

3 K-2 診断エキスパートシェル DeLa における原因仮説の扱い

吉田裕之, 原 裕貴, 大石和弘, 福代昌之
(yuki@flab.fujitsu.co.jp)
富士通研究所

1. ねらい

診断エキスパートシェルDeLaは、現場で実際に使われ続けられるエキスパートシステムの構築支援を目的としている。そのためには、プログラムや計算機自体にそれほど熟達していない現場の専門家に知識ベースの保守管理ができなければならない。そこで、DeLaでは以下のような方針をとっている。

- (1)扱う対象を、診断作業の内の『与えられた症状に対して原因の仮説を立てる』部分だけに限定する。
- (2)専門家は『症状に対する原因仮説』を立てる能力を十分に持っていると仮定する。診断システムの保守管理とは、この専門家の能力と知識ベースの能力の差異を発見した時に、それらを一致させることである。
- (3)知識表現は『症状に対する原因仮説』のみである。上の仮定から、この形式の知識は現場の専門家が自分で管理できる。

2. DeLaの知識表現

症状とは質問に対する回答値の割り当てのことである。 Q を質問の全体集合、 $Pa(q)$ を質問 $q \in Q$ に対する回答値の集合、 a をその要素とすると、症状とは $\langle q, a \rangle$ というペアである。入力として与えられるのはこの症状の集合であり、これを観測状況と呼ぶ。 $Q(O)$ を観測状況 O に出現する質問の集合とする。

原因の全体集合を C とし、観測状況 O に対応する原因仮説を $\langle S(O), Ok(O) \rangle$ と書く。 $S(O)$ は候補となる原因に対する確信度の割り当てである。 $Ok(O)$ は棄却された原因の集合である。 $S_0(O)$ を $S(O)$ に出現する原因の集合とする。

DeLaの知識の一単位は、観測状況 O と原因仮説 $\langle S(O), Ok(O) \rangle$ からなる。これを次のように書き、以下ではこれを単に知識と言う。

$$[O, S(O), Ok(O)]$$

特に、観測された症状がまったく無い状況に対する知識は $[\emptyset, \emptyset, \emptyset]$ である。

3. DeLaの動作

診断時の推論部の動作は以下の通りである。

- (1)現在の観測状況 O_c を \emptyset とする。
- (2)FFルールを適用して観測状況を拡張する。
- (3)原因仮説 $\langle S(O_c), Ok(O_c) \rangle$ を求め、表示する。
- (4) $Q(O_c)$ の補集合の要素(まだ回答していない質問)の現在の原因仮説に対する効果を評価する。
- (5) $Q(O_c)$ の補集合をステップ(4)で評価した効果の順に表示する。
- (6)新しい症状が入力されれば、ステップ(2)に戻る。

原因仮説の表示や症状の入力は別プロセスで行われており、ユーザは質問の評価結果を待たずに次の症状を入力したり、以前の入力を修正できる。評価の低い質問に回答することもできる。

4. FFルールの生成

前節で述べたようにDeLaはFFルール、すなわち症状間の因果関係を利用することにより、無駄な質問の発行を抑制している。このFFルールは別の形式の知識として与えられたものではなく、DeLaの唯一の知識表現である『観測状況と原因仮説の対応』から生成されたものである。

DeLaのFFルールは次のような形式をしている。

$$\langle q_1, a_1 \rangle \wedge \langle q_2, a_2 \rangle \wedge \dots \supset false$$

これはある特定の症状の組合せが論理的に矛盾していることを表したものである。現在の観測状況 $\langle q_2, a_2 \rangle$ 以下がすべて含まれていれば $\langle q_1, a_1 \rangle$ という症状は入力されないことが予期できる。さらに質問 q_1 が二値で $Pa(q_1) = \{a_1, a_1'\}$ ならば、ただちに症状 $\langle q_1, a_1' \rangle$ を観測状況に追加できる。

FFルールの生成は次のように行われる。観測状況 O に対して $S_0(O)$ が空でないにも関わらず $Ok(O)$ の部分集合になっているならば、 O は矛盾した症状の集合と考えられる。DeLaは診断中にこのような観測状況を発見するとこれをFFルールとして記録する。知識ベースに修正があった場合には、記録しているFFルールを再検討し、矛盾が生じなくなっていたら消去する。

知識ベースに修正があった場合には、さらに任意の二つの知識 $[O_1, S(O_1), Ok(O_1)]$ と $[O_2, S(O_2), Ok(O_2)]$ を組み合わせる仮想的な観測状況 $O = O_1 \cup O_2$ に対する原因仮説 $\langle S(O), Ok(O) \rangle$ を次々に作り、 $S_0(O)$ と

$Ok(O)$ の包含関係をチェックする。 $S_0(O)$ が空でなくかつ $Ok(O)$ の部分集合ならば、この観測状況 O は矛盾した症状の組であるか、あるいはどちらかの知識に誤りがある。ユーザはDeLaの指示にしたがってFFルールとして登録するか、知識の誤りを修正できる。

5. 確信度の合成

診断システムの開発者は、診断結果に表れる確信度の値に非常にこだわりを持つ傾向がある。したがって、結果に表れる確信度の値がどの知識の影響を受けたものであるか、またある知識 (の確信度) を修正することによって他にどんな影響があるか、が容易に判断できることが求められる。

そこで、DeLaでは単一故障仮説を採用しないことにした。単一故障仮説では、ある原因が否定されると他の原因の確信度が上昇するので、知識の修正の影響を判断することが困難になる。

DeLaでは、正常な症状を入力すると、棄却原因の数が増えるのみで候補原因の確信度は変化しない。確信度は異常な症状の入力によってのみ単調に増加する。

理論的には以下のような取り扱いとなる。

(1)原因は通常は階層構造を持つが、この階層の最下位の原因を考え、これらの肯定か否定論理積で結合したものの集合をDempster-Shafer理論における識別集合 θ (frame of discernment) とする。例えば最下位の原因が a, b, c ならば

$$\theta = \{a \wedge b \wedge c, a \wedge b \wedge \neg c, a \wedge \neg b \wedge c, a \wedge \neg b \wedge \neg c, \neg a \wedge b \wedge c, \neg a \wedge b \wedge \neg c, \neg a \wedge \neg b \wedge c, \neg a \wedge \neg b \wedge \neg c\}.$$

(2)知識 $[O, S(O), Ok(O)]$ 中の $S(O)$ 部では、一般に任意の原因の和積形に対して確信度を $0 \sim 1.0$ の値で与えることができる。論理和は原因階層の上位の原因を表し、論理積は単一故障ではない複雑な場合を表す。この時、 θ の部分集合で、その要素の論理和がこの和積形と論理同値になるものに対する信念関数 Bel (belief function) の値を与えたものとみなす。例えば原因 a に対する確信度は部分集合 $\{a \wedge b \wedge c, a \wedge b \wedge \neg c, a \wedge \neg b \wedge c, a \wedge \neg b \wedge \neg c\}$ に、 $a \wedge b$ に対する確信度は部分集合 $\{a \wedge b \wedge c, a \wedge b \wedge \neg c\}$ に対するものとする。

(3)基本確率関数 m (basic probability assignment) を次のように再帰的に定義する。

● θ 全体と ϕ に対して:

$$m(\theta) = 1 - \sum_{A \subseteq \theta \wedge A \neq \theta} m(A), \quad m(\phi) = 0.$$

● $A \subseteq \theta$ に $Bel(A)$ が与えられている時:

$$m(A) = Bel(A) - \sum_{B \subseteq A \wedge B \neq A} m(B).$$

● $Bel(A)$ は与えられていないが、 $A = \cap C$ が成り立つような C の集合に $Bel(C)$ が与えられている時:

$$m(A) = \prod_C Bel(C) - \sum_{B \subseteq A \wedge B \neq A} m(B).$$

● それ以外の時:

$$m(A) = 0.$$

この定義は、多重故障に対して確信度が与えられていなければ各々が確率的に独立におきるものと仮定することを意味している。複合故障のように独立でない場合には明示的に確信度を与えればよい。

(4)与えられた観測状況に対して二つの知識が適用される場合、信念関数 Bel_1 と Bel_2 を合成してできる新たな信念関数 Bel は、次のように定義できる。

$$Bel(A) = Bel_1(A) + Bel_2(A) - Bel_1(A) \times Bel_2(A)$$

なぜならば、上記のように基本確率関数を定義するとDempsterの合成規則の分母が常に1になるからである。

この最後の式は、確信度の合成処理が非常に簡単な計算しか要しないことを示すだけでなく、知識として与えた確信度がどのように結果に反映するかが極めて明確であり、現場の専門家にとって扱い易いことを意味している。

6. 質問の評価

回答されずに残っている質問の評価は、現在の原因仮説に対する次の二つの要因から判断する。現在の観測状況を O_c 、質問 q に答えることによって棄却されるか確信度が上がる原因の集合を $C(q)$ とする。

(1)現在の候補原因との関連度

現在の候補原因と関連が深い質問ほど良いとする。特に確信度が高い原因を棄却するか確信度を高める可能性がある質問は関連度が高いとする:

$$\sum_{a \in S_0(O_c) \cap C(q)} Bel(a) \div \sum_{a \in S_0(O_c)} Bel(a).$$

(2)現在の棄却原因及び未注目原因との関連度

現在棄却されている原因との関連は少ないほど良く、棄却されてもいないし候補にもなっていない原因との関連はあった方が良好とする:

$$|(C \setminus S_0(O_c) \setminus Ok(O_c)) \cap C(q)| \div |C \setminus Ok(O_c)|.$$

質問 q の評価はこの二つの要因の線型和を質問のコストで割ったものとする。候補原因との関連度に対する重みを大きい値にしておくほど、depth-first 的な原因探索を行うようになる。

参考文献

吉田, 大石, 中島, 原, 松本: 「ディシジョンラティスに基づく診断型エキスパートシェル, 情報処理学会第38回全国大会, 5D-5,6, 1989年3月