

Computação maciçamente paralela: potencial e limitações

S. W. Song¹

Universidade de São Paulo

Instituto de Matemática e Estatística

Departamento de Ciência da Computação

A Computação dita Maciçamente Paralela (MPP - "Massively Parallel Processing") envolve a cooperação de dezenas a centenas de milhares de processadores na resolução de um mesmo problema. Hoje tal tipo de computação já é uma realidade. Encontram-se disponíveis no mercado inúmeras marcas e modelos de máquinas do tipo MPP. A chamada Computação de Alto Desempenho hoje já envolve não apenas as tradicionais e mais conhecidas máquinas vetoriais, mas também as arquiteturas emergentes do tipo MPP.

Computação de alto desempenho está quase sempre associada aos novos resultados mais expressivos nas diversas áreas de conhecimento ligadas à ciência e tecnologia. O surgimento dos chamados supercomputadores, quer do tipo vetorial ou do tipo maciçamente paralelo, abriu novos horizontes para o desenvolvimento científico e tecnológico, possibilitando observações e experimentações que antes pareciam esgotadas ou economicamente inviáveis.

Computação de alto desempenho está intimamente ligada a soluções dos chamados "grand challenges" que incluem desafios nas mais diversas áreas: previsão do tempo, clima e mudanças globais, ciências materiais, biologia estrutural, cromodinâmica, transporte, ciências oceanográficas, medicina e saúde, etc. No mundo inteiro existem algumas centenas de supercomputadores (48%

¹Conta com apoio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) - Proc. No. 93/0603-1 e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) - Proc. No. 306063/88-3 e Programa CNPq/PROTEM-CC.

nos EUA, 27% na Europa e 21% no Japão). Gradativamente arquiteturas MPP estão adquirindo uma posição cada vez de maior destaque.

Os computadores do tipo MPP podem ser classificados em Multicomputadores de larga escala, como Paragon (Intel), SP1 e SP2 (IBM), CM-5 (Thinking Machines Inc.) e Multiprocessadores de larga escala, como KSR-1 (Kendall Square Research), T3D (Cray Research), VPP500 (Fujitsu). A título de ilustração do poder computacional dessas máquinas, vamos citar alguns dos modelos mais possantes. O T3D da Cray Research é um multiprocessador constituído de processadores ALPHA. Um modelo com 2.048 processadores apresenta um desempenho de pico teórico de 300 GFLOPS (Giga floating point operations per second), onde “giga” denota 10^9 (bilhão). O VPP500 é uma máquina multiprocessadora dotada de processadores potentes vetoriais. Um modelo com 222 processadores apresenta um desempenho de pico de 355 GFLOPS. A Connection Machine CM-5 (TMC) interliga seus processadores em forma de uma árvore (dita “árvore gorda”), podendo chegar a 16 mil processadores, com um desempenho de pico teórico de 2 TFLOPS (Tera floating point operations per second), onde “tera” denota 10^{12} (trilhão).

Há entretanto vários obstáculos que precisam ser vencidos para a plena e efetiva utilização da computação maciçamente paralela. Para a sua efetiva utilização, há basicamente duas abordagens. A primeira consiste em utilizar novas linguagens que permitem a expressão explícita de paralelismo, com a programação paralela feita pelo próprio usuário. A segunda abordagem consiste em pesquisar e desenvolver técnicas de paralelização automática de programas sequenciais para execução paralela. Ambas as abordagens são importantes e constituem-se no momento em importante assuntos de pesquisa na área de Computação Paralela. O sucesso das máquinas MPP dependerá fundamentalmente do avanço nessas várias linhas de pesquisa.

Nessa palestra queremos mostrar um outro aspecto: a dificuldade de entender as características das várias estruturas de interconexão utilizadas para interligar processadores de máquinas MPP. Vejamos um exemplo.

O problema de achar ciclos alternativos usando arestas disjuntas de um hipercubo de dimensão n pode ser importante em computação paralela e distribuída, no que concerne à tolerância a falhas. Consideramos o problema da decomposição Hamiltoniana, a partição do conjunto de arestas de um grafo em ciclos Hamiltonianos, no n -cubo binário. Sabe-se na literatura (ver resenha de B. Alspach, J.C. Bermond e D. Sotteau [Decomposition into cycles I: Hamilton decompositions, *Cycles and rays*, Kluwer Academic, (1990) 9 - 18]) que existem $\lfloor n/2 \rfloor$ ciclos Hamiltonianos disjuntos num n -cubo binário. Infelizmente até hoje não se conhece um algoritmo simples para construir tais ciclos.

Apresentamos um método simples para obter tais ciclos Hamiltonianos disjuntos. O n -cubo binário é equivalente ao $n/2$ -cubo 4-ário (produto cartesiano de ciclos de tamanho 4: $C_4 \times C_4 \dots \times C_4$). Primeiro vamos considerar $n = 4$. M. F. Foregger [Hamiltonian decompositions of products of cycles. *Discrete Mathematics*, 24 (1978), 251-260] apresenta uma construção dos dois ciclos Hamiltonianos no $C_4 \times C_4$. Então consideramos o caso $n = 6$. Vamos mostrar como particionar o conjunto de arestas do $C_4 \times C_4 \times C_4$ em 12 ciclos disjuntos de tamanho 16. Apresentaremos então um operador que junta tais ciclos para produzir os ciclos desejados.

Os interessados nesse trabalho pode obter o seguinte trabalho no IME/USP: Song, S. W. "Towards a simple construction method for Hamiltonian decomposition of the hypercube". Relatório Técnico RT-MAC-9407, Departamento de Ciência da Computação, IME/USP, maio de 1994.