

4F-3

階層的定性シミュレーションによる
因果ネットワークの生成

上野 博之 大和田 勇人 溝口 文雄
(東京理科大学 理工学部)

1. はじめに

一般に、定性シミュレーションは、対象系の定性モデルからその挙動を予測することができるため、“What-if型”の推論を行なうことができ、異常状態(疾患仮説など)に対応する初期条件を入力することによって、異常状態の挙動を正常なモデルのみから導入することを可能にする。

本論文では、仮説間階層関係に沿った階層的な定性シミュレーションを行なうことによって、異なる詳細レベルからなる因果ネットワークを生成する方法について述べる。この方法は、正常状態を表わす定性モデルさえ与えれば、知識ベースが構築されることから、一種の知識獲得支援として使用することができる。なお、使用した言語はPSI上のESPである。

2. 階層的定性シミュレーションによる

因果ネットワーク生成

階層的定性シミュレーションとは、対象とする分野仮説において階層化された構造に対応するように、定性モデルを細分化し、各々の階層で行なわれたシミュレーションの結果を自動的に解釈する枠組みである。[2]従来、同じレベルで行なわれていた系を表すパラメータ間の制約処理を階層化することによって、モデルが大きくなったとき、その挙動に生じるあいまい性を抑えることが可能になる他、下位に行くほどより特化されることによって、その因果関係を詳細に知ることができるようになる。階層的定性シミュレーションと因果ネットワークの関係を図1に示す。

ここでは、より詳細な因果関係を得るための具体例として、緑内障診断を対象としてその因果ネットワークの生成を試みている。表1は、緑内障の原因となる眼圧上昇に関わる系のパラメータとこれら間に成り立つ制約関係を記している。これらの関係は、数学的に加算、乗算、微分と入った関係の他に定性値を扱うところから、単調増加関係(M+)や単調減少関係(M-)といった制約によって表現されている。このモデルをQR/ESPを用いてシミュレーションを行なう。QR/ESPは、疾患仮説に対応する異常状態を示す初期条件を与えることによって、定性シミュレーションを行なう。そして、その結果を基に疾患仮説と初期条件間における因果関係を抽出、ルール化する手順をとっている。以下にその詳細を述べる。

表1 眼圧調節モデルにおける制約とパラメータの意味

【制約】

$$F_o = (P - P_e) / R_a, \quad M - (F_o, C_a),$$

$$Q_1 = C_a * (P_a - P), \quad M + (D_v, D_P),$$

$$F_i = R_p * Q_1, \quad \text{deriv}(P, D_P),$$

$$D_v = F_i - F_o;$$

【パラメータ】

P : 眼圧, P_a : 眼動脈圧, C_a : 眼動脈血流入率,
Q₁ : 毛様体への血流量, R_p : 房水産生率,
F_i : 房水流入量, F_o : 房水流出量,
R_a : 房水流出抵抗, P_e : 上強膜静脈圧,
D_v : 房水変化量, D_P : 眼圧変化量;

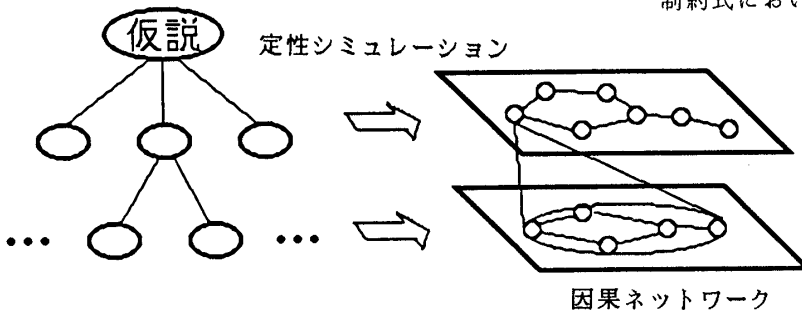


図1 階層的定性シミュレーションと因果ネットワークの関係

制約式においては、定数として与えられているパラメータを起点として、(P - P_e)とR_aからF_oを、この単調減少関係からC_aを、ここから(P_a - P)との関係からQ₁を、これとR_pからF_iを、そして先ほど具体化したF_oとの関係からD_vを、さらにその単調増加関係から、D_Pを求めて、当初のPに対する制約が与えられ、その伝播が果たされている。

因果ネットワークの生成は、各階層における定性シミュレーションの実行によって行なわれる。すなわち、モデルにおいて注目すべきパラメータの初期状態と最終状態を参照して、それらの間の①単調増加関係、②単調減少関係によって制約伝播に沿ったネットワークを抽出する。ここで各パラメータにおける増加、減少といった大小関係は、各々の持つ正常値に対するものである。具体的には、異常状態についてのシミュレーションにおいて、まず、その入出力に関するパラメータ、つまり、ここでは外乱と通常眼圧に注目する。例えば、表1のモデルにおいて隅角閉塞による房水の流出抵抗 (R_a) の異常によるシミュレーションを考えると、この外乱によって引き起こされる変動は、先に示した制約伝播にならって、まず眼圧 (P) と上強膜静脈圧 (P_e) の圧力差との関係から、房水流出量 (F_o) の減少が起こる。次にその比例関係から眼動脈血流出率 (C_a) の増加が引き起こされ、以下、これと眼動脈圧 (P_a) と P との圧力差から、毛様体への血流量 (Q_1) の増加が、房水の産生率 (R_p) から房水流入量 (F_i) の増加が、という具合にその因果ネットワークを生成し、最終的に眼圧が上昇するという結論を得る。

そして、さらにその詳細な原因を追求するため、 R_a の異常を引き起こす関係を示した、下位仮説に対応した定性モデルについて、同様に定性シミュレーションを行なって、より詳細な因果ネットワークを生成していく。この下位の定性モデルの詳細については、文献[2]を参照されたい。

3. 実行例

ここでは、実際の適用について記す。代表的な例として、続発閉塞隅角緑内障の実験結果を表3に示す。また、前節における例に関する出力例を図2に示す。

4. CASNETとの比較

本方法で生成した因果ネットワークとCASNETのそれとの相違は以下のようなものである。

- ・続発隅角緑内障に関する定性モデルが詳細であるため、CASNETの因果ネットワークより細かなものが生成された。
- ・粗い定性モデルから生成されたネットワークは、CASNETのものとはほぼ同様であった。
- ・CASNETでは、病理状態に急性・慢性の区別があるのに対し、

ここで生成したネットワークにはそれがない。これは定性シミュレーションがタイムスケール、間けつ性といった概念を表現できないために生じたものである。

表3 実験結果

疾患仮説	ノード	リンク
(上位仮説)		
閉塞隅角緑内障	8	7
(下位仮説)		
虹彩前癒着による続発閉塞隅角緑内障	4	3
瞳孔ブロックによる続発閉塞隅角緑内障	6	5
水晶体脱臼による続発閉塞隅角緑内障	4	3

5. おわりに

本論文では、階層的な定性シミュレーションを行なうことによって、仮説間の因果ネットワークを生成する方法について述べた。我々はルール生成法の別の枠組みをすでに[2]で示したが、本稿の方法は、[2]の発展型となっている。

参考文献

- [1] 大和田, 溝口, 北沢: "定性的シミュレーションに基づく診断システムの構築法", 人工知能学会誌, Vol. 3, No. 5, p. 87-96 (1988)
- [2] 大和田, 溝口: "階層的定性シミュレーションとその医療診断への応用", 第38回情報処理学会全国大会予稿集 (1989)

因果ネットワーク
下位仮説'閉塞隅角緑内障'に関する因果ネットワークの生成... 房水流出抵抗が大 ($val(R_a) > normal(R_a)$) ⇒ 房水流出量が小 ($val(F_o) < normal(F_o)$) ⇒ 眼動脈血流入率が大 ($val(C_a) > normal(C_a)$) ⇒ 毛様体への血流量が大 ($val(Q_1) > normal(Q_1)$) ⇒ 房水流入量が大 ($val(F_i) > normal(F_i)$) ⇒ 房水変化量が大 ($val(D_v) > normal(D_v)$) ⇒ 眼圧変化量が大 ($val(DP) > normal(DP)$) ⇒ 眼圧が増加 ($dir(P) = inc$) ノード数: 8 リンク数: 7 下位仮説を生成しますか? yes.
下位仮説'瞳孔ブロックによる続発閉塞隅角緑内障'に関する因果ネットワークの生成... 瞳孔遮断が大 ($val(R_i) > normal(R_i)$) ⇒ 前房への房水流出量が小 ($val(F_{io}) < normal(F_{io})$) ⇒ 後房内房水変化量が大 ($val(D_{vp}) > normal(D_{vp})$) ⇒ 後房内眼圧変化量が大 ($val(D_{pp}) > normal(D_{pp})$) ⇒ 後房内眼圧が増加 ($dir(P_p) = inc$) ⇒ 房水流出抵抗が増加 ($dir(R_a) = inc$) ノード数: 6 リンク数: 5

図2 実行例