

Beto, o simulador de memória cache

Leandro Gabriel¹, Victor Antunes Vieira², Simone Martins¹

¹ Universidade Federal Fluminense

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

leandro.gabriel@ifro.edu.br, victor.vieira@ifac.edu.br, simone@ic.uff.br

Abstract. *The procedures performed by computers involving software and hardware and studied in Computer Architecture and Organization disciplines are abstract. With that in mind, a cache memory simulator was developed called Beto, named in honor of Robert Dennard, considered the father of solid-state RAM as we know it today. Contents such as numerical base conversion, memory hierarchy and addressing, virtual memory, data replacement algorithms and writing policies in main memory are approached in an interactive way. Beto's interface displays the data referring to the address in the cache memory in a complete way and the animation allows viewing each of the steps of the addressing algorithm. The user still has control and freedom to configure the environment. Beto is available at <https://simuladorcache.leandrogabriel.net> and a demo video is available at <https://youtu.be/nYRIQZseuRc>. It is hoped that the tool will help users to better understand the concept of memory hierarchy and especially how data transfer between main memory and cache memory works.*

Keywords: *Memory; cache; simulator; computer architecture and organization; beto*

Resumo. *Os procedimentos realizados pelos computadores envolvendo software e hardware e estudados em disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) são abstratos. Pensando nisso, foi desenvolvido um simulador de memória cache chamado Beto, nome em homenagem a Robert Dennard, considerado o pai da memória RAM de estado sólido como conhecemos atualmente. Nele são abordados de forma interativa conteúdos como conversão de bases numéricas, hierarquia e endereçamento de memória, memória virtual, algoritmos de substituição de dados e políticas de escrita na memória principal. A interface do Beto exibe os dados referentes ao endereço na memória cache de maneira completa e a animação permite visualizar cada uma das etapas do algoritmo para o endereçamento. O usuário ainda possui controle e liberdade para configurar o ambiente. Beto está disponível em <https://simuladorcache.leandrogabriel.net> e há um vídeo demonstrativo disponível em <https://youtu.be/nYRIQZseuRc>. Espera-se que a ferramenta ajude os usuários a entenderem melhor o conceito de hierarquia de memória e, especialmente, o funcionamento da transferência de dados entre memória principal e memória cache.*

Palavras-chave: *Memória; cache; simulador; arquitetura e organização de computadores; beto*

Trabalho apresentado no VIII Concurso Integrado de Desenvolvimento de Soluções de Tecnologia e Objetos de Aprendizagem para a Educação (Apps.Edu 2022).

Beto

o simulador de memória cache

Problema pedagógico que o Beto soluciona

Os procedimentos realizados pelos computadores envolvendo software e hardware e estudados em disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) são abstratos [1]. Parte dos estudantes, ao se depararem com abordagens teóricas e cálculos desses procedimentos, não compreendem e param de avançar no percurso formativo. Como não é possível visualizá-los na prática em algum modelo do mundo real, a simulação torna-se uma opção viável ao ensino [2].

O conceito de hierarquia de memória e o processo de endereçamento de dados na memória cache são especificamente muito abstratos em AOC, tornando o seu entendimento muito difícil para os alunos. Uma ferramenta apresentando visualmente de maneira animada e interativa as etapas relacionadas ao endereçamento pode ser muito útil para que entendam [3][4].

Pensando nisso, foi desenvolvido como protótipo um simulador de memória cache chamado Beto, nome em homenagem a Robert Dennard, considerado o “pai” da memória RAM de estado sólido como conhecemos atualmente.

Contexto educacional

O Beto é destinado a estudantes de cursos de Computação de todos os níveis, do Ensino Médio à pós-graduação. Considera-se que, mesmo em formações técnicas integradas ao Ensino Médio, as disciplinas relacionadas à AOC abordam conteúdos que envolvem endereçamento de memória cache. Ensinar estudantes apoiados por uma ferramenta computacional que favoreça a visualização dos procedimentos pode ser útil aos professores, independentemente da idade, grau de formação ou experiência na área.

O simulador pode ser utilizado em disciplinas ou para pesquisas. Nele são abordados conceitualmente os seguintes conteúdos:

- conversão de bases numéricas;
- hierarquia de memória;
- endereçamento de memória;
- memória virtual;
- algoritmos de substituição de dados;
- políticas de escrita na memória principal.

Abordagem pedagógica

A abordagem pedagógica utilizada no Beto é cognitivista, considerando as possibilidades de exploração e observação que o usuário possui. Existem diversos simuladores de memória cache que são utilizados por projetistas de hardware para avaliar seus projetos de memória cache [2]. Porém, existem poucos simuladores de memória cache visando o ensino do conceito de memória cache de forma pedagógica e com fácil acesso [4]. Também não foram encontrados trabalhos de ferramentas na língua portuguesa.

O objetivo do Beto é permitir que o usuário verifique de forma animada e prática como é realizada a transferência entre dados da memória principal e memória cache. Para isso, o usuário pode configurar as características de ambas as memórias. Após esta configuração, um cenário de acessos deve ser inserido na ferramenta. A partir daí, uma simulação é realizada mostrando visualmente para o usuário como os acessos são realizados, indicando quando ocorre falha e acerto na cache. Dessa maneira, o usuário pode entender os conceitos de falha e acerto e como as diferentes capacidades da memória principal e memória cache e os mapeamentos utilizados podem influenciar nas taxas de falhas.

Inovação

A interface do Beto exibe os dados referentes ao endereço na memória cache de maneira completa e a animação permite visualizar cada uma das etapas do algoritmo para o endereçamento. São exibidas as falhas e acertos no acesso à memória cache com cores que facilitam a identificação. O usuário ainda pode controlar visualmente qual etapa está sendo executada e o estado do ambiente de execução. As opções de configuração dão ao usuário controle e liberdade para:

- alterar especificações de hardware;
- alterar especificações de software;
- pausar e continuar;
- executar em passo-a-passo, selecionando quantos passos por segundo.

Comparado a outros simuladores de memória cache, o Beto se destaca pela interface didática e animada e compete com todos com relação às funcionalidades [2]. Ainda, está no idioma português e disponível em simuladorcache.leandrogabriel.net, podendo ser acessado livremente via navegador web. Os códigos estão disponíveis em github.com/leo150250/simuladorcache. Com relação à licença, trata-se de um software livre.

Apresentação

Para o desenvolvimento, foram utilizadas as tecnologias de desenvolvimento web front-end HTML5, CSS3 e JavaScript. Um vídeo tutorial demonstrando o uso está disponível em youtu.be/nYRIQZseuRc.

CONFIGURAÇÃO

Bytes de cada célula:

Células da MP:

Células em cada bloco da MP:

Linhas na MC:

Método de substituição:

DETALHAMENTO

Bits necessários para o endereço: 12

Bits necessários para identificar o byte do bloco: 4

Mapeamento:

Endereço:

11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Tag 3 bits			Conjunto 5 bits					Bloco 4 bits			

SIMULAÇÃO

Endereços a serem acessados (separados por vírgula):

```
0, 1, 6, 7, 8, 9, 992, 993, 994, 481, 482, 0, 1, 2, 996, 224, 225, 2017, 2018, 4064, 996
```

Gerar endereços aleatórios:

5 etapas p/ segundo

Etapas detalhadas:

MEMÓRIA CACHE | EXIBIR DESCRIÇÕES

Conjunto 01101 (14)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Conjunto 01110 (15)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Conjunto 01111 (16)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Conjunto 10000 (17)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Conjunto 10001 (18)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Conjunto 10010 (19)	1: 0 000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

ACESSOS À MEMÓRIA

1	000 00000 0001	ACERTO	V é válido e o endereço lido está no bloco.
2	000 00000 0010	ACERTO	V é válido e o endereço lido está no bloco.
996	001 11110 0100	FALTA	Tag diferente. Atualiza o bloco na linha onde estavam os endereços 992..1007 e atualiza a tag.
224	000 01110 0000	Lendo...	

Acesso: 16 / 21 Linhas da MC usadas: 3 / 32 Acertos/Faltas: 11 (52.4%) / 4 (47.6%)

BETO, O SIMULADOR DE MEMÓRIA CACHE 0.3 - DESENVOLVIDO POR LEANDROGABRIEL.NET, 2022
APOIE ESTE PROJETO NO [GITHUB](https://github.com) !

Impacto esperado

Espera-se que esta ferramenta ajude os usuários a entenderem melhor o conceito de hierarquia de memória e, especialmente, o funcionamento da transferência de dados entre memória principal e memória cache.

A ferramenta está no idioma português, que facilita o acesso a usuários de vários níveis de instrução. Também está disponível na web, sendo de fácil utilização. Como tem licença de software livre, permite que haja contribuições de outros desenvolvedores interessados em AOC.

Considerações finais

O Beto pode ser uma ferramenta útil para auxiliar os professores no ensino de conteúdos específicos de AOC, bem como para auxiliar alunos que estejam estudando esses conteúdos de maneira autônoma. Considerando como os dados são inseridos e exibidos, ainda pode ser útil na aprendizagem de conversão entre bases numéricas, o que torna seu escopo e público alvo mais abrangentes.

Como trabalhos futuros, pretende-se: realizar avaliações seguidas de ajustes na interface, focando em experiência do usuário; realizar estudos para verificar se a utilização do simulador impacta no desempenho dos estudantes nas disciplinas; desenvolver simuladores que abordem outros conteúdos relacionados, criando um aparato de ferramentas para o ensino de AOC.

Referências

- [1] Hennessy, J. L., PATTERSON, D. A. H. (2020). COMPUTER ORGANIZATION AND DESIGN MIPS EDITION: The Hardware/software Interface. Alemanha: MORGAN KAUFMANN PUBLISHER.
- [2] Brais, H., Kalayappan, R., & Panda, P. R. (2020). A survey of cache simulators. ACM Computing Surveys (CSUR), 53(1), 1-32.
- [3] Lima, D. P., & Moreano, N. (2021, July). ECS e EMCS: Simuladores de Caches para o Apoio Pedagógico no Ensino de Arquitetura de Computadores. In Anais do XXIX Workshop sobre Educação em Computação (pp. 308-317). SBC.
- [4] Paramita, A., & Smitha, K. G. (2017, June). PARACACHE: Educational Simulator for Cache and Virtual Memory. In 2017 International Symposium on Educational Technology (ISET) (pp. 234-238). IEEE.

