

Beowulf Cluster: Um novo paradigma para a análise de dados da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas

Ricardo Varela Corrêa^{*,1}, Airam Jônatas Preto^{**2}, Stephan Stephany^{**2}, Carlos Alexandre Wuensche³

(1)Área de Computação Científica e Processamento de Alto Desempenho

Setor de Lançamento de Balões

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE)

(2)Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE)

(3)Divisão de Astrofísica

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE)

(*)Doutorado, [e-mail:ricardo@slb.inpe.br](mailto:ricardo@slb.inpe.br); (**) Orientadores

Resumo

Apresenta-se neste trabalho a implantação de um conjunto Beowulf montado pela Divisão de Astrofísica(DAS) do INPE e sua principal utilização na resolução de problemas da área de Cosmologia. Descreve-se sua utilização para atender as necessidades computacionais da área de Astrofísica em simulações numéricas em grande escala, especificamente na análise de dados da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas. A utilização de técnicas de otimização de desempenho, bem como a necessidade de se utilizar ferramentas eficientes para a sua monitoração, são passos importantes no desenvolvimento de uma plataforma para aplicações paralelas na área de cosmologia. A implantação de mecanismos de monitoração de desempenho não convencionais, como o uso de contadores de hardware (em fase de testes) fornece recursos importantes para uma análise eficiente do desempenho de códigos executados em ambiente paralelo .

Palavras-Chave: Beowulf, Computação Paralela, Cosmologia, Otimização de Desempenho

Introdução

O grande progresso ocorrido nos últimos anos na Cosmologia deve muito aos trabalhos realizados na área da computação científica, seja pela possibilidade aberta para o processamento e análise de enormes conjuntos de dados tipificados pelos mapas da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM), seja pela possibilidade de realização de simulações numéricas em grande escala, descrevendo desde os processos de evolução das perturbações de densidades no universo primitivo até a formação e evolução das galáxias e aglomerados.

A evolução gravitacional de sistemas astrofísicos envolve enormes escalas de tempo e distância, além de um grande número de partículas, de tal forma que apenas através da simulação numérica é possível tentar reproduzir os vários processos envolvidos na formação e evolução destes sistemas. Mais recentemente, a implementação de novos códigos numéricos hidrodinâmicos, acoplados aos puramente gravitacionais, permitiu avançar na compreensão da importância dos processos físicos não-gravitacionais - que envolvem a dinâmica do gás primordial e a formação dissipativa das primeiras estrelas - na evolução das galáxias e dos aglomerados tais como os conhecemos das observações do Universo atual.

A visualização, análise e modelagem das enormes quantidades de dados produzidos por simulações numéricas, ou ainda de observações específicas (p. ex., mapas da RCFM, de observações ópticas ou em Raios-X), requerem sistemas de alta capacidade de processamento, rápidos e suportando a variedade de pacotes de "software" de análise desenhados para estas aplicações específicas e disponíveis publicamente. Um exemplo com estimativas numéricas das escalas de tempo necessárias para a análise de um destes problemas (mapas da RCFM) pelos métodos tradicionais pode ser encontrada em [1].

Estudos da RCFM nos próximos anos deparam com enormes obstáculos computacionais, dentre eles a produção de mapas com $N > 10^7$ pixels e a determinação de parâmetros cosmológicos a partir de um mecanismo de busca num espaço de parâmetros com muitos mínimos locais. Isso requer não somente maior capacidade computacional mas também uma quebra de paradigma nas técnicas atuais de análise de dados . Técnicas como "simulated annealing", redes neurais e algoritmos genéticos estão entre as novas ferramentas exploradas pela comunidade científica para a solução de problemas como os acima mencionados [2], [3] e [4]. O objetivo principal da exploração de novas técnicas é conseguir maior precisão e velocidade na visualização, análise e modelagem da imensa quantidade de dados gerados por experimentos a bordo de satélites e uma maior disponibilidade para testar novas técnicas ainda não usuais na Astronomia, mas já usuais e eficientes em outros ramos da Ciência.

Em ambos os casos, as exigências computacionais implicam em sistemas com grande capacidade de memória e velocidade para tratamento de grandes quantidades de dados. Uma das soluções encontradas, responsável pelo grande avanço mencionado, aborda a possibilidade do processamento numérico distribuído por um certo número de processadores trabalhando em paralelo e permanentemente trocando informações e dados entre si.

Beowulf

Em 1994, o Dr Donald Becker(NASA) agrupou diversos microcomputadores com o objetivo de utilizá-los em paralelo e assim obter um desempenho próximo de máquinas mais caras disponíveis na época. Este sistema, denominado de Beowulf, referência a um guerreiro mítico nórdico, passou a ser uma ferramenta popular entre inúmeros centros de pesquisa, uma vez que o desempenho de determinados conjuntos passou a ser mais eficiente que máquinas muito mais caras.

O conjunto Beowulf possui duas características importantes: a utilização de microcomputadores comerciais e a possibilidade de expansão do conjunto de máquinas sem a preocupação de identificar fabricantes. Qualquer microcomputador pode ser adicionado ao conjunto.

A disponibilidade de compiladores e bibliotecas gratuitos para utilização no paradigma de distribuição de dados (como MPI e PVM), permite ao conjunto Beowulf ter a melhor relação custo/desempenho disponível no mercado. Outro fator importante é que a escalabilidade inerente ao Beowulf não impõe limites às possibilidades futuras de expansão.

O cluster Beowulf da DAS é um conjunto com 16 nós constituídos por microcomputadores de arquitetura Pentium III. Cada um dos nós possui 256 kbytes de memória RAM e disco rígido de 20 Gbytes. Este conjunto fornece uma área de armazenamento superior a 300 Gbytes. Os nós rodam Linux com o kernel 2.4.2-2, com o mínimo necessário de serviços. Um microcomputador de entrada (front-end) autoriza as conexões ao cluster, que é protegido com o firewall iptables. A conexão entre os nós dá-se através de um switch 3Com onde cada nó se conecta ao conjunto através de uma interface ethernet 10/100.

Monitoração de desempenho

A distribuição eficiente dos dados entre os nós do conjunto Beowulf e, portanto, o desempenho do código, depende do balanceamento da carga e da baixa comunicação entre os nós. A avaliação de desempenho em aplicações sequenciais faz uso de ferramentas onde basicamente se inspeciona o tempo de execução do código. No caso paralelo, há necessidade de se monitorar a distribuição do código entre os nós, a comunicação entre eles e a eficiência do processador em utilizar seus recursos.

A escolha da arquitetura Intel Pentium para o conjunto Beowulf da DAS é consequência da existência de contadores internos [5] que monitoram eventos nesta família, como acertos ou falhas de acesso à memória. Estes contadores são independentes do processador e portanto mostram a real eficiência de um código uma vez que não utilizam ciclos de relógio do processador. A ferramenta desenvolvida[6] permite a instrumentação de trechos de um código e assim identificar os gargalos existentes e corrigi-los para que o código apresente um desempenho otimizado.

Agradecimento: Este trabalho foi parcialmente financiado com recursos do projeto temático FAPESP 2000/06770-2

Referências

- [1] Borrill, J. *The Challenge of data analysis for future CMB observations*. Preprint astro-ph/9903204, 1999.
- [2] Charboneau, P. *Genetic algorithms in astronomy and astrophysics*. The Astrophysical Journal Suppl. Series, (101), 309, 1995.
- [3] Hannestad, S. *Stochastic optimization methods for extracting cosmological parameters from CMBR power spectra*. Preprint astro-ph/9911330, 1999.
- [4] Leonardi, R., Wuensche, C. A., Villela, T., Figueiredo, N. *Utilização de algoritmos genéticos na produção de mapas de anisotropia da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas*. Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, (21), 183, 2001.

- [5] Intel Developers. *Embedded Pentium Processor Family Developer's Manua*. [CD-ROM]. Intel, EUA. 1998.
- [6] Corrêa,R.V.; Mendes, C.L.; Preto, A.J.; Stephany, S. *Hardware support for performance analysis of parallel applications*. XXIV Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. Belo Horizonte, 10 a 13 de setembro de 2001.