

## Uma Avaliação Comparativa de Desempenho do Computador Paralelo NCP I8 em Processamento Sísmico\*

M.C.S. de Castro <sup>1</sup>

C.L. de Amorim <sup>2</sup>

### RESUMO

Neste trabalho são discutidos os resultados da avaliação comparativa de desempenho do protótipo NCP I8 da COPPE/UFRJ com o do Intel iPSC 860. Os testes realizados foram baseados em programas típicos derivados da área de processamento sísmico e cujos desempenhos foram medidos variando-se a configuração do número de processadores, sistemas de entrada/saída, compiladores e bibliotecas matemáticas dos dois equipamentos.

### ABSTRACT

In this work we discuss the results of a performance comparison between the NCP I8 parallel computer prototype developed at COPPE/UFRJ and the Intel iPSC 860.

Tests based on typical seismic programs were carried out and their performance were measured by varying the number of processors, the input/output system, and using different compilers and mathematic libraries for the two computer systems.

---

<sup>1</sup>MSc (COPPE - 1991), Aluna de Doutorado da COPPE/Sistemas (UFRJ); áreas de interesse : Processamento Paralelo (arquiteturas, ambientes e avaliação de desempenho); Professora Assistente da Universidade Federal de Juiz de Fora;

<sup>2</sup>MSc (COPPE - 1979), PhD (Imperial College - 1984); áreas de interesse: Supercomputação e Processamento Paralelo; Professor Adjunto da COPPE/Sistemas.

COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Caixa Postal 68511 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ  
Email amorim @ rio.cos.ufrj.br

\* Esse trabalho foi parcialmente financiado pela Finep, CNPq e Capes.

## 1 Introdução

A área de Processamento Sísmico é uma das mais importantes e tradicionais e na qual os supercomputadores têm sido naturalmente empregados com sucesso. Entretanto, nos últimos anos, devido à disseminação de sistemas de computação paralela apresentando relação custo/desempenho muito atrativa, verifica-se uma crescente atividade de grupos de pesquisa em avaliar a eficácia desse novo paradigma computacional nas áreas de processamento de grande escala, em particular na área de aplicações sísmicas.

Neste trabalho apresentamos os resultados de uma avaliação experimental do desempenho do protótipo NCP I8, um computador paralelo em desenvolvimento na COPPE/UFRJ. Foram utilizados dois programas do processamento típico da área sísmica e massas de dados sintéticas. Avaliamos também, o desempenho do computador paralelo Intel iPSC 860, submetendo-o aos mesmos experimentos e comparando os desempenhos relativos dos dois equipamentos.

O texto é organizado como se segue. Na próxima seção descrevemos as características dos experimentos realizados. Prosseguimos, na seção seguinte, com a avaliação experimental de cada um dos sistemas e em seguida, uma avaliação comparativa. Concluímos com uma análise da viabilidade de máquinas paralelas em processamento sísmico.

## 2 Descrição dos Experimentos

Os experimentos consistiram em submeter aos dois multicomputadores dois programas da sísmica escritos em Fortran 77, com massas de dados variando de 1, 8, 24 e 48 sismogramas sintéticos e o número de processadores de 1, 2, 4 e 8.

### Programas-Teste

O primeiro programa denominado de *Teste 1* efetua um processo de filtragem no domínio da frequência-número de onda, utilizando operações de FFT. O segundo, denominado de *Teste 2*, implementa um procedimento de modelagem sísmica utilizando maciçamente FFTs complexas e funções matemáticas seno, cosseno e exponencial. Os dados de entrada correspondem a sismogramas sintéticos representados por matrizes de  $128 \times 1024$  (*Teste 1*) e  $100 \times 512$  (*Teste 2*). Os resultados apresentados foram, em geral, utilizando o algoritmo de Temperton[1] para o cálculo de FFT.

### Paralelização dos Programas

Nos testes realizados puderam ser exploradas duas formas de paralelismo que denominamos *paralelismo de dados* e *paralelismo de algoritmo*. No *paralelismo de dados* foram processados vários sismogramas em um número variável de CPUs. Cada CPU, processou um sismograma distinto em paralelo com as demais. No *paralelismo de algoritmo*, o processamento de um sismograma foi realizado por várias CPUs, em paralelo, cada uma com uma parte do algoritmo. Além disso, foi realizado o *monoprocessamento* de um sismograma utilizando apenas uma CPU.

### Os Multicomputadores NCP I8 e Intel iPSC 860

O NCP I8[2] é um computador paralelo de memória privativa com oito módulos de processamento organizados numa topologia hipercúbica e acoplados a um hospedeiro PC 386. Cada módulo possui 1 *transputer* T800[3] com 1 Mbytes de memória privativa e 1 Intel i860 com 8 Mbytes de memória compartilhada com o *transputer*. Possui um processador de

entrada/saída com interface SCSI e um disco de 600 Mbytes. O sistema operacional é tipo Unix distribuído (Helios)[4] e possui compiladores *Fortran* e *C* paralelos.

O multicomputador Intel iPSC 860 possui oito nós de processamento com topologia hipercúbica. Cada nó consiste de 1 microprocessador i860[5] e um processador de comunicação, e 8 Mbytes de memória. Dispõe de processador de entrada/saída com 1 disco SCSI de 800 Mbytes. O sistema operacional é o Unix System V no computador hospedeiro (PC 386) e um núcleo simples em cada nó. Os compiladores disponíveis são *Fortran* e *C*.

### 3 Avaliação Experimental

Nesta seção são avaliados os desempenhos de cada equipamento ao processar 1 sismograma e 48 sismogramas.

Foram medidos os tempos correspondentes ao de computação e ao de entrada/saída para cada equipamento e para cada um dos testes realizados. Para o *Teste 1*, os tempos discutidos correspondem ao tempo de computação sem E/S. Para o *Teste 2* foram considerados os tempos de execução que incluem computação e E/S.

#### 3.1 Sistema Intel iPSC 860

##### Processamento de 1 Sismograma

Na tabela 1 são apresentados os tempos de computação obtidos para os *Testes 1* e *2* em monoprocessamento, e para o *Teste 2* com *paralelismo de algoritmo*. O modelo i860/1 se refere a um nó de processamento.

Programa	Tempo de Computação (s)	Tempos de E/S (s)	
		Processador de E/S + Comunicação	Hospedeiro PC 386
<i>Teste 1</i>	3.0	0.63	30
<i>Teste 2</i> Monoprocessamento	176.2	0.31	35
<i>Algoritmo 2</i> Paralelismo Algoritmo	23.7 (860/8)	0.57	35

Table 1: Tempos do Intel iPSC 860/1, com Temperton, 1 Sismograma, Máquina Dedicada

A utilização do processador de E/S (*CFS - Concurrent File System*) utilizando dados não formatados e *cache* de disco, permitiu reduzir o tempo de entrada e saída no *Teste 2*, a uma fração pequena do tempo de processamento. No *Teste 1* foi obtido um tempo médio de 3.0 s/sismograma. No *Teste 2*, o tempo do modelo i860/1 foi de 176.2 s/sismograma e no modelo i860/8, utilizando *paralelismo de algoritmo*, o tempo foi de 23.7s.

##### Processamento de 48 Sismogramas

A figura 1 mostra que o algoritmo do Temperton obteve um tempo de computação médio de 0.44 s/sismograma, *speedup* de 7.5, no *Teste 1*. No *Teste 2* (figura 2), o tempo de processamento de 48 sismogramas com 8 CPUs foi de 1077s, o que produz o tempo médio

de 22.4 s/sismograma, um *speedup* de 7.96 e uma eficiência relativa de 99.5% de utilização dos processadores.

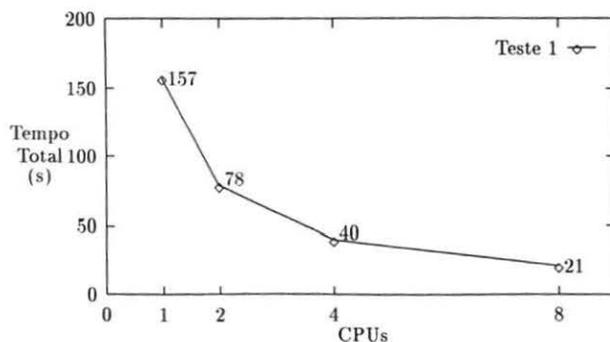


Figura 1: Tempos de Computação do Intel iPSC 860, *Teste 1* com Temperton, 48 Sismogramas, Geração Interna de Dados

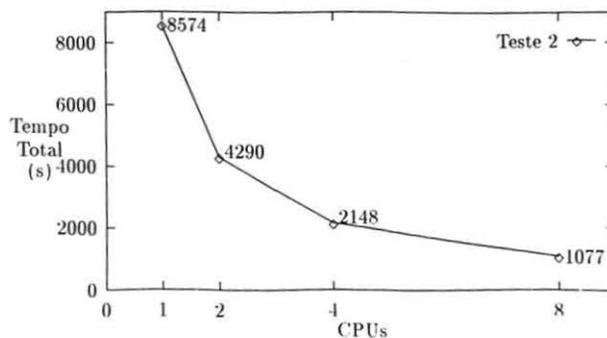


Figura 2: Tempos de Execução, Intel iPSC 860, *Teste 2*, 48 Sismogramas, Processador E/S

A figura 3 apresenta as características dos tempos de leitura/escrita de 48 sismogramas e da comunicação entre processadores. O tempo de E/S de 48 sismogramas foi igual a aproximadamente 3.94s, correspondendo a um acesso ao disco (0.30s) mais 47 acessos à *cache* de disco, produzindo um tempo médio de 0.08s/leitura. Nota-se também, que à medida em que aumenta o número de CPUs, o tempo de comunicação também aumenta tendendo a um limite superior conforme mostrado na figura 3. Assim, o efeito resultante da leitura/escrita

de 48 sismogramas é de um *pipeline*, com *start-up* de 0.30 s/sismograma e vazão de 0.08 s/sismograma após o *pipe* estar cheio (todas as CPUs operando) e se incluímos o tempo de transmissão, uma vazão de 0.13 s/sismograma.

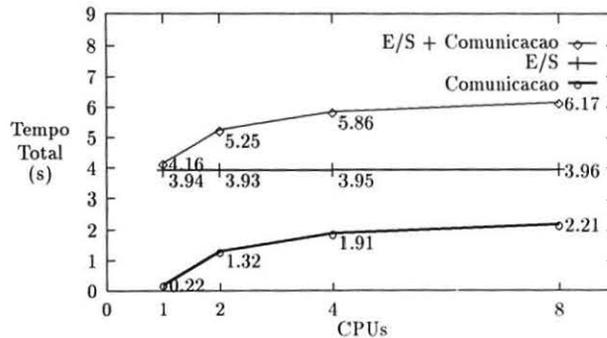


Figura 3: Intel iPSC, *Teste 2*, Tempos de E/S e Comunicação, 48 Sismogramas

### 3.2 Sistema COPPE NCP modelos T8 e I8

O modelo NCP T8 consiste de uma rede de *transputers* T800 com 8 nós e um processador de entrada e saída.

Na implementação do NCP I8 utilizada nos experimentos o microprocessador i860 é utilizado apenas como um acelerador, toda a comunicação entre os nós e a entrada/saída é realizada pela rede de *transputers*.

As medidas de tempo apresentadas nesta seção correspondem aos tempos medidos nos modelos T8 e I1. As medidas do modelo I8 foram estimadas a partir desses resultados. O modelo I1 corresponde a 1 módulo T800 + i860.

#### Processamento de 1 Sismograma

Para entrada/saída de dados, foram medidos os tempos de leitura/escrita dos dados não formatados de um sismograma e apresentados na tabela 2. Para o *Teste 2* foi igual a 1.5s no hospedeiro IBM-PC 286 e foi igual a 0.4 no processador de E/S. Utilizando os dados na *cache* de disco, o tempo de leitura de um sismograma reduziu-se para 0.18s.

O tempo estimado de computação foi de 41.7s para o *Teste 2* no modelo I8 e de 321s medido no modelo T8, utilizando *paralelismo de algoritmo*. Nos modelos I1 e T1, os tempos correspondentes foram 310s e 2498s, respectivamente.

#### Processamento de 48 Sismogramas - NCP modelos I8 e T8

As figuras 4 e 5 indicam os tempos de processamento paralelo para os modelos I8(T8) do NCP. Para o *Teste 1*, 1.1s (I8) e 5.8s (Veclib, T8) por sismograma, aceleração de 7.4 (I8) e 7.9 (T8) e eficiência de utilização dos processadores de 92.5% (I8) e 99% (T8). O algoritmo de FFT utilizado foi o da Veclib da Distributed Software Ltd (DSL).

Programa	Tempo de Computação (s) dos modelos		Tempos de E/S (s)	
	I1	T1	Processador de E/S + Comunicação	Hospedeiro PC 286
<i>Teste 1</i>	7.5	51.1	0.8	7.3
<i>Teste 2</i> Monoprocessamento	310	2498	0.4	1.5
<i>Teste 2</i> Paralelismo Algoritmo	41.7 (I8)	321 (T8)	0.4	1.5

Table 2: COPPE NCP, Modelos I1 e T1, com Temperton. Tempos de Computação de 1 Sismograma

Para o *Teste 2*, obtêm-se os tempos de computação 39.5s (I8) e 312s (T8) por sismograma, aceleração de 7.9 (I8) e 8.0 (T8) e eficiência de 99% em ambos os modelos.

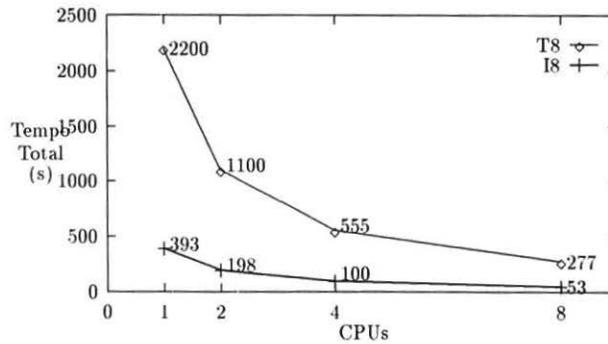


Figura 4: Tempos de Computação + Comunicação, COPPE NCP, *Teste 1* com Veclib (DSL), 48 Sismogramas, Modelos T8 e I8, Geração Interna de Dados

## 4 Avaliação Comparativa

### Processamento de 1 Sismograma

Na tabela 3 são resumidos os tempos de monoprocessamento e de *paralelismo de algoritmo* dos *Testes 1 e 2*, utilizando 1 sismograma, para os equipamentos testados.

Em monoprocessamento, para ambos *Teste 1* e *2*, o sistema iPSC 860/1 mostrou-se superior ao NCP I1 em 1.5 e 0.76 vezes respectivamente.

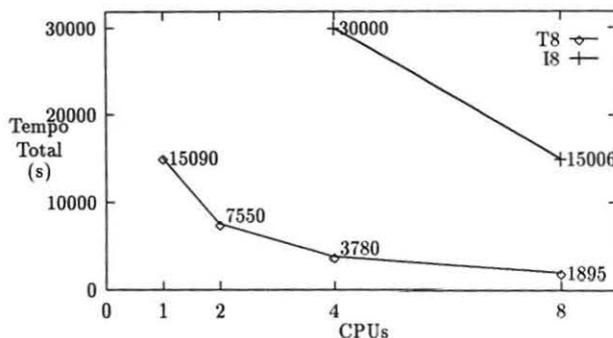


Figura 5: Tempos de Execução, COPPE NCP, *Teste 2*, 48 Sismogramas, Modelos T8 e I8

Tipo de Processamento	Modelo	Tempo de Computação <i>Teste 1</i> (s)	Tempo de Execução <i>Teste 2</i> (s)	Tempo de E/S (s)	
				<i>Teste 1</i>	<i>Teste 2</i>
Monoprocessamento	iPSC 860/1	3.0	176.2	0.63	0.31
	NCP I1	7.5	310	0.8	0.4
Paralelismo de Algoritmo	iPSC 860/8		23.7		
	NCP I8		62.3		
	NCP T8		321		

Table 3: Tempos dos Sistemas Utilizando Monoprocessamento e Paralelismo de Algoritmo para Processar 1 Sismograma

O menor desempenho do NCP I8 pode ser explicado em grande parte pela diferença entre os processadores T800 e i860 que compõem o módulo do NCP I8. O desempenho do i860 é entre 6 e 10 vezes superior ao do T800. Dependendo da fração do código executado no T800, o desempenho do módulo se reduzirá proporcionalmente à diferença acima (Lei de Amdahl). Estima-se que no *Teste 1* cerca de 25% do código foi executado no T800 e 75% no i860 enquanto que no *Teste 2* as frações foram de 10% no T800 e 90% no i860.

#### Processamento de 48 Sismogramas

Na tabela 4 são apresentados os tempos médios por sismograma, utilizando *paralelismo de algoritmo*, no processamento de 48 sismogramas pelos dois sistemas. No *Teste 1* baseado no Temperton, o iPSC 860/8 foi 1.5 superior ao NCP I8. No *Teste 2*, o desempenho relativo foi igual a 0.76.

Para avaliarmos a eficácia do processamento paralelo são apresentados na tabela 5 os tempos de processamento de um sismograma, produzidos por monoprocessamento e através do *paralelismo de dados*, usando os *Testes 1 e 2*. Para o *Teste 1* baseado no Temperton, obteve-se uma ótima eficiência de uso dos processadores nos sistemas iPSC 860/8 (85.2%) e NCP I8 (85.3%). Para o *Teste 2*, obteve-se tanto eficiência como *speedup* excelentes nos dois equipamentos.

Tipo de Processamento	Modelo	Tempo de Computação Teste 1 (s)	Tempo de Execução Teste 2 (s)
Paralelismo de Dados	iPSC 860/8	0.44	22.4
	NCP 18	1.1	39.5

Table 4: Tempos Médios de 1 Sismograma Utilizando Paralelismo de Dados para Processar 48 Sismogramas

Modelo	Programa	Monopro- cessamento	Paralelismo de Dados	Speedup	Eficiência
Intel iPSC 860/8	Teste 1	3.0	0.44	6.8	85.2
	Teste 2	176.2	22.4	7.87	98.4
COPPE NCP 18	Teste 1	7.5	1.1	6.82	85.3
	Teste 2	310	39.5	7.84	98.0

Table 5: Monoprocessamento  $\times$  Paralelismo de Dados

## 5 Conclusões a Trabalhos Futuros

Neste trabalho avaliamos experimentalmente o desempenho do sistema paralelo NCP 18 da COPPE em relação ao sistema paralelo iPSC 860/8 da Intel, em processamento sísmico. Para isso, dois programas (*Teste 1* e *Teste 2*) representativos dessa classe de processamento e sismogramas sintéticos foram utilizados numa série de experimentos.

Várias formas de paralelismo puderam ser exploradas: *paralelismo de dados* (*Teste 1* e *Teste 2*), *paralelismo de algoritmo* (*Teste 2*) e *pipelining* de entrada/saída de dados.

O modo paralelo de processamento do *Teste 2* revelou-se muito eficiente para as duas máquinas testadas, obtendo-se uma aceleração praticamente igual ao número de processadores utilizados, tanto para o *paralelismo de dados* como para o *paralelismo de algoritmo*.

Para o *Teste 1*, o tempo de leitura de um sismograma foi significativo em relação ao tempo de processamento, reduzindo o *speedup* e a eficiência de ambos equipamentos. Para o *Teste 2*, os sistemas de E/S mostraram-se bastante eficientes, tornando os tempos de leitura/escrita equivalentes a uma pequena fração do tempo de processamento.

Para os sistemas Intel iPSC 860 e COPPE NCP, as bibliotecas matemáticas testadas não se mostraram mais eficientes do que o algoritmo do Temperton na solução de FFTs, é necessária maior investigação a respeito.

Verificamos que o desempenho do Intel i860 foi superior ao do protótipo NCP 18 nos testes realizados e que a diferença é diretamente dependente da fração do código que é executado no processador (T800) mais lento. Entretanto, é possível reduzir essa fração a valores mínimos e testes nesse sentido estão em andamento.

### Agradecimentos

Ao DEPEX/Petrobrás e ao grupo de desenvolvimento do projeto NCP 1 pelo apoio ao trabalho aqui realizado.

### Referências

- [1] Temperton, C., "Fast Fourier Transform for Numerical Prediction Models on Vector Computers", EDF.-Bull. de la Direction des Etudes et des Recherches. Série C, 1, pp 159-162, 1983.

- [2] Amorim, C. L., Citro, R., Souza, A. F. e Chaves Filho, E. M., "The NCP Parallel Computer System", April, ES-241/1991.
- [3] "User Manual", Transtech Devices LTD TSB44/48.
- [4] "The Helios Operating System", Perihelion Software Limited, 1988.
- [5] "i860<sup>TM</sup> 64-bit Microprocessor Hardware Reference Manual", Intel Corporation, 1990.