

変化速度に基づく階層化を用いた 時間に関する定性推論の制御方式

新庄 広 大木 優 大平 榮二 阿部 正博

(株)日立製作所中央研究所

1. はじめに

経験的な浅い知識ではなく、深い知識を使った問題解決方式として定性推論が提唱されている[2]。しかし、定性推論では、量を定性的に量子化して取り扱うため正確な値の情報が欠落し、挙動の推論が曖昧になるという問題がある。

本報告では、変数を変化速度に基づいて階層化することにより推論を制御して、定性推論で発生する時間の曖昧さを減少させる方式について述べる。

2. 定性推論における時間の曖昧さ

定性推論では、各変数について変数が次状態に取り得る値の候補(ランドマーク)を求め、その候補の中で、実際に変化可能な変数をその値に変化させることにより次状態を決める。

時間の曖昧さとは、変化している変数が複数あるとき、次に遷移可能な状態が幾通りも考えられるというものである。これは、量を定性的に取扱うため、各変数が次状態に遷移するまでの正確な時間を求められず、各変数の状態変化の時間的な順序を一意に決定できないことによる。

3. 推論の制御

本方式で推論の対象とするのは、複数の変数が変化しているが、各変数の変化の速さに大きな違いがあるような系である。すなわち、速い変数の変化が必ず先に起こり、その後遅い変数の変化が起こるような系である。

このような系に対して時間の曖昧さを解消するには、あらかじめ推論を始める前に、全ての変数を変化の速さに基づいて階層化すればよい。階層化には経験的な知識を用いる。この変数の階層を用いて、状態を変化させる変数の階層を変えながら、速い変化と遅い変化の処理を分けて行ない、時間の曖昧さを減らすことができる。

関連した研究としては、Kuipers の方式[1]がある。しかし、この方式は速い変化と遅い変化の間に単調増加(減少)の関係を仮定しており、周期的な変化を取扱うことができない。また、田中の方式[3]も周期的な変化を取扱うことができない。

これに対し、本報告では単調な変化だけでなく、周期的な変化も推論できる方式を提案する。

4. 実現方式

本方式では、速い変数の変化を優先的に行ない、遅い変数を一回変化させると、再び速い変数の処理に戻る。具体的な処理は以下のとおりである。

- (1) 速い階層の変数が変化していれば、その変数の値をランドマークへ変化させる。
- (2) 速い階層の変数を変化させた結果、以前に推論した状態と同じ状態になれば、繰返しの状態になったとみなす。
 - (2-1) 速い階層の変数の全てが変化していなければ、この繰返し状態が無限に続くものとみなして推論を中止する。
 - (2-2) 速い階層の変数のうち変化しているものがあれば、その変数を変化させて処理を続行する。
- (3) 再び(1)に戻って、速い階層の変数から限界解析を行なう。
- (4) (1)から(3)の処理を繰返して速い階層の変数から変化させた結果、以前に推論した状態と同じ状態になれば、さらに遅い階層で変化している変数がないか調べ、(2)と同様にして、以降の処理を決める。
- (5) (1)から(4)を繰返して、全ての階層の変数を変化させても以前に推論した状態と同じ状態になれば、推論を終了する。

5. 実行結果

5.1 問題設定

例題として、エンジンのガソリンの消耗とピストンの往復運動の関係のような問題を想定する。今回は問題を単純化するためピストンの往復運動を単振動とし、ガソリンが存在するときに単振動の方程式が成り立つものとする。単振動を表わすものとしては、次の2つを用いる。

Control of Qualitative Reasoning for Temporal Ambiguity
Based on Scale Abstraction Hierarchy
Hirosaki Shinjo, Masaru Ohki, Eiji Oohira, Masahiro Abe
Central Research Laboratory, Hitachi Ltd.

$$x = -ka \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = a$$

ただし、 x : 変位, v : 速度, a : 加速度, k : 定数

式(1)はガソリンが存在するときのみ成り立ち、式(2)はガソリンが無くなった後でも成り立つものとする。
一方、ガソリンの減少については次のように定義する。

$$\frac{dG}{dt} < 0 \quad (3)$$

ただし、 G : 量

また、ガソリンがなくなったときにピストンが止まるようなルールも加えておく。
なお、初期値として、

$$x=10, \quad v=0, \quad G=10$$

と設定する。

5.2 結果

本方式の特徴をより明確示すために、現実とは異なるが、ピストンを止めるルールを除いて推論を行なった結果を表1に示す。

表1において、0, +, - 及び括弧でくくられていない数字は、変数の定性値もしくはは定値を表わす。矢印は変数の変化状態を示しており、↑は増加中、↓は減少中であることを表わす。これは、その変数の微分値が正であるか負であるかを表わすものである。微分値が具体的に分かっている場合には、その数を括弧内に示している。状態遷移の標は、変数がその定性値を持つ状態が瞬間的なもの(instant)か瞬間的でないもの(interval)かを示す。

ピストンを止めるルールがない場合は、11番目の状態が3番目の状態と一致しており、12番目以降の状態は、遅い変数であるガソリンの解析を1回行なった後、再び速い変数であるピストンの運動に関する変数の解析に戻っている。その結果、12番目以降では式(2)しか成り立たなくなるため、14番目の状態でこれ以上ランダムが見つからず状態変化が起こらないという解釈をして推論を終了している。

ピストンを止めるルールがある場合は、11番目の状態で3番目の状態と一致した後、12番目の状態以降では、ガソリンの量が0になり、ピストンが止まって終わる。

6. 検討

本方式では、遅い階層の変数を一回変化させるたびに、速い階層の変化に戻る機能

を持たせたため、周期的な変化も扱うことができた。本方式は、基本的には変数の変化を表わす関数の形式に依存しない。ただし、量を(-, 0, +)で量子化しているため、周期的な運動において、振動が定常的なものか、減衰振動か、発散しているのかの区別はつかない。しかし、この問題は状態内解析で量の取扱いを改善することにより解決できる。

7. おわりに

本報告では、変数を変化の速さに応じて階層化し、変数を変化させる階層を制御することによって定性推論における時間の曖昧さを減少させる方式を提案した。

本手法では、変数の変化が単調に増加または減少するものだけでなく、周期的な運動等についても扱うことができた。

なお、本研究は新世代コンピュータ技術開発機構(I C O T)からの委託により行なったものである。

謝辞

本研究を進めるにあたって貴重なご意見をいただいた、京都大学工学部情報工学教室の西田豊明助教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Kuipers, B.J.: Abstraction by Time-Scale in Qualitative Simulation, In Proceedings AAAI-87, pp.621-625, American Association for Artificial Intelligence (1987).
- [2] 大木 優, 藤井裕一, 古川康一: 物理法則に基づいた定性推論, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.7, pp.694-702 (1988).
- [3] 津本, 田中: 定性推論の階層化, 昭和62年度人工知能学会全国大会論文集, pp.53-56, 人工知能学会 (1987).

表1 推論結果

状態	x	v	a	状態遷移
1	—	0 ↓ (-10)	—	instant
2	10 ↓	- ↓ (-10)	-10 ↑	instant
3	+ ↓	- ↓	- ↑	interval
4	0 ↓	—	0 ↑	instant
5	- ↓	- ↑	+ ↑	interval
6	—	0 ↑	—	instant
7	- ↑	+ ↑	+ ↓	interval
8	0 ↑	—	0 ↓	instant
9	+ ↓	+ ↓	- ↓	interval
10	—	0 ↓	—	instant
11	+ ↓	- ↓	- ↑	interval
12	+ ↓	- ↓	—	interval
13	0 ↓	- ↓	—	instant
14	- ↓	- ↓	—	nolandmark

数値および -, 0, + は変数の値を示す
矢印は変化の方向 (増加, 減少) を示す
カッコ内の数値は変化率を示す