

|              |                                                                                 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | ハイブリッドシステムの定性的解析について                                                            |
| Author(s)    | 野村, 彰典                                                                          |
| Citation     |                                                                                 |
| Issue Date   | 2003-03                                                                         |
| Type         | Thesis or Dissertation                                                          |
| Text version | author                                                                          |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/1652">http://hdl.handle.net/10119/1652</a> |
| Rights       |                                                                                 |
| Description  | Supervisor:平石 邦彦, 情報科学研究科, 修士                                                   |

# ハイブリッドシステムの定性的解析について

野村 彰典 (110102)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2003 年 2 月 14 日

キーワード: ハイブリッドシステム, 定性的解析, 定性シミュレーション, 到達可能性, システム検証.

ハイブリッドシステムとは, 連続的, および, 離散的状態遷移の両方を持ったシステムである. 分散システムや組み込みシステムの解析や設計に有効であり, 多くのアプリケーションに対する数学的モデルとして使われている. その例としては, 自動運転道路システム (AHS), 航空交通管理システム, 生産システム, 化学過程, ロボット工学, リアルタイム通信ネットワーク, そして, リアルタイム回路などがあり, 制御理論や理論計算機科学の分野において非常に多くの研究がなされている.

ハイブリッドシステムの解析に関する研究の 1 つとして, 与えられた仕様, たとえば, 状態空間の安全でない領域を避けるといった仕様をシステムが満たしているか等, の検証がある.

ハイブリッドシステムに対して計算機科学やアルゴリズム理論からのアプローチにより, 厳密な解析を行うための手法の研究が行われているが, システムの複雑さを理由として多くの困難な問題を含む. ハイブリッドシステムの解析の困難さに関する理論的解析と, それに対する解決のアプローチとして以下のような研究が行われてきた. 一つ目は, 無限の連続状態を扱う困難さである. この困難さに対して双模倣性 (bisimulation) による離散化によって解決できる場合もあるが, 適用できるクラスに制限がある. 次に比較的単純なクラスでも決定不能問題が発生することである. この困難さには離散あるいは連続の状態遷移の制限を与えることにより解決できるがこれも扱えるクラスが限定されている. そしてパラメータの微少な変動により振る舞いが大きく変わるという困難さなどがある.

ハイブリッドシステムの検証において, 中心的な問題に到達可能性問題がある. 限定されたクラスに対しては到達可能性問題は決定可能であるが一般的には決定不能であることが分かっている. また, 一般のハイブリッドシステムの検証ツールとして, KRONOS, COSPAL, UPAAL, そして, HYTECH などがあり, これらのツールは semi-decision algorithm が実装されており, 決定不能な場合は, 停止性は保証されていない.

ハイブリッドシステムの応用例として, 最近, 遺伝子ネットワークのような大規模ハイブリッドシステムの表現と解析の研究が行われ始めた. このようなシステムはパラメータ

の正確な値が分からない一方、そのシステムに対して得たい情報は定性的なもので十分である場合が多い。

また、定性的解析は、定性的なモデル、すなわち、ハイブリッドシステムの変化率などがパラメータであるようなモデルが与えられたとき、パラメータの実際にどのような実数値を入れるとモデルが意図する振る舞いをするか、というパラメータの値を決める問題、すなわち、パラメータ設計問題への応用に期待できる。

従来研究において、ハイブリッドシステムと同様な対象を扱いながら系の定性的な振る舞いのみを考慮した解析手法として定性シミュレーションがある。定性シミュレーションの代表的なツールとして、Benjamin Kuiper らが開発した QSIM がある。QSIM では、モデルの情報から起こり得るすべての振る舞いを導くことが保証されている。しかし一方で、与えた定性モデルのパラメータにどんな実数値を代入しても起こり得ない振る舞いも導き出してしまう近似的なシミュレーション方法であることも分かっている。また、変数を複数もつモデルにおいては、異なる変数間の大小関係を一切みることなくシミュレーションする。

本研究では、不完全情報を持つハイブリッドシステムの定性シミュレーションの新しい方法としてパラメータの大小関係を導入した記号シミュレーションを提案する。記号シミュレーションは変化率が定数で記述されるような線形ハイブリッドシステムを対象とし、システムの振る舞いを導くことが主な目的である。記号シミュレーションでは、遷移の条件に変数と大小比較するために書かれているパラメータ（境界値という）や変化率のパラメータに大小関係を導入するので、それらの大小関係から境界値同士の差の大小関係や境界値の差と変化率の比の大小関係を推論することができる。その推論により求められた情報により従来の定性シミュレーションより詳細なシミュレーションが可能になる。

しかしながら、境界値の差と変化率の比の大小関係まで調べても、一般に線形ハイブリッドシステムに対する到達可能性は判定できない。つまり、記号シミュレーションも QSIM のような近似的なシミュレーション方法の一つになる。ただし、ハイブリッドシステムのグラフにループを含まないような場合や、特別なクラスに対しては到達可能性が判定できる。