Aplicações de FPGA em Robótica

Letícia Aparecida Coelho Katharine Schaeffer Fertig
Kristhine Schaeffer Fertig*

Maio 2016

Resumo

Este artigo visa apresentar exemplos de utilização de FPGAs em robótica, assim como em sistemas de tempo real. O desenvolvimento destas aplicações está em ascenção e a documentação científica do mesmo não tem crescido de forma semelhante. Assim, a análise deste domínio tecnológico torna-se uma temática de estudo necessária. Com isso em mente, propõe-se realizar uma revisão bibliográfica sobre abordagens existentes de FPGAs em robótica, destacando-se ainda a necessidade, a finalidade e os benefícios alcançados com a utilização dos mesmos nas aplicações apresentadas.

Palavras-chaves: FPGAs. Dispositivos Lógicos Programáveis. Robótica.

1 Introdução

Dada a influência da robótica nos dias atuais e estando em grande ascenção, seus conceitos nos levam a novos desafios e aplicações. Atualmente em que a tendência de robotização de processos busca maior mobilidade, autonomia e cada vez mais desempenho aliado a algoritmos complexos, necessita-se de sistemas de hardware capazes de acompanhar e suprir estas necessidades e oferecer maior dinamização e um menor consumo de recursos. Neste contexto, dispositivos lógicos programáveis tem sido inseridos na robótica para melhorar as respostas e resultados destes sistemas. Assim, o presente artigo apresenta e discute alguns exemplos de utilização de FPGAs na área da robótica, assim como em aplicações de tempo real.

2 Os FPGAs e suas funcionalidades

2.1 Computação Reconfigurável

De maneira tradicional, a implementação de sistemas de computação sempre foi realizada através de hardware ou software executando em um processador, apresentando ora alto desempenho, ora instruções flexíveis. Contudo, as tecnologias de computação reconfigurável introduzem a possibilidade de mesclar as propriedades de ambas as implementações: a programabilidade dos processadores convencionais e a capacidade de

*Aluno do curso de Engenharia de Telecomunicações - IFSC

computação paralela/espacial do hardware de propósito específico. [1]
Os sistemas baseados em computação reconfigurável são então plataformas nas quais a arquitetura e o hardware modificam-se em tempo real para melhor se adequar à aplicação que será executada.[11]

2.2 A tecnologia e vantagens

Atualmente, o principal dispositivo utilizado e responsável pelo avanço da computação reconfigurável é o FPGA (Field Programable Gate Array), uma evolução de outros dispositivos lógicos - PAL e GAL, unindo o desempenho dos "gate arrays"e a versatilidade de CLPDs. [11] Hoje em dia, a tecnologia do FPGA já é dominada por diversos fabricantes e tem seu uso difundido em diversas áreas - aeroespacial, militar, visão computacional, prototipação de ASIC's [1] - estando ainda entre os dispositivos mais populares na área de robótica pois permitem construção e configuração dos componentes de hardware de forma declarativa e relativamente simples além de serem amplamente usados na prototipagem e testes a fim de produzir ou melhorar resultados de forma mais barata. [18]
Os FPGA's se destacam em arquiteturas reconfiguráveis, por diversas características e vantagens, as quais dentre elas pode-se destacar: [10]

- Velocidade de processamento - implementações baseadas em fluxo de dados (ao invés de fluxo de instruções) e executadas diretamente em hardware;
- Flexibilidade em hardware - Alto poder de ajuste a funções específicas, mediante reconfiguração estática ou dinâmica (arquiteturas reconfiguráveis);
- Baixo custo;
- Diminuição de ruídos nos sistemas;
- Prototipagem rápida;
- Tempo mais curto de resposta de produtos ao mercado;
- Capacidade do sistema se reprogramar em campo (field-programming);
- Permite um ciclo de vida de produto mais longo, reduzindo assim o risco de obsolescência;

2.3 FPGAs - System-on-a-Programmable-Chip

A evolução de sistemas computacionais tem trazido à tona a necessidade de se acrescentar cada vez mais funcionalidades possíveis em um único chip, sendo esta abordagem conhecida como System-on-a-chip (SOC) (KAMATH e KAUDIN, 2004) (NEKOOGAR, 2003). No contexto dos FPGAs essa abordagem recebe o nome de System-on-a-Programmable-Chip (SOPC)[19] e é caracterizado pela presença de todos os recursos de hardware e software necessários para o funcionamento do sistema - processador, memória, periféricos e demais componentes lógicos de suporte - em um único chip programável. Isto é capaz de trazer uma maior velocidade na troca de informações entre estes componentes e total paralelismo na execução das funções. [13]

2.4 Reconfigurabilidade de FPGAs

Os dispositivos FPGAs podem ser programáveis e reconfigurados várias vezes conforme o necessário. Esta reconfigurabilidade dos FPGAs, pode ser executada em tempo real ou ainda em uma parte específica do dispositivo (reconfiguração dinâmica e parcial). [10] "A capacidade de reconfiguração dinâmica permite o compartilhamento ao longo de tempo de tarefas diferentes, o que pode reduzir significativamente a área de silício exigida. Esta tecnologia torna possível o conceito de hardware ilimitado ou Hardware Virtual". [11] Desta forma se insere no meio do hardware o conceito de virtualização, isto é, o de hardware virtual, em que é apenas necessário estar ativo no sistema o hardware dedicado para executar tarefas em um determinado instante. Assim, sempre que uma parte do hardware virtual não for necessária, ela será desativada do circuito e com este conceito um hardware pode se adaptar às reais necessidades de software. [19]

3 Emprego de FPGAs em aplicações

3.1 FPGAs - Sistemas Embarcados

Atualmente existem novos paradigmas com relação à aplicações de sistemas embarcados, exigindo cada vez mais grande paralelismo no processamento de dados de fontes variadas - como sistemas automotivos ou robóticos de controle e navegação. Para essas aplicações, tem-se implementado até hoje, processadores de propósito geral e com instruções dedicadas a determinadas aplicações como microcontroladores ou Processadores de sinais digitais– DSPs. [17] Porém, quando em sistemas embarcados, há um limite reduzido para custo de energia, necessita-se de um alternativa aos processadores tradicionais e os processadores de sinais (DSP), aplicando-se computadores reconfiguráveis.[15] A possibilidade de uso de computadores reconfiguráveis e hardwares programáveis se encontram nos FPGAs e ASICs, os quais permitem um projeto concorrente de hardware e software em um único chip, sendo isso ainda essencial às aplicações de sistemas embarcados. [17]

A necessidade de FPGAs em robótica influi na usabilidade dos mesmos em sistemas embarcados, pois em sua maioria hoje, os robôs em pesquisa e desenvolvimento são móveis e autônomos, necessitando de sistemas de hardware igualmente autônomos, nos quais melhor se encaixam os sistemas embarcados. Entre as diversas aplicações de robótica com sistemas embarcados desenvolvidos usando FPGAs estão, aplicações na educação, lazer, sistemas de visão computacional [Assunção 2007, Bonato 2006 e 2008], sistemas de localização e mapeamento[Wolf 2005, 2007][Bonato 2007].[17]

3.2 FPGAs - Sistema de controle de Robôs

Em sistemas de controle em robôs reais uma alternativa é a utilização de FPGAs para implementar módulos de software e hardware do sistema de controle. Para os sistemas de controle usa-se algoritmos computacionais mas que em sua maioria, apresentam o gargalo de von Neumann. Este gargalo se trata de um conjunto de limitações que processadores de propósito geral (GPPs), fundamentados no modelo de von Neumann, apresentam. Dentre estas limitações se encontram, degradação acentuada de velocidade de processamento devido à execuções sequenciais de código e às limitações de barramento de dados (Hartenstein, 2006). Assim, basicamente a constante repetição de instruções pode tornar determinando algoritmo lento. Sabendo-se ainda da presença do paralelismo inerente aos algoritmos de controle surge então a necessidade de empregar estruturas de hardware dedicadas que

acelerem parcial ou totalmente a execução destes algoritmos tornando-os mais ágeis.[16]

3.3 FPGAs - Algoritmos computacionais

Até pouco tempo atrás, existiam duas formas de se executar um algoritmo computacional (COMPTON, 1999); através de ASICs ou de microprocessadores. Os ASICs são conhecidos como hardware totalmente customizados e são usados para realizar operações com alto grau de especificidade sendo, consequentemente, extremamente rápidos e eficientes para as operações determinadas a serem executadas. Mas um ASIC não pode ser modificado depois de implementado e caso haja uma mudança de especificação da operação, deve-se desenvolver um novo ASIC para executar cada nova alteração. Isso incorre em um alto custo financeiro, além do tempo demandado. [19] Além de ASICs, os microprocessadores podem executar qualquer operação digital e por apresentarem a flexibilidade como sua característica principal, o tempo decorrido em instruções de decodificação e busca é maior em relação aos ASICs, resultando assim, em um desempenho menor.[19] Devido a estes impasses tecnológicos, os FPGAs surgem como solução na acelaração e implementação de algoritmos computacionais, no que diz respeito à aplicações robóticas.

4 Aplicações

Abaixo algumas aplicações de FPGAs na área da robótica estarão sendo abordadas, de forma a identificar a complementaridade gerada por parte dos desafios na robótica que devem ser alcançados junto às soluções geradas com a utilização de FPGAs.

Aplicações envolvendo visão robótica-computacional podem ter diversos usos em lazer, logística, análise de ambientes inacessíveis e em um sistema de desvio de obstáculos. Considerando um sistema de desvio de obstáculos para robôs móveis baseado em visão monocular aplicada em FPGA, foram implementados algoritmos de fluxo óptico em um único circuito integrado reprogramável, operando em tempo real com um consumo de apenas uma fração da energia do mesmo algoritmo em um PC tradicional. O aumento da velocidade do algoritmo em FPGAs se dá pela paralelização das operações mais críticas ocorridas no mesmo.[15]

Outras aplicações com FPGAs são capazes de gerir algoritmos de controle com interação de usuário. Neste tipo de aplicação em [14], criou-se um kit de robótica educacional próprio e basicamente um módulo de controle de robôs móveis e autônomos em FPGA. O sistema controla o robô de acordo com a leitura e interpretação de um arquivo texto com sequenciação de comandos de um usuário para os movimentos do robô. Sabendo-se que o FPGA trabalha também com o paradigma de orientação a objetos e uso de ARRAY LIST, permitiu-se assim a leitura das instruções por processador embarcado na placa FPGA. [14]

Uma outra aplicação existente na robótica com uso de FPGAs é apresentada na forma de aceleração de algoritmos de visão robótica ou computacional - usados em variadas aplicações robóticas de tempo real. Para isso, o sistema deve ser orientado à plataforma, onde dispositivos serão alocados a uma plataforma e usados apenas quando necessários, agregando-se ainda dispositivos aos poucos - os algoritmos implementados com programação mista. Desta forma visa-se simplificar o sistema de visão robótica e acelerar partes dos algoritmos utilizados, sendo isso apenas possibilitado devido à resposta rápida gerada pela paralelização no FPGA, vindo ainda, desta forma, a diminuir a complexidade do sistema.[18]

Em um trabalho desenvolvido para aceleração de sistemas de visão computacional, Fredi

[Fredi 2001] propõe uma metodologia de desenvolvimento de hardware e software utilizando soluções baseadas em um sistema dedicado FPGA no processamento e filtragem de imagens enquanto que nesta aplicação o sistema proposto usa uma arquitetura orientada à plataforma - dando mais flexibilidade - e FPGAs na prototipagem de componentes do hardware que implementem funções parciais ou totais de algoritmos de visão computacional.[18]

Ainda existem aplicações em algoritmos de controle usando FPGAs para Braços Robóticos. Segundo [12] o FPGA é aplicado na construção de um braço robótico articulado verticalmente, conseguindo movimentar objetos de acordo com comandos passados em uma interface de botões. O desenvolvimento deste braço mecânico de baixo custo teve como proposta inicial o controle a partir de um computador programado com a linguagem C++ , porém foi implementado em um FPGA após problemas com interferência. A partir daí criou-se um controlador para servomotores e para motores de passo bipolar, onde o controle dos servos com uso de circuito modulador PWM, foi também alcançado pela possibilidade de circuitos em FPGA implementarem esta funcionalidade. Além disso tudo, a utilização do FPGA na etapa inicial para o controle do braço facilitou e integrou posteriormente o sistema de visão computacional, um tipo de sistema em robótica também amplamente implementado sobre FPGAs. [12]

Outros usos de FPGAs na robótica se enquadram ainda no controle de robôs ciclistas com redes neurais. Uma aplicação feita por [16] envolvendo métodos de controle inteligente - por sistemas de otimização neuro-difuso, capacidade de aprendizado com redes neurais, e interpretação linguística dos sistemas de inferência nebulosos - também foi implementado em FPGA para o controle de equilíbrio de robôs ciclistas (acrobots). As técnicas de controle são baseadas em especificações e índices de desempenho e os tipos de arquitetura de controle necessitam de paralelismo de forma a garantir a verificação de movimento e restrições ao equilíbrio do robô de forma mais rápida possível. [16]
O módulo de navegação, porém, é uma das tarefas complexas na locomoção de robôs móveis pois esta deve integrar sensoriamento, atuação, planejamento, arquitetura, hardware, eficiência e computação. No entanto, de forma a integrar todos estes fatores a serem analisados, os FPGAs permitem a geração de arquiteturas que contêm módulos executáveis em paralelo e a construção de sistemas que permitem a utilização destes recursos em conjunto.[16]
Além disso, o controle implementado neste sistema é complexo baseado em controladores difusos e nebulosos que são associados à controladores neurais, sendo que estes apresentam a característica de paralelismo dos processos de aprendizado. Pode-se ver então, que um este sistema de aprendizagem para robôs ciclistas poderia ser implementado apenas em FPGAs, capazes de operar em paralelismo juntamente ao alto processamento de dados e velocidade de resposta. Ainda sim, o uso de hardware reconfigurável, neste tipo de sistema, faz possível a descentralização e independência dos algoritmos de controle e unidades de processamento principal do sistema robótico, melhorando o desempenho global do sistema.[16]

Outra aplicação mais ousada de FPGAs em algoritmos de controle se encontra na implementação de um algoritmo de controle evolutivo embarcado em hardware - sem processadores tradicionais - que evolui controladores de robôs em FPGAs (normalmente executados em microcontroladores) para possibilitar a navegação de um robô móvel autônomo.[13]
O Algoritmo evolutivo controla o conjunto de bits e produz um circuito digital adaptativo, capaz de ler sensores infravermelho de proximidade e controlar a velocidade dos motores. Desta forma, esta aplicação junta as técnicas de algoritmos evolutivos com o potencial de um FPGA em um robô autônomo, que consiga então aprender a se movimentar e a

desviar de obstáculos. Neste sistema o algoritmo de controle adaptativo para nagevação do robô foi implementado em FPGA, sendo que o algoritmo de controle do robô em si é implementado em outra placa e associada ao FPGA para receber e processar os sinais dos sensores de proximidade de obstáculos do robô, tomar decisões e comandar as velocidades de seus dois motores. Esta forma de implementação das placas de controle separadas evita ainda a propagação de ruído.[13]

Contudo, ainda existem aplicações voltadas não tanto à visão computacional, algoritmos de controle, movimentos e navegação ou aceleração de processos, mas sim na comunicação segura e autônoma possibilitada para robôs móveis baseado em FPGAs. Nesta aplicação de [19] existe a implementação de VPN utilizando-se dos circuitos reprogramáveis do tipo FPGA e o uso desta solução VPN por hardware serve para a interligação de um robô ao seu servidor de comunicação e tarefas, através de linhas privadas. [19]
O emprego de uma VPN em robótica visa permitir a utilização de um sistema de comunicação com ou sem fio e toda a infra-estrutura da Internet para a comunicação com o robô ou entre robôs a qualquer distância de forma segura e confiável. O uso de FPGAs para uma solução com VPN tem por objetivo proporcionar uma maior flexibilidade para modos de implementação da VPN manter o custo computacional no hardware à medida que o sistema VPN trabalha com criptografia e exige alto desempenho do sistema. Estas dentre outras características, são as que tornam os FPGAs cada vez mais atrativos para esta e outras diversas aplicações em robótica.[19]

5 Conclusões

Conclui-se desta análise que os FPGAs abriram soluções e concretizaram sua presença em aplicações de sistemas adaptativos de robótica, robôs de baixo consumo de energia e alto desempenho, robôs móveis e autônomos, redes neurais artificiais para aprendizado robótico, robótica probabilística e robôs reconfiguráveis. Portanto, as tecnologias de computação reconfigurável objetificadas em FPGAs introduziram a possibilidade de mesclar todas as propriedades desejadas para avanços robóticos. Notou-se ainda que os FPGAs possibilitaram não apenas a reprodução ou melhora de resultados de forma mais barata em sistemas robóticos, mas juntamente a isso, transferiram os altos custos dos sistemas e sua complexidade para o nível exclusivo do hardware, através de linguagens de especificação simples e sem interferir na capacidade do software.

Vale destacar ainda que, para a robótica, os FPGAs contribuíram imensamente na virtualização de hardware, permitindo os hardwares se adaptar às reais necessidades de software e gerando total flexibilização dos robôs, além de descentralizarem as unidades de processamento e implementação robótica, permitindo assim a não interferência (ruídos) entre as partes dos sistemas robóticos.

Percebeu-se que, sistemas reconfiguráveis (FPGAs) junto à adoção de metodologias de co-projeto hardware-software e a utilização de ferramentas de simulação, permitem dar maior flexibilidade, economia, rapidez, e obter melhores resultados no projeto de sistemas robóticos.

Também pode-se concluir que dos grandes desafios relacionados à robótica atual e móvel, grande parte deles estão sendo solucionados por FPGAs. Dentre os desafios que neste artigo tiveram soluções propostas estão: aceleração de algoritmos devido à paralelização com FPGA; execução de algoritmos de controle que permitem interação rápida e efetiva entre robôs e usuário de sistemas robóticos; uso de FPGAs em demais partes do sistema robótico de forma a facilitar futuras implementações de visão computacional; uso

de circuitos adaptáveis e reprogramáveis de FPGAs na geração de redes neurais para criar um linha de aprendizado aos robôs móveis na sua movimentação, navegação e equilíbrio.

Podemos observar ainda que, apesar do uso industrial e em ampla escala de ASICs, microprocessadores e DSPs, existem ainda muitos impasses tecnológicos relacionados ao uso destas tecnologias em pesquisas, de forma a não se estabelecer ferramentas e dispositivos padrões para desenvolvimento. Contudo, os FPGAs tem surgido e tomado a frente na simplificação de sistemas de hardware, desenvolvimento econômico e sustentável, além de abrir portas para uma globalização de seu uso em estudos tecnológicos das mais variadas áreas, excepcionalmente na robótica.

Referências

[1] MAZZOTTI, Bruno Franciscon. Proposta de uma Arquitetura Probabilística para Robótica Móvel e Aplicações Embarcadas. 2007. 47 f. Monografia - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, SP. 2007.

[2] OLIVEIRA VAZ, Luiz Adriano Andrade. Grybot - Um Robô Jogador Automático de Guitar Hero sobre FPGA. 2013. 79 f. Monografia - Instituto de Ciências Exatas, Universidade de Brasília, DF. 2013.

[3] SILVA, Álamo G.; FERNANDES, Yáskara Y. M. P.; NETO, Pedro Fernandes R. Proposta de Simulação de Robô em uma Plataforma FPGA. Mossoró, RN.

[4] CONCEIÇÃO, André Gustavo S.; CHAVES, Luciano F.; PEREIRA, Luís Fernando A. Projeto e Desenvolvimento de um robô de serviço incorporando as vantagens de prototipação rápida. Cobenge, Porto Alegre, p. 486-492, 2001.

[5] MACHADO, Menotti Erasmo da Silva Machado; MAGALHÃES, Francisco Helano Sampaio de Magalhães; DA SILVA, Natanael Rodrigues; ROCHA, Pedro Hugo Menezes. Projeto de um Manipulador Robótico com extremidade do tipo garra acionado por FPGA. Fortaleza, CE.

[6] ALVES, Gladstone B. Introdução ao Hardware Evolutivo. Minas Gerais: SelectedWorks, 2001. 23 p.

[7] DE SOUZA, Paulo Vinícius; BIANCHI, Reinaldo A. C. Implementando Algoritmos de Visão Computacional em VHDL. São Bernardo do Campo, SP.

[8] LIMA, Luís V.; ALMEIDA, José M.; MARTINS, Alfredo; SILVA, Eduardo. BoaVista – Sensor Dedicado de Visão Artificial Baseado em Hardware (Re)configurável. Porto, Portugal.

[9] DA CRUZ, Thiago Alberto; SIMÕES, Eduardo do Valle. Desenvolvimento de Robôs Móveis Autônomos controlados por FPGA. São Carlos, SP.

[10] SAMAME, Luis Federico Contreras. Arquitetura em Hardware do Filtro de Kalman estendido para a localização de robôs móveis autônomos implementada em FPGA. 2015. 117 f. Dissertação - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF. 2015.

[11] SCATENA, Jean Miller. Implementação de Mapas Topológicos para Navegação de Robôs Móveis baseadas em Computação Reconfigurável. 2003. 111 f. Dissertação - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, SP. 2003.

[12] SOUZA, Geovane Mimoso; DELGADO, Martha Ximena Torres; CRUZ, Tiago Xavier. Construção de um braço Robótico controlado a partir de um FPGA. Colloquium Exactarum, v. 4, n.1, p. 01-16, 2012.

[13] SIMÕES, Eduardo do Valle. GLOBO, Carlos Alexandre Matioli. Um Controlador Neural Evolutivo Embarcado em FPGA para Robôs Móveis Autônomos. In: EnRI - Encontro de Robótica Inteligente, 3., 2006, Campo Grande. Anais do XXVI Congresso da SBC, 2006, p. 263-272.

[14] HERDEN, A.; VALLIM, M. R. B.; RODRIGUES, M. H.; SIQUEIRA, M.D.A ; MOSCATO, A. L. S. Desenvolvimento do Ambiente de Programação para Movimentação de um Robô Móvel Baseado em Blocos Lógicos. In: ENINED - Encontro Nacional de Informática e Educação, 2., 2011, p. 379-388.

[15] JÚNIOR, Jecel Mattos de Assumpção. Projeto de um sistema de desvio de obstáculos para robôs móveis baseado em computação reconfigurável. 2009. 93 f. Dissertação - ICMC-USP, São Paulo. 2009

[16] CAICEDO, Yesid Enrique Castro. Implementação de controle difuso de um acrobot em FPGA. 2009. 180 f. Dissertação - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, DF. 2009.

[17] WOLF, Denis F.; OSÓRIO, Fernando S.; SIMÕES, Eduardo; TRINDADE JR., Onofre. Tutorial - Intelligent Robotics: From Simulation to Real World Applications. In: Congresso da SBC - Jornada de Atualização em Informática, 2009, p. 279-330.

[18] ARAÚJO, Gianna R. de. Acelerando Algoritmos de Baixo nível em Visão Robótica com hardware reconfigurável. 2011. 51 f. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2011.

[19] MARLETA, Marcelo. H. Projeto de uma VPN baseada em computação reconfigurável e aplicada a robôs móveis. 2007. 103 f. Dissertação - ICMC-USP, São Paulo. 2007.