

EMPREGO DE MICROCONTROLADORES NA CADEIRA DE ARQUITETURA DE COMPUTADORES

Ricardo Zelenovsky – zele@unb.br
UnB, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica
Campus Universitário Darcy Ribeiro
CEP: 70919-970
Brasília, DF

Resumo: *As cadeiras de Arquitetura de Computadores das décadas de 70 e 80, faziam uso dos microprocessadores de 8 bits, tais como 8085, Z-80, 6800 e 6502. Estes são microprocessadores relativamente simples, mas que na época eram empregados pela maioria dos microcomputadores. A parte laboratorial era bastante acessível e atual. A evolução da microeletrônica e a competição acirrada pelo mercado de microprocessadores, levou a uma extrema sofisticação. Os modernos microcomputadores fazem uso de processadores Pentium 4 ou Athlon, possuem sistema de memória complexo e o principal barramento de expansão é o PCI. No momento, enfrenta-se uma certa dificuldade na cadeira de Arquitetura de Computadores. Não é prático, e nem barato, iniciar o laboratório dessa cadeira com tais processadores, entretanto, fazê-lo com processadores como Z-80 ou 8085 é completamente fora de época. Assim, neste artigo é sugerido que a parte fundamental da cadeira de Arquitetura de Computadores seja baseada em microcontroladores, como por exemplo o 8051 ou 6811, que são simples, ainda atuais e permitem com facilidade a exploração de conceitos de barramento, entrada/saída, ciclos de máquina e de instrução, programação assembly, etc. Depois de estudado e experimentado esses conceitos básicos, sofisticam-se com o estudo da arquitetura PC. Ainda neste artigo, são apresentados alguns conceitos para uma placa didática com 8051.*

Palavras-chave: *Arquitetura de computador, Microcontrolador, 8051*

1. INTRODUÇÃO

Diversos cursos de engenharia oferecem a cadeira de Arquitetura de Computadores, sendo que a análise do conteúdo dessas cadeiras mostra muitos pontos em comum. No início da cadeira, procura-se desenvolver nos alunos o conceito do que é um processador e de seu funcionamento interno. São enfatizados muitos tópicos: a arquitetura interna, a unidade lógica aritmética, a unidade de execução, os registradores e os barramentos internos que fazem a conexão de todos esses elementos. Em seguida, aborda-se o funcionamento desses recursos através dos ciclos de busca de instrução (“fetch”), decodificação, busca de operando e execução. Aqui, é importante que os alunos entendam que qualquer processador é uma máquina de estados, mais complexa, entretanto, semelhante às máquinas síncronas projetadas em sistemas digitais. Deixa-se claro os conceitos de ciclo de máquina e ciclo de instrução.

Após lograr a compreensão do processador, aborda-se a conexão com memórias e dispositivos de entrada e saída (E/S). Inicia-se então pelo estudo da pinagem do processador, passando depois para a construção dos barramentos de endereços e de dados. É importante, neste momento, uma análise dos diagramas de tempo dos ciclos de barramento. A

oportunidade de se fazer distinção entre memória e E/S aparece quando se aborda o endereçamento, o espaço de memória e o mapeamento dos dispositivos E/S. Aqui, surge um ponto importante, que é a construção dos decodificadores de memória e E/S. Logo após, é interessante a especificação de um conjunto mínimo de periféricos, tais como interface para teclado, display, porta serial, porta paralela, para que assim se obtenha um pequeno sistema processado. Para finalizar aborda-se a programação, empregando normalmente “assembly” ou C. Alguns cursos apresentam a programação ao longo da cadeira.

Com o estudo de todos esses tópicos, espera-se que o aluno tenha compreendido os principais conceitos de Arquitetura de Computadores, dando ao mesmo autonomia para executar pequenos projetos, ou então, o que é mais comum, analisar, configurar e interfacear com computadores comerciais. Entretanto, nos dias atuais, uma das dificuldades no ensino da cadeira de Arquitetura de Computadores é evitar que a sofisticação dos modernos computadores eclipse a importância dos tópicos recém listados, tema que será desenvolvido ao longo deste artigo.

2. A EVOLUÇÃO DOS PROCESSADORES

Na década de 80, as cadeiras de Arquitetura de Computadores tomavam como base os processadores 8085, Z-80, 6800 ou 6502. Estes são processadores de 8 bits, com relógio na faixa de 2 a 4 MHz e capacidade de endereçamento de 64 KB. Apesar de sua simplicidade, na época, esses eram os processadores empregados pela maioria dos microcomputadores comerciais. Na cadeira de Arquitetura de Computadores, como poder ser observado em HAYES (1988) e PROTOPAPAS (1988), era fácil conciliar a teoria em sala de aula com a prática em laboratório, por que era simples o projeto e a construção de pequenos computadores com algum recurso de E/S, teclado matricial, porta serial e porta paralela para impressora, conversores A/D e D/A, etc. Tal simplicidade permitia que ao longo da cadeira os alunos projetassem e montassem o circuito microprocessado e escrevessem pequenos programas de treinamento. A finalização da cadeira envolvia projetos mais complexos como geradores de sinais, teclado musical, controladores automáticos, fechaduras eletrônicas, etc.

A evolução da microeletrônica e a competição acirrada pelo mercado de computadores, levou à extinção de algumas famílias de processadores e à extrema sofisticação de outras. Hoje em dia, como apresentado em ZELENOVSKY e MENDONÇA (2002), os computadores pessoais fazem uso dos processadores Pentium 4 e Athlon. Todos eles trabalhando em 32 ou 64 bits, lançando mão de um núcleo RISC, mas com uma casca externa CISC. É claro que ainda existem outros processadores, tais como 68400, Power PC, Z-8000, etc. Entretanto, devido a particularização do mercado brasileira, eles não são tão empregados. Num moderno computador pessoal, como exposto em STALLINGS (1996) e TANENBAUM (1999), o sistema de memória é sofisticado, trabalha de forma síncrona, com duplicidade de canais e taxa de dados dobrada, além de empregar diversos níveis de cache. Os barramentos disponíveis para interfaceamento são PCI, USB, serial e paralelo. O sistema operacional é um programa gigantesco, que trabalha com paginação, multitarefa e usa interface gráfica para com o usuário. Essa evolução é muito interessante para os usuários, entretanto, tornou complexa a cadeira de Arquitetura de Computadores, especialmente em sua parte laboratorial.

A grande dificuldade está em ensinar os conceitos básicos necessários à cadeira de Arquitetura de Computadores, sem que estes sejam ofuscados pela parte mais sofisticada existente nos computadores modernos. É preciso evitar a falsa idéia de que a arquitetura e as soluções usadas nos computadores pessoais são únicas. Além disso, quando se toma como base uma arquitetura já pronta, há o risco de que o curso se restrinja à programação “assembly” ou C, ou então, que se torne uma grande descrição da arquitetura adotada como exemplo. É importante a complementação com uma parte de laboratorial que envolva o projeto de pequenos circuitos e interfaces. Há alguns anos, a simplicidade do barramento ISA permitia diversos experimentos de interfaceamento mas, com sua extinção, os experimentos

ficaram limitadas a pequenas interfaces serial ou paralela. Num ambiente deste tipo, se pergunta como passar conceitos de ciclo de barramento, de ciclo de máquina, de ciclo de instrução e de projeto de decodificadores? Como fugir da tendência de acreditar que tudo já está pronto? Como passar para os alunos a visão de que o projeto de um sistema processado, além da circuitaria, exige todo um trabalho para criar o software básico e rotinas de entrada e saída?

Com a experiência de vários anos ministrando cadeiras de Arquitetura de Computadores, percebe-se que quando a parte laboratorial é feita com computadores pessoais, diversos conceitos importantes podem acabar em segundo plano. Os alunos passam a ver o computador como uma caixa cheia de soluções prontas para serem usadas. É difícil para eles imaginar um sistema processado que não tenha uma BIOS já pronta e um sistema operacional de algum tipo, e acredita-se que todas as interfaces já foram projetadas. Em tal ambiente, é preciso um grande esforço para mostrar aos alunos que, quando se projeta um sistema processado, não existe nada pronto e que tudo deve ser feito pelo projetista, desde o hardware até as primeiras rotinas. Mesmo após o estudo das tarefas desempenhadas pelo conjunto de rotinas denominado BIOS, é comum surgir perguntas sobre qual instrução “assembly” usar para ler o teclado, ou então, qual o endereço para escrever na unidade de disco. Tais perguntas mostram uma falha na compreensão real do sistema e também uma tendência de se esperar que tudo já esteja pronto. O trabalho de orientação de alunos que desenvolveram projetos com circuitos processados, também indica uma dificuldade na aceitação dessa realidade, na qual tudo deve ser feito pelo projetista.

3. O EMPREGO DIDÁTICO DE MICROCONTROLADORES

Com a intenção incluir na cadeira de Arquitetura de Computadores a construção de pequenos sistemas processados, onde os alunos pudessem experimentar todas as fases de um projeto, passou-se a usar microcontroladores durante a primeira fase da cadeira, sendo que depois se dedica tempo à arquitetura do PC, especialmente na parte de interfaceamento e emprego de interrupções e DMA. A abordagem dos principais conceitos em um ambiente simples, como é o de um microcontrolador, facilita em muito a compreensão de sistemas mais sofisticados.

O motivo de se usar microcontroladores é porque eles são simples, estão disponíveis no mercado com uma grande diversidade de recursos, seu projeto não exige grandes cuidados e ainda existe o apelo da modernidade, pois eles são usados em diversos projetos atuais. Os projetos finais também tiram proveito desse estudo, pois os alunos podem realizar seus projetos tomando como base os circuitos construídos em laboratório. A maioria dos microcontroladores presta-se a esse papel e dentre os mais conhecidos citam-se as famílias 8051, 6811, PIC, COP e AVR. Com um microcontrolador, uma memória ROM, alguns leds e chaves, já é possível executar experimentos que trarão grandes ganhos ao aprendizado. Nos próximos parágrafos serão relatadas etapas do ensino da cadeira de Arquitetura de Computadores com o emprego de microcontroladores da família 8051.

A família 8051 é muito extensa e diversos fabricantes oferecem uma grande quantidade de opções, que vão desde o número de pinos até a quantidade de recursos embutidos dentro do CI. Tem-se dado preferência ao membro mais simples desta família, em especial o 8031, que traz apenas o núcleo básico. Este microcontrolador possui barramento de dados e endereços multiplexados, permitindo que se trabalhe os conceitos de demultiplexação e construção de barramentos e, é claro, de emprego de “buffers”. A etapa seguinte envolve a decisão sobre a especificação do espaço de memória e o projeto do decodificador para definir o endereço da ROM de programa e da RAM de dados.

Nessa família, os dispositivos E/S precisam ser mapeados em memória, o que leva mais complexidade para o projeto desse decodificador. No início, procura-se evitar soluções que empreguem diretamente as portas paralelas disponíveis nos microcontroladores. Nos projetos

mais simples usa-se um “latch” para leds, uma porta paralela bidirecional para interfacear com um mostrador LCD, algumas chaves ligadas à porta P1 e um conversor RS232 para permitir uma conexão serial com o PC. O projeto de uma porta para teclado PS2, com o emprego de interrupção, é muito simples e traz resultados interessantes. É gratificante ver como muda a compreensão dos alunos quando estes são obrigados a trabalhar em um sistema processado onde não existe teclado, monitor SVGA e tampouco unidade de disco.

Com este pequeno sistema, passível de ser preparado em pouco tempo, é possível exercitar conceitos sobre projeto de sistemas processados, programação “assembly” e ainda desenvolver rotinas para acessar e controlar os diversos dispositivos de E/S. O fato de se usar microcontrolador ainda permite trabalhar com conceitos envolvendo portas paralelas embutidas no CI, contadores e temporizadores, interrupção e comunicação serial. Considerando o aspecto didático, o conceito de interrupção quando exercitado em um sistema com essa simplicidade é muito mais eficiente. Após essa etapa fica mais fácil o entendimento de um sistema de interrupção mais sofisticado, como o que existe nos computadores PC.

Uma parte muito importante nos experimentos de laboratório é a satisfação do aluno quando este comprova que os conceitos aplicados resultaram em evento ou uma ação bem clara. Isso é conseguido quando eles vêem que com três CIs foram capazes de acionar leds, controlar os instantes em que estes acendem e apagam e ainda interagir com o processador por intermédio de chaves. Nesse ponto fica bem claro o que é um sistema processado simples e quais são as partes que o compõe.

4. PROPOSTA DE UM KIT DIDÁTICO

Após a etapa em que os alunos projetaram e montaram seus próprios circuitos e já adquiriram uma certa vivência, é interessante iniciar práticas em um kit didático, que ofereça recursos extras e que permita experimentações com problemas mais complexos. Em muitas situações, devido limitações para aquisição dos componentes ou restrições laboratoriais, ou ainda, pelo tempo destinado ao laboratório, não é possível conseguir que os alunos preparem e experimentem em seus próprios circuitos. Em tais casos, pode-se iniciar a parte laboratorial com o emprego de um kit didático.

Os kits didáticos disponíveis no comércio, na maioria das vezes, são simples e oferecem apenas pelos recursos embutidos no processador. Normalmente, trazem um microcontrolador sofisticado, uma memória ROM com programas já prontos e uma RAM para receber os programas dos usuários. Como os recursos que tais placas disponibilizam, via de regra, são apenas os recursos embutidos no microcontrolador, fica difícil explorar os conceitos de barramentos, decodificadores e muitos outros tópicos, envolvidos no projeto de circuitos microprocessados. Por essa razão, decidiu-se pelo projeto de um kit didático onde existissem diversas interfaces projetadas e que permitisse uma gama variada de experimentos. O diagrama em blocos de tal kit é apresentado na Figura 1.

O kit didático proposto traz em sua placa de circuito impresso espaço para uma grande quantidade de recursos, mas que não precisam ser implementados imediatamente. De acordo com as necessidades do curso, dos experimentos, ou ainda do projeto, adiciona-se mais ou menos componentes eletrônicos. É claro que existe um núcleo mínimo que obrigatoriamente deverá estar presente. Como se observa na Figura 1, houve a preocupação de permitir experimentos com uma grande variedade de barramentos. Há recursos para experimentação com USB, I2C, SPI, Compact Flash (IDE), PS2, além disso, o conector de expansão permite que construa, dentre outros, um barramento paralelo assíncrono que, por exemplo, pode ser empregado para interfacear com uma impressora.

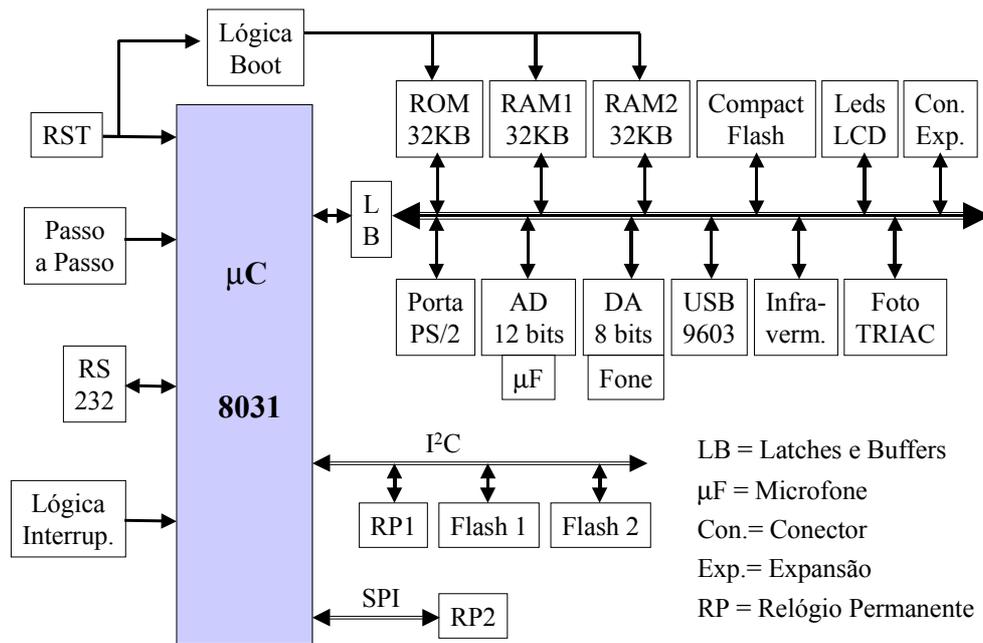


Figura 1. Diagrama em blocos da proposta de um kit didático.

Descreve-se agora os principais blocos deste kit. Foi previsto recursos para até 6 leds ou para um display de 7 segmentos, além disso existe interface pronta para a conexão de um mostrador LCD, alfanumérico ou gráfico. A porta PS/2 permite que se conecte um teclado do tipo usado em PC. O conversor AD oferece 8 canais, sendo que um deles está dedicado à entrada de áudio, com pré-amplificador para um microfone de eletreto e filtros “anti-aliasing”. O sinal de áudio digitalizado, ou uma mensagem, pode ser armazenado nas memórias flash. O conversor DA é de apenas 8 bits, o que atende à grande maioria das aplicações e ainda está dotado de um filtro de reconstrução para permitir saída de áudio para um fone de ouvido. O bloco infravermelho está construído com leds e fototransistores (TIL32 e TIL78) que permitem variedade na transmissão e recepção de sinais infravermelhos, e ainda um SFH505 sintonizado para a banda usada na maioria dos controles remotos domésticos. Existem dois foto-TRIACS para facilitar a construção de sistemas de controle e acionamentos elétricos. O relógio permanente está equipado com uma bateria, permitindo a geração da data e da hora e ainda a programação de alarmes. O conector de expansão possibilita que o kit seja ampliado com recursos extras, tais como adição de outros circuitos digitais, interfaces e até uma porta para impressora.

O sistema de memória merece uma explicação em separado. A grande maioria dos kits didáticos é construída com uma memória ROM e uma memória RAM. A memória ROM traz, além do programa monitor que faz comunicação com um computador externo, uma coleção de subrotinas para facilitar o acesso aos recursos disponíveis. A memória RAM, destina-se a receber o programa do usuário. Essa organização de memória é simples e oferece muitas vantagens, entretanto, traz o inconveniente de impor ao usuário o convívio com a memória ROM e os programas que ali estão gravados. Usualmente, essa ROM é obrigada a ocupar os endereços iniciais da memória de programa e, portanto, ocupando também os vetores de interrupção, no caso do 8051. No kit proposto, houve a intenção de oferecer plena liberdade ao programador, de tal forma que ao escrever seus programas, este tivesse a sua disposição toda a memória. Em suma, o programa do usuário é o único presente e é responsável por receber o processador logo após o reset. É claro que foi prevista a possibilidade de se colocar no topo da memória uma ROM oferecendo uma biblioteca de rotinas.

Para atingir tal objetivo, o kit prevê dois modos de operação: modo boot e modo execução. O chaveamento entre esses dois modos é feito pelo acionamento do botão de reset.

Ao ser ligado, o kit entra no modo boot e fica aguardando a chegada pela porta serial do programa a ser executado. Quando o usuário é alertado de que terminou a recepção do seu programa, este aciona o botão de reset e tem seu programa executado (modo execução). Caso encontre erros ou deseje carregar um novo programa, basta acionar o reset que o sistema retorna para o modo boot. Existe um led que quando aceso indica que o sistema está pronto para receber serialmente o programa do usuário (modo boot). O esquema ficou muito prático e de fácil uso em laboratório e, além disso, a lógica também é simples. A Figura 2 apresenta os endereços ocupados pelas memórias, segundo os modos de operação.

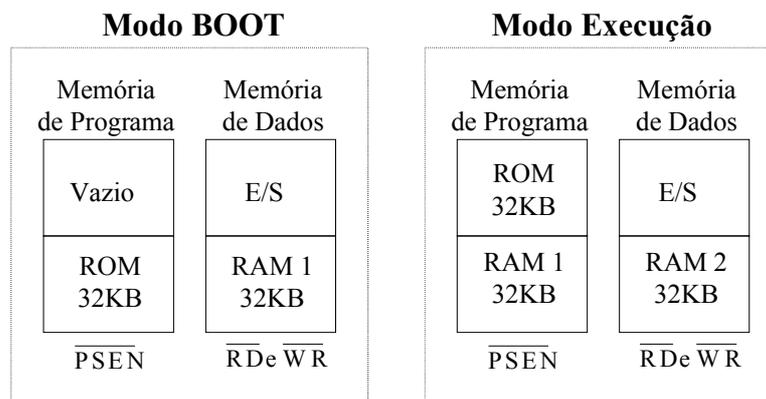


Figura 2. Os dois modos de operação propostos para o kit didático.

Na sua versão mais simples, a memória ROM traz apenas uma pequena rotina para receber serialmente o programa do usuário no formato “Intel.hex”. Nesse caso, o programador acessa diretamente todos os recursos da placa e pode incluir em seu programa as bibliotecas que desejar, preparadas por ele ou por outros usuários. De acordo com as necessidades do laboratório, porções da biblioteca podem ser gravadas no ROM, dessa forma elas estarão sempre acessíveis. Uma versão deste kit encontra-se, há cerca de dois anos, em uso na UnB e tem trazido bons resultados na parte laboratorial, bem como apoio a projetos de graduação. Uma nova versão, cujo diagrama foi apresentado na Figura 1, já está projetada e roteada, sendo que seu tamanho final ficou um pouco abaixo das dimensões de uma folha de papel A4.

5. CONCLUSÃO

A competição por mercado tem propiciado o surgimento de processadores e computadores cada vez mais sofisticados. Entretanto, o ensino da cadeira de Arquitetura de Computadores precisa fazer frente a essa nova realidade, especialmente em sua parte laboratorial. No passado, os conceitos teóricos e as práticas laboratoriais necessários à cadeira eram feitas com base em processadores simples, como o 8085, Z-80 e 6800. Hoje em dia, os computadores fazem uso de Pentium 4 e Athlon, dentre outros, entretanto não parece ser viável práticas laboratoriais e pequenos projetos envolvendo tais processadores. Eles são por demais sofisticados e velozes. O uso dos antigos processadores não parece uma boa saída pois dão um ar de obsolescência ao curso. Por esse motivo, sugere-se que o curso de Arquitetura de Computadores seja feito em duas fases. Numa primeira fase, para que se possa trabalhar os conceitos básicos usa-se um microcontrolador, o que torna o laboratório simples e acessível. A grande vantagem é que os alunos podem praticar os conceitos básicos no próprio sistema que montaram. Em seguida, tendo deixado claro os conceitos principais, aborda-se a arquitetura de um computador moderno. Nesse momento os alunos terão facilidade em compreender os conceitos sofisticados, pois já estudaram uma versão mais simples num microcontrolador. Visando facilitar o laboratório e oferecer recursos para os projetos de fim de curso, sugere-se um kit didático, onde a tônica é o projeto do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAYES, J. P. **Computer Architecture and Organization**. Singapura: McGraw-Hill, 1988.

PROTOPAPAS, D. A. **Microcomputer Hardware Design**. Englewood Cliffs, 1988.

STALLINGS, W. **Computer Organization and Architecture: Designing for Performance**. Upper Saddle River, 1996.

TANENBAUM, A. S. **Organização Estruturada de Computadores**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.

ZELENOVSKY, R. e MENDONÇA, A. **PC: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento**. Rio de Janeiro: MZ Editora, 2002.

USING MICROCONTROLLERS FOR A COMPUTER ARCHITECTURE COURSE

Abstract: *The Computer Architecture Courses during years 70 and 80 used the 8 bits microprocessors such as 8085, Z-80, 6800 and 6502. They are relatively simple, but during those years, they were used to build commercial microcomputers. With these microprocessors the experiments were simple and up to date. The microelectronic evolution and the microprocessors market competition, resulted in extreme sophistication. Modern microcomputers use Pentium 4 or Athlon, have a sophisticated memory system and the main expansion bus is the PCI. Now a days, the course of Computer Architecture faces a problem: it is not cheap nor feasible to start experiments with modern microprocessors, and the use of Z-80 or 8085 are part of the past. So, it is proposed the use of microcontrollers, such as 8051 or 6811, for the fundamental part of the course. Those processors are used in several modern projects, but they are cheap and simple, so it is easy to teach fundamental concepts such as bus, input/output, machine cycle, instruction cycle, assembly and several others. After the study and experiments with one of these microcontrollers, it is easy to understand the architecture of a modern personal computer. It is also proposed a kit for experiments with 8051.*

Key-words: *Computer Architecture, Microcontroller, 8051*