

定量データを利用した定性シミュレーション手法

2F-6

秋吉 政徳 西田 正吾

三菱電機 (株) 中央研究所

1. はじめに

定性推論の研究における目的の一つとして、物理システムの挙動に内在する因果を推論することが挙げられる。従来から定性モデルをもとにして定性的挙動を推論し、その推論過程から因果を導出する研究が行われてきた^[1]。しかし、推論過程において複数の定性的挙動が導出されるために、大規模の系への適用はあまりなされていない。

本報告では、大規模な系の挙動に内在する因果の導出を目的に、定性的挙動の推論過程に定量データを組み入れることを試みる。提案する定性シミュレーション手法は、定量データから定性データの集合と解釈のための概念的時間を生成し、その概念的時間をもとにして因果を導出する。

2. 定量データから生成するデータ

定性シミュレーションを実行するための前処理として、定量データから次のデータを生成する。

2.1 定性データ

一般に定量データをトレンド・グラフとして表示すると、その増減の状態からいくつかの特徴点を定義することができる。もちろん、その特徴点は一意的ではないが、われわれはデフォルトとして次のような2種類の特徴点を定義する。

- (1) 定常状態の時点、(2) 増減の変化する時点

この定義をもとに導出される定性データは、時間 t_i から t_{i+1} まではある一定の傾向を示しているデータ(増加中の状態など)と考えられる。例えば、図1に示すように、定量データに対する特徴点から定性データが生成される。これらの定性データは、 $\langle Qd_i | (v_m, v_n) (t_i, t_{i+1}) \rangle v_m$; 定量値として管理される。

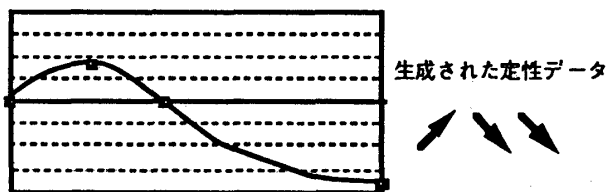


図1 定性データの例

2.2 解釈のための概念的時間

変数の状態遷移に伴う時間の管理を考察した研究として[2]があるが、ここで定義する時間は次の様に、より具体的に定性データから生成する。トレンド・グラフ上で生成した定性データには、変数の変化量とともに時区間が対応している。全ての変数に関してこの時区間を一つの時間軸上でマージすると、絶対時間軸上に新たに時区間を生成することができる。例えば図2は、2変数の定性データから生成した時間 T_j を示している。

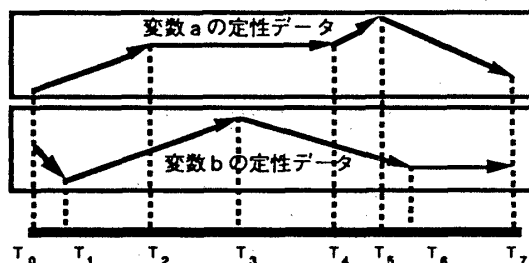


図2 概念的時間

この作成した時区間を「解釈のための概念的時間」と呼ぶ。また、挙動に内在する因果の導出とは、この概念的時間にそくした定性データ間の因果関係と考える。

3. 制約データに基づく定性シミュレーション

3.1 定性モデルの記述

定性モデルには、定性変数の表現とその変数間の影響依存関係を記述する。定性変数としては、定性値と1階の定性微分値をもとにその状態を表現する。定性値を表す軸上には、例えば周辺機器の作動する値(定量値)なども境界値として記号表現する。定性微分値は、「増加」「定常」「減少」の記号を用いる。また影響依存関係は、2変数間に考えられる影響を、それぞれルール表現する。例えば、「原子力プラントにおいて加圧器内部のヒータの作動によって、内部の圧力が上昇を始める」というのを「ヒータの熱量を表すパラメータの定性値が <通常より高> ならば、加圧器の圧力の定性微分値が <増加> になる」という表現を行なう。

このように、定性モデルは定性変数間の影響依存関係を部分的に(2変数間)表現したものであり、挙動の定量データとは無関係に構築する。影響の種類としては、次の3種類を用意する。

(a) Value type

現在の定性値が不連続に変化して、ある値に変化する影響

(b) Derivative type

現在の定性微分値が、ある値に変化する影響

(c) Mixed type

(a) と (b) の混合

3. 2 定性シミュレーション

定性シミュレーションは、定性変数間でそれぞれの定性状態に対応した影響依存関係を伝播し、定性変数の状態を変更しながら概念的時間を進める。つまり、シミュレーションの実行には、

- (1)概念的時間の進行 と
 - (2)定性変数の状態遷移の決定
- の二つの側面がある。

(1)概念的時間の進行

定量データから生成した概念的時間は、次のように移行変わる。

$$T_0 \Rightarrow (T_0, T_1) \Rightarrow T_1 \Rightarrow (T_1, T_2) \dots$$

T_i ; i 番目の概念的時間

ここで、それぞれの時区間で定性変数の状態が、あらかじめ作成された定性データの制約を満足している場合には、その時区間で因果は全て導出されたと考え、概念的時間を進める。

(2)定性変数の状態遷移の決定

ある影響関係を伝播された定性変数における処理は次のように行なう。

- Step1 影響に記述された内容に従って状態遷移可能候補を求める。
- Step2 定性データの制約を満足する場合には、その定性状態を書き換える。

もちろん複数の影響が伝播されても、この方法ではそれぞれの影響を調べることによって、最終的に状態遷移を決定することができる。ここでStep1における状態遷移可能候補は、従来の定性推論 [3] で用いられているものに若干変更をくわえたTransition Tableをもとに求める。

以上の(1)と(2)をまとめた流れが、図3である。なお、定性状態が書き換えられた変数は、その時区間で状態が同定されたとしてJustifiedというマークを付ける。また、その時の影響依存関係を因果として記録する。

ただし、図3に示したように影響依存関係を伝播しても定性変数の状態に定性データの制約を満足しない場合が発生する。このことは、定性モデルに表現された影響依存関係の記述に、不十分なものがあることから発生する。

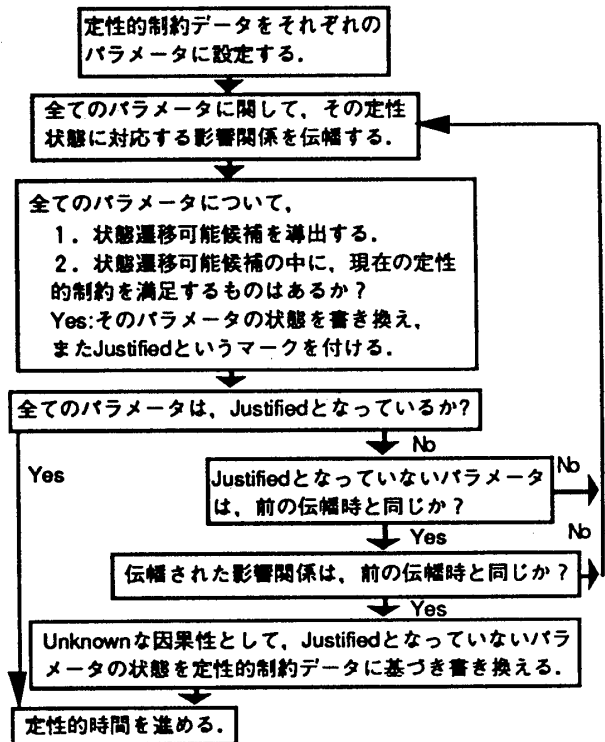


図3 定性シミュレーションの実行の流れ

3. 3 導出できない因果性の処理

本シミュレーション手法を用いて、原子力プラントのある現象に対する因果を導出した。その時に図3に示すUnknownな因果性が発生する場合に対して、定性データと定性モデルのそれぞれに対して以下の処理を考える。

- (1) 定量データの特徴点を変更することで、定性的視点を変え、またそれに伴う概念的時間を変更する。
- (2) 定性モデルに表現された影響依存関係に、新たな関係を付加することで、定性モデルを修正する。

これらの処理は、本シミュレーション手法の中に容易に組み込むことができる。

4. まとめ

大規模な物理システムの挙動に内在する因果を導出するために、定量データを利用した定性シミュレーション手法について提案した。本手法は、現在LispとFlavorsを用いて大部分が実現されており、今後は定性モデル中の影響依存関係の記述機能を強化していく予定である。

参考文献

- [1] J. de Kleer, "How Circuits Work", AI, vol.24, pp.205-280 (1984)
- [2] B. C. Williams, "Doing Time: Putting Qualitative Reasoning on Firmer Ground", Proc. of AAAI-86, pp.105-112 (1986)
- [3] B. Kuipers, "Qualitative Simulation", AI, vol.29, pp.289-338 (1986)