

## 実時間シミュレーションにおける応答性確保のための 直接法と投機的手法を用いた反復法の併用モデル

山田竜輝・福間慎治・森眞一郎（福井大学大学院工学研究科）

### 1 はじめに

我々は次世代のシミュレーション技術として、高性能な計算サーバを使用した数値シミュレーションヘユーザが操作を行うことでシミュレーションの進行を対話的に変更できるような、インタラクティブシミュレーションの技術について研究を行っている。本論文では、多くのシミュレーション中に現れる連立一次方程式  $Ax = b$  の求解に着目し、シミュレーション中のユーザ介入によって係数行列  $A$  の一部の要素のみが変化するインタラクティブシミュレーションを想定する。右辺ベクトルのみの変化をステップ、係数行列の変化をステージと定義し、係数行列  $A$  が変化するステップと変化しない複数のステップが交互に発生するモデルを仮定する。前提条件を以下に示す。操作者の動作には、物理的な操作の連続性が存在する。逆行列を保存可能な係数行列を対象とする。ランク落ちはしないものとする。

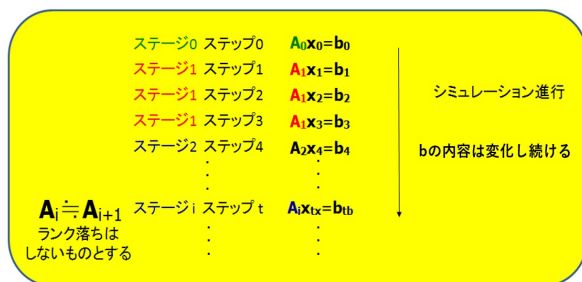


図 1: シミュレーションの進行図

### 2 先行研究

先行研究 [1] では、ある時刻  $t$  での係数行列 ( $A_t$ ) の逆行列 ( $A_t^{-1}$ ) が即知であるという条件下で、直接法として変化後の係数行列の逆行列を SMW 公式を用いて導出することで、ユーザの操作に応じて解  $x$  を求める手法を採用している。直接法では、係数行列の変化後に逆行列の計算がスタートするため、生成されるまで解を導出することは出来ない。しかし、逆行列生成後の求解式は  $x = A^{-1}b$  となり行列とベクトルの積となるため、容易に並列化でき高速な求解が可能となる。

先行研究 [2] では、反復法として前処理付き共役勾配法を採用し、係数行列の変化をいくつかのパターン予測して前処理行列  $P$  の計算を投機的に行っている。反復法では、係数行列の変化以前に複数の前処理行列  $P$  の候補を計算しておくことで、前処理付き共役勾配法の前処理行列を計算する時間を隠蔽することが可能である。そして、係数行列の変化後にこの候補の中から最も適した前処理行列を用いて式  $PAx = Pb$  とし、反復法を用いて求解を行う。反復法では、仮に一定時間内に解が収束しなかった場合におい

ても、その時刻までの最善の解を利用することで時間制約をクリアすることが可能である。

### 3 提案手法

本研究では、先行研究 [2] で提案されている投機実行モデルに対して、SMW を用いた逆行列の生成を利用した直接法を統合することにより、逆行列生成後の解計算速度を向上させる手法を提案する。具体的には、(1) ステージ変化後から次の反復法解計算ノードが決定するまで、1 ステージ前に解計算を行っていた反復法解計算ノードが続けて解計算を行う。(2) 最尤な前処理行列が決定すると、その行列を投機計算していたノードが解計算を行う。(3) 逆行列が導出されると、それ以降は直接法解計算ノードが解計算を行う。

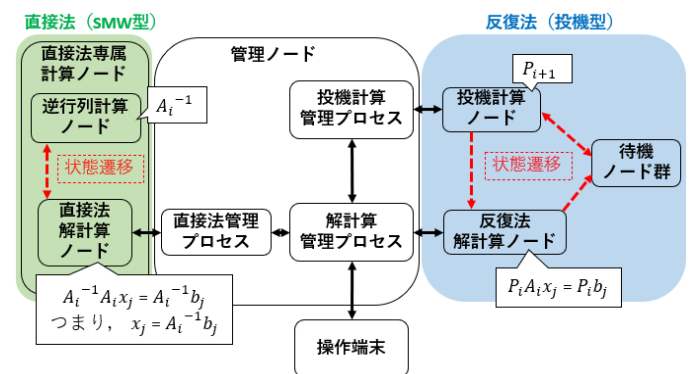


図 2: 直接法と反復法を統合した求解モデル

### 4 実装手法と今後の課題

既存の投機実行モデルに対して、SMW を用いた逆行列を計算するノードを用意する。このノードでは、係数行列変化後に逆行列を計算する状態と逆行列生成後に解計算を行う 2 つの状態を遷移する。

今後の課題として、逆行列の生成や前処理行列の生成が間に合わなかった場合の対処が必要となる。

### 参考文献

- [1] 岩永翔太郎: "SMW 公式を用いた逆行列計算の並列化と実時間時系列シミュレーション", 電子情報通信学会論文誌, J-96, 3, 484-494(2013.03)
- [2] 長嶺祐輔: "投機的手法を用いたインタラクティブシミュレーションシステムの多重投機拡張と動的マルチキャストの応用", 福井大学大学院工学研究科修士課程情報メディア工学専攻修士論文.2017