マッピングを考慮した待ち行列並列シミュレーションの性能測定*

4L－1

山城 登久二† 高井 峰生‡ 浦野 智春§ 成田 誠之助¶
早稲田大学理工学部||

1 はじめに

離散事象並列シミュレーション (Parallel Discrete Event Simulation 以下 PDES) は、近年に見られる大規模システムのシミュレーションに大変有効である。PDES の問題点として、シミュレート対象モデルを分割し、並列計算機の処理要素 (PE) にマッピングすることが挙げられる。この問題は一般的なグラフ分割に帰着できるが、どのような指針で分割を行うかによってシミュレーションの効率が大きく左右される。本研究では、一般的な組み合わせ問題の最適化技法である Simulated Annealing 技法を PDES のマッピング問題に適用する。本稿では、その際に必要となるコスト関数として何が適切であるかを実際の待ち行列シミュレーションを用いて考察する。

2 PDES の評価環境

2.1 仮想時刻同期手法

本稿では、仮想時刻同期手法として同期命令法 [1] を用いる。これは、仮想時刻同期を行う際に全PEがバリア同期を行い、各PEが同時にそれぞれの保証時刻を計算してその最小時刻までのシミュレーションを繰り返し行う方法である。

2.2 シミュレート対象モデル

シミュレート対象モデルとしては、8×8個の待ち行列サーバがトーラス状に結合されたものを 2×2 個独立に並べたもの (以下 model1) と、2×2個トーラス状に結合したもの (以下 model2) の二つを用いた。model1 及び model2 を図1に示す。両モデルについて、各待ち行列サーバ (以下 PP) はサービスの型が定数+指数分布 (平均サービス時間 1[ut](ut は仮想時刻の単位時間)) のサーバと FCFS(First Come First Served) の待ち行列で構成される。また、システム内を動く要素数は全 PP について初期待ち行列長3として合計768個とした。評価の際にはこれらのモデルをそれぞれ 2×2 の PE にマッピングした。model1 では、各 PP の後続 PP への分岐確率は全て 0.25 で均一とし、model2 では、後続 PP が自 PE 内にあるときの分岐確率を 0.25、異なる PE 内にあるときは 0.0 (実際には要素は流れない) とした。このとき、model1 と model2 は実質的に同じ挙動を示すことになる。

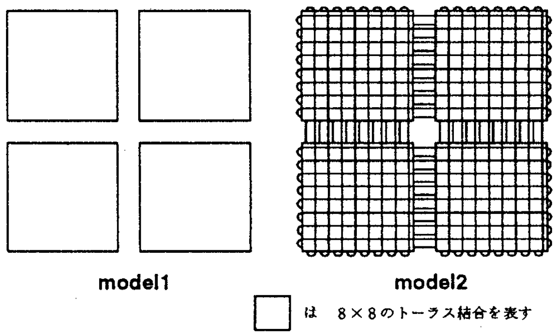

図 1: シミュレート対象モデル

2.3 性能評価の方法

並列シミュレータの性能を決定する要因の一つとして Lookahead の大きさ [2] がある。Lookahead とは、PE の現在の仮想時刻と、その PE がメッセージ送出先 PE に対して送出しないことを保証できる仮想時刻との差を言う。Lookahead の大きさによって、将来いつまで安全に他の事象を処理できるかが決定されるため、この値が小さいと PDES の効率が著しく悪化する。本稿ではこの Lookahead に注目して結果を考察する。

シミュレーションは、シミュレーション時間 (以下 *endtime*) を 1000.0[ut] として、サービス時間の平均値を固定したままサービス時間の定数部分 (Lookahead の大きさに相当) を変化させて行った。

---

*Performance Measurement of Parallel Queueing Network Simulation with Mapping

†Tokuji Yamashiro
‡Mineo Takai
§Tomoharu Urano
¶Seinosuke Narita
||School of Science and Engineering, Waseda University

3 評価結果及び考察

Lookahead の大きさとシミュレート実行時間の関係を表すグラフを図 2に示す。

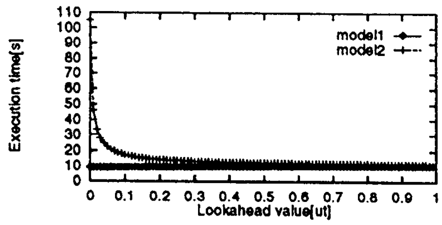

図 2: Lookahead の大きさと実行時間の関係

図 2より model1 では、PE 間の依存がなく各 PE が独立してシミュレーションできるので、Lookahead に関係なくほぼ一定の実行時間を要している。これは実行時間が事象処理にのみ費やされたもので、事象処理数に比例していると考えられる。そこで、実行時間 y[s] と 4PE 中最大事象処理数 x の間に比例関係が成立すると仮定して、測定値を最小二乗法で近似すると事象処理時間の関数

$$y = 0.00018980 \times x \tag{1}$$

が得られる。測定値及び式 (1) を図 3に示す。図 3から式 (1) は測定値とほぼ一致している。

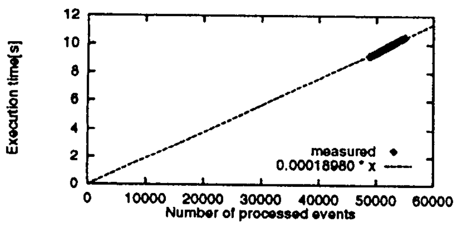

図 3: 事象処理数と model1 の実行時間の関係

また、model2 の実行時間は model1 と同様な事象処理時間に通信時間が加わったものである。通信時間はバリア同期回数に比例すると考えられ、また、仮想時刻の同期間隔を $interval$とするとバリア同期回数は $endtime/interval$ ($interval$は仮想時刻の同期間隔) で表されるので、通信時間は $interval$に反比例する。よって、通信時間 y[s] は、

$$y = \frac{b}{interval} \tag{2}$$

で表せる。現在の仮想時刻 $nowtime$ で同期したとすると次にバリア同期を行う仮想時刻は、登録事象の生起時刻の最小値 (以下 $Min(etime)$) と Lookahead の最小値 (以下 x) との和である。よって $interval$は、

$$interval = Min(etime) + x - nowtime \tag{3}$$

となる。ここで、$Min(etime) - nowtime$ を測定値に従って $endtime$ / 総事象処理数 で近似すると、その値は 0.0048124 となった。ゆえに

$$interval = x + 0.0048124 \tag{4}$$

となる。式 (2)(4) から測定値を最小二乗法に用いると通信時間の関数

$$y = \frac{0.89563}{x + 0.0048124} \tag{5}$$

が得られる。測定値及び式 (5) における (x, y) を図 4に示す。図 4から x が 0 近傍であるとき多少のズレはあるもののほぼ近似できたといえる。

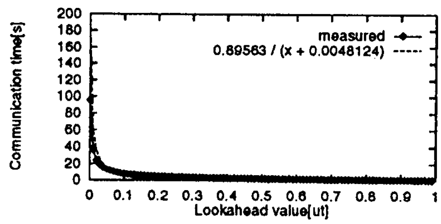

図 4: Lookahead の大きさと通信時間の関係

以上から、Lookahead の最小値を x_1、最大事象処理数を x_2とおくとき、シミュレート実行時間 yは式 (1)(5) の和

$$y = \frac{0.89563}{x_1 + 0.0048124} + 0.00018980 \times x_2 \tag{6}$$

で近似できる。

4 今後の展開

今回用いた特別なモデルでは、実行時間を Lookahead と事象処理数を用いて予測することができた。これが一般的なモデルにも適用できるとすれば、式 (6) を Simulated Annealing 技法のコスト関数に利用して適切なマッピングを行うことができる。今後はさらにいくつかの形状のモデルについて式 (6) が成立することを検証していきたい。

参考文献

[1] D.M.Nicol. The Cost of Conservative Synchronization in Parallel Discrete Event Simulations. Journal of the Association for Computing Machinery, Vol.40, No.2, April 1993.

[2] R.M.Fujimoto. Parallel Discrete Event Simulation. Communications of ACM, vol.33, No.10, October 1990.