

Multicore

Josué Tzan Hsin Ma

RA 049180

Instituto de Computação - Unicamp

Campinas, Brasil

+55 19 32899334

josue.ma@ic.unicamp.br

RESUMO

No universo dos processadores há uma lei que domina sobre sua evolução, a Lei de Moore. Durante décadas essa lei ditou os passos da indústria dos processadores mas a barreira física dos materiais seria alcançada rapidamente nos dias atuais, impedindo estes de continuarem evoluindo. Este artigo tem por objetivo apresentar a tecnologia denominada "*mulicore*" ou multi-núcleos, um novo enfoque para a produção e evolução dos processadores.

Categories and Subject Descriptors

A.1 [INTRODUCTORY AND SURVEY]: Apresentação de processadores multicore ou multinúcleos.

Palavras-Chave

Hardware, Processadores, Multicore

1. INTRODUÇÃO

Na década de 1970 o pesquisador Gordon Moore declarou que a cada 18 meses o poder dos processadores dobraria. Essa declaração tornou-se a conhecida Lei de Moore que ditou os passos da indústria dos computadores até os dias atuais [26].

Durante todo esse tempo a fabricação dos processadores passou por várias evoluções, dentre elas a miniaturização do processo permitindo que os transistores passassem de milímetros a microns de comprimento. Com isso o número destes foi elevado de 29.000, no processador 8088, para mais de 41 milhões de transistores nos processadores atuais e podendo chegar aos 1,7 bilhões no final de 2005[19]. Esse incremento trouxe muito mais conseqüências do que apenas o aumento da velocidade de processamento. Essa crescente demanda por velocidade foi a causa do aparecimento de novos problemas e, também, de novas soluções.

O pico de consumo de energia de um micro-processador subiu bem acima de 110 watts nos últimos anos e a maioria deste não é transformado em processamento mas em calor. A quantidade de calor e energia que está sendo liberada e utilizada é um dos maiores problemas enfrentados atualmente. Um processador moderno de núcleo simples pode gerar mais calor por centímetro quadrado do que um ferro de passar roupa e apenas opera em seu estado de segurança por causa da evolução das técnicas e dos

materiais dos sistemas de resfriamento [26].

A energia liberada em forma de calor acarreta a geração de um outro problema: a barreira física dos condutores (temperatura de fusão, resistência, e outros) já está quase em seu limite, tornando o aumento de frequência um esforço com custos muito elevados em relação ao ganho em performance obtido.

Dentre as soluções encontradas está a utilização de múltiplos núcleos, em vez de um único, por processador. A base de um processador multinúcleo é a utilização de um maior número de núcleos de processamento de menor capacidade e faz com que os problemas com o consumo de energia e geração de calor sejam resolvidos pois, em vez ser usado um conjunto de muitos transistores reunidos em uma pequena área, são utilizados vários conjuntos com um menor número transistores.

O objetivo deste artigo é apresentar a tecnologia multinúcleo (Seção 2), algumas de suas características (Seção 3), e seu futuro (Seção 4).

2. MULTICORES

A demanda por mais potência, flexibilidade, escalabilidade, eficiência, segurança e serviços sem o aumento de custo e geração de calor têm levado os desenvolvedores e profissionais da área a um grande desafio. Entre os meios encontrados foram o desenvolvimento de processadores multitarefas, multiprocessos e sistemas multiprocessados.

Historicamente, os fabricantes de processadores têm respondido à demanda por aumento de processamento simplesmente aumentando o número de transistores e a frequência dos processadores. No entanto, o desafio de gerenciar a energia e resfriar os processadores têm levado à uma reavaliação deste tipo de abordagem. A figura 1 expõe a média de potência consumida e liberada como calor pelos processadores atuais.

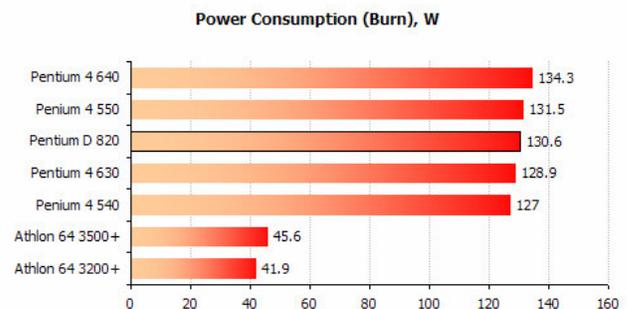


Figura 1. Consumo de Energia dos processadores atuais

A necessidade de alcançar maiores performances sem o conseqüente aumento no consumo de energia e a manutenção ou, se possível a diminuição, da geração de calor têm se tornado a principal preocupação das pesquisas em tecnologia nos dias atuais.

Calor e energia, porém, não são as únicas preocupações já que as interconexões também estão se tornando cada vez mais um gargalo pois a velocidade pela qual os elétrons podem fluir é limitada pela resistência e pela capacitância do fio condutor e, embora a maioria dos fios estejam ficando menores, estes também estão ficando mais finos[26].

O problema também aumenta quando é focada a conexão mais lenta entre o processador e o banco de memórias principal. Por exemplo, um microprocessador que opera a 3,6 gigahertz pode executar uma instrução a cada 277 trilionésimos de segundo mas normalmente o sistema demora 400 vezes mais tempo para extrair informação da memória principal. A figura 2 mostra a relação entre o aumento da velocidade do processador e o aumento de velocidade da memória desde 1980.

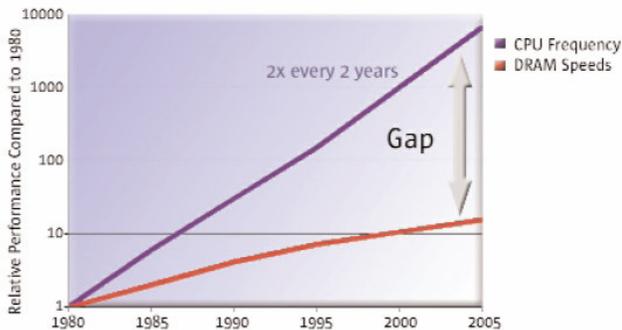


Figura 2. Distância entre performance do processador e memória

Por causa desta discrepância os arquitetos de microprocessadores utilizam memória cache nos chips, técnicas de paralelismo de instruções, para manter o processador ocupado com as instruções B e C enquanto a instrução A espera pelos dados, e a exploração do uso de *pipelines* no entanto essas técnicas estão quase esgotadas.

Como a maioria das abordagens estão em seu limite, é necessária uma nova técnica para aumentar a velocidade de processamento já não bastando aumentar a frequência ou o número de transistores nos processadores. Uma nova direção para tratar o problema é então necessária e esta vem justamente ao se seguir o caminho inverso das abordagens utilizadas até os dias atuais. Em lugar de aumentar a frequência dos processadores, a solução é diminuir a frequência de seu núcleo e aumentar o número destes em cada processador, podendo gerar ganhos de 30 a 90 por cento sem aumentar, na mesma proporção, a geração de calor e o consumo de energia [8]. O uso de múltiplos núcleos em um único processador, apesar de ser um nicho relativamente novo a ser explorado, não é um algo novo pois em [10], escrito em 1989, já se previa o aparecimento de processadores multinúcleos na virada do ano 2000.

Em geral processadores multinúcleos são definidos como sendo chips com mais de uma unidade de processamento, cada uma com

capacidade para executar múltiplos processos por vez ou, um circuito integrado com dois ou mais processadores integrados para aumentar sua performance, com baixa utilização de energia e que executa com mais eficiência múltiplos processos simultâneos[2].

2.1 Funcionamento

A tecnologia dominante atualmente permite um *socket* prover acesso a um núcleo lógico, proporção de 1 para 1. Novas abordagens criadas para esses novos processadores permitem para cada *socket* prover acesso para dois, quatro ou mais núcleos presentes em um único processador.

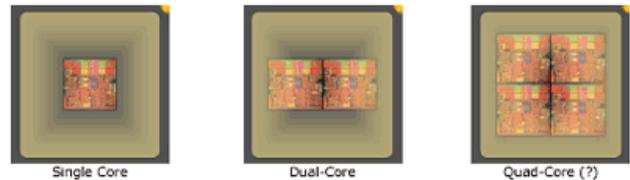


Figura 3. Exemplo de processadores com um núcleo, dois núcleos e quatro núcleos.

De uma maneira simplista, um processador multinúcleo funciona como se em vez de um processador você tenha em seu computador dois ou mais processadores trabalhando em conjunto e como os múltiplos processadores estão em um mesmo socket, a conexão entre eles é realizada mais rapidamente do que em sistemas multiprocessados onde são utilizados um *socket* por processador[18].

A implementação da arquitetura interna do chip é uma abordagem da estratégia de divisão e conquista[18]. Em outras palavras, dividindo o trabalho realizado por um único processador de núcleo simples, espalhando-o em múltiplos núcleos de execução, um processador multinúcleo pode realizar mais volume de trabalho em um mesmo ciclo de clock.

Atualmente, os processadores multinúcleos são abordados em duas linhas de pensamento: a linha do “rápido e estreito”, conhecida também como *“fast and narrow”* e a linha do “devagar e largo”, também conhecido como *“slow and wide”*. A primeira linha de ação desta nova geração de processadores é baseada em poucos núcleos com muito processamento enquanto a segunda enfatiza o uso de mais núcleos com menor processamento[5].

A maior diferença entre um processador multiprocessos (multi-threading) e um multinúcleo é que um processador multiprocessos pode rodar mais de um processo por ciclo de clock enquanto o processador multinúcleo pode rodar mais de uma tarefa por ciclo de clock e cada tarefa pode executar mais de um processo por vez, isto está ilustrado nas figuras 4 e 5, retirados de [27].

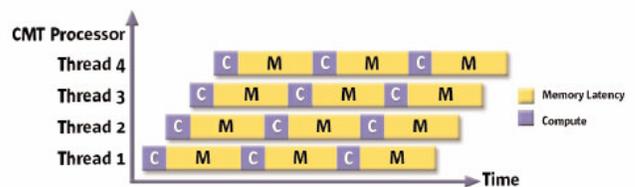


Figura 4. Processador Multiprocesso

2.2 Medidas de Desempenho

A velocidade deste novo processador não é medida através das velocidades dos núcleos mas na vazão de processamento que esta nova abordagem fornece.

Assim como a técnica de “*pipelining*”, o processador não funciona mais rápido, ele apenas executa mais funções em menos tempo aproveitando a maioria dos recursos disponíveis. Então é possível que um processador de 3 GHz funcione mais devagar que um processador multinúcleo, de 4 núcleos de 500 MHz, mesmo que o processador multinúcleo possua apenas 2 GHz (4 x 500 MHz) de frequência bruta. Isso ocorre pelo fato da tecnologia permitir realizar mais tarefas ao mesmo tempo e, se for preciso, dedicar alguns núcleos à tarefas mais dispendiosas e de maior prioridade. O fato também pode ser ilustrado pelas figuras 4 e 5.

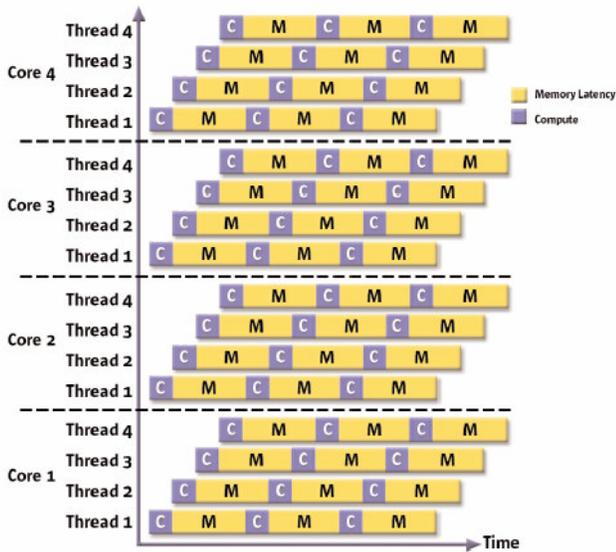


Figura 5. Processador Multinúcleo

Com o mercado necessitando cada vez mais de velocidade de processamento, não em frequência mas em volume de dados processados, a tendência do mercado é parar de medir a velocidade dos processadores pela sua frequência e iniciar a sua medida pelo seu rendimento, saída concreta, dando início à era da computação medida pela eficiência[27, 17].

3. CARACTERÍSTICAS

Um processador equipado com paralelismo em nível de processos (threads) podem executar processos completamente separados de código. É possível rodar um processo de um aplicativo e outro de um outro aplicativo ou rodar dois processos de um mesmo aplicativo (aplicativos multimídia obtêm bastante ganho nesse nível) ao mesmo tempo.

Um processador equipado com múltiplos núcleos de processamento pode elevar esse paralelismo ao nível de tarefas provendo uma nova gama de benefícios aos usuários do computador.

3.1 Vantagens

A curto prazo, processadores multinúcleos oferecem uma tecnologia imediata e de baixo custo para solucionar os desafios da indústria de processadores, aliviando os picos de geração de

calor e consumo de energia que existem quando os processadores de núcleo único aumentam as suas frequências. Estes ainda possuem maior potencial para rodar aplicações com mais eficiência do que os processadores de núcleos únicos, permitindo aos usuários destes novos processadores rodarem em segundo plano os uma carga intensa de aplicativos enquanto trabalham sem perda de eficiência e, por permitirem a execução de múltiplas tarefas e processos, estes processadores são extremamente indicados para serviços de internet, análises matemáticas, “*data-mining*” entre outros. Consomem também menos energia que a solução de arquitetura multiprocessada (com mais de um processador de núcleo simples por máquina)[1].

A longo prazo, os processadores multinúcleo irão desacelerar o ritmo de depreciação do “*hardware*” pois estes têm a capacidade de executar os programas atuais e estão preparados para executar programas de um futuro próximo. A crescente complexidade dos programas combinados com o desejo de executar mais de um programa por vez irá acelerar o processo de disseminação destes novos modelos de processadores. Além disso, os programadores estão mudando seus paradigmas de programação, iniciando uma era de programação mais paralela, que aproveitaria o máximo desses novos processadores.

O uso desta tecnologia em sistemas móveis e celulares permitirão a estes executarem programas mais complexos sem drenar suas baterias mais rapidamente. Além do uso geral, eles também podem ser utilizados em jogos eletrônicos, proporcionando maior realidade virtual e maior utilização de inteligência virtual em lugar das ações pré-definidas[29].

Além destas vantagens, o uso de processadores multinúcleos darão mais segurança ao usuário pois se houver problema em algum dos núcleos o processador funcionará normalmente com os núcleos restantes.

4. FUTURO DA TECNOLOGIA

Algumas empresas já tentaram sem sucesso colocar processadores multinúcleo no mercado. Algumas das empresas envolvidas nos projetos de processadores multinúcleos atualmente são a IBM, AMD, Intel, Sun e a ARM.

4.1 IBM

A IBM foi a primeira empresa a fornecer um processador multinúcleo da nova era com o lançamento do POWER4 em 2001.

Em um novo projeto, a IBM, em parceria com a Sony e Toshiba, desenvolveu um novo processador chamado Cell, com a tecnologia multinúcleo de 64-bits[15, 16]. Esse novo processador tem como diferencial núcleos com alta capacidade de realizar contas em ponto flutuante e otimização para uso multimídias. Com isso, espera-se que o novo processador seja utilizado nas novas televisões digitais de alta definição, as HDTVs, além de ser o núcleo operacional de sistemas de entretenimento digitais, como o novo PlayStation3, da Sony.

Além do projeto do Cell, a IBM participou do projeto de um novo processador derivado do núcleo do processador PowerPC de 64 bits para equipar o Xbox 360, novo console de jogos da Microsoft[14]. O novo componente inclui três desses núcleos, cada um capaz de executar duas tarefas simultâneas a velocidades maiores do que 3 gigahertz e conta com uma nova arquitetura de barramento capaz de transmitir 21,6 gigabytes de dados por segundo.

4.2 AMD

A AMD foi a primeira empresa a fornecer um processador x86 com a tecnologia multinúcleo. Esta trabalha apenas com processadores de dois núcleos, os “*dual-cores*”, mas com arquitetura de 64 bits.

4.2.1 Direct Connect Architecture

Pesa em favor da AMD uma tecnologia desenvolvida pela própria empresa especialmente para os novos processadores chamada de “*Direct Connect Architecture*”, também conhecida como “*HyperTransport*” que é uma arquitetura de conexão direta.

Em computadores comuns os processadores se comunicam com o restante da máquina através de um único barramento. Caso se tenha mais de um processador na máquina, o acesso ao barramento é bastante concorrido tornando-se o gargalo do sistema, como se pode ver na figura 6.

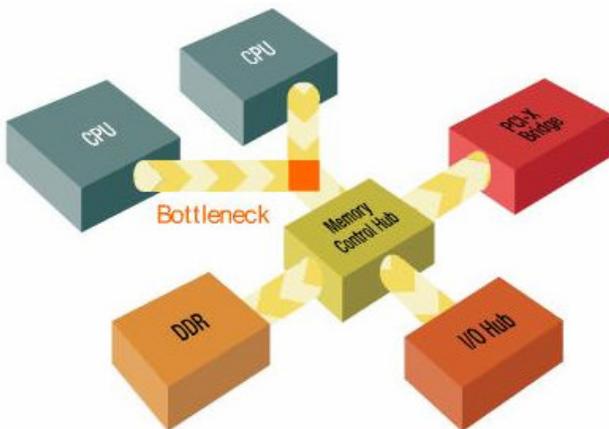


Figura 6. Gargalo em sistemas comuns com mais de uma unidade de processamento que utilizam apenas um barramento de memória

Com esta nova tecnologia desenvolvida, a AMD integrou a comunicação com o núcleo de processamento, fazendo com que cada núcleo tenha sua própria conexão direta de comunicação entre eles, entre os dispositivos de entrada e saída e a memória da máquina, aumentando o fluxo de dados. A figura 7 abaixo demonstra a tecnologia.

4.3 Intel

Para a Intel, a maior fabricante de processadores do mundo, a nova tecnologia é bastante promissora. No entanto, atualmente, a empresa tem apenas poucos modelos de processadores desta nova era cada um com apenas dois núcleos, como os da rival AMD.

A Intel possui um projeto de processador totalmente novo, de 65nm. Este novo processador é uma derivação do Itanium atual, tem o codinome Tukwila, terá quatro ou mais núcleos e espera ser lançado em 2007[29].

Além deste projeto a Intel trabalha em outro, batizado de Shangri-la, no qual pesquisa o uso de oito núcleos, cada um com capacidade de executar oito processos simultaneamente e a empresa espera estar trabalhando com dezenas ou até centenas de núcleos em 2015, que suportarão de centenas a milhares de processos sendo executados ao mesmo tempo[12].

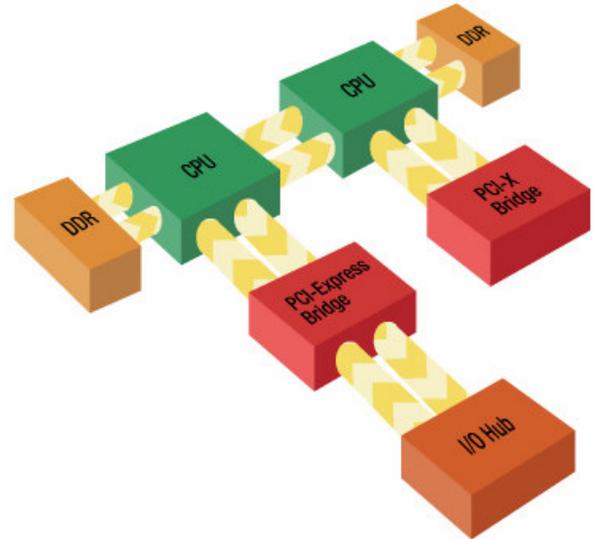


Figura 7. Exposição da tecnologia DCA

4.4 Sun

A Sun possui um grupo de pesquisa chamada Sun's Scalable Systems Group. Baseado na palavra de seu mais proflíco pesquisador, Marc Tremblay, a Sun iniciou em 1995 sua jornada rumo ao processador multinúcleo. Embora céticos, o projeto continuou até que a AMD e Intel anunciaram seus processadores multinúcleos. Em 2003, a Sun lançou seu primeiro processador multinúcleo [21], o UltraSPARC IV, uma integração de dois núcleos de UltraSPARC III, e funcionava com a mesma base deste para simplificar e economizar em aprimoramentos no sistema.

A Sun espera lançar seu novo processador multinúcleo no início de 2006. Batizado de Niagara, o processador utiliza menos energia do que uma lâmpada comum e possui oito núcleos. Apesar de chegar ao mercado com um pouco de atraso, o processador da Sun está com 6 núcleos e 28 processos de vantagem[28] em relação aos processadores de empresas concorrentes e consome menos energia do que estes. Para Tremblay, um processador multinúcleo só pode ser explorado em sua máxima performance se este não for uma adaptação de um processador ou projeto de núcleo único anterior, como foi o desenvolvimento do UltraSPARC IV. Um processador multinúcleo deve ter um projeto totalmente novo, com um novo núcleo, um novo projeto de pipeline, entre outros, o que leva a um investimento de no mínimo 4 anos. Um próximo projeto é um novo processador chamado Rock, que tem lançamento previsto para 2008.

Além de contar com grupos de pesquisa em hardware, a Sun também possui o Java, uma linguagem de programação desenvolvida pela própria empresa. O Java fornece suporte à programação baseada em processos, threads, que aproveitando este novo suporte de hardware, o aparecimento dos novos processadores com dois ou mais núcleos, pode ser explorada ao máximo dando os primeiros passos para esse novo paradigma da programação.

4.5 ARM

A ARM, maior licenciadora de processadores de 32 bits e detentora de mais de 75 por cento do mercado de processadores de sistemas embarcados e portáteis como celulares e PDA's, entre

outros, também possui linhas de pesquisas em processadores de múltiplos núcleos.

Com o mercado aceitando rapidamente soluções multinúcleos, a ARM está comprometida a ajudar seus parceiros a desenvolver seus produtos para que estes também possam aproveitar a oportunidade, então a ARM e a Ignios, uma fornecedora de propriedade intelectual de semicondutores para sistemas multinúcleos, anunciaram a diminuição do tempo gasto e dos esforços despendidos para desenvolver, testar e executar simulações nestes novos processadores[3].

São simulados, por enquanto, sistemas modelados com múltiplos processadores da família ARM9TM, utilizando ferramentas de desenvolvimento ARM[©] RealViewTM com tecnologia MaxSimTM e a tecnologia SystemWeaverTM, da Ignios. As tecnologias utilizadas são complementares e provam que é possível desenvolver complexos sistemas multinúcleos em menos tempo que o esperado. O RealViewTM e a tecnologia MaxSimTM incorporam várias características que suportam desenvolvimento e análise de multinúcleos, incluindo a habilidade de unir diversos modelos de simulações em um tempo de execução eficiente.

A tecnologia SystemWeaverTM por sua vez provê benefícios que aceleram o processo de desenvolvimento de software para sistemas multinúcleos. Além disso, a tecnologia garante que o código final executa eficientemente nos recursos computacionais disponíveis no momento.

A Nvidia, uma das maiores empresas de processadores gráficos, anunciou que licenciou o processador multinúcleo a ARM, o ARM11 MPCore [25, 4]. O licenciamento desta tecnologia possibilitará a Nvidia adicionar novas funcionalidades de processamento ao disponível atualmente e fornecer aos seus consumidores novos dispositivos que conseguem processar com maior riqueza e definição aplicativos multimídias. Além de ser uma nova família de processadores que permite sua utilização em configurações de máquinas equipadas com processadores de núcleo simples e em sistemas multiprocessados simétricos ou assimétricos, a família ARM11 MPCore vêm com tecnologias embutidas de baixo consumo de energia, um novo sistema de cache de quatro vias, memórias de alta performance entre outros o que permite a esta família utilizar de apenas 0,30 mW/MHz, 2,1 MIPS e comunicar cerca de 1,3 Gbytes/segundo em um processador com apenas 550 Mhz de frequência, utilizando núcleo simples.

4.6 Problemas com a tecnologia

4.6.1 Quanto à programação

Apesar do mercado aceitar a nova tecnologia de braços abertos, existe uma linha de pensamento que prevê uma certa dificuldade para esta alcançar sua máxima performance pretendida. Esta é a linha de pensamento dos desenvolvedores de programas.

Um destes é um executivo da Microsoft, o arquiteto de software Herb Sutter [20]. A comunidade desenvolvedora de softwares reconhece que os desenvolvedores de hardware, especificamente de processadores, foram forçados a utilizar a abordagem de múltiplos núcleos em um processador para tentar solucionar problemas causados pelo calor gerado nos processadores atuais, mas que estes desenvolvedores não visualizam o quanto de trabalho foi criado para a indústria do software.

Enquanto os processadores apenas aumentavam sua frequência para aumentar a velocidade de processamento, a indústria do

software apenas precisava realizar pequenas mudanças nos códigos e ver sua performance aumentar assim que as frequências aumentavam. O projeto de múltiplos núcleos está forçando o mundo do software, tanto clientes como desenvolvedores, a tratar com computação paralela, concorrente, a habilidade de um programa se dividir em muitas partes pequenas, ser tratadas separadamente e ser recombinadas mais tarde.

Essa é uma área que apenas desenvolvedores de serviços de redes, incluindo Internet, já estão acostumados a tratar já que multiprocessadores ou clusters são algo comum em serviços que exigem alta disponibilidade. Como a maioria dos desenvolvedores de programas não estão acostumados com esse nível de abstração, precisarão passar por toda uma nova fase de treinamento e criar novos paradigmas para a programação.

A Microsoft está trabalhando nessa questão através de um grupo de pesquisa e um projeto chamado Projeto Concur, liderado por Sutter que está tentando redefinir novas regras de abstração para esse novo modelo de programação exigido pela chegada da nova tecnologia de processadores.

4.6.2 Quanto ao licenciamento de programas

Além dos custos quanto à reprogramação, está em debate o aumento do custo do licenciamento dos programas, ou seja, mesmo sendo uma tecnologia mais acessível em nível de hardware, o custo com o licenciamento do software poderia sair caro demais para ter uma relação custo benefício razoável [8].

Várias empresas, como a Oracle, licenciam seus produtos pelo número de unidades processadoras, ou seja, pelo número de núcleos do processador e pelo número de processadores, então ao licenciar o programa para um servidor dotado de um processador de dois núcleos o valor do licenciamento seria duas vezes maior.

Outras empresas já discutem em aumentar em 25 por cento o valor do licenciamento para computadores multinúcleos, independente do número de núcleos que o processador tenha[7, 8].

A Microsoft, no entanto, não faz esta diferenciação. Espera-se que esta atitude faça outras empresas reformularem suas políticas de licenciamento de programas, e uma delas poderia ser licenciar pelo número de sockets da máquina a rodar o programa.

5. CONCLUSÃO

Com a chegada desta nova tecnologia é possível concluir que o mundo está prestes a enfrentar uma nova revolução digital, como o estouro dos computadores pessoais e da Internet anos atrás. Com a chegada do multinúcleo o computador pessoal terá à sua disponibilidade mais processamento permitindo a este integrar outros dispositivos a si mesmo ou ser integrado a sistemas multimídias e, em um futuro não muito distante, cada casa terá um sistema composto de entretenimento cujo centro será um processador multinúcleo.

A nova tecnologia também permite obter mais desempenho, performance, disponibilidade e segurança a um menor custo. Essa nova tecnologia também permitirá aos usuários executarem mais aplicativos em menos tempo, tornando o seu contato com o computador mais prazeroso e rápido.

É possível concluir também que uma grande mudança dos projetos adiciona incerteza ao fato dos proprietários de computadores fazerem um upgrade pois ainda não está claro se o consumidor que comprar um dos primeiros equipamentos de núcleo duplo e substituir a maior parte dos programas para se

adequar à nova arquitetura terá de repetir o processo três anos depois para utilizar máquinas de núcleo quádruplo.

Frente a essa perspectiva, muitas empresas de software talvez decidam que a nova arquitetura simplesmente não valha o esforço já que os novos processadores também permitem a utilização de programas não paralelos, embora não atinjam, dessa maneira, a eficiência esperada.

Por outro lado, a lição mais óbvia da história da computação é a de que cada avanço no desempenho nunca é o suficiente por muito tempo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMD. *MULTI-CORE PROCESSORS — THE NEXT EVOLUTION IN COMPUTING*.
- [2] Anthes, G. H.. *At a Glance: Multicore Processor Chips*. Computer World. Outubro, 2004
- [3] ARM. *ARM and Ignios Collaborate to Accelerate Multicore Development*. Setembro, 2005.
- [4] ARM. *NVIDIA and ARM Announce Licensing Agreement Target at Next-Generation Consumer Devices and Platforms*. Maio, 2005.
- [5] ARSTechnica. *Multicore, dual-core, and the future of Intel*. Abril, 2004.
- [6] Balakrishnan, S.; Rajwar, R.; Upton, M.; Lai, K.. *The Impact of Performance Asymmetry in Emerging Multicore Architectures*
- [7] Bednarz, A.. *Software licensing pitfalls*. Network World. Junho, 2005.
- [8] Brandel, M. *Dual Core Debate*. Network World. Dezembro, 2004.
- [9] DELL. *Planning Considerations for Multicore Processor Technology*
- [10] Gelsinger, P. P.; Gargini, P. A.; Parker, G. H.; Yu, A. Y. C.. *Microprocessors Circa 2000*. IEEE Spectrum. P.43-47 . Outubro, 1989.
- [11] Grochowski, E.; Ronen, R.; Shen, J.; Wang, H.. *Best of Both Latency and Throughput*. Intel Labs.
- [12] Hachman, M.. *Intel Looks to 'Multicore' Future*. Março, 2005.
- [13] Halfhill, T.R.. *Multicore Madness*. Maio, 2005.
- [14] IBM. *IBM Delivers Power-based Chip for Microsoft Xbox 360 Worldwide Launch*. IBM Press. Outubro, 2005.
- [15] IBM. *IBM, Sony, Sony Computer Entertainment Inc. and Toshiba Unveil Cell Processor*. IBM Press. Novembro, 2004.
- [16] IBM. *Sony Computer Entertainment Inc., IBM and Toshiba join to develop 'supercomputer-on-a-chip'*. IBM Press. Março, 2001.
- [17] INTEL. *Intel Multi-core Processors: Leading the Next Digital Revolution*.
- [18] INTEL. *Intel Multi-Core Processor Architecture Development Background*.
- [19] Kay, R.; Thibodeau, P.. *Counting Cores*. Computer World. Junho, 2005.
- [20] Krazit, T.. *Microsoft: Multicore Chips Changing PC Software Design*. IDG News Service. Outubro, 2005.
- [21] Krewell, K.. *SUN WEAVES MULTITHREADED FUTURE*. Microprocessor Report. Abril, 2003.
- [22] Kumar, R.; Farkas, K.; Jouppi, N. P.; Ranganathan, P.; Tullsen, D. M.. *Processor Power Reduction Via Single-ISA: Heterogeneous Multi-Core Architectures*
- [23] Kumar, R.; Farkas, K.; Jouppi, N. P.; Ranganathan, P.; Tullsen, D. M.. *Single-ISA Heterogeneous Multi-Core Architectures: The Potential for Processor Power Reduction*.
- [24] McMillan, R.. *Rebirth for the x86*. Network World. Setembro, 2004.
- [25] NVIDIA Licenses ARM Multicore Processor. Junho, 2005
- [26] Racha no núcleo. Scientific American, Abril, 2005
- [27] SUN. *Introduction to Throughput Computing*. Fevereiro, 2002.
- [28] SUN. *The Six-Core, 28-Thread Advantage*. Setembro, 2005.
- [29] Wexler, J.. *Sidebar: Future Chips: Hundreds of Threads*. Junho, 2005.