

Title	定性シミュレーションの効率化に関する研究
Author(s)	落合, 紀雄
Citation	
Issue Date	2004-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1788
Rights	
Description	Supervisor: 平石 邦彦, 情報科学研究科, 修士

定性シミュレーションの効率化 に関する研究

落合 紀雄 (110030)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2004 年 2 月 13 日

キーワード: 定性シミュレーション, BDD, モデル検査, CTL.

定性シミュレーションは, システムの定性的振る舞いのみを考慮した解析手法であり, ハイブリッドシステムでシステムに対する不完全な情報しか得られない場合に対して有効なシミュレーション法である. そのシミュレーションの対象として, システムバイオロジーの分野で, 遺伝子発現過程のシミュレーションに応用が期待される. しかし, 定性シミュレーションのアルゴリズムは到達可能な状態の候補を生成し, 定性微分方程式に整合する状態のみを残すという操作の繰り返しであり, 非常に多くの状態を扱う必要がある. 実際, 既存の定性シミュレーションツールである QSIM は扱う変数の数が大きくなると, 生成する状態数が爆発的に増え, シミュレーションを行うことができなくなる. そこで, 既存の離散状態システムに対する効率的解析手法である BDD(Binary Decision Diagram) の利用を検討する.

BDD は論理関数の表現方法の 1 つであり, 真理値表や論理式の積和形表現に比べ, より大きな関数が扱えるため, 効率的に扱える論理関数の範囲を飛躍的に広げたという点で, さまざまな分野に大きな影響を与えている. 例えば, LSI 設計システムの基盤技術においては, 論理関数を計算機上で効率よく表現し, 高速に論理演算を行うことが重要であり, 論理関数のデータ表現に BDD を用いる処理方法は, 記憶効率や計算速度の面で優れており, 盛んに用いられている.

定性シミュレーションは, 到達可能な状態の候補を生成し, 定性微分方程式に定義された変数間の満たすべき制約条件を次々に適用していくことにより, 到達可能な状態を求める操作の繰り返しである. 言い換えれば, 到達可能な状態はすべての制約条件を満たす到達可能な状態の候補であるといえる. そこで, 定性シミュレーションを BDD で表現することにより, 定性シミュレーションの効率化を図ることを試みる. 各制約条件それぞれについて成り立つ状態を求める操作は, BDD で表現された各制約条件について論理積をとり, その BDD を満たすものを求める操作に相当する. つまり, BDD でコーディングすることにより, 次状態の候補から次状態を求める操作が 1 回の論理演算で終わることになる.

ところで, BDD を用いた定性シミュレーション法では, 到達可能な状態集合は計算できてもどのような経路を通して到達可能状態に到達したのか判別できない. そこで, 経路に依存した性質が成り立つか判定するためにモデルチェックingの手法を適用する.

CTL (Computational Tree Logic) は時相論理の一種である. 時相論理とは命題の真偽値が時間的に変化する論理体系であり, 有限状態機械の満たすべき仕様を記述するのに適している. 定性シミュレーションは初期状態から遷移可能な状態へ次々と状態が遷移していく点において, 有限状態機械と見なすことができる. そこで, 定性シミュレーションにおいて時相論理式で記述されるような性質の検証を行うため, CTL を用いた検証手法である CTL model checking を行う.

本研究では, BDD を用いて定性シミュレーションの実装を行い, 従来のアルゴリズムに基づき Java で実装された定性シミュレータである JQSIM との計算時間とメモリ効率に関する比較実験を行った. 実験にはバスタブを多数連結したモデルを使用した. バスタブ 4 連モデルにおいて, JQSIM は到達可能状態を出力するのに 129 時間ほどで実行不能となったが, BDD を用いた定性シミュレーションでは, わずか 0 秒 83 で到達可能状態を表す BDD を出力し, バスタブ 10 連モデルについてでさえ 20 秒ほどの時間で実行を終えた. また, 記憶効率に関しては, バスタブ 3 連モデルにおいて, JQSIM では最終的に到達可能状態数を 84004 求めたが, BDD を用いた定性シミュレーション法では BDD size が 273 であり, バスタブ 10 連モデルにおいてでさえも 1743 にしかならなかった.

また, 記号モデルチェックingにより, 経路に依存する性質を調べることが可能になった. 以上の結果から, BDD を適用することにより定性シミュレーションの効率的な実行が図られたといえる.

参考文献

- [1] B.Kuipers:Qualitative Reasoning - Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge, The MIT Press(1994).
- [2] Akers, SS. B. : Binary Dicision Diagrams, IEEE Trans. Comput., pp.509-516 (1978).
- [3] Bryant, R. E. : Graph-Based Algorithms for Boolean Function Manipulation, IEEE Trans. Comput.,pp.677-691(1986).
- [4] Edmund M. Clarke, Jr., Orna Grumberg, and Doron A. Peled : Model Checking, The MIT Press(1999)
- [5] 石浦 菜岐佐 : BDD とは, 情報処理, Vol.34 No. 5, pp. 585-592(1993).
- [6] 湊 真一: 計算機上での BDD の処理技法, 情報処理, Vol.34 No. 5, pp. 593-599(1993).
- [7] 平石 裕実、浜口 清治 : 論理関数処理に基づく形式的検証手法, 情報処理, Vol 35 No. 8, pp. 710-718(1994).

- [8] 淵 一博 監修 溝口文雄、古川康一、安西祐一郎、共編 “定性推論”, 共立出版株式会社,1989
- [9] 北野 宏明 編 : “システムバイオロジーの展開”, シュプリンガー・フェアラーク東京 (2001)