modelo de alto nível foi simulado 13 vezes, e a duração de cada replicação foi idêntica ao modelo exato. Os resultados da simulação de alto nível são apresentados na tabela 1

Em relação aos acessos ao display de unidades (UN), o intervalo de confiança da quantidade média de acessos ao display engloba o valor obtido no modelo exato (108), indicando que o mesmo faz parte da estimativa desse parâmetro, feita a partir do modelo do Genesys. A probabilidade da variável de teste indica que os resultados dos dois modelos são equivalentes com 87,595% de confiança ou menos (erro máximo de 12,405%). Essa probabilidade corresponde à área sob a curva da distribuição t de Student (uma vez que a variância populacional é desconhecida e o tamanho da amostra é inferior a 30 elementos) entre os valores de -t até +t (eixo x, variável de teste), onde as diferenças entre as médias (Isis e Genesys) é mais próxima de zero.

Em relação aos acessos ao display de dezenas (DZ), o intervalo de confiança da quantidade média de acessos ao display também engloba o valor obtido no modelo exato (10). A probabilidade da variável de teste indica que os resultados dos dois modelos são equivalentes com 74,859% de confiança ou menos (erro máximo de 25,141%). Para acessos ao display de horas (HZ), o intervalo de confiança engloba o valor obtido no modelo

exato (2). Entretanto, o semi-intervalo de confiança obtido é muito amplo (45,88% da média), pois a quantidade de amostras foi pequena. Seriam necessárias 274 simulações para que o semi-intervalo de confiança fosse reduzido a 10% da média (por exemplo), produzindo resultados mais precisos. A probabilidade da variável de teste indica que os resultados dos dois modelos são equivalentes com 60,437% de confiança ou menos (erro máximo de 39,563%).

Por fim, os resultados da análise dos modelos, para os três parâmetros coletados, indicam que a equivalência (confiança) entre os modelos varia de 60,437% a 87,595% (nível de confiança médio de 74,297%). Ou seja, poderia-se obter, em princípio, com modelos de alto nível, parâmetros equivalentes aos obtidos posteriormente em modelos específicos, com erro médio (nível de significância) de 25,703% (100% - 74,297%).

4. Conclusões

Este artigo verificou se é possível obter métricas de desempenho sobre sistemas embarcados através de simulação de alto nível, sem que seja necessário especificar completamente tal sistema para prototipá-lo ou mesmo simulá-lo em ferramenta específica (simulação de baixo nível). Com isso poderia-se obter indícios do atendimento dos requisitos (ou não) de tal sistema num tempo menor, evitando o projeto de um sistema embarcado com componentes que, posteriormente, verificaria-se não serem suficientes para obter o desempenho inicialmente planejado.

Foram implementados componentes parametrizáveis que representam o comportamento de alto nível dos principais circuitos utilizados em sistemas embarcados. Também foram desenvolvidos dois modelos distintos que usam os componentes criados, e esses modelos foram comparados a modelos equivalentes representados num simulador específico para circuitos eletro-eletrônicos (Proteus/ISIS). Verificou-se que a necessidade de ter o projeto totalmente especificado para poder ser avaliado em simuladores específicos pode não ser a opção mais adequada, dependendo do nível de confiança desejado para os resultados. Conforme as simulações realizadas, os modelos de alto nível e específico mostraram ser equivalentes com confianças que variaram de 51,976% a 87,595%.

Embora resultados de outros modelos de simulação não sejam apresentados por limitação de espaço, eles demonstram ser similares, aumentando o nível de significância à medida que o sistema exige mais iteração com o usuário, o que aumenta a variabilidade dos indicadores de desempenho do sistema.

Referências

- Automation, R. (2009). Rockwell automation - arena simulation software. <http://www.arenasimulation.com/>.
- Electronics, L. (2009). Labcenter electronics - professional pcb design and simulation software. <http://www.labcenter.co.uk/index.cfm>.
- MILONE, G. and ANGELINI, F. (1993). *Estatística geral: Amostragem, distribuições amostrais, decisão estatística*. Atlas, São Paulo, 2.ed edition.
- PEDGEN, C. D., SHANNON, R. E., and SADOWSKI, R. P. (1995). *Introduction to simulation using Siman*. McGraw-Hill, New York.
- Soluções, Z. (2009). Zeroum soluções. <http://www.zeroumsolucoes.com/>.