

O uso do Raspberry Pi em laboratórios de aulas práticas: uma Contribuição ao Ensino de Ciências da Computação.

João Dovicchi, INE/UFSC

2 de Setembro de 2015

Resumo

Este artigo apresenta as vantagens do uso do Raspberry Pi e do processador **ARM** como ferramenta educacional e para laboratórios de aulas práticas de disciplinas como Arquitetura e Organização de Computadores e como Sistemas Operacionais. A justificativa é o seu baixo custo, a facilidade do conjunto de instruções e a elegância do Assembly para o ARM. Esta facilidade e tamanho do set de instrução deste processador o torna, também, ideal para o ensino de Programação Assembly, Sinais e Sistemas Digitais e Sistemas Embarcados. Além disso, o Raspberry Pi tem outra grande vantagem que é o baixo custo e a economia de energia

Abstract

This article presents the benefits of the **ARM** processor and the Raspberry Pi as an educational tool for laboratory classes of Computer Architecture, Operating Systems, and others. Its low cost and low energy consumption, also the elegance and ease of its Assembly justify the use of the Raspberry Pi. The small size and of its instruction set is also a plus to teach Assembly Programming, Digital Signal and Systems and Embeded Computing.

1 Introdução e estado da arte

Nos cursos de computação, sistemas de informação, engenharia elétrica, engenharia eletrônica e engenharia de computação, grande parte das disciplinas práticas que envolvem a programação de microcontroladores, hardware e arquitetura e organização de computadores são administradas com aulas práticas. Estas aulas, em geral, são realizadas com auxílio de simuladores de hardware por meio de softwares [1] ou por meio de laboratórios virtuais em ambiente de rede [2]. Um rápido levantamento

em um site de buscas, pelos programas de disciplinas de algumas universidades brasileiras revela que são utilizados softwares como MIPSit, Simics, SimOS, Mikrosim, entre outros. No entanto, estes softwares são proprietários e muitos deles de licença de custo elevado [3].

Recentemente, o aparecimento de um computador de tamanho reduzido, baixo custo e de baixo consumo, chamado Raspberry Pi tem chamado a atenção de muitos entusiastas da computação “alternativa”. Não se trata da obtenção do Raspberry Pi apenas para o uso como um computador de baixo custo ou para os nerds impacientes. O que importa é a maneira como ele pode ser utilizado nas escolas:

“What matters is the kind of reception the device gets when it arrives in schools.” [4]

Apesar da maioria das universidades, mesmo as grandes universidades do exterior usarem ambientes de simulação para as aulas práticas de arquitetura de computadores, algumas delas já começam a se interessar por uma alternativa mais viável e mais real para estas aulas.

Alguns exemplos de uso do Raspberry pi podem ser encontrados em disciplinas relacionadas com robótica [5] e, mesmo assim, como controlador de uma outra placa de interface como a PiFace¹; na Universidade Carnegie Mellon já se usa o NXT e VEX² para o ensino de robótica. O VEX tem uma versão com Linux que usa uma FPGA (*Field-programmable gate array*) e uma biblioteca otimizada para controle de periféricos.

Na Universidade de Iowa, a disciplina de Construção de Compiladores, no curso de Ciências da Computação, usa o o processador ARM como base e o Raspberry Pi como plataforma para as aulas práticas³; e, ainda, na University of St. Andrews, o curso de Bioinformática é oferecido com o Raspberry Pi, justificado pelo baixo custo do equipamento necessário [6].

2 Justificativas técnicas

Uma das principais justificativas para o uso do Raspberry Pi como plataforma de *hardware* em laboratórios de ensino se apoia no fato de que o equipamento é de baixo custo. Assim, os alunos podem ter seus próprios equipamentos ou o curso pode provê-los aos alunos que podem ficar responsáveis por eles, neste caso, cada aluno tem seu próprio cartão SD. Cartões SD são baratos e isto evita ter que fazer a formatação das mídias a cada semestre de aulas.

Uma outra justificativa é o conjunto de instruções do processador ARM [7, 8] que pode ser considerado bastante apropriado para o ensino da disciplina de Organização e Arquitetura de computadores, em

¹<http://piface.openlx.org.uk>

²<http://www.education.rec.ri.cmu.edu/>

³<http://homepage.cs.uiowa.edu/~jones/compiler/materials.shtml>

substituição ao tradicional código MIPS. A linguagem Assembly do processador ARM é bastante fácil e elegante [9].

Desta forma, ensino de disciplinas como “Arquitetura de computadores”, “Construção de compiladores”, “Sistemas Operacionais” e “Programação de Drivers”, por exemplo, ficam mais interessantes do que em outras arquiteturas [10, 11].

Se bem lembrarmos, a Intel tentou acabar com a arquitetura x86 na década de 80 porém a demanda do mercado gerado pelo sistema operacional da Microsoft forçou o uso do x86 por causa do kernel do DOS, das instruções geradas pelos compiladores da MS e do tratamento das suas interrupções. Assim o x86 se transformou numa espécie de “Frankenstein” porque foi produto de muitas “gambiarras” e não de um desenho inteligente que, certamente, a Intel poderia desenvolver⁴. Seu conjunto de instruções fazia sentido num microprocessador de 8 ou 16 bits (8008 e 8080) mas se converteu em uma “monstruosidade” nas máquinas de 32 e agora 64 bits.

O processador ARM, por outro lado é uma CPU bem organizada e limpa, desenhada para ser simples e eficiente. Isto o torna uma arquitetura bem interessante para que se possa desenvolver atividades práticas para o ensino de Ciência da Computação. Embora hoje existam emuladores de ARM para PCs (Armware [?], QEmu [?] etc.), é menos motivacional para os alunos que sabem que não estão trabalhando na máquina real. Quando a atividade prática é feita diretamente na máquina real, a motivação é outra e neste ponto. o RPi pode ser a melhor opção.

As instruções dos processadores ARM possuem um modelo de *pipeline* baseado em 3 etapas *fetch*, *decode*, *execute* (F-D-E) que pode ser facilmente exemplificado por meio da análise do código das instruções. Evidentemente, processadores mais avançados como ARM9 podem ter mais estágios de *pipelines*. A implementação de algoritmos de escalonamentos estáticos e de escalonamentos dinâmicos (Tomasulo, *scoreboard* etc.) é bastante fácil devido ao fato dos registros de uso genérico podem ser renomeados (técnica de marcação dos registros) com facilidade [12, 13].

As instruções do ARM também suportam execução condicional, onde a condição está no próprio código de instrução e depende dos *flags* do *status register* (CPSR)⁵.

3 Justificativas pedagógicas

É bastante claro, na prática, que a utilização de um ambiente real no ensino é significativamente mais apropriado do que em um ambiente de simulação. Isto pode ser corroborado pelos estudos de Vygotsky, quando este afirma que os instrumentos de trabalho fazem a mediação da relação entre o homem e a realidade. É evidente que o uso de símbolos também

⁴Hoje, os processadores core i* são uma demonstração disso.

⁵Current Program Status Register

oferece a possibilidade de construção do aprendizado pela mente humana, mas a realidade oferece um reforço muito mais positivo. [14]

Assim, as alternativas pedagógicas de construção do conhecimento por meio da prática de ambiente real, ou o que se chama popularmente de “mão na massa” é muito mais efetiva do que ambientes simulados ou interfaces virtuais. Estas relações conceituais são discutidas por Papert, principalmente sobre o construtivismo na era dos computadores [15, 16].

O trabalho de Catapan também contém uma justificativa pedagógica do uso de novas tecnologias ou tecnologias que despertam interesse nos alunos e a potencialidade destes recursos no trabalho pedagógico [17]

4 Metodologia Proposta

Este trabalho propõe o uso do Raspberry Pi, como ferramenta de ensino, nas disciplinas de Arquitetura de Computadores, Microprogramação e Programação de Microcontroladores, Sistemas Operacionais e Programação Assembly. Como existem muitos sensores disponíveis e de custo muito baixo, é fácil conectar o Raspberry Pi a estes dispositivos para medição de temperatura, luminosidade, sensores de presença, de movimento etc. que podem servir de experimentos remotos, por exemplo. Além disso, outros experimentos podem ser realizados em diversos níveis educacionais.

As disciplinas de arquitetura e organização de computadores, bem como as disciplinas que envolvam microprogramação podem tirar grande proveito da arquitetura do processador ARM, bem como a disposição e organização dos registros em cada tipo de estado do processador.

As disciplinas que envolvem programação de microcontroladores podem tirar proveito da interface GPIO que já vem na placa do Raspberry Pi que facilita a conexão com placas de circuitos (*circuit boards* e *prototype boards*) e com Arduino. Além disso, existe a possibilidade da interface com FPGA (*field programmable gate array*) e com sistemas embarcados.

As disciplinas de sistemas operacionais podem tirar grande vantagem do trabalho em um sistema que oferece uma arquitetura de 64 bits real e que oferece novos desafios de desenvolvimento de *drivers* de dispositivos.

Finalmente, disciplinas que envolvam programação assembly podem focar diretamente no algoritmo já que o conjunto de instruções é bastante enxuto e organizado com sufixos que permitem testes lógicos para a execução. A manipulação de dados em memória e em registradores ou, ainda, entre eles é bastante facilitada e clara para demonstrar operações memória-registrador e vice-versa.

5 Experimentos

Szepe mostra, em seu artigo [18] um exemplo de roteador programável e um sensor USB para aplicações educacionais como uma plataforma com aquisição de dados e controlável a partir da rede cabeada ou wireless.

Em um outro artigo, Michels [19] demonstra o uso do Raspberry Pi na experimentação remota para estudantes de engenharia sobre a verificação da Lei de Hook sobre propriedades elásticas dos materiais.

Walter, por outro lado, compara as vantagens de se usar o próprio hardware para simulação de experimentos, considerando principalmente os custos da placa e dos componentes [20]

Em todos os casos o uso do Raspberry Pi está diretamente ligado aos experimentos em si, enquanto nossa proposta é de utilizar o equipamento como ferramenta de aprendizagem em disciplinas de conteúdo fundamental e conceitual.

Em 2013, o Departamento de Informática e Estatística da UFSC ofereceu ao curso de Ciências da Computação uma disciplina complementar, optativa, com foco em programação em C no desenvolvimento de drivers de dispositivos para o Kernel Linux⁶.

Embora o foco da disciplina seja o uso da linguagem C para o desenvolvimento de drivers, o uso do Raspberry Pi se justifica para estimular a compreensão de desenvolvimento de drivers para uma plataforma diferente (mas que está sendo largamente utilizada em celulares e outros *mobile devices*) e, ainda para estimular o desenvolvimento para a arquitetura ARM de 64 bits, que é muito carente de drivers.

O equipamento utilizado por cada aluno foi um kit contendo: 1 placa Raspberry Pi modelo A (256 Mb de RAM), fonte AC/DC de 1 A e 5 V, cabo HDMI/DVI, cabo de rede, monitor, teclado e mouse. O número de equipamentos disponíveis limitou a turma em 15 alunos. A oferta de vagas na matrícula foi fechada no primeiro dia, ficando mais de 80 solicitações de matrículas (inclusive dos cursos de sistemas de informação e engenharia eletrônica) não atendidas.

A proposta foi de um “curso de bancada” com atividades desenvolvidas por meio de roteiros pré-estabelecidos sem a tradicional explanação teórica. Cada aula constava de um material teórico disponível em uma apostila e um roteiro de atividades que compreendia a programação para observar os resultados no processador, registradores e memória; ou a programação para solução de um problema relativo a um determinado hardware ou módulo de kernel.

O sistema operacional utilizado foi o Raspbian com o kernel 3.8.0 do Linux e todos os módulos foram desenvolvidos no ambiente desta versão.

O curso teve taxa de desistência zero e todos os alunos concluíram os trabalhos propostos. Alguns propuseram continuação do trabalho que foi realizado durante as férias. Por exemplo, a proposta a realização de um cluster com todos os equipamentos utilizados no curso para testar o processamento paralelo para quebrar blocos de criptografia levou a resultados que estão sendo preparados para publicação.

⁶Disciplina: INE5450 - Tópicos Especiais em Aplicações Tecnológicas III

6 Discussão

No caso de nossa breve experiência com a introdução de um equipamento novo e de baixo custo no ensino de ciências da computação, a experiência foi extremamente positiva. Notamos que o interesse dos alunos foi muito grande e a disponibilidade foi total no horário das aulas.

Imputamos o grande interesse dos alunos ao fato de que o Raspberry Pi e seu processador ARM são uma novidade para eles e está no rol de interesses dos chamados “nerds” da computação. Outro atrativo foi o fato de trabalharem em um ambiente real, onde as implementações eram feitas no dispositivo e não em um ambiente de simulação.

Finalmente, o formato livre do trabalho com discussões constantes entre todos e o professor foi muito produtivo e gerou uma interatividade que não se apresenta nas aulas tradicionais.

Referências

- [1] DARNELL, J.; STERN, H. Creating a smooth transition between the classroom and laboratory via computer simulation. In: *Frontiers in Education Conference, 1994. Twenty-fourth Annual Conference. Proceedings*. [S.l.: s.n.], 1994. p. 93–97. ISSN 0190-5848.
- [2] VILLAR-ZAFRA, A. et al. Multiplatform virtual laboratory for engineering education. In: *Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012 9th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1–6.
- [3] TORRES, A. L.; BRITO, A. V. Ferramenta de auxílio no ensino de organização e arquitetura de computadores: extensão ptolemy para fins educacionais. *International Journal of Computer Architecture Education*, SBC, v. 1, n. 1, p. 21–29, 2012.
- [4] CELLAN-JONES, R. Raspberry pi - a rapturous reception. BBC News Technology, 2012. Acesso em 06/2013. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/news/technology-17196115>>.
- [5] OCR. *Hardware Hacking and Robotics Using Raspberry Pi*. [S.l.]. Acesso em 06/2013. Disponível em: <<http://www.ocr.org.uk/Images/125877-classroom-challenge-hardware-hacking-and-robotics-learner-sheet.pdf>>.
- [6] BARKER, D. et al. 4273pi, version 1.0. 2013. Acesso em 06/2013. Disponível em: <<http://eggg.st-andrews.ac.uk/4273pi>>.
- [7] —. *ARM Annual Report & Accounts 2011*. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://ir.arm.com/phoenix.zhtml?c=197211&p=irol-reportsannual>>.
- [8] —. *ARM Processors*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.arm.com/products/processors/index.php>>.
- [9] COCKERELL, P. J. *ARM Assembly Language Programming*. Computer Concepts Ltd., Hertfordshire,

- UK, 1987. ISBN 9780951257906. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=pcpqAAAACAAJ>>.
- [10] AMD64 Architecture Programmer's Manual Volume 1: Application Programming. [S.l.], 2012. Publ. nr. 24592, rev. 3.19.
- [11] RISC Principles. In: GUIDE to RISC Processors. [S.l.]: Springer New York, 2005. p. 39–44. ISBN 978-0-387-21017-9.
- [12] PATTERSON, D. A.; HENESS, J. L. . *Computer Architecture - A Quantitative Approach*. Waltham, MA. USA: Morgan Kaufman, 2011.
- [13] ___. *ARM1176JZF-S: Technical Reference Manual*. [S.l.], 2009. Disponível em: http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0301h/DDI0301H_arm1176jzfs_r0p7_trm.pdf.
- [14] WERTSCH, J. V. *Vygotsky and the Social Formation of Mind*. [S.l.]: Harvard University Press, 1985.
- [15] PAPERT, S. *Mindstorms: children, computers and powerful ideas*. [S.l.]: Basic Books, 1980.
- [16] PAPERT, S. Educational computing: How are we doing? *Technological Horizons In Education*, v. 24, n. 11.
- [17] CATAPAN, A. H. Pedagogia e tecnologia: a comunicação digital no processo pedagógico. 2003. Disponível em: http://www.portalanpedsul.com.br/admin/uploads/2000/Educacao_e_formacao_de_professores/Mesa_Redonda_-_Trabalho/07_10_51_1M1003.pdf.
- [18] SZEPE, T.; TOTH, S.; GINGL, Z. Compact flexible router based remote experimenting system. In: *Information Communication Technology Electronics Microelectronics (MIPRO), 2013 36th International Convention on*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 671–675.
- [19] MICHELS, L. B. et al. Using remote experimentation for study on engineering concepts through a didactic press. In: *Experiment@ International Conference (exp.at'13), 2013 2nd*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 209–211.
- [20] WALTER, J.; FAKIH, M.; GRÜTTNER, K. Hardware-based real-time simulation on the raspberry pi. In: *2nd. Workshop on High-performance and Real-time Embedded Systems*. Vienna, Austria: [s.n.], 2014.