

シミュレーションの高速化と精度向上技術の調査

シミュレーションの並列処理とデータ同化

和田 篤

October 28, 2016

動機と狙い

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

テーマ選択理由

- シミュレーションの精度を上げたい, 計算時間を短くしたいという声をよく聞く
- 得意分野の機械学習, アルゴリズムでシミュレーション技術に貢献したい

狙い

- 並列化とデータ同化技術のアイデアと基本を紹介し, 技術開発方針検討の一助に

目次

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悲観的な方法
楽観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

1 離散イベントシミュレーション

- 問題
- アルゴリズム

2 並列処理

- 悲観的な方法
- 楽観的な方法

3 データ同化

- 三次元データ同化
- 四次元データ同化

シミュレーションの分類

状態変化の数による分類

- 連続シミュレーション: 状態変化が無限回
- 離散イベントシミュレーション: 状態変化が有限回

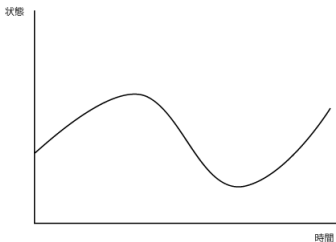


Figure: 連続シミュレーション

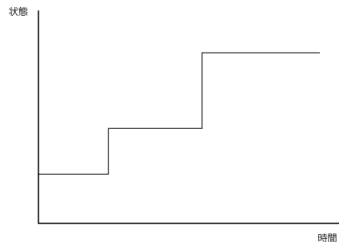


Figure: 離散シミュレーション

シミュレーションの高速化と精度向上技術の調査

和田 篤

離散イベントシミュレーション

問題

アルゴリズム

並列処理

体系的な方法

体系的な方法

データ同化

三次元データ同化

四次元データ同化

離散イベントシミュレーション (DES)

DES の主要構成要素

時刻 シミュレーション上の時刻

状態 シミュレーションで計算したい値

イベント 状態を変化させる & 新たなイベントを生成

①処理開始@5:00
②処理終了@6:00

③処理開始@6:10
④処理終了@7:00



Figure: DES の例

Table: DES の例 (詳細)

時刻	イベント	状態
4:00	DES 開始	{ }
5:00	①	{ 装置 A: 処理中 }
6:00	②	{ 装置 A 工数:1 }
6:10	③	{ 装置 A 工数:1, 装置 B: 処理中 }
7:00	④	{ 装置 A 工数:1, 装置 B 工数: 1 }
8:00	DES 終了	{ 装置 A 工数:1, 装置 B 工数: 1 }

DES に対するアルゴリズム: time-bucket 法

time-bucket 法 (単位時間ごとに計算)

単位時間を定義し, 単位時間ごとに処理すべきイベントがあるか確認する.

- 1: **while** 終了条件を満たさない **do**
- 2: 時刻を単位時間すすめる
- 3: **if** 現在時刻に処理すべきイベントがある **then**
- 4: イベントを処理する.

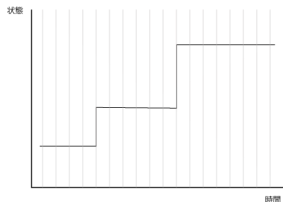


Figure: time-bucket 法のイメージ

DES に対するアルゴリズム: event-driven 法

event-driven 法 (状態変化時のみ計算)

イベントキューを利用して、イベントが発生する時刻のみ計算する。

- 1: **while** 終了条件を満たさない **do**
- 2: イベントキューの先頭にあるイベントを処理
- 3: 時刻を取り出したイベントの発生時刻にする
- 4: イベントを処理する

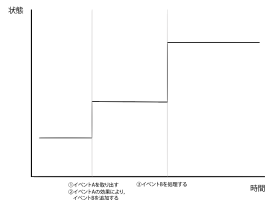


Figure: event-driven 法のイメージ

Parallel DES の基本アイデア

アイデア

- 生産シミュレーションにおいて、別々の装置は並列に処理できるのではないか？
- 待ち行列シミュレーションにおいて、別々のサービスは並列に処理できるのではないか？



Figure: 生産シミュレーションの並列化

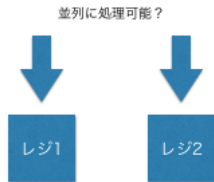


Figure: 待ち行列シミュレーションの並列化

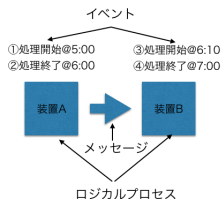
基本概念

基本概念

LogicalProcess イベントを処理する仮想エンティティ。それぞれの LogicalProcess が状態を持つ。

イベント 1つの LogicalProcess で発生し、その LogicalProcess の状態のみ変化させる。

メッセージ イベントが発生した際に、他の LogicalProcess に送信するイベントのこと。



シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

並列処理可能

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

並列処理可能

Q: どんな時に並列に処理しても結果が変わらないか?

A: 各ロジカルプロセスのイベントを処理する順序が並列処理しない場合と変わらなければ OK.

ネットワークモデル

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

ネットワークの定義

node ロジカルプロセス

edge nodeA から nodeB にメッセージを一度でも送る
場合 nodeA から nodeB に枝をはる。

edge's weight これまでにその枝をを通しておくられたメッ
セージの最大時刻。

並列処理可能である十分条件

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悉観的な方法
素観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

アイデア

- 他のロジカルプロセスから送られてくる可能性のあるイベントを処理すべき時刻の最小時刻より，小さければ処理して OK.
- 各ロジカルプロセスからロジカルプロセスへのメッセージ時間が単調増加だと仮定する
- nodeA へ接続している枝の重みが最小の時刻もしくは最小時刻より小さい時刻のイベントは処理して OK

null-message

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悲観的な方法
楽観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

課題

あまりメッセージを送らない場合 edge's weight が更新されず、
並列処理の効率が下がる。

解決方法

null-message(状態を変化させないメッセージ) を送信する。

time-warp 法の動機

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悲観的な方法
楽観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

悲観的な方法の課題

- 悲観的な方法では、確実に安全な場合しか並列処理できない
- null-message を多用した場合、並列処理率は高まるが、オーバーヘッドが増える

time-warp 法のアイデア

time-warp 法では安全でなくてもまず並列に処理し、イベントを処理する順序を間違えていたことがわかった際に rollback する。

rollback

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悲観的な方法
楽観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

rollback するタイミング

届いたメッセージがすでに処理したイベントより前の時刻だったとき.

イベントの作用

- LP の状態を変化させる
- 他の LP にメッセージを送信する

ロールバックの種類

restolation LogicalProces の状態をロールバック

antimessage 他の LogicalProces に送ったメッセージをキャンセル

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

状態を保存

restolation では LogicalProcess を過去の状態に戻れるようにしておく必要がある。そこで、状態を変化させる際には変化前の状態も保存しておく。

antimessage

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

体系的な方法
体系的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

antimessage の作用分類

メッセージ未処理 メッセージを消去する

メッセージ処理済み メッセージを処理した時間までリストア
する

動機

シミュレー
ションの高速
化と精度向上
技術の調査

和田 篤

離散イベント
シミュレー
ション

問題
アルゴリズム

並列処理

悲観的な方法
楽観的な方法

データ同化

三次元データ同化
四次元データ同化

a



Fujimoto, Richard M. "Parallel discrete event simulation." Communications of the ACM 33.10 (1990): 30-53.



Fujimoto, Richard M. Parallel and distributed simulation systems. Vol. 300. New York: Wiley, 2000.



Jefferson, David, and Henry A. Sowizral. "Fast concurrent simulation using the time warp mechanism." (1982).



Chandy, K. Mani, and Jayadev Misra. "Distributed simulation: A case study in design and verification of distributed programs." IEEE Transactions on software engineering 5 (1979): 440-452.