

Tegra 3

Danilo Souza, Hugo Santos, Welton Araújo

Emails: {dhcsouza, hugoleonardoeng07, weltonmaxx007}@gmail.com

Abstract—Mobility is undoubtedly the mark of the XXI century, more and more people are using smartphones or tablets to work, to share multimedia content (videos, photos, audio), interact in social networks, entertainment, these activities are often made at the same time as synchronizing e-mail, listen to music and update social networks. One of the great challenges of manufacturers of processors for mobile devices is to combine performance with low power consumption. So, today's users can carry out their multiple tasks simultaneously, and this problem becomes even more evident when deals with high definition multimedia content, 3D gaming, faster web browsing, etc. To solve this problem, the industry of mobile devices "imported" the concept of desktop's multi processing to smartphones and tablets. This paper will show how the Tegra 3, the newest release from NVidia for mobile phones and tablets, has achieved a optimum relationship between Performance and Power Consumption besides show the importance of multi processing.

Index Terms—Tegra 3, quad-core, vSMP, multiprocessing.

I. HISTÓRICO

Fundada em 1993, por Jen-Hsun Hung, Chris Malachowsky, Curtis Priem, com o intuito de entrar para o mercado da computação gráfica, a NVidia logo se tornou uma empresa consolidada no mercado e mostrou que estava disposta a investir em tecnologia para aperfeiçoar cada vez mais seus produtos, tanto que fechou sua primeira parceria com a SGS-Thompson um ano após sua criação. No ano seguinte, lançou seu primeiro produto, o NV1, utilizado pelo jogo Virtual Fighters da Sega, líder do mercado de arcades na época.

Após o sucesso, a NVidia continuou com suas inovações, e em 1996 apresentou os primeiros drivers do Microsoft DirectX. O crescimento foi tão rápido em tão pouco tempo que, em 1999, a empresa abriu seu capital e iniciou a oferta pública de ações. Neste mesmo, ano a NVidia fez um dos lançamentos mais grandiosos da empresa, e que sem dúvida, revolucionou a indústria. O GPU, um processador de chip único capaz de processar, na época, 10 milhões de polígonos por segundo, nos GPUs mais modernos esse número chega a 2 bilhões.

Atualmente a empresa atua fabricando processadores específicos para diversas áreas como a indústria automobilística, tables, smartphones, supercomputadores, etc. Em Fevereiro de 2011 a empresa apresentou o projeto Kal-El (Tegra 3), primeiro processador quad-core do mundo criado para atender a nova demanda de aplicações para mobilidade e melhorar a experiência de aplicações já existentes.

II. INTRODUÇÃO

É inegável que o futuro da comunicação está dentro de tablets e smartphones, cada vez mais pessoas compram estes

dispositivos para se conectar internet e realizar atividades cotidianas, como ler/enviar e-mails, ver vídeos, utilizar as redes sociais, e com o avanço exponencial da internet e das próprias tecnologias relacionadas à multimídia e jogos. As exigências para os tablets e smartphones aumentaram, os usuários não querem mais simplesmente ler e-mail ou navegar no site do banco, o mercado hoje em dia é muito mais exigente, e busca cada vez mais coisas sofisticadas, como por exemplo, assistir vídeos em alta definição, jogos em 3D, carregar uma página web de alta resolução, vídeo conferências de alta definição em tempo real, etc.

Contudo, os processadores de propósito geral utilizados na maioria dos dispositivos móveis atualmente não suprem essa necessidade com a eficiência desejada. Visando esse mercado, a NVidia lançou a arquitetura Tegra, uma arquitetura heterogênea baseada em multi-processadores, utilizando-se de 8 processadores de propósito específico para processamento de gráficos, imagens, áudio, codificação/decodificação de vídeos, etc.

O grande desafio em lidar com as novas exigências do mercado está em balancear um alto desempenho com baixo consumo de energia, a melhor maneira de juntar as duas e obter uma boa relação custo benefício é trazer para o mundo móvel o conceito de processadores com vários núcleos, amplamente utilizado no mundo dos desktops. Assim, é possível aumentar a eficiência do processamento, uma vez que duas ou mais tarefas podem ser realizada ao mesmo tempo, sem ter que aumentar a frequência de clock dos processadores, o que acarretaria em um maior consumo de energia.

A NVidia lançou os processadores Tegra 2 e Tegra 3 (Projeto Kal-El), com 2 e 4 núcleos, respectivamente, sendo que este último possui uma enorme evolução de desempenho quando comparado ao primeiro. Nas sessões seguintes serão explicadas com mais detalhes as características que permitem com que o Tegra 3 alcance uma ótima relação entre consumo de energia e desempenho.

III. CARACTERÍSTICAS

A. Multiprocessamento

Multi-processamento é sem dúvida uma das melhores formas de obter um dispositivo com alto desempenho e baixo consumo de energia, entretanto, quanto mais núcleos, maior é a economia de energia. Para executar uma mesma atividade, um processador com 2 núcleos precisa de uma frequência de clock maior do que um processador de 4 núcleos precisaria, além do fato de que o processador com 2 núcleos ficaria ativo por mais tempo na frequência de pico, aumentando assim o consumo de energia.

Multi-processamento é sem dúvida uma das melhores formas de obter um dispositivo com alto desempenho e baixo

consumo de energia, entretanto, quanto mais núcleos, maior é a economia de energia. Para executar várias atividades em paralelo, um processador com 2 núcleos precisa de uma frequência de clock maior do que um processador de 4 núcleos precisa para obter um mesmo desempenho. As altas frequências aumentam o consumo de energia. A Figura 1 mostra um comparativo entre os processadores Tegra 2 e Tegra 3, enquanto que a Figura 2 mostra um comparativo quando se utiliza 2 e 4 núcleos do Tegra 3.

Dispositivos móveis frequentemente executam diversas atividades ao mesmo tempo, p.e, sincronização de e-mail/redes sociais, navegação web, atualizador de notícias, etc. Se todas essas atividades fossem executadas por um único núcleo, este ficaria mais tempo na frequência de pico, gastando assim mais energia, além de não conseguir uma resposta satisfatória. As Figuras 3 e 4 mostram um comparativo entre processadores Quad Core e Dual Core, em relação ao Moonbat Benchmark e codificação de vídeo, respectivamente.

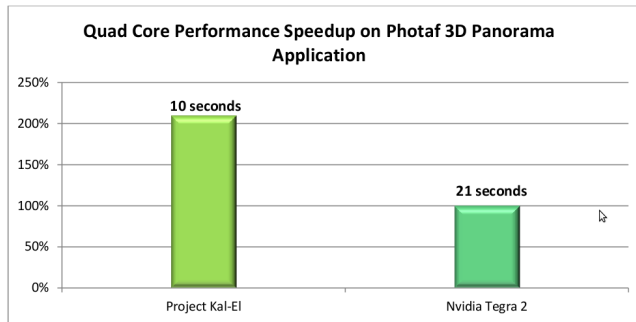


Fig. 1. Comparativo de benchmark entre processadores Quad e Dual Core

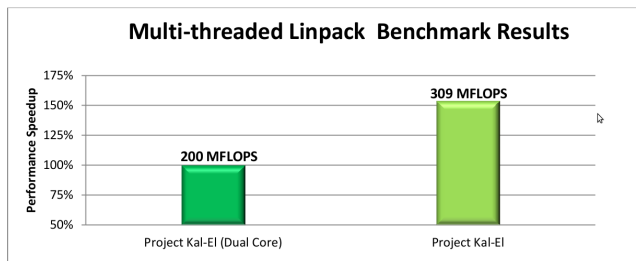


Fig. 2. Comparativo de benchmark do Tegra usando 2 e 4 núcleo

B. Processo de fabricação do dispositivo de Silício X Consumo de Energia

A tecnologia usada no processo de fabricação de um dispositivo de silício influencia diretamente no consumo de energia uma vez que o consumo total de um dispositivo de silício é dado pela soma da energia de fuga (Leakage Power) e da energia dinâmica (Dynamic Power), sendo esta primeira diretamente influenciada pela tecnologia utilizada no processo. A segunda depende principalmente da frequência e pelo quadrado das tensões de operação do dispositivo. Se convencionarmos Energia Dinâmica = ED, Energia de Fuga = EF, Energia Total = ET, frequência = f (clock) e tensão = V , temos que:

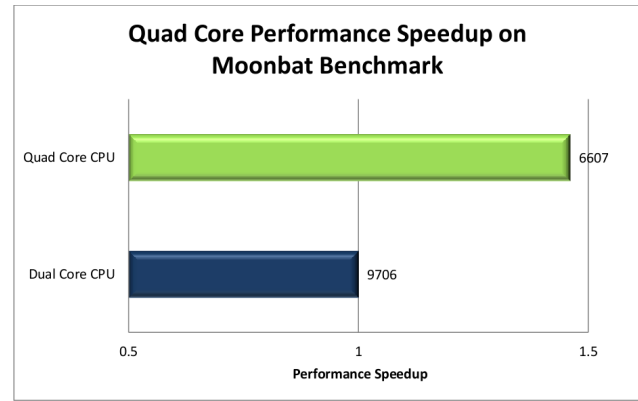


Fig. 3. Comparativo de benchmark entre processadores Quad e Dual Core

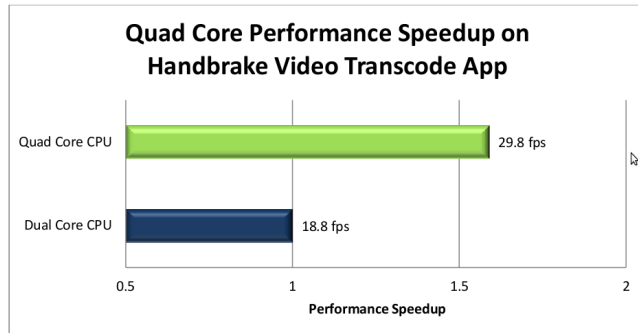


Fig. 4. Comparativo de codificação de vídeo entre processadores Quad e Dual Core

$$ET = EF + ED$$

$$ED \propto fV^2$$

A partir destas definições é possível concluir que quanto mais perto da frequência de pico o dispositivo opera, mais a ET depende somente da ED, enquanto que, quanto menor a frequência, mais a ET depende somente da EF.

Existem duas tecnologias diferentes para se construir transistores usados nos processadores. A primeira é a tecnologia de processo rápido (Fast Process Technology), que consome uma maior EV, contudo, possuem um tempo de troca muito curto quando opera em tensões normais. A segunda é a tecnologia de processo de baixa potência (Low Power Process Technology) consome menor EF, entretanto possui um tempo maior de troca operando em tensões normais.

Núcleos construídos utilizando a primeira tecnologia possuem um maior consumo de EF, entretanto não necessitam de um grande aumento de tensão quando passam a operar em frequências maiores, no caso do Tegra 3 acima de 500 MHz, e os núcleos construídos utilizando a segunda tecnologia possuem menor EF, porém precisam de um grande aumento de tensão quando passam a operar em frequências mais altas. Em resumo:

- Processo rápido: Otimizado para altas frequências, contudo maior EF.
- Processo de baixa potência: Feito para operar a baixas frequências, porém menor EF.

A Figura 5 mostra um comparativo entre as duas tecnologias.

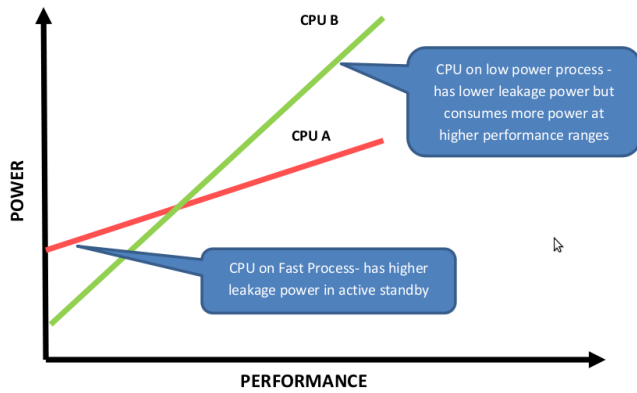


Fig. 5. Comparativo entre as diferentes tecnologias de fabricação de chips de Silício

C. vSMP

Implementada inicialmente no Projeto Kal-El, a tecnologia de Multi processamento Simétrico Variável, vSMP (Variable Symmetric Multiprocessing), é, junto com a tecnologia de processo rápido para construção dos 4 núcleos principais, a principal característica responsável por reduzir drasticamente o consumo de energia no Tegra 3. Ela consiste na adição de um quinto núcleo, fabricado utilizando a tecnologia de processo de baixa potência, utilizado para executar tarefas em segundo plano (sincronização de e-mail/redes sociais, tocar música, etc.). Esse núcleo, chamado de Companion Core alcança uma frequência máxima de clock de 500 MHz.

Utilizando essa combinação de tecnologias e arquiteturas, a tecnologia vSMP é capaz de obter um baixo consumo ao realizar tarefas secundárias (baixa frequência), mas também é capaz de operar a altas frequências sem necessitar de um ganho significativo na ED. A Figura 6 mostra a arquitetura utilizando o Companion Core e a Figura 7 mostra a combinação que resulta na tecnologia vSMP.

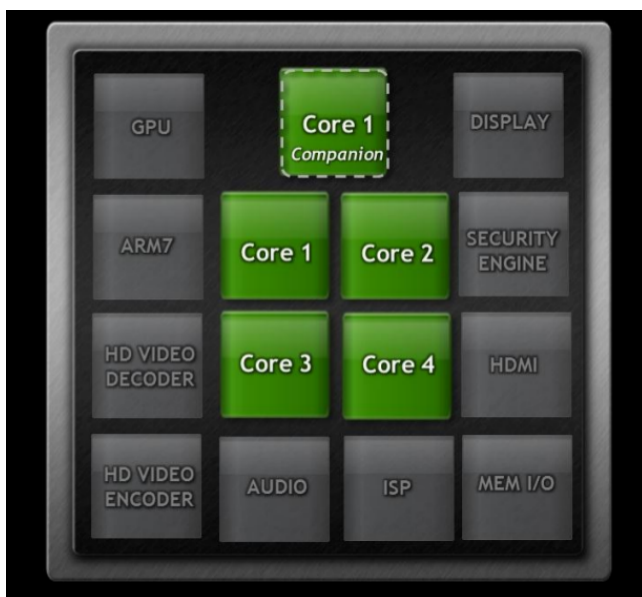


Fig. 6. Arquitetura do Tegra 3 com o Companion Core

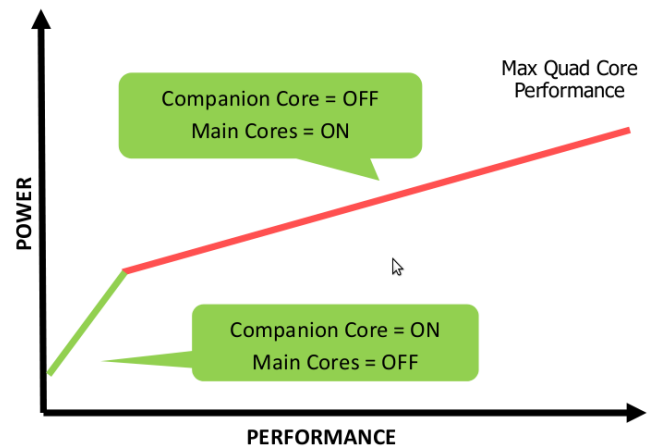


Fig. 7. Compartimento das duas tecnologias de fabricação de chips de silício combinadas

Abaixo as principais vantagens da Arquitetura vSMP:

- **Transparência para o Sistema Operacional (SO)**
A partir da versão 3.0 (Honey Comb) o Android oferece suporte nativo para multi processamento, sendo assim capaz de se beneficiar das vantagens de processadores com dois ou mais núcleos, apesar de que, para o SO, todos os núcleos possuem a mesma capacidade performática. O projeto Kal-El implementa gerenciamento baseado em hardware e linguagens de baixo nível tanto para os 4 núcleos principais quanto para o Companion Core. Esse monitoramento, utilizando software e hardware proprietários, é responsável por verificar a carga de trabalho da CPU. Dependendo dessa carga de trabalho e das recomendações da frequência de operação feitas pelo sistema de controle de frequência da CPU, do Kernel, esse software sinaliza para o hardware quando realizar a troca entre os núcleos principais e o Companion Core. Esse procedimento é 100% implementado no Tegra 3, ou seja, não requer nenhuma alteração no SO, fazendo com que esta tecnologia seja totalmente viável do ponto de vista econômico.

- **Coerência de Memória Cache**
Quando se lida com processadores com frequência de clock diferentes, a sincronização de memória cache pode ser um grande problema, pois quando um processador de frequência mais baixa fizer uma operação de escrita na memória, pode não haver tempo suficiente para que todas as memórias sejam sincronizadas, o que ocasionaria um erro de leitura dos processadores de frequência mais alta. A arquitetura vSMP evita isso, simplesmente não permitindo que os núcleos principais e o Companion Core estejam habilitados ao mesmo tempo, uma vez que eles compartilham a mesma memória cache de nível 2.

A Figura 8 mostra a eficiência da arquitetura vSMP quanto ao consumo de energia, em comparação com seu antecessor Tegra 2, para determinadas tarefas. A Tabela I mostra a relação Consumo X Performance do projeto Kal-El comparado com seus concorrentes dual-core. As Figuras 9 e 10 mostram a representação gráfica da Tabela I.

Tabela I
COMPARATIVO DE CONSUMO DE ENERGIA ENTRE CONCORRENTES

Mobile Processor	Measured Power (mW) ²	Coremark Performance
Project Kal-EI (each core running at 480 MHz)	579	5589
OMAP4 (each core running at 1 GHz)	1501	5673
QC8660 (each core running at 1.2 GHz)	1453	5690
Project Kal-EI (each core running at 1 GHz)	1261	11667

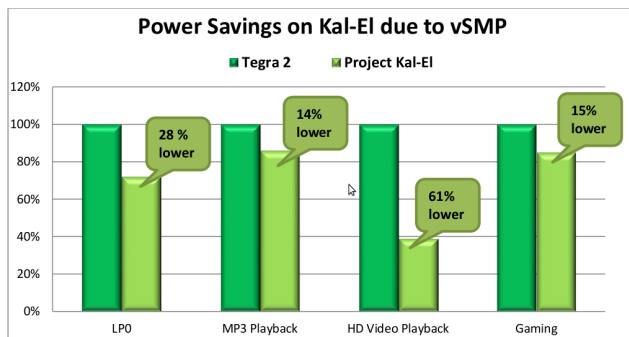


Fig. 8. Eficiência da arquitetura vSMP quanto ao consumo de energia



Fig. 9. Representação gráfica quando cada núcleo opera a 480MHz

IV. CONCLUSÃO

Com o mercado cada vez mais competitivo, as empresas têm que buscar soluções inovadoras e cada vez mais atreladas ao baixo consumo de energia e ao desempenho. Uma vez que as aplicações estão ficando mais exigentes do ponto de vista computacional e a exigência uma maior e mais rápida interação com as aplicações pelos usuários.

Após a análise dos gráficos de desempenho, é possível perceber uma tendência no aumento do número de núcleos dos processadores, porém não basta aumentar demasiadamente o número de núcleos sem construir uma arquitetura otimizada para o uso desses núcleos.

REFERÊNCIAS

- [1] http://www.nvidia.com/content/PDF/tegra_white_papers/Benefits-of-Multi-core-CPUs-in-Mobile-Devices_Ver1.2.pdf

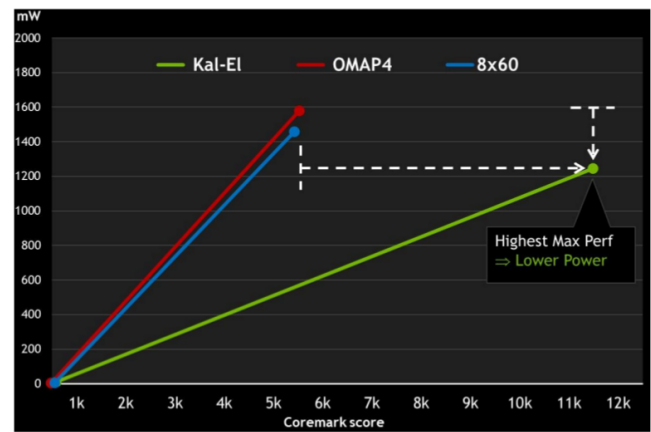


Fig. 10. Representação gráfica quando cada núcleo opera a 1GHz

- [2] http://www.nvidia.com.br/content/PDF/tegra_white_papers/tegra-whitepaper-0911a.pdf
 [3] http://www.nvidia.com/content/PDF/tegra_white_papers/Variable-SMP-A-Multi-Core-CPU-Architecture-for-Low-Power-and-High-Performance.pdf