Avaliação Paralela de Uma Extensão do Modelo de Chopard para Propagação de Incêndio Ambiental Baseado em Autômatos Celulares

Karina da Silva Salles[1], Ueider Ferreira de Oliveira[1], Marilton Sanchotene de Aguiar[2], Adenauer Corrêa Yamin[2]

[1]Núcleo de Apoio a Projetos de Informática (NAPI)
Centro Politécnico (CPOLI)
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Rua Félix da Cunha, 412. – 96010-000 – Pelotas – RS – Brazil

[2]Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf)
Centro Politécnico (CPOLI)
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Rua Félix da Cunha, 412. – 96010-000 – Pelotas – RS – Brazil

{karina,ueiderfdo,marilton,adenauer}@ucpel.tche.br

1. Introdução

Este trabalho propõe uma avaliação paralela de uma extensão do modelo dinâmico baseado em autômatos celulares para a simulação de incêndios em florestas de Chopard [Chopard et al. 1998]. Mais especificamente, buscou-se atender a condições mais detalhadas de tipo de vegetação e outros aspectos ambientais, como corpos d'agua, estradas e áreas urbanas, que não estavam presentes no modelo de Chopard originalmente. O modelo de propagação de incêndio florestal em questão é um autômato celular probabilístico tridimensional. A evolução do modelo é feita de acordo com regras pré-definidas, que são aplicadas paralelamente em toda a malha.

Os autômatos celulares são modelos matemáticos simples de sistemas naturais. Eles são constituídos de uma malha, ou reticulado, de células idênticas e discretas, onde cada célula tem seu valor sobre um conjunto finito. Os valores evoluem, em passos de tempo discretos, de acordo com regras determinísticas que especificam os valores de cada célula em termos dos valores das células vizinhas.

A vizinhança de cada célula pode consistir: i) de 5 células: ela mesma e as quatro vizinhas acima, abaixo, à esquerda e à direita, esta vizinhança bidimensional é chamada de **vizinhança de Von Neumann**; e, ii) de 9 células: a vizinhança de Von Neumann mais as células nas diagonais, é chamada de **vizinhança de Moore**.

2. Modelo de Autômatos Celulares de Wolfram

Como exemplo de autômato celular, considera-se uma linha (vetor) de células com valores 0 ou 1, mostrado na Figura 1. O valor de uma célula na posição *i* no tempo *t* é $a_i^{(t)}$. Uma regra muito simples para a evolução no tempo dos valores das células é:

$$a_i^{(t+1)} = a_{i-1}^{(t)} + a_{i+1}^{(t)} \mod 2$$

onde $\mod 2$ indica que é tomado o resto 0 ou 1 da divisão por 2. De acordo com esta regra, o valor de uma célula em particular é dada pela soma módulo 2 (ou, equivalentemente ao *ou exclusivo* da álgebra Booleana) dos valores de suas células vizinhas à esquerda e à direita no passo de tempo anterior.

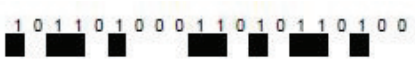

Figura 1. Esquema típico de um Autômato Celular

A Figura 2 mostra o padrão gerado pela evolução após 500 passos de tempo utilizando a regra acima a partir de uma semente consistindo de apenas uma célula com o valor 1 e todas as demais com o valor 0.

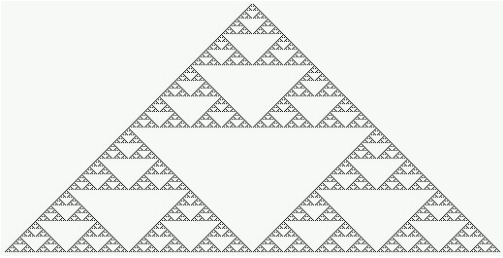

Figura 2. Evolução após 500 passos

3. Extensão do Modelo de Propagação de Incêndio

O presente trabalho é uma extensão do modelo dinâmico baseado em autômatos celulares para a simulação de incêndios em florestas (*Forest Fire Model*), como o modelo de Chopard [Chopard et al. 1998]. Além disso, propõe-se um autômato celular probabilístico tridimensional, que simula incêndios em áreas florestais e urbanas, utilizando-se a **vizinhança de Moore**.

Originalmente, o modelo de propagação de incêndio em florestas seguia um autômato celular probabilístico cujas regras simulavam incêndio e crescimento da vegetação. As regras eram as seguintes: i) uma árvore em chama, torna-se uma célula vazia (solo exposto); ii) uma árvore torna-se uma árvore em chama se pelo menos uma das suas vizinhas mais próximas está em chama; iii) uma árvore cresce com probabilidade p em uma célula vazia; e, iv) uma árvore sem uma vizinha próxima em chamas torna-se uma árvore em chamas com probabilidade f (combustão espontânea).

Nesta proposta, os estados que cada célula pode atingir compreendem: i) casa (área urbana); ii) árvore (área florestal); iii) água; iv) estrada; v) solo exposto e vi) fogo (incêndio). Para fins de experimentação do modelo, o estado inicial escolhido para o autômato é definido a partir de uma situação sintética. Definiu-se uma "estrada" fixada na malha do autômato. Além disso, definiu-se um "lago" em um dos lados do autômato e as demais células são preenchidas aleatoriamente, podendo ser: casa, árvore ou solo.

O autômato evolui, ou seja, os estados das células são alterados conforme o estado de suas células vizinhas, de acordo com as regras determinísticas já definidas no modelo.

A linguagem de programação C++ foi utilizada para a implementação do ambiente de simulação, de modo orientado a objetos. Juntamente com o ambiente de simulação foi desenvolvido um ambiente de visualização 3D para uma melhor interpretação dos estados das células. Esse ambiente foi desenvolvido utilizando a API OpenGL. A Figura 3 mostra a representação gráfica de cada estado admissível no modelo, a Figura 4 mostra a visualização do estado inicial hipotético no simulador e a Figura 5 mostra um estado mais avançado do simulador onde já pode-se ser notada a presença de células no estado fogo.

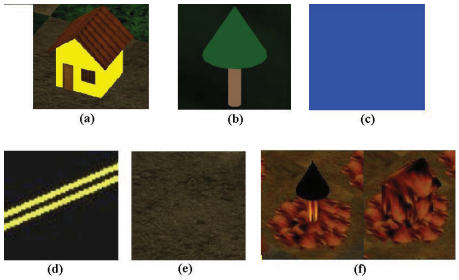

Figura 3. Estados Possíveis

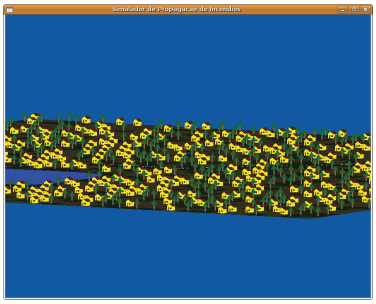

Figura 4. Estado Inicial

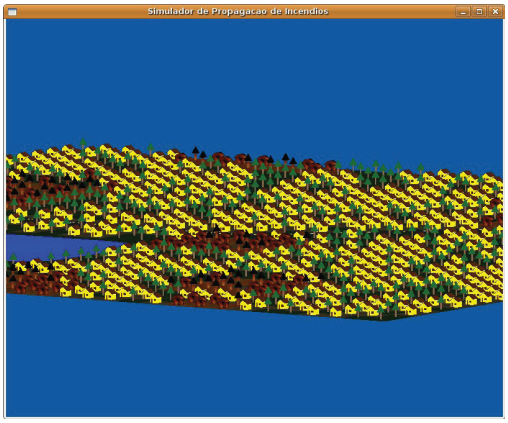

Figura 5. Estado mais avançado com presença do estado fogo

As regras que permitem a evolução do modelo de autômato celular são aplicadas paralelamente em toda a malha com a utilização de trocas de mensagens, possibilitando um alto desempenho quando da computação do modelo. Na implementação deste trabalho, utilizou-se MPI (*Message Passing Interface*) [Gropp et al. 1999], sendo a plataforma alvo deste trabalho ambientes de memória distribuída do tipo agregado de computadores.

A exploração do paralelismo foi modelada considerando os seguintes componentes: *(i)* um *frontend* responsável pela execução do ambiente de visualização 3D dos resultados obtidos pelo modelo; *(ii)* uma infraestutura do tipo *cluster* onde ocorre a computação paralela do modelo.

A comunicação entre o *frontend* e *cluster* é realizada utilizando como base o modelo de comunicação cliente/servidor. O *frontend* faz o papel de um servidor, que a cada

novo estado da malha recebido promove a sua exibição, caracterizando para o usuário final a evolução da computação como um todo. Por sua vez, o *cluster* faz o papel de um cliente, aplicando paralelamente as regras do autômato no estado atual da malha, gerando um novo estado.

Na computação paralela do modelo proposto é empregado o modelo mestre/escravo onde: *(i)* uma máquina que funciona como mestre (ou *root*), divide a malha em pequenas partes e essas partes são distribuídas para que outras máquinas do *cluster* apliquem as regras do modelo na malha recebida; *(ii)* as malhas atualizadas em cada máquina escrava são enviadas a máquina mestre que as coleta, recompõe e envia ao *frontend* para que apresente a evolução da computação.

O tamanho das partes em que a malha vai ser dividida depende da quantidade de máquinas que o usuário escolherá para que o sistema seja executado, essa quantidade pode ser alterada a cada execução do sistema. Como o modelo paralelo funciona como mestre/escravo, essa quantidade nao deve ser inferior a dois, onde uma máquina executará o papel de mestre e a outra ficará responsável por aplicar as regras em toda a malha, não funcionando assim de modo paralelo. Por essa razão o recomendado é uma execução com no mínimo três máquinas, onde já se pode obter paralelismo na aplicação das regras na malha, havendo assim ganhos computacionais.

4. Considerações Finais

Este trabalho é uma proposta de extensão do modelo dinâmico baseado em autômatos celulares para a simulação de incêndios em florestas de Chopard [Chopard et al. 1998]. Mais especificamente, buscou-se a extensão desde modelo para atender a condições mais detalhadas de tipo de vegetação e outros aspectos ambientais, como corpos d'água, estradas e áreas urbanas, que não estavam presentes no modelo de Chopard originalmente.

O modelo de propagação de incêndio florestal está definido por um autômato celular probabilístico tridimensional síncrono, e por essas características, é razoável imaginar o modelo como um programa paralelo e distribuído.

Testes preliminares apontaram que é possível esperar significativos ganhos de desempenho, a continuidade do trabalho prevê medições de *speedup* e eficiência considerando diferentes condições operacionais.

Pretende-se futuramente fazer simulações mais realistas partindo de informações geográficas referenciadas e planos de informações obtidos a partir de sistemas de informações geográficas.

Referências

Chopard, B., Luthi, P., and Masselot, R. (1998). Cellular automata and lattice boltzmann techniques: An approach to model and simulate complex systems. In *Advances in Physics*.

Gropp, W., Lusk, E., and Skjellum, A. (1999). *Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message–Passing Interface*. The MIT Press, Cambridge, MA, second edition.