

行列圧縮と GPGPU を利用した ペトリネットシミュレーションの高速化

河村 喬[†] 横川 智教^{††} 有本 和民^{††} 近藤 真史^{†††} 佐藤 洋一郎^{††}

[†] 岡山県立大学大学院情報系工学研究科

^{††} 岡山県立大学情報工学部

^{†††} 川崎医療福祉大学医療技術学部

1. はじめに

大規模デジタルシステムの一実現形態である大域非同期局所同期システム(GALSS)では、コンポーネントを複数の同期ブロック(CD)へと分割し、CD間では非同期的な通信を行うことで所望の動作を実現する。GALSSの性能評価法として、その挙動を Stochastic Timed Petri Nets(STPN)でモデル化した上で、STPNの接続行列を用いた行列演算を繰り返し、性能評価指数の平均の上界を求める手法[1]が提案されている。しかし、システムの大規模化に伴って評価時間が増大する。本稿では、STPNの接続関係が疎であることと、性能評価法で扱う事象の独立性に着目した性能評価の高速化手法を提案する。

2. GALSSの性能評価法

STPNはプレイス p の集合 P 、トランジション t の集合 T 、 p と t の接続関係を表すアークの集合 F で定義される。システムの状態は、各 p におけるトークンの有無(マーキング)で表現される。 p には予め指定された分布に基づいて遅延時間が割り当てられ、その時間が経過すると p のトークンは有効になる。STPNでモデル化されたGALSシステムの挙動は、マーキングと発火トランジション群を時系列に接続したイベントグラフ(時限実行)として表現できる。性能評価指数は、時限実行上の2つのトランジションペアの発火時刻の差(TSE)に対応し、その平均の上界は、モンテカルロ法に基づいて時限実行、すなわちペトリネットシミュレーションを繰り返すことにより算出できる。

3. 疎行列圧縮と超並列処理による行列演算の高速化

STPNの接続状況は、 p 及び t をそれぞれ行及び列に対応付け、アークが接続されている(いない)場合に1(0)の値を持つ $|P|$ 行 $|T|$ 列の行列として表現できる。しかし、本稿で用いるSTPNの接続行列は疎行列となる。疎行列演算に適した行列格納形式としてCSR形式及びCSC形式がある。CSR形式及びCSC形式は、行列をそれぞれ行方向及び列方向に走査して、非零要素を連続したメモリ上に配置するデータ構造である。これらの格納形式を適宜用いて接続行列を圧縮し、演算対象を非零要素に限定することで行列演算の効率化を図る。

性能評価のためには、時限実行の生成を繰り返す必要があるが、各時限実行は独立事象であるため、高い並列性の実現が可能である。そこで、超並列性を持つGPGPUを利用することでさらなる高速化を図る。このときの処理手

順の概略は以下の通りである。

- (1) STPNの構造を表す行列等のメモリ領域の確保。
- (2) 疎行列の圧縮。
- (3) CPU側から(1)で確保した領域のデータコピー。
- (4) TSEの算出。
- (5) モンテカルロ法に基づく停止判定を行い、停止の場合(6)、そうでない場合(4)へ。
- (6) (1)で確保した領域の解放。

4. 評価実験

3.で述べた手法を性能評価ツールに実装したときの評価時間の短縮効果を確認する。CD当たりのコンポーネント数を2とし、CD数4からなるGALSSをSTPNによりモデル化し、その性能評価を行った。性能評価指数は、CD間のデータ転送を要求して、転送経路が確立されるまでの応答時間を選んだ。表1に各手法の評価時間を示す。

表1(a)より、行列圧縮によって評価時間が大幅に短縮されていることが確認できる。また、GPGPUを適用した場合には、同表(b)より、スレッド数の増加に伴い評価時間が減少しており、7200スレッド以降ではCPUのみの評価時間よりも高速な性能評価を可能にしている。

表1. 各手法の評価時間

(a) CPUのみの評価時間		(b) GPGPUの評価時間	
	評価時間 [s]	スレッド数	評価時間 [s]
圧縮前	12220.6	800	880.9
圧縮後	174.2	1200	615.3
		3600	218.8
		7200	121.0
		12000	96.1

5. まとめ

本稿では、GALSSに対する高速な性能評価を実現するために、行列圧縮及びGPGPUの超並列性を利用した手法を提案し、性能評価にかかる時間を大幅に削減した。

参考文献

- [1] 田代和幸 他: "Globally Asynchronous Locally Synchronous システムの性能評価に関する一検討", 信学技報(VLD), Vol.106, No.549, pp.57-62 (2007)