

Caracterização dos modelos de processadores da ferramenta MultiExplorer para exploração do espaço de projetos na era de dark-silicon

Gregório K. Neto¹, Igor O. Mello¹, Laura B. Ludgero¹, Gislayne G. Damasceno¹, Samuel S. Rodrigues¹, Ricardo R. dos Santos¹, Liana D. Duenha¹

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)

{gislayne.garabini, gregorio.neto, igor.o.mello, laura.ludgero
samuel.rodrigues, ricardo.santos, liana.duenha}@ufms.br

Resumo. Este artigo apresenta a caracterização dos modelos de processadores utilizados pela ferramenta MultiExplorer durante a Exploração do Espaço de Projetos de sistemas multicore na era de dark-silicon. Os resultados de diversas métricas de desempenho, consumo e parâmetros físicos do projetos em distintas tecnologias de fabricação foram apresentados, atualizando o banco de dados da ferramenta e permitindo que usuários tenham referências claras para seus futuros experimentos.

1. Introdução

A exploração do espaço de projeto de sistemas computacionais, ou *Design Space Exploration* (DSE), refere-se à exploração de diferentes alternativas de projeto antes da implementação, visando alcançar determinados objetivos e respeitar restrições. O MultiExplorer é uma ferramenta de código aberto para realizar a exploração do espaço de projetos em MPSoCs. Foi apresentada à comunidade em 2015 [Devigo et al. 2015] e desde então tem sido aprimorada com novas funcionalidades, como estimativa de *dark-silicon* [Santos et al. 2016], modelos de desempenho de sistema multicore e manycore heterogêneos [Santos et al. 2019, Sonohata et al. 2022], entre outras funcionalidades em desenvolvimento atualmente.

Após anos de pesquisa e desenvolvimento da ferramenta, notou-se que o banco de dados de modelos de processadores estava descaracterizado, não refletindo a real implementação de mercado dos processadores. Assim, o objetivo deste trabalho de Iniciação Científica foi atualizar e validar cinco modelos de processadores dos bancos de dados do MultiExplorer para que possam ser utilizados para as simulações, estimativas físicas e também como núcleos alternativos para os algoritmos de DSE da ferramenta. O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma visão geral da ferramenta MultiExplorer; a Seção 3 apresenta a caracterização dos modelos de processadores atualizados na ferramenta; a Seção 4 conclui este artigo.

2. Visão geral sobre o MultiExplorer

A ferramenta recebe como entrada a descrição da arquitetura de uma plataforma multiprocessada que possui parte de sua área em *dark-silicon*. A ferramenta aplica algoritmos para explorar o espaço de projetos com base em um banco de dados de núcleos, fornecendo como saída alternativas arquiteturais que mitiguem o *dark-silicon*. Após o usuário

fornecer todas as entradas (descrição inicial da plataforma, restrições, parâmetros dos algoritmos, etc.), a ferramenta passa por três etapas:

Na Exploração de Desempenho, é realizada a simulação com base na plataforma descrita e gerada uma avaliação de desempenho com base no tempo de execução de um benchmark. Na etapa seguinte, a de Exploração Física, fornece-se um relatório de estatísticas físicas, com informações como área e potência de cada componente da plataforma, bem como a estimativa de área de *dark-silicon* do chip. Considerando como entrada um projeto com área de *dark-silicon*, a terceira etapa, denominada de Exploração do Espaço de Projeto (DSE), recebe as restrições do usuário, objetivos e os resultados das explorações de desempenho e física e realiza uma exploração automática do espaço de projeto, com um preditor de desempenho de plataformas multicore heterogêneas, baseado em aprendizado de máquina, possibilitando rápida avaliação das arquiteturas heterogêneas alternativas livres de *dark-silicon*.

3. Caracterização dos processadores

Neste trabalho os seguintes processadores foram modelados seguindo as especificações originais da Tabela 3 e acrescentados ao banco de dados do MultiExplorer: Smithfield, ArmA53, ArmA57, Quark e Atom Silvermont. Também foram setados parâmetros referentes às STLBs, DTLBs, ITLBs e outros parâmetros internos mas que, por motivos de limitações de espaço, não foram mostrados na tabela.

Parâmetros	Processadores				
	Smithfield	ArmA53	ArmA57	Quark	Atom
Data Fab.	Q2'05	Q4'12	Q4'12	Q4'13	Q4'13
Arquitetura	x86-64	ARMv8-A	ARMv8-A	x86	x86-64
Quant. núcleos	2	1	1	1	1
Frequ. (MHz)	2800	1600	1960	400	1467
VDD	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Tecnologia(nm)	90	22	22	32	22
Níveis de cache	2	2	2	1	2
L1-Instruções	16Kb,4w,64b	32Kb, 4w,64b	48Kb,4w,64b	8Kb,2w,32b	32Kb,8w,64b
L1-Dados	32Kb,8w,64b	32Kb,4w,64b	32Kb,4w,64b	8Kb,2w,32b	24Kb,8w,64b
L2	1024Kb,8w,64b	512Kb,16w,64b	2Mb,16w,64b	1Mb,2w,32b	512Kb,8w,64b

Tabela 1: Principais parâmetros dos modelos de processadores do MultiExplorer. Os dados mostrados para as caches são: capacidade, associatividade, tamanho do bloco.

Por fim, demonstra-se um experimento de evolução tecnológica do processador Smithfield, partindo da tecnologia de fabricação de 90nm até 22nm. Ao evoluir o projeto, busca-se aumentar a quantidade de cores até atingir área próxima à área de referência do projeto original (Tabela 3). A plataforma original a 90nm é livre de *dark-silicon* e a área de *dark-silicon* aumentou de 4,23% a 65nm para 26,53% a 22nm. Assim, seria possível utilizar o módulo de DSE do MultiExplorer para encontrar as alternativas de projeto livres de *dark-silicon*, com desempenho maximizado.

O algoritmo de exploração do espaço de projetos realizaria a busca de soluções alternativas heterogêneas, utilizando os processadores do banco de dados da ferramenta, considerando como restrição a área de $206,97mm^2$ (área da plataforma a 90nm) e a

Evolução Tecnológica Smithfield					
Tecnologia (nm)	90	65	45	32	22
Quantidade de núcleos	2	4	8	14	26
Área Chip (mm ²)	206,97	222,86	224,24	212,84	203,66
Potência do chip(W)	181,94	245,41	369,174	424,89	480,42
Densidade de potência (W/mm ²)	0,879	1,101	1,646	1,996	2,359
Area DS (mm ²)	-	9,44	32,47	44,18	54,02
%DS	-	4,23	14,48	20,75	26,53

Tabela 2: Evolução Tecnológica Smithfield.

densidade de potência da plataforma original livre de *dark-silicon* ($0,879W/mm^2$). Por fim, retornaria como saída as soluções sem *dark-silicon* com melhores desempenhos.

4. Conclusão

Este trabalho apresentou uma visão das funcionalidades e as características gerais dos processadores presentes no banco de dados da ferramenta MultiExplorer. Devido à restrição de espaço, não foi possível demonstrar experimentos de caracterização completa, porém todos os resultados estão documentados. Por fim, realizou-se uma demonstração do processo de evolução tecnológica do processador Smithfield, utilizando a metodologia de estimativa de *dark-silicon* do MultiExplorer e ilustrando o surgimento de *dark-silicon*, abrindo oportunidade para o uso do módulo de DSE em busca de soluções alternativas para mitigar *dark-silicon*. Além do material apresentado, o MultiExplorer continua a evoluir com projetos em desenvolvimento. Entre eles, destacam-se: utilização do MultiExplorer para otimização de recursos em nuvem, exploração do espaço de projetos com computação aproximada e suporte ao ensino e aprendizagem de DSE em cursos de graduação e pós-graduação utilizando o MultiExplorer.

5. Referências

- [Devigo et al. 2015] Devigo, R., Duenha, L., Azevedo, R., and Santos, R. (2015). Multiexplorer: A tool set for multicore system-on-chip design exploration. In *Proceedings of the 26th ASAP*, pages 160–161. IEEE.
- [Santos et al. 2019] Santos, R., Sonohata, R., Krebs, C., Catelan, D., Duenha, L., Segovia, D., and Santos, M. T. (2019). Exploração do projeto de sistemas baseados em gpu ciente de dark silicon. In *Anais Principais do XX Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 358–369. SBC.
- [Santos et al. 2016] Santos, T., Silva, A., Duenha, L., Santos, R., Moreno, E., and Azevedo, R. (2016). On the dark silicon automatic evaluation on multicore processors. In *2016 28th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD)*, pages 166–173. IEEE.
- [Sonohata et al. 2022] Sonohata, R., Arigoni, D. C. A., Fernandes, E. R., Ribeiro dos Santos, R., and Dessandre Duenha, L. (2022). Performance predictors for graphics processing units applied to dark-silicon-aware design space exploration. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, page e6877.