

RICARDO JORGE SILVÉRIO DE MAGALHÃES MACHADO

Hierarquia em Redes de Petri Orientadas por Objectos na Especificação de Sistemas Digitais

Tese submetida à ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO MINHO para a obtenção
do grau de Mestre em Informática - Área de Especialização em Sistemas Distribuídos,
Comunicações por Computador e Arquitectura de Computadores.



UNIVERSIDADE DO MINHO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

Braga, 1996

ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO MINHO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

GRUPO DE ENGENHARIA DE COMPUTADORES E SISTEMAS DIGITAIS

**HIERARQUIA EM REDES DE PETRI ORIENTADAS POR
OBJECTOS NA ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMAS DIGITAIS**

Ricardo Jorge Silvério de Magalhães Machado

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Ramo de Telecomunicações e Computadores
pela FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do
Grau de Mestre em Informática,
Área de Especialização em
Sistemas Distribuídos, Comunicações por Computador
e Arquitectura de Computadores

Dissertação realizada sob a supervisão do
Prof. Doutor Alberto José Gonçalves de Carvalho Proença,
Professor Associado do
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO MINHO

Braga, Outubro de 1996

Resumo

Nos sistemas digitais de maior complexidade e dimensão é possível identificar dois componentes distintos do sistema global: o controlador e o sistema controlado. Por vezes, a unidade de controlo possui um comportamento marcadamente paralelo, situação que tem sido modelada recorrendo a redes de Petri Síncronas e Interpretadas. Esta abordagem apresenta-se vantajosa relativamente à tradicional utilização de várias máquinas de estados locais a funcionar simultaneamente e com sinais comuns para sincronismo entre elas. No que diz respeito à modelação do sistema global, as poucas soluções existentes actualmente recorrem a técnicas em que ambas as partes são especificadas quase independentemente, não conseguindo integrar num único formalismo a representação do sistema global.

Foi desenvolvida uma extensão para as redes de Petri Síncronas e Interpretadas, *RdP-shobi*, que possibilita a utilização de hierarquia nos modelos e o recurso a objectos para modelar o sistema controlado. Desta maneira, torna-se possível especificar o sistema digital global de uma forma estruturada e incremental. Basicamente, o modelo *RdP-shobi* substitui as tradicionais marcas por objectos. A invocação de métodos corresponde à leitura de sinais de entrada e à geração de sinais de controlo, que permite, simultaneamente, a modelação do comportamento do sistema controlado. A modelação de três controladores paralelos, bem como dos respectivos sistemas controlados, permitiu verificar que o modelo desenvolvido se apresenta adequado na especificação de sistemas digitais de uma forma hierárquica, modular e incremental.

A maior parte das ferramentas de CAD electrónico existente, para suporte ao projecto de sistemas digitais, disponibiliza linguagens de especificação de *hardware*, do tipo HDL, no entanto podem não permitir, directamente, a modelação de actividades concorrentes e cooperativas.

Foi definida a arquitectura de uma aplicação computacional que suporta directamente o modelo proposto para as redes de Petri e que possibilita uma especificação gráfica do sistema. Como solução para implementação da arquitectura definida, utiliza-se o ambiente *SCBA*, o que exigiu o mapeamento do *RdP-shobi* num modelo de computação baseado em agentes, o *MCBA*. Uma vez que esta aplicação utiliza, igualmente, o ambiente *CONPAR*, torna-se possível obter uma descrição em *VHDL* da unidade de controlo do sistema especificado.

Palavras chave: Redes de Petri, Especificação de Sistemas Digitais, Ferramentas de CAD Electrónico.

Abstract

The design of complex digital systems is conceptually divided in two parts: the control unit and the data path. The control unit may, at times, present strong parallel behavior, which has been modeled with synchronous interpreted Petri nets. This approach has some advantages in relation to the traditional one in the use of several local state machines working simultaneously using common signals for mutual synchronisation. The existing solutions for modeling the global system specify both parts almost independently; so they cannot incorporate in one formalism both the representations of the global system.

An extension to the synchronous interpreted Petri nets was developed, shobi-PN, supporting hierarchy in Petri net models and the use of objects to model the data path. A full digital system can be specified with a structured and incremental approach. Essentially, the shobi-PN model substitutes the traditional tokens by objects. The invocation of methods corresponds to the reading of input signals and to the generation of control signals, which permits simultaneously the modeling of the data path behavior. The modeling of three parallel controllers, as well as the respective data paths, permitted the verification of the shobi-PN model suitability to specify digital systems in an hierarchical, modular and incremental way.

The majority of the available electronic CAD tools for digital system design make available HDLs as a specification format, but may not allow the direct modeling of concurrent and co-operative activities.

A computer application was defined to directly support the proposed Petri net model, permitting graphical system specifications. As a solution for the implementation of the application, one can use the *SCBA* environment, which initially required the mapping of the shobi-PN model in a computational model based on agents, the *MCBA*. Since this application also uses the *CONPAR* environment, it is possible to obtain a control unit *VHDL* description of the specified system.

Keywords: Petri Nets, Digital Systems Specification, Electronic CAD Tools.

À Sofia,

“Nada se pode criar do nada.”

Lucrécio

Índice

Resumo i

Abstract ii

Prefácio vi

Parte I

1 Introdução 1

1.1 Projecto de Sistemas Digitais 1

1.2 Contribuição do Trabalho Desenvolvido 4

1.3 Conteúdo e Organização da Dissertação 5

2 Sistemas Digitais e Redes de Petri 7

2.1 Especificação de Sistemas Digitais 7

2.1.1 Unidade de Controlo e Sistema Controlado 9

2.1.2 Software, Firmware e Hardware 10

2.1.3 Especificações de Alto- e Baixo-Nível 11

2.1.4 Especificações Sequenciais e Paralelas 13

2.2 Fundamentos de Redes de Petri 15

2.2.1 Regras Básicas de Funcionamento 15

2.2.2 Estruturas Particulares 19

2.2.3 Propriedades 20

2.2.4 Métodos de Análise 27

2.2.5 Extensões 33

2.3 Redes de Petri na Especificação de Sistemas Digitais 43

3	<i>RdP-shobi</i>: Um Modelo Teórico de Especificação	47
3.1	Caracterização do Modelo	47
3.1.1	Compatibilidade entre Modelos	49
3.1.2	Hierarquia	52
3.1.3	Regras de Construção	56
3.2	Análise de Propriedades	58
3.3	Discussão de Casos Práticos	60
3.3.1	Interfaces de Comunicações	60
3.3.2	Controlo Industrial	66
3.3.3	Microarquitetura de Processadores	74
3.3.4	Análise de Resultados	80
4	<i>SOFHIA</i>: Uma Ferramenta-CAD de Especificação	83
4.1	Ferramentas de CAD Existentes	83
4.2	Caracterização do Ambiente <i>SOFHIA</i>	85
4.2.1	Opções na Concepção da Ferramenta	86
4.2.2	Blocos Funcionais	88
4.2.3	Técnicas e Produtos Utilizados	91
4.2.4	Redes de Petri em <i>SCBA</i>	94
5	Conclusões	98
5.1	Análise Crítica do Trabalho	98
5.2	Trabalho Futuro	100
	Bibliografia	102
	Apêndice: Comunicação <i>CHDL</i>'97	114

Prefácio

Enquadramento e Motivações

O Grupo de Engenharia de Computadores e Sistemas Digitais do Departamento de Informática da Escola de Engenharia da Universidade do Minho tem como áreas de interesse, no âmbito da *Investigação & Desenvolvimento*, as arquitecturas paralelas e avançadas de computadores, a visão por computador e a especificação de sistemas digitais. A proposta deste tema para dissertação de mestrado surgiu, então, naturalmente, como uma forma de dar continuação aos trabalhos que têm sido desenvolvidos no âmbito da concepção de ferramentas de CAD electrónico para o projecto de sistemas digitais.

Por outro lado, o facto de ter desenvolvido actividades profissionais como engenheiro de projecto e desenvolvimento de sistemas digitais contribuiu para que o tema proposto tivesse um interesse pessoal bastante grande, uma vez que a adopção do tema como dissertação de mestrado correspondeu a uma forma de aquisição de novos conhecimentos numa área em que já possuía alguma experiência e traduziu-se numa especialização técnica e científica que deu seguimento a tudo aquilo que tenho feito desde os finais da licenciatura.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador científico, o Prof. Doutor Alberto José Proença, a disponibilidade sempre demonstrada e os muitos comentários, críticas e sugestões, que valorizaram enormemente esta dissertação.

Agradeço ao Prof. Doutor Marian Adamski, do *Departamento de Electrónica Industrial*, a enorme quantidade de artigos que me facilitou, as conversas frutíferas que me proporcionou e os comentários que teceu ao trabalho realizado.

Tenho de deixar expressa uma palavra de profundo agradecimento aos meus colegas Eng.º João Miguel Fernandes e Eng.º António Pina. Ao primeiro, por todos os artigos que me facultou, todas as sugestões que me deu e esclarecimentos que me prestou relativamente ao modelo *RdP-SI* e ao ambiente *CONPAR*; ao segundo, por todo o apoio técnico que me prestou relativamente ao modelo *MCBA* e no funcionamento do ambiente *SCBA*.

Deixo uma palavra de apreço às pessoas do *Departamento de Informática*, nomeadamente ao Prof. Doutor Henrique Santos, pelos esclarecimentos prestados na área da síntese de sistemas digitais, e aos meus colegas do *Laboratório de Eng.ª de Computadores e Sistemas Digitais*, Eng.º António Esteves, Eng.º João Miguel Fernandes, Eng.º João Luís Sobral, Eng.º Luís Paulo Santos e Eng.º Miguel Monteiro, pelo agradável clima de trabalho que me proporcionaram.

À Sofia agradeço todo o apoio, carinho e amor, sem os quais este projecto de mestrado não teria sido possível.

Não posso esquecer os meus pais e a minha irmã, pela forma como sempre me apoiaram e motivaram para a realização do curso de mestrado, desde o seu início.

Tenho que agradecer igualmente à *TEXAS INSTRUMENTS - SAMSUNG ELECTRÓNICA PORTUGAL*, pela confiança que depositou em mim através da flexibilização de horários de trabalho, desde o início do curso de mestrado até a uma fase inicial da dissertação, o que permitiu continuar a minha formação académica, simultaneamente com o exercício da minha actividade profissional.

Finalmente, devo agradecer à *JNICT - JUNTA NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*, pelo apoio financeiro que me foi concedido, através da atribuição de uma bolsa de estudos (BM 6666/95), no âmbito do programa *PRAXIS XXI* (artigo 2º, alínea c), que visa a formação avançada de recursos humanos para a obtenção do grau de *Mestre* na área científica das *Tecnologias da Informação e das Telecomunicações*.

A todos muito obrigado !

Ricardo Jorge Silvério de Magalhães Machado

