

並列プログラミングフレームワークを活用した least-squares Monte Carlo approach の CUDA による実装と評価

CUDA implementation of least-squares Monte Carlo approach using a parallel programming framework

鳥谷部 和孝¹⁾, 飯塚 拓郎²⁾

Kazutaka Toyabe and Takuro Iizuka

1) 三菱 UFJ モルガン・スタンレー証券株式会社 (〒100-6317 東京都千代田区丸の内 2-4-1 丸の内ビルディング)

2) 株式会社フィクスターズ (〒141-0032 東京都品川区大崎 1-11-1 ゲートシティ大崎ウエストタワー 18 階)

Key Words: CUDA, Finance HPC, least-squares Monte Carlo simulation, Fermi-core

1 背景と目的

金融機関では、計算負荷の高い複雑な金融商品の時価や取引相手のクレジット・リスク量の計算に、モンテカルロ法を用いることが多い。早期償還条項のついたバミューダン型の多資産を参照したスワップはその典型例で、その時価計算には最小二乗モンテカルロ法 (least-squares Monte Carlo approach, 以下 LSM) とよばれる方法を用いるのが一般的である。また、最近話題になっているカウンターパーティ (取引相手) リスクを考慮した時価計算に現れる CVA (credit valuation adjustment) の計算にも LSM は使用されており、LSM の高速化は金融機関にとって重要なテーマの一つである。

モンテカルロ法自体は並列化が非常に行きやすく、それへの GPU の活用はこれまでも様々な事例研究が行われているが、LSM に対する高速化研究はまだ十分には行われていないようである。また、GPU を用いた多くの高速化研究では比較的用いられている CPU コードはあまり最適化されていないものである、という批判も見受けられる。そこで本発表では、計算の並列化を CPU と GPU の両方に対して容易に行うために構築した並列プログラミングフレームワークと、それを用いた LSM の高速化の結果について報告する。

2 実施事項

LSM の実装には、新規に開発した並列プログラミングフレームワーク (以下、PPF) を使用した。PPF のコア部分は並列化に適したコンテナと並列 map, 並列 reduce などのアルゴリズムにより構成される。PPF には Intel Thread Building Block 互換のインタフェースが実装されており、ネームスペースの切り替えだけで CPU シングルスレッド、CPU マルチスレッド、および GPU 上で動作させることが可能である。

その上で、コーラブル・パワー・リパース・デュアル・スワップというよく知られた金融商品に対する 3 ファクター時価評価モデルの並列計算アルゴリズムを CPU と GPU 上に実装した。これに、PPF を基本として一部のみ CUDA を使用し最適化した GPU コード、PPF を使用せずに最適化した CPU コードを加え、実行速度の比較を行なった。

3 新規性

アルゴリズムは PPF の上に実装されているため、コードの変更なしに異なるプラットフォーム上で実行が可能である。また、フレームワークに適合しにくいロジックは CUDA で直接記述するといった柔軟な開発も可能である。

4 成果

最適化した GPU コードは最適化した CPU シングルスレッド実装に比べて約 60 倍の高速化を達成した。

PPF のユーザは CUDA やマルチスレッドプログラミングの知識が無くとも並列化の恩恵を受けることが可能である。CPU と GPU のコードの共有が可能であるため、CPU と GPU の二重開発を行う必要がなく、メンテナンスコストを減らすことができる。

5 今後の課題

GPU 適用による約 60 倍の高速化は、最適化された CPU コードを元にした場合は十分に高速化されていると考えることができるが、コスト削減効果の面から見ると十分に高速であるとは言えない。金融計算へ GPU を適用する際には、保守コストやプログラミングコストなども勘案して、効果のある計算対象を慎重に選択する必要がある。

また、現状、PPF 上でプリミティブな処理を組み合わせるアプリケーションを構築すると、PPF 自身のオーバーヘッドが無視できない。高い汎用性と小さいオーバーヘッドを実現するために、実行時のカーネルコード生成などの PPF の拡張を行い、GPU 導入コストの削減を実現したい。

参考文献

- [1] Longstaff, F. A. and Schwartz, E. S. : Valuing American Options by Simulation: A Simple Least-Squares Approach, Review of Financial Studies, 14, No.1, pp.113-117, 2001.