

深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発(2)

— 制御操作の生成 —

田岡 盛樹* 茂木 肇夫* 五嶋 安生** 神谷 昭基***

(株)東芝 *システム・ソフトウェア技術研究所 **重電技術研究所 ***府中工場

1. はじめに

近年、従来の経験則に基づくエキスパート・システムの限界を打ち破るために、深い知識の利用が試みられている[1][2]。本稿では、制御における深い知識の整理を行い、深い知識から浅い知識である制御操作列を生成する深い推論のプロセスを、火力発電プラントの給水系を例にあげて検討する。

2. 制御における深い知識

制御においては、対象を現在の状態から目標状態に悪影響無く導くための操作列が浅い知識と言える。この知識を生成する能力を持つ深い知識として、対象の機能、構造、因果関係などに関する知識である対象モデルおよび、対象を制御するときの制約条件である運転原則があげられる。

2.1 対象モデル(問題解決用知識)

対象モデルは制御対象に関する知識であり、目標状態(出力要求)を満足する操作の導出および操作による影響の評価に利用され、機器の機能、構造、因果関係の3種類の知識から構成されている。機能に関する知識としては、機器の取り得る状態や出力の許容範囲など、構造に関する知識としては、機器間の接続関係や階層関係など、因果関係に関する知識としては、属性値の変化の影響先や要求の発行先などが記述されている。図1にポンプのモデルの記述例を示す。

```
node      : pump
demand    : [[water, 80]]
goal      : [[water, [less,eq capacity]]]
status    : auc
states    : [[apc, [[capacity, rated capa]],
               [not,apc, [[capacity, flow]],
               [off, [[capacity, 0]]]]]
generator : [[water, bfp.sys]]
forward   : [[capacity, [[bfp.sys, capacity]]]]
backward  : []
components : []
process   : []
max       : 615
min       : 0
history   : 15000
rated_capa : 400
capacity  : 400
flow      : 80
```

図1. 給水ポンプのモデル

2.2 運転原則(問題展開用知識)

対象モデルは、階層的に記述されており、現在処理中のレベルで操作が導出できない場合は、下位の詳細なレ

ベルで操作を探索する。この場合、下位レベルの機器に対して要求を展開する必要がある。この要求展開の戦略が運転原則であり、現在の状態が目標状態に最も近い(先行している)機器の操作を優先する先行機優先原則、同一の機能を持つ機器は最小の運転台数で要求を満足する最小台数起動原則、運転時間の短縮が小さいものを優先的に利用する寿命平均化原則の三つがある。

3. 深い推論

浅い知識である制御操作を導出するには、機器に対する目標状態(出力要求)を満足する操作の導出および、導出された操作の対象全体に対する影響の評価という二つの機能が必要である。前者を深い後向き推論、後者を深い前向き推論と呼ぶ。以下では、図2に示す給水系を例に取り上げて、これら二つの深い推論について述べる。

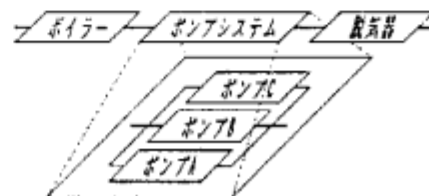


図2. 給水系の構造

3.1 深い前向き推論

深い前向き推論は、機器に対する操作の影響を対象モデルに記述された知識によって推論する。図3に深い前向き推論の処理の流れを示す。

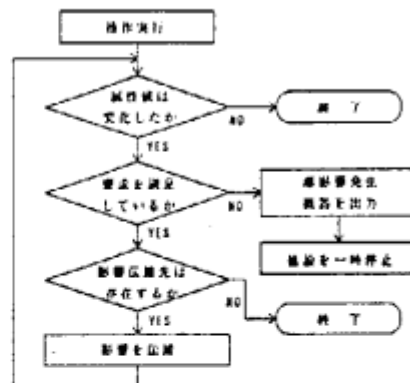


図3. 深い前向き推論

Control Expert System Based on Deep Knowledge (2) - Generation of Control Action -

Naoki TAKAKA¹, Norio KOTECI², Yasun GOTOH², Akimoto KAMIYA³

TOSHIBA Corporation 1.Systems & Software Engineering Lab. 2.Heavy Apparatus Engineering Lab. 3.Fuchu Works

3.2 深い後向き推論

深い後向き推論では、各機器に与えられた要求を充足するために必要な操作を、対象モデルと運転原則に基づいて推論する。この時、同一機器に対して二つ以上の操作を行うことは禁止する。図4に深い後向き推論の処理の流れを示す。

4. 深い推論の火力発電プラントへの適用

深い推論のプロセスを、図2に示した発電プラントの給水系の例で説明する。まず、各ポンプの許容最大値は400(T/H)、ポンプシステム、ポンプA、B、Cに対する出力要求がそれぞれ80、80、0、0(T/H)であり、ポンプAのみがapc(下位制御装置)の下で運転中とする。この様な状況でポンプAに故障が発生し、停止させたいものとする。

まず、深い前向き推論によりポンプAを停止した場合の影響を評価する。ポンプAをapcからoffに操作すると、属性capacityが400(T/H)→0(T/H)と変化することが検出される。変化後の属性値によって対象モデルのGOALに記述された要求充足条件(要求値≤capacity)をチェックすると、要求を満足できない(80≤0)、これは操作による悪影響であり、悪影響発生機器(ポンプA)を出力して推論を一時停止する。

次に、深い後向き推論によって検出された悪影響を回避する操作を導出する。まずポンプAに注目するが、すでに操作済みなので要求の発行元であるポンプシステムにバックトラックする。ポンプシステムは、運転原則に基づいて要求の展開方法を変更し、ポンプA、B、Cにそれぞれ0、80、80(T/H)の要求を発行する。ポンプAは現状のまま要求を満足でき(0≤0)、ポンプBは要求が以前と変化していないので操作は不要である。これに対してポンプBは、要求が許容範囲内であるが、ゴールをチェックすると80≤0となり現在のままでは要求を満

足できず、操作が必要である。まずポンプBに注目し、対象モデルの機器が取り得る状態の記述(STATES)より、apc状態であれば80≤400となり、ゴールを満足できることが分かる。そこで、ポンプBをapcに切り換えるという操作を出力し、後向き推論を一時停止する。以上の推論プロセスを図5に示す。

次に、導出した操作により悪影響が発生しないかどうかを深い前向き推論によって検証する。悪影響が発生する場合は、深い後向き推論に戻って他の操作候補を探索し、悪影響が発生しなければ、停止している後向き推論を再開する。要求が変化していない機器に到達するか、要求の発行先がなくなれば、悪影響の回避に必要な操作列が導出されたことになり、後向き推論を終了する。

最後に、悪影響を検出した深い前向き推論を再開し、他の悪影響が無いかどうかを評価する。もしあれば、同様にして回避操作列を推論する。

5. おわりに

本稿では、制御操作の導出という観点から深い知識を整理し、それに基づいて制御操作を導出する深い推論のメカニズムについて検討を行い、火力発電プラントの給水系に適用した。今後は、時間の概念の導入、およびATMSの導入について検討をしていく。

謝辞

本研究は、I C O Tからの再委託テーマである「制御用エキスパートシステム」の研究の一部として行われたものであり、研究の機会を与えて頂いたI C O T第5研究室藤井室長並びに関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 山口, 他: "深い知識に基づく知識コンパイラの基本設計", 人工知能学会誌 Vol. 2, No3 (1987)
- (2) 足立, 他: "エキスパートシステムにおける深い知識—スケジューリング型に関する考察—", 情報処理学会第36回全国大会 (1988)
- (3) 酒井, 他: "深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発—機能構成—", 情報処理学会第36回全国大会 (1988)

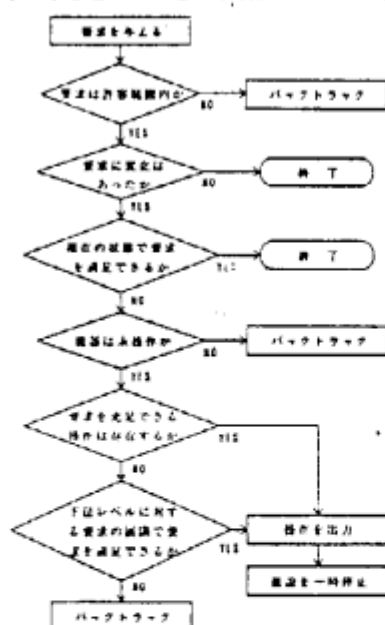


図4. 深い後向き推論

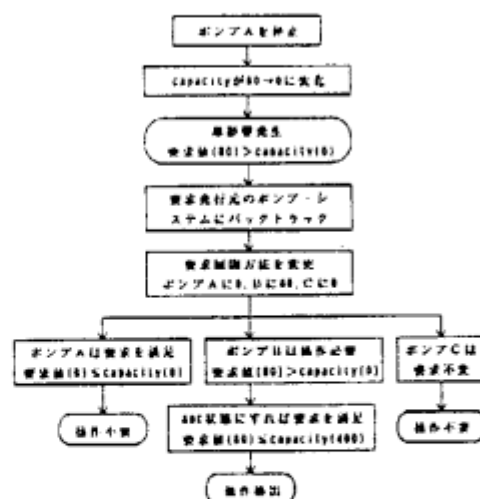


図5. 制御操作生成プロセス