

# ヒューリスティックスと動的なルール生成を用いた定性推論の効率化方式

6C-4

秋藤 俊介 辻 洋

(株) 日立製作所 システム開発研究所

## 1. はじめに

大規模な系の挙動解析に定性推論を適用するには(1)状態数爆発の回避と(2)推論の高速化が必要である。本稿では、ヒューリスティックスを用いた定性伝播ルールを用いることで(1)を解決し、そのルールを動的に生成することによって(2)を解決することを提案する。

## 2. 収支分析

本稿では、金融機関などにおける取引先の収支分析を取り上げ、与えた定量的なモデル式(図1)を解釈して定性的な解を求める推論について考察する。つまり、「貸出収益率を上げるにはどうすればよいか」というような、ある変数の定性的な微分値を入力し、与えたモデル式を満足する他の変数の定性微分値の組を求める。

考える定性値は、{[+], 0, [-]}の3種類とする。この定性微分変数の値を推定することを定性推論では伝播解析という。一般に定性推論では、伝播解析によって得た定性微分値を現在状態の定性変数に加算し、設定する条件を満足しない状態を刈り込む予測解析も行うが、今回は伝播解析のみを扱う。

## 3. ヒューリスティックスを使った状態数の抑制

単純に全ての定性微分変数の値を生成し、他の定性微分方程式(計算式を定性微分したもの)や制約条件を満足しない値の組を消去する生成-評価の方法では、状態数爆発がおきる。これは、定量的な推論では状態を一意に決定できる場合においても定性的な推論ではあいまい性があるため複数の仮説になるからである。一方、定性推論のシステムに望ましい性質の1つとして、「系の振舞が漏れなく捉えられる」という完全性があるが、完全性を保ちつつ状態数の爆発が生じないようにすることは困難である。

Kuipers<sup>1</sup>は、変化の速い系と遅い系が混在する場合に変化速度によって系の記述を階層化する方法を提案した。この階層化は、完全ではないが重要な情報の欠落を最小限にでき、定性推論の対象となる変数の数を少なくできる。しかし、今回対象とする収支分析では、変化が速い系、遅い系の区別がないので、この方法では状態数爆発の問題を解決できない。

de Kleer<sup>2</sup>の定性推論では(1)コンポーネント、(2)導管、(3)合流という3つのヒューリスティックスを使用し、定性値を盲目的に伝播することを防いでいる。しかし、de Kleerらのヒューリスティックスは、圧力レギュレータや電気回路に限定される。

$$\text{貸金残高} = \text{商業手形残高} + \text{証書貸付残高} + \text{手形貸付残高} \quad (\text{式1})$$

$$\text{貸金収入} = \text{商業手形レート} \times \text{商業手形残高} + \text{証書貸付レート} \times \text{証書貸付残高} + \text{手形貸付レート} \times \text{手形貸付残高} \quad (\text{式2})$$

$$\text{預金残高} = \text{普通預金残高} + \text{積立預金残高} + \text{通知預金残高} + \text{当座預金残高} \quad (\text{式3})$$

$$\text{預金支払} = \text{普通預金レート} \times \text{普通預金残高} + \text{積立預金レート} \times \text{積立預金残高} + \text{通知預金レート} \times \text{通知預金残高} + \text{当座預金レート} \times \text{当座預金残高} \quad (\text{式4})$$

$$\text{歩留率} = \frac{\text{預金残高}}{\text{貸金残高}} \times 100 \quad (\text{式5})$$

$$\begin{aligned} \text{粗利益} = & \text{貸金収入} - \frac{\text{純預金コスト率}}{100} \times (\text{貸金残高} - \text{預金残高}) \\ & - (\text{預金支払} + \frac{\text{預金経費率}}{100} \times \text{預金残高}) \end{aligned} \quad (\text{式6})$$

$$\text{収益率} = \frac{\text{粗利益}}{\text{貸金残高}} \times 100 \quad (\text{式7})$$

第1図 モデル式

我々は、収支分析で用いる変数は変化しやすさが異なることと、式の記述形式に意味があることに注目し、定性微分変数の変化しやすさ程度を表わすCD(Changeability Degree)を導入し、次のヒューリスティックスを設定した。

- H1 左辺が唯一の変数でかつ値が不明なとき、定性値を左辺の変数に伝播する。
- H2 値が不明な変数がある場合、CDが最大の変数に値を伝播する。
- H3 値が不明な変数が複数個あるときには伝播対象を除く変数を0と仮定し計算を行なう。

H1は等号を挟んで左辺と右辺に変数を分けるということは、右辺の値を計算して左辺の値を決定する、または左辺の値を満足するように右辺の値を変えようという意図があると考えた。収支分析の変数は容易に値を変えて良いものと最後まで変化して欲しくないものがあり、H2はCDを設定することによりこれを実現できる。H1とH2は、伝播する変数を意図的に制限することにより完全性を許容できる範囲で犠牲にして状態数爆発を防止できる。H3はde Kleerの合流ヒューリスティックスの表現を変えたものとみることができる。

Qualitative Reasoning

using Heuristics and Dynamic Rule Generation

Shunsuke AKIFUJI, Hiroshi TSUJI

HITACHI, Ltd.

#### 4. 動的な定性伝播ルールの生成

定性的な知識の内部表現法として、定量方程式、ルール、両者の中間型(Kuipers<sup>1</sup>やde Kleer<sup>2</sup>)の3種が考えられる。我々は、定性推論の速度を向上するために定量的な計算式をIF-THEN型の定性伝播ルールに変換し推論時に解釈を行わない方法を採用した。この方法ではルール生成のタイミングに、(1)定性推論を行う前にルールを生成する静的な生成、(2)定性推論の途中で必要に応じてルールを生成する動的な生成、の2手法が考えられる。静的な生成は、適当な技法を用いれば推論速度を速くできるが、ルール生成時には問題が不明なので、どんな問題にも対応できるように網羅的にルールを生成する必要がある。動的な生成は、入力した問題だけを解決するルールのみを生成するので、ルール数を少なくできるが、推論とルール生成が同時に行われるので、推論効率が下がる。

#### 5. 実験と評価

##### 5.1 ヒューリスティックスの評価

###### (1) 状態数の抑制

まず、(式2)を定性微分した式を例にしてH3を使って状態を生成する方法と単純な生成-評価方法とを比較する。変数の値域を定性変数は{[+],0}定性微分変数は{[+],[−]}であるとする。

いま $\partial$ (貸金収入)=[+]が分かっている他の変数の値が不明のとき、生成-評価の方法では、生成する変数の組合せは4096、式を満足する組合せは2016になる。

H3を使った場合、生成する変数の組は6組で約1/300になっている。生成した組は初めから式を満足しているので検証の必要がない。

H1とH2はユーザの意図した範囲内で伝播する定性微分変数の数を減らしているの、さらに状態数を抑制する。

###### (2) 推論の完全性

上の例でH3で生成する6組の変数の組はそれぞれ定性変数と定性微分変数が1つずつ[+]であり、他の変数については何も情報がない。しかし、変数の値が決まっていない状態は、それらの変数の全ての組合せを暗に含んでいると見ることができる。このように考えるとヒューリスティックスによって生成される6組は定性微分方程式を満足する組合せ2016組と等しく、完全性が失われていない。H1とH2は、前述のように完全性は失われている。

##### 5.2 動的な知識生成の実験と結果

$\partial$ (貸出収益率)=[+]だけを与えたとき他の定性微分変数の値を求める問題について、動的なルール生成を行う方法と定量方程式を直接使用する方法の実行時間を計測した。実験プログラムは日立クリエティブワークステーション2050(16ビット)上にPROLOGで記述した。定性推論はプロダクションシステムで実現し、作業記憶にある状態にマッチするルールを全て実行するようにした。測定結果を表1に示す。1つのルール生成に要する時間の平均は7.6s、1回の推論に要する時間は80x(ルール数)msであった。

表1 測定結果

	生成した ルール数	ルール 生成時間	定性推論 時間	推論時間 の合計
ルールを用いた 推論(静的生成)	約2600	約270分	約90分	約360分
ルールを用いた 推論(動的生成)	32	242秒	49秒	291秒
定量方程式を 用いた推論	—	—	310秒	310秒

与えた問題を推論する場合、必要なルールは表1から32であるが、ルールを静的に生成する方法は、全てのルール約2600を生成する。このとき、ルール生成時間は約270分になり時間が大幅に増加する。

いくつかの問題で同様の測定を行なった。表1では、ルールを動的に生成する方法の合計時間は定量方程式を直接使用する方法の94%であるが、約1/4の時間となる例もあった。

#### 6. おわりに

定性推論の効率化のために新しいヒューリスティックスを設け、ルール生成と定性推論を分離することを提案し有効性を示した。

#### 参考文献

- [1] Kuipers, B.: Commonsense Reasoning about Causality: Deriving Behavior from Structure, Qualitative Reasoning about Physical Systems (Bobrow, D.G. ed.), pp.169-203, MIT Press(1985).
- [2] de Kleer, J. and Brown, J.S.: A Qualitative Physics Based on Confluences, Qualitative Reasoning about Physical Systems (Bobrow, D.G. ed.), pp.7-83, MIT Press(1985).
- [3] de Kleer, J.: Extending the ATMS, Artificial Intelligence Vol.28, pp.163-196, Elsevier Science Publishers B.V.(1986).