Aplicando Charm++ na Paralelização de um Sistema de Irrigação de Solos *

Pablo J. Pavan[1], Edson L. Padoin[1,4], Laércio Pilla[2], Philippe O. A. Navaux[3], Jean-François Méhaut[4]

[1]Universidade Reg. do Noroeste do Estado do Rio G. do Sul (UNIJUI) - Ijuí - RS - Brasil

[2]Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis - SC - Brasil

[3]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre - RS - Brasil

[4]Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), Université de Grenoble - France

{pablo.pavan,padoin}@unijui.edu.br,

laercio.pilla@ufsc.br, navaux@inf.ufrgs.br, Jean-Francois.Mehaut@imag.fr

Resumo. *Este artigo apresenta a análise de desempenho da paralelização de um sistema de irrigação de solos. O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade da utilização de* CHARM++ *na paralelizações de aplicações reais. Os resultados alcançados apresentaram speed-up de até* 11 *vezes se comparado com a versão sequencial ainda sem a utilização de balanceamento de carga.*

1. Introdução

Nas pesquisas realizadas em sistemas agroflorestais e agrícolas o comportamento da água no solo é de grande importância, uma vez que o movimento dos nutrientes depende do movimento da água no solo. Assim a descrição de como a água se desloca é fundamental nos projetos de irrigação, principalmente se considerado o sistema de irrigação por gotejamento, onde se faz necessário determinar a quantidade ótima de água necessária para o desenvolvimento das plantas em cada profundidade do solo [Padoin et al. 2011, Arruda et al. 2015].

Nesse sentido, considerando a necessidade de implementar sistemas que utilizam de maneira eficiente o poder computacional dos sistemas computacionais, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas. Dentre elas, destaca-se o modelo de programação CHARM++ que pode ser utilizado tanto para sistemas multicomputadores quanto em sistemas multiprocessadores. Por meio desta ferramenta é possível dividir um problema em diversos componentes migráveis, chamados de *chares*, que são executados paralelamente em vários processadores [Kalé et al. 1998]. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da viabilidade da utilização de CHARM++ na paralelização de uma aplicação que simula um sistema de irrigação de solos.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a metodologia utilizada na implementação e o ambiente de execução utilizado na realização dos testes. Resultados são discutidos na Seção 4, seguido das Conclusões e Trabalhos Futuros.

*Trabalho parcialmente apoiado por CNPq, CAPES, FAPERGS e FINEP. Pesquisa realizada no contexto do Laboratório Internacional Associado LICIA e tem recebido recursos do programa EU H2020 e do MCTI/RNP-Brasil sob o projeto HPC4E de número 689772.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura diversos trabalhos apresentam estudos sobre a movimentação da água no solo. Borges *et al.* (2005) apresenta uma análise do comportamento da água do solo saturado e não saturado por meio da equação de Richards. Para complementar o referido trabalho traz a implementação de um algoritmo utilizando o método de diferenças finitas. Entretanto, devido ao elevado tempo de processamento, utilizou-se somente simulação com matriz de pequena ordem.

No trabalho de Padoin *et al.* (2006), este sistema foi paralelizado com a biblioteca *PVM*, o que possibilitou a utilização de matrizes maiores gerando assim resultados mais precisos. Neste trabalho alcançou-se speed-up de $1,88$ vezes com uma eficiência de até 38%. Em Padoin *et al.* (2008) o sistema foi resolvido pelo método do problema inverso e paralelizado para sistemas de memória distribuída com *MPI*. Já Padoin *et al.* (2011) em utilizou-se o algoritmo sequencial para analisar a eficiência energética de processadores e placas aceleradoras utilizando a paralelização através da plataforma *CUDA*.

Por outro lado, muitas pesquisas buscam balancear as cargas das tarefas entre os processadores almejando melhorar a eficiência da utilização destes sistemas paralelos [Kalé et al. 1998]. Deste modo, neste trabalho foi implementado uma nova versão paralela do algoritmo utilizando CHARM++.

3. Metodologia

Considerando que o sistema de irrigação de solo já tenha sido modelado em outros trabalhos, para execução paralela, fez-se um estudo do algoritmo sequencial [Padoin et al. 2011] e paralelo utilizando MPI [Padoin et al. 2006] para o desenvolvimento desta nova implementação. Este estudo foi realizado almejando determinar os fatores que demandam grande processamento e podem ser divididos entre os chares. Os principais fatores são:

- o número ótimo de células da malha, necessário para obtenção dos resultados com a precisão desejada; e
- o número de execuções do problema inverso (chute).

Para esta nova versão paralela, diferente das demais, optou-se por paralelizar o cálculo do problema inverso em busca do menor erro. Deste modo, a implementação consiste em que cada *chare* execute paralelamente um chute do problema inverso.

Na implementação em CHARM++, foi realizada a transformação do código que estava de forma procedural para o paradigma orientado a objeto. Para isso foram criadas duas classes utilizando a linguagem C++, uma classe *main* e outra classe *Irrigação*. As mesmas foram declaradas nos arquivos de cabeçalho (extensão.*h*), onde todas as variáveis foram declaradas como privadas e os métodos declarados como público.

Após definir os métodos de cada classe, foi necessário definir quais métodos seriam os *métodos de entradas* de cada classe, em seguida os mesmos foram declarados nos arquivos de extensão *.ci*. Toda a implementação das classes e dos métodos foi realizada nos arquivos com extensão *.C*.

A classe *main*, ficou responsável em realizar o cálculo da evaporação, inicializar o vetor de *chares* da classe *Irrigação*, fazer o *broadcast* para todos os *chares* através do método de entrada da classe *Irrigação*, passando por parâmetro os dados do cálculo da evaporação e

por fim, receber os dados calculados da classe *Irrigação* pelo seu método de entrada e realizar o cálculo do melhor caso. Sendo assim, a classe *Irrigação* recebe os dados de evaporação da classe *main*, realiza o problema inverso e devolve os dados para a classe *main*.

3.1. Metodologia de Execução

Para a análise de desempenho buscou-se variar os dois fatores que influenciam a aplicação, o tamanho da malha e o número de chutes do problema inverso. Assim para o primeiro fator buscou-se trabalhar com três tamanhos de malha: 128, 256 e 512. Para o segundo fator trabalhou-se com 100, 250 e 500 chutes, totalizando assim 9 configurações diferentes.

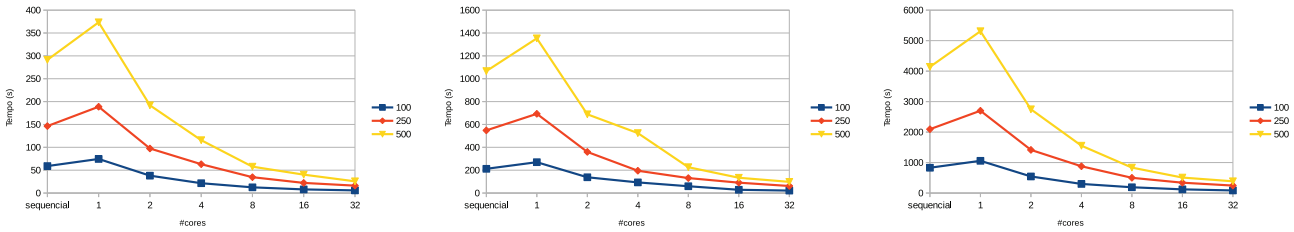
Cada configuração foi testada com diferentes números de cores do ambiente de execução, variando-se a quantidade de cores em 1, 2, 4, 8, 16 e 32 o que resultou em 54 testes diferentes. Cada um destes testes foi realizado 10 vezes para se obter a média aritmética.

3.2. Ambiente de Execução

O ambiente de execução possui dois processadores Intel Xeon modelo E5-2640 v2 de microarquitetura *Ivy Bridge*. Cada processador possui 8 cores com 2 SMT/core, o que totaliza 32 cores de 2.00 GHz de frequência. Este equipamento também possui 64 GB de memória RAM DDR3 de frequência 1600 MHz. Para os testes, utilizou-se o sistema operacional Ubuntu versão $3.16.0 - 70$. A versão do CHARM++ utilizada foi 6.7.0 e do compilador g++ a versão 4.8.4.

4. Resultados

O tempo médio de execuções da aplicação sequencial foi de $58,95$ s quando utilizado uma matriz de ordem 128 e 100 chutes para o problema inverso (Figura 1(a)). Observa-se um *overhead* de 26% no tempo de execução quando executado a versão paralela em somente 1 core. Este aumento no tempo de execução é resultado da criação do *array* de *chares* pelo CHARM++. Para os demais testes, com a versão paralela executando em apenas 1 core, independente da ordem da matriz e do número de chutes, observa-se o mesmo *overhead*.



(a) Ordem 128 (b) Ordem 256 (c) Ordem 512

Figura 1. Tempo de execução (s) das simulações com diferentes ordens de matriz.

Percebe-se *speed-up* na versão paralela a partir de 2 cores, onde o *overhead* já é compensado com a redução no tempo total de execução. Para matriz de ordem 128 e 100 chutes, o tempo de execução foi de $37,99$ s, o qual representa um *speed-up* de $1,55$.

O maior *speed-up* para matriz de ordem 128 foi alcançado quando utilizado 500 chutes em 32 cores do sistema (linha amarela da Figura 1(a)). Neste teste o tempo de execução foi reduzido de $291,30$ s para $25,6$ s, o qual representa ganhos de até $11,36$ vezes sobre o algoritmo sequencial.

Almejando aumentar a precisão utiliza-se matrizes de ordem 256 (Figura 1(b)) e 512 (Figura 1(c)) na simulação. Nestes testes, os tempos de execução da versão sequencial utilizado 500 chutes aumenta de $291,3$ s para $1068,4$ s e $4138,6$ s respectivamente. Entretanto, nestes testes a redução no tempo total de execução foi proporcional, ou seja, para matrizes de ordem 256 tem-se *speed-up* de até $10,96$ e para matrizes de ordem 512 tem-se *speed-up* de até $10,74$.

5. Conclusões

Analisando os resultados, percebe-se que o aumento da ordem do sistema apresenta um aumento equivalente no tempo de execução da aplicação. Deste modo tem-se *speed-up* semelhante nas execuções paralelas independente da ordem de matriz simulada.

Como trabalhos futuros pretende-se executar aplicação de modo a simular um ambiente real com matrizes maiores. Por exemplo, se tomado como base uma matriz de ordem 65.536, a versão sequencial executada com 500 chutes tomaria $547,9$ dias para chegar ao resultado. Com a versão paralela implementada em CHARM++, executando em 32 cores, o tempo seria proporcionalmente reduzido para 50 dias, o que ainda é elevado para pesquisas científicas na área de irrigação de solos em sistemas agroflorestais e agrícolas. Nesse sentido, como trabalhos futuros, pretende-se rodar a simulação paralela em sistemas computacionais que disponham de uma quantidade elevada de cores. Também, uma vez tendo a aplicação paralela implementada em CHARM++, pode-se utilizar balanceadores de carga almejando equilibrar a utilização dos recursos computacionais paralelos.

Referências

Arruda, G., Padoin, E. L., Pilla, L. L., Navaux, P. O. A., and Mehaut, J.-F. (2015). Proposta de balanceamento de carga para redução de migração de processos em ambientes multiprogramados. In *XVI Simpósio de Sistemas Computacionais (WSCAD-WIC)*, pages 1–8, Florianópolis, RJ.

Borges, P. A., Coelho, G., and Buligon, S. (2005). Análise do comportamento da água em solos saturados e não saturados. In *XVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, CNMAC, Santo Amaro, SP*.

Kalé, L. V., Bhandarkar, M., and Brunner, R. (1998). Load balancing in parallel molecular dynamics. In *International Symposium on Solving Irregularly Structured Problems in Parallel*, pages 251–261. Springer.

Padoin, E., Borges, P. A., Dill, S. L., and Padilha, N. R. (2008). Resolução do problema de absorção da água do solo através da paralelização do problema inverso. *VIII Escola Regional de Alto Desempenho*, pages 268–271.

Padoin, E. L., DILL, S. L., BORGES, P. A., and BORGES, R. S. (2006). Paralelização de métodos computacionais aplicados à análise das variações do teor de umidade de solos saturados e não saturados. In *VII Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 97–104.

Padoin, E. L., Pilla, L. L., Boito, F. Z., Kassick, R. V., and Navaux, P. O. (2011). Análise do consumo energético do algoritmo de irrigação de solos em arquiteturas heterogêneas. *Conferencia Latino Americana de Computación de Alto Rendimiento, Colima, Mexico. CLCAR*, pages 1–7.