

セルラオートマトンを用いた 火災延焼シミュレーションの並列化

河津 健太[†] 林 亮子[‡]

金沢工業大学 工学部 情報工学科[†] 金沢工業大学 工学部 情報工学科[‡]

セルラオートマトンは様々な現象を模擬するのに用いられ、また並列性を持つことから、並列計算機上で高速に実行することが可能である。そこで、セルラオートマトンを用いた都市の火災延焼シミュレーションプログラムを開発し、並列計算機上で実行した結果を報告する。

1. はじめに

火災は代表的な災害の一つであり、特に都市部で起こる火災は多くの人命、財物に損害を与える。火災のメカニズムについては古くから研究されており[1]、近年ではセルラオートマトン(以下では CA と記す。)を用いたコンピュータシミュレーションによって都市部の延焼拡大を予測する研究も行われている[2]。それらの研究は、延焼速度の抑制を考慮した都市計画や適切な消防活動の設計に役立つものと考えられる。本稿では、CA を用いて都市部における火災延焼モデルによるシミュレーションプログラムを作成し、並列化を試みた結果を報告する。

本稿の構成は以下の通りである。第2節では、火災延焼モデルを示し、第3節では、並列プログラムの概要を述べる。このプログラムを ABL-Tree [3]で結合した PC クラスタ上で性能評価した結果を第4節で示し、さらなる高速化の可能性を議論する。本稿で得られた結果を第5節でまとめる。

2. 火災延焼モデル

火災は本来3次元的な現象であるが、本稿では問題を簡単にするため、2次元平面上で扱う。CA の構造は正方格子とし、格子点間距離を 1m とし、時間刻みを 1 秒として各格子点の状態を時間発展させる。

本稿で考える火災のメカニズムは以下のようである。格子点空間の中央を火災発生源とし、初期状態では中央の格子点 1 個だ

けが発火し、それ以外の格子点は燃えていないものとする。発火した格子点は、延焼限界距離内の周囲の格子点に熱を与える。ある格子点が周囲の格子点から受ける熱量が発火熱量に達すると、その格子点は発火する。発火した格子点は、格子点の物性に応じた熱量を延焼限界距離内の他の格子点に放出する。

計算手順は以下のようになる。

for(シミュレーションを行う時間){

for(全格子点){燃えている格子点は影響範囲内の格子点に熱を与える

(熱発散処理)}

for(全格子点){自分が受けた熱量と発火熱量を比較し、発火熱量を超えている場合は発火する(発火処理)}

各格子点は発火の有無、発火熱量、燃焼物質質量、発熱量、受熱量、発火時刻を持つ。延焼限界距離 D は、風速、風向と格子点との位置関係、および発火後経過時間などの諸条件によって変化するので、それらを $D_1, D_2, D_3, D_4, D', D''$ の各記号を使って表す。本稿では、文献[1]を参考にして以下の式を用いた。

風下側 : $D_1 = 5 + v/2$ (発火後 10 分以内)

$D_2 = 1.5 D_1$ (発火後 10~30 分)

$D_3 = 3 D_1$ (発火後 30~60 分)

$D_4 = 5 D_1$ (発火後 60 分以降)

風上側 : $D' = 5 + v/5$

風横側 : $D'' = 5 + v/4$

なお、 v は風速で単位は m/秒であり、空間の左側から一様に吹くものとする。今回用いたシミュレーション条件を以下に示す。

風速 $v = 5$ [m/秒]

気温 = 20 [°C]

発火熱量 = 8.0×10^7 [J]

燃焼物質質量 = 160 [kg/m²]

発火中の格子点が周囲の格子点に与える熱量

Parallelization of Celler Automaton Fire Expanding Simulation Program

[†]Kenta Kawazu, Department of Information and Computer Science, College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

[‡]Ryoko Hayashi, Department of Information and Computer Science, College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

$=228 \times d/k [J]$ (発火後 540 秒間)
 $291 \times d/k [J]$ (発火後 540~720 秒)
 $171 \times d/k [J]$ (発火後 720~1440 秒)

ここで d は風向と格子点位置の関係から熱量を増減するためのパラメータであり、

$d=1.05$ (風下側)
 $=0.95$ (風上側)
 $=1.00$ (風横側)

を用いた。 k は周囲の格子点との距離である。

3. 並列プログラム

並列プログラムの概要を図1に示す。本稿では基礎的な並列化を行い、計算領域を図1のように1次元的に分割し、使用するPCクラスタの各ノードに割り当てる。そのため、使用するノード間には、1次元格子結合の関係が生じる。このとき、分割した領域の左右に、のりしろ領域が生じる。風がある場合にはのりしろ領域の幅が変化することがこのプログラムの特徴である。今回は、のりしろ領域の最大値 D_4+1 を用いて一様な幅でのりしろ領域を設定した。のりしろ領域のデータは、前節の計算手順中の熱発散処理後、発火処理の前にノード間で交換する必要がある。

4. 性能評価

4.1 計算機環境

本稿で使用する計算機環境は、PowerEdge600sc(CPUはPentium4 2.8GHz, メモリは512MB)を12台、ギガビットイーサネットで結合したPCクラスタである。OSはRedHatLinux 8.0, PC間の結合はHCC ABL-Tree[3]である。プログラムはJava1.4.2を用いており、PCクラスタのノード間でソケット通信を行うことにより、並列にプログラムを実行している。

4.2 並列実行結果

2ノードを使用し、複数の計算領域サイズでの火災延焼シミュレーションの実行時間の内訳を調べた結果を図2に示す。図2から、熱発散処理よりも発火処理のほうが多くの実行時間を要すること、および通信時間が大きいことがわかる。通信時間削減には、通信手順の再検討および通信量の削減が考えられる。

5. おわりに

本稿では、セルラオートマトンを用いて火災延焼現象をモデル化し、シミュレーションプログラムを開発した。さらにシミュレーションプログラムをPCクラスタ上で並列実行し、

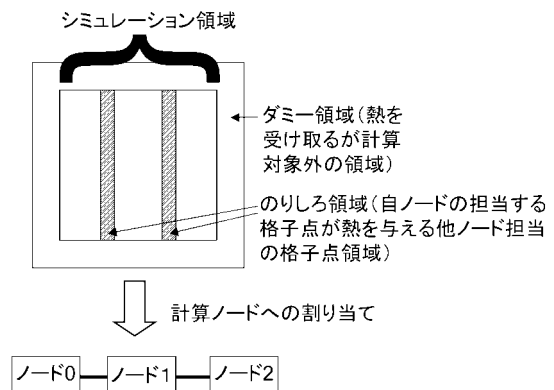


図1. 火災延焼シミュレーションの並列プログラムの概要

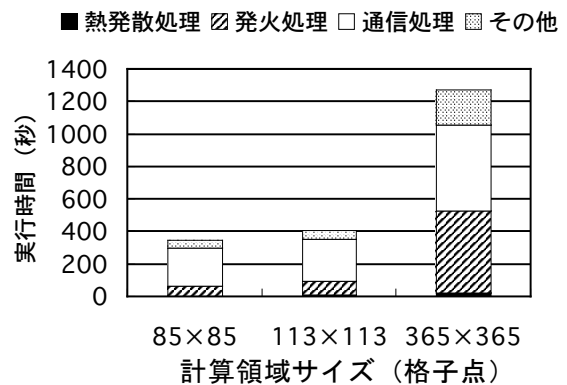


図2. 2ノードを使用した火災延焼シミュレーションの実行時間の内訳

性能評価を行った。その結果、通信時間の削減が必要であることがわかった。

今後は、通信時間を削減するため、通信手順の合理化を検討し、のりしろ領域の削減を検討する予定である。さらに計算モデルを検討し、有用なシミュレーションプログラムに発展させる予定である。

謝辞

金沢工業大学 工学部 情報工学科 津田伸生 先生には、PCクラスタを快く利用させて戴きました。御礼申し上げます。

参考文献

- [1]「火災」中田編、共立出版、(1969).
- [2]“CAによる延焼シミュレーションモデルの開発”, 大貝、郷内、地域防災リサーチコア年報平成15年度版、pp. 49-54, (2004).
- [3]“ABL-Tree 結合プロセッサアレイの階層化拡張法”, 電子情報通信学会技術研究報告[機能集積情報システム], FIIS-03-120, 2003年10月.