
Título: Modelos, Métodos e Ferramentas para Implementação de Unidades de Controlo Virtuais.

Title: *Models, Methods and Tools for Implementation of Virtual Control Units.*

Autor/Author: Arnaldo Silva Rodrigues de Oliveira

Orientador/Advisor: Valery Anatolevitch Sklyarov

Data Apresentação/Acceptance Date: 20/07/00

Palavras Chave: Unidades de Controlo, Dispositivos Lógicos Programáveis, Sistemas Reconfiguráveis, Síntese Lógica.

Key Words: *Control Units, Field Programmable Logic Devices, Reconfigurable Systems, Logic Synthesis.*

Mestrado/M.S.

Resumo

As unidades de controlo são um dos tipos de circuitos digitais mais importantes, estando presentes numa grande diversidade de aplicações, desde simples controladores de semáforos até sistemas complexos de processamento de dados. A sua função é estabelecer a sequência de operações realizadas pelo sistema a que pertencem. Dependendo da aplicação, podem ser utilizadas isoladamente ou em conjunto com outros componentes, tais como unidades de execução, sensores e actuadores. Como um caso particular de circuitos sequenciais, são normalmente descritas por modelos orientados ao estado, dos quais a máquina de estados finitos é o exemplo mais conhecido. No entanto, com a crescente complexidade dos sistemas e consequentemente das suas unidades de controlo, este modelo deixou de ser adequado para realizar a sua especificação, uma vez que não suporta a descrição explícita de hierarquia e concorrência. Nesta dissertação são abordados alguns dos modelos e linguagens mais apropriadas para este fim, em particular a máquina de estados finitos hierárquica e/ou paralela, os esquemas de grafos hierárquicos e/ou paralelos e os *Statecharts*. O aparecimento na última década de dispositivos lógicos de elevada capacidade e programáveis pelo utilizador foi responsável por importantes alterações no projecto de sistemas digitais, principalmente ao nível do tempo, custo e flexibilidade de projecto. Além disso, os dispositivos programáveis dinamicamente, deram origem a uma nova classe de circuitos: os sistemas reconfiguráveis. Estes podem ser usados para construir sistemas computacionais modificáveis, pelo que permitem combinar as vantagens de uma solução programável com o elevado desempenho de uma implementação em hardware. Os sistemas reconfiguráveis podem também ser utilizados em aplicações onde a quantidade de recursos de hardware necessários para uma implementação integral seja elevada e onde nem todos os sub-sistemas sejam necessários em simultâneo, sendo portanto possível e até desejável uma implementação parcial em conjunto com a sua reconfiguração dinâmica. Neste caso, devido à analogia com os sistemas de memória virtual, os sistemas reconfiguráveis são também designados por sistemas de

hardware virtual e os respectivos circuitos de controlo por unidades de controlo virtuais. Como as unidades de controlo são específicas de cada projecto e normalmente bastante irregulares, torna-se necessário o estabelecimento de algumas restrições de forma a simplificar o seu projecto e reconfiguração. Nesta dissertação é proposta uma arquitectura de unidades de controlo virtuais baseada numa estrutura predefinida, parametrizável e optimizada para o dispositivo de implementação utilizado, a FPGA XC6200 da Xilinx. Esta arquitectura em conjunto com os modelos e os dispositivos lógicos programáveis utilizados permite construir unidades de controlo complexas, flexíveis, extensíveis e reutilizáveis. O processo de síntese de unidades de controlo é também abordado, com uma atenção especial para as técnicas mais apropriadas para as FPGAs. Finalmente, para suportar a reconfiguração dinâmica dos circuitos desenvolvidos, foi construída uma biblioteca de classes em C++ e um controlador (*device driver*) para a placa de desenvolvimento utilizada neste trabalho.

Abstract

Control units are one of the most important types of digital circuits. They are used in a great variety of applications, from simple traffic light controllers to complex data processing systems. Their function is to establish the sequence of operations accomplished by the system they belong to. Depending on the application, they can be used separately or together with other components, such as execution units, sensors or actuators. Because control units are a particular kind of sequential circuits, they are usually described by state-oriented models, the finite state machine being the best known example. However, with the increasing complexity of the systems and consequently of its control units, this model is becoming less adapted to perform its specification, because it does not support the explicit description of hierarchy and concurrency. This dissertation presents some of the models and languages better suited to this purpose, in particular the hierarchical and/or parallel finite state machine, the hierarchical and/or parallel graph schemes and the *Statecharts* formalisms. The appearance in the last decade of high capacity user programmable logic devices was responsible for important modifications in the way digital systems are designed, mainly in terms of time, cost and design flexibility. Besides, the availability of dynamically reconfigurable devices made possible the emergence of a new class of circuits: the reconfigurable systems. They can be used to build modifiable computational systems combining the advantages of a programmable solution with the high performance of a hardware implementation. The reconfigurable systems can also be used in applications where the amount of required hardware resources for an integral implementation is too high or at least bigger than desirable and where all the subsystems are not necessary simultaneously, making possible a partial implementation in conjunction with its dynamic reconfiguration. Due to

the analogy with virtual memory systems, these systems can also be called virtual hardware systems and their respective control circuits virtual control units. Because the control units are specific for each project and usually very irregular, it is necessary to impose some constraints in order to simplify their design and reconfiguration. In this dissertation an architecture for virtual control units based on a predefined, parameterizable and optimized template for a particular target device, the FPGA XC6200 from Xilinx, is proposed. However, the main ideas of this architecture can also be easily applied to other FPGA families. The use of this architecture together with the hierarchical and/or parallel models and the dynamically reconfigurable logic devices allows building complex, flexible, extensible and reusable control units. This contributes to a decrease in development time and permits system updates after the completion of the design and manufacturing cycles. The control unit synthesis process is also presented with special emphasis on the techniques better suited to FPGA implementation. Finally, to support the dynamic reconfiguration of the developed circuits, a C++ class library and a device driver for the development system used in this work were built.