

シミュレーションキャッシングフレームワークの実装

西村 祐介[†] 辺見 良太[†]
福間 慎治[†] 森 眞一郎[†]

1. はじめに

我々は、遠隔地に存在する大規模計算機資源を利用したインタラクティブスーパーコンピューティングの研究を行っている。このようなシステムを実現するためには、計算機資源が必要十分なスループットを持つことと同時に、操作端末と遠隔地にあるシミュレーションサーバーとの間に発生する通信遅延を隠蔽する仕組みが必要となる。この問題に対して我々はシミュレーションキャッシングという方法を提案している¹⁾。本研究では、過去に実装したシミュレーションキャッシングを用いたインタラクティブ流体シミュレータ¹⁾をベースに改善を行い、アプリケーションに依存しない部分をフレームワーク化した結果を報告する。

2. シミュレーションキャッシング

遠隔操作シミュレーションを実現する際、ネットワークを介してシミュレーションを行うことによって、通信遅延の増加によるスループットの低下、レスポンスタイムの増大などの問題が発生する。前者はパイプライン処理の導入によって解決するが、通信時間の動的ゆらぎであるジッタによって、遠隔操作シミュレーションにおいて重要な一定間隔での出力が難しくなる。ジッタの影響を受けたパイプラインを図1に示す。

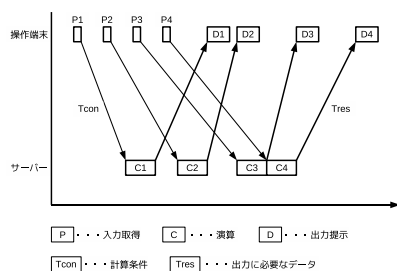


図1 ジッタの影響を受けたパイプライン

これらの問題を解決する手法としてシミュレーションキャッシングがある。これは、操作端末の近傍に存在する簡易シミュレーションサーバー（ローカルサーバー）を設置し、リモートサーバーで行っているシミュレーションの一部を並列に冗長計算として実行することで、操作端末からの要求に対してリモート並びにローカルの各サーバーが連携して応答することで、通信遅延の影響を排除する技術である。

しかし、時間経過とともに各サーバーでの計算方法の違いに起因する計算結果の不一致が顕在化してくる。そこで、ある程度の時間経過後に各サーバーの結果を一致させる処理が必要となる。これを一貫性制御と呼ぶ。一貫性制御時のパイプライン制御法では中断モデルとロールバックモデルが存在する。中断モデルは、一貫性制御が終了するまでの間計算条件の送信を一時中断し、データの一貫性が保証されるまでの間シミュレーションをストップさせ、データの一貫性が保証されてからリスタートするモデルである。ロールバックモデルはシミュレーションを続けながら一貫性制御を見かけ上同時並行して実行し、タイムステップが一致した時点でデータを更新するモデルである。

3. シミュレーションキャッシングフレームワーク

3.1 フレームワークの概要

シミュレーションキャッシングを実際のシミュレーションに対して適用する場合、適用するシミュレーションのコードをベースにシミュレーションキャッシング部分を追加する必要がある。しかし、シミュレーションキャッシングでは、遠隔操作に伴う記述、ローカル・リモートサーバ連携に関する記述、一貫性制御や遅延隠蔽に関する記述など、本来のシミュレーションとは無関係な、ネットワーク関連の煩雑な処理を追加する必要がありプログラム生産性の低下を招く。

そこで、シミュレーションキャッシングを実現するために必要な機能をフレームワークとして提供することを提案する。これにより、シミュレータの開発者は

[†] 福井大学大学院工学研究科

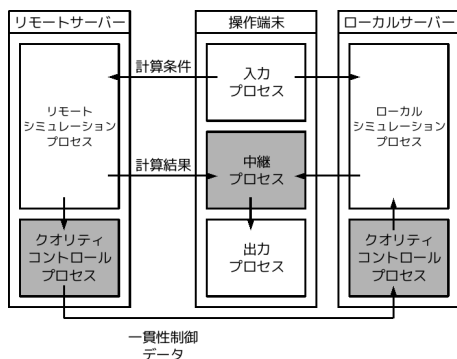


図 2 システム構成図

本来のシミュレーションを行う部分や入出力処理を行う部分に関するプログラム実装に専念でき、システムの開発効率向上が期待できる。また、必要となるネットワークプログラミングの知識も最小限で済み、簡単にプログラミングを行えるようになる。実行時のシステムの概要は図 2 のようになる。

3.2 フレームワークの機能

フレームワークでは、次のようなシミュレーションキャッシングに必要な機能を提供する。

- 操作端末から各サーバーへの計算条件の送受信
- 各サーバーから操作端末への計算結果の送受信
- パイプライン実現のための時間管理
- 一貫性制御処理
- 操作端末における計算結果の自動選択
- 各プロセス間での同期
- 回線品質維持機能

以下では、今回新たに追加した回線品質維持機能について説明する。

フレームワークでは一貫性制御時に発生するスロースタートアルゴリズムによる速度低下^{2),3)}に対して対策を行う。スロースタートアルゴリズムとは、TCP/IP で輻輳制御に用いられるアルゴリズムで、通信が確立した直後のネットワーク通信に対して帯域幅が制限されるといものである。一貫性制御の時間間隔が大きくなると、一貫性制御が行われる度にこのアルゴリズムが適用され通信速度が低下してしまう。特に一貫性制御データのサイズが小さい場合は問題となる。

この問題に対し、フレームワークでは一貫性制御データを中継する QC プロセスを準備し、一貫性制御時以外は小さなデータをやりとりすることによって通信速度の低下を防ぐ機構を準備する。

4. 実アプリケーションへの適用

実際のアプリケーションに対してこのフレームワー

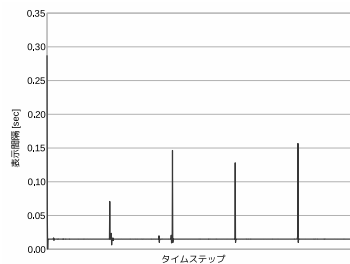


図 3 結果の出力間隔

クを適用し実験を行った。今回は、熱伝導方程式ベースの差分法による熱拡散シミュレーションのアプリケーションに今回実装したフレームワークを適用した。ユーザがインタラクティブに熱源の位置を移動させた時のシミュレーション領域内の熱拡散の様子をシミュレーションした

温度分布の画面出力間隔は図 3 のようになった。一貫性制御時以外は概ね 15msec 間隔で出力されていることがわかる。この時の出力プロセスにおける各シミュレーション結果の使用回数は、リモートサーバーで計算を行った結果が 1000 ステップ中 880 ステップで、ローカルサーバーで計算を行った結果が残り 120 ステップとなった。また、一貫性制御による中断が 130 ~ 150msec であったのに対し、QC プロセスを使用した場合は約 50msec 程度に抑えることができた。しかしこの場合、ローカルサーバーで計算を行った結果の使用率が比較的多くなることが確認された(測定では 15 ~ 20 %程度)。これは、リモート端末での送信回数が増え、計算結果の送信間隔に多少のばらつきがでてしまったためではないかと考えている。

5. ま と め

シミュレーションキャッシングフレームワークを実装について報告を行った。今後様々なアプリケーションに適用して開発効率に関する評価を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 橋本健介, 手塚俊作, 森眞一郎, 富田眞治: "シミュレーションキャッシングと遠隔インタラクティブ流体シミュレーションへの応用" 先進的計算基盤システムシンポジウム論文集, pp.219-228(2009)
- 2) 手塚俊作: シミュレーションキャッシングにおける通信遅延の影響に関する調査, 福井大学大学院工学研究科, 修士論文 (2011)
- 3) 辺見良太: 対話型遠隔シミュレーションシステムの高速化に関する研究, 福井大学工学部情報・メディア工学科卒業論文 (2012)