

事例ベース推論の研究課題

小林重信

東京工業大学 大学院総合理工学研究科

事例ベース推論の研究課題について、いくつかの視点から議論する。まず、事例ベース推論が注目される背景を述べる。つぎに、事例ベース推論における制御の流れに即して、各構成要素の役割を述べる。事例ベース推論に固有の研究課題として、事例の表現と特徴づけ、事例の組織化、事例の照合と検索、複数事例の利用、事例の修正と修復、正当化問題、領域知識とユーザの役割、事例の獲得、CBRツール、CBRの評価を議論する。CBRと他の問題解決パラダイムおよび学習との関連に言及する。最後に、問題解決パラダイムと学習パラダイムを融合させた統合的問題解決の枠組みを提案する。

RESEARCH ISSUES ON CASE-BASED REASONING

Shigenobu Kobayashi

Graduate School of Science and Engineering

Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta Midori-ku, Yokohama 227

Research issues on case-based reasoning are discussed from several points of view. First, the background and the necessity of case-based reasoning are described. Second, roles of components of case-based reasoning systems are shown in accordance with the control flow of reasoning. As research issues inherent in case-based reasoning, case representation and indexing, organization of case base, case matching and retrieval, usage of plural cases, case modification and repair, justification problem, roles of domain knowledge and user, case acquisition, CBR tools and assessment of CBR systems are discussed. Relations among CBR and other problem solving paradigms and learning paradigms are described. Finally, a framework of integrated problem solving is presented.

1. はじめに

事例ベース推論 (Case-Based Reasoning; 以下 C B R と呼ぶ) とは, 与えられた問題に類似する過去の事例 (成功または失敗の経験) を, 直接利用して問題解決に導くような推論のことをいう. C B R は類推に密接に関係する. これまで, 類推の研究が理論を指向し, 領域独立的であったのに対し, C B R の研究はシステム化を指向し, 領域依存的ではあることを特徴とする. C B R は, 経験的知識への依存という点では, ルールベース推論よりは弱い, モデルベース推論よりは強く, 両者の中間に位置づけられる.

次世代知識システムの基盤技術として, C B R が注目されるのは以下の理由による.

1) 知識獲得問題緩和の要請

専門家から経験的知識を体系的に獲得することは容易なことではないが, 事例はエピソードとして記憶されているので, 獲得が容易である. また, 新しい機能材料や触媒, 香料などの研究開発のように, 本当の意味での専門家が不在の問題領域では, 探索をガイドする理論や方法が確立されていないことから, C B R に対する期待は大きい.

2) 探索負荷問題緩和の要請

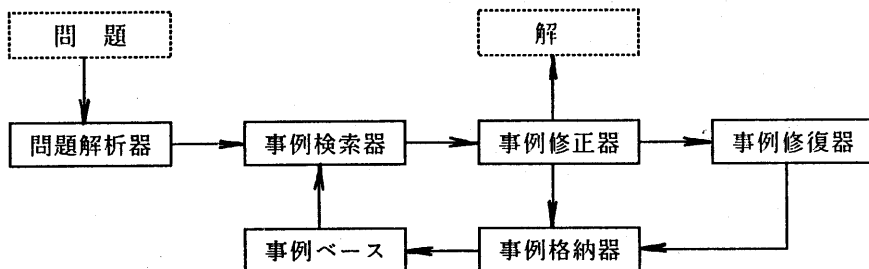
計画や設計など合成型問題は, 一般に, 組合せ問題を内包しているため, 最適解の探索に膨大なコストがかかることから, 探索効率向上に C B R 導入が期待されている.

3) 事例が優先する問題領域の存在

一般的な知識があっても, 事例が優先する問題領域は, 特に, 非工学的な分野において少なくない. 例えば, 裁判においては, (特に, 欧米では) 判例の拘束力が強く, 法律は後づけ的に利用されるに過ぎない. 実務の基本は, C B R にあるともいえる.

2. C B R の枠組みと特徴

C B R システムの構成要素および推論の流れの一般的な枠組みを F i g. 1 に示す.



F i g. 1 : C B R システムの枠組み

C B Rシステムの主たる構成要素について、それぞれの機能的な役割を以下に示す。

1) 事例ベース (Case Base)

特徴づけられた問題解決事例の集りであり、成功例だけでなく、失敗例も含まれる。

2) 問題解析器 (Problem Analyzer)

与えられた問題を解析し、特徴づけを行うとともに、予想される問題点を列挙する。

3) 事例検索器 (Case Retriever)

与えられた問題の特徴と比べて、最も良く照合する事例を事例ベースから検索する。

4) 事例修正器 (Case Modifier)

検索された事例と問題の間で照合しない部分の違いを考慮しながら、領域知識を使って、事例の解または解法に対し修正を施し、与えられた問題の解または解法とする。

5) 事例修復器 (Case Repairer)

検索された事例の問題への適用に失敗した場合、領域知識または別の事例を使い、失敗の原因を解析して、同じ過ちを回避するように、失敗事例の特徴づけを変更する。

6) 事例格納器 (Case Storer)

C B Rによる問題解決は、それ自身を新しい事例の獲得とみなし、特徴づけを行った上で、成功事例として事例ベースに格納される。失敗事例も、同様に、格納される。

C B Rはルールベース推論とモデルベース推論の間において、つぎの特徴をもつ。

- 1) 事例は問題解決の過程が縮約された1種のマクロであり、推論や探索を節約できる。
- 2) C B Rは、他の問題解決手法と併用することにより、導出解の正当化に利用できる。
- 3) 失敗事例を利用することにより、好ましくない問題点の予測や失敗の回避を行える。
- 4) 事例だけでは解空間を完全にカバーできないことから、最適解を逃す可能性がある。
- 5) 事例間の整合性の維持は困難であり、どの事例を利用するかにより、結果は異なる。

3. C B Rの研究課題

ここでは、C B Rの研究課題として、事例の表現、事例の特徴づけ、事例ベースの組織化、事例の照合と検索、複数事例の利用、事例の修正と修復、正当化問題、領域知識とユーザの役割、事例の獲得、C B Rツール及びC B Rの評価を取り上げ、議論する。

【課題1 (事例の表現)】

- ・事例表現は、一般に、問題記述、解記述、その他からなる。
- ・問題記述は特徴記述であり、属性-値のペアの集りからなるのが一般的である。
- ・解記述は結論、主張、行動、決定、解法などからなる。
- ・その他として、事例の知識源、事例の適用例の評価の記録(成功または失敗)およびその修正または修復の履歴などの情報が付加されることが望ましい。
- ・事例をプロダクションルールと比較すると、特徴記述がルールの前提部に相当し、解

記述がルール¹⁾の結論部に相当する。

- ・ルールはパターン記述であるのに対し、事例はインスタンス記述であることが異なる。
- ・ルールは小さな知識の断片であるのに対し、事例は大きな事実のチャンクである。
- ・事例はフレーム形式で表現されることが多いが、まだその表現法は確立されていない。

【課題2 (事例の特徴づけ)】

- ・事例の特徴記述(indexing)は、問題解決に関連する属性を用いて必要かつ十分な特徴づけがなされなければならない。
- ・問題解決に関連のない属性を特徴づけに用いると、事例検索において利用度の低い事例を選択してしまう恐れを生じる。
- ・これまでに開発されている多くのC B Rシステムでは、事例の特徴づけは開発者またはユーザによってなされているが、信頼性および拡張性において問題がある。
- ・対象問題について領域知識が利用できる場合、問題解決に関連する属性を選択するために、例えば、説明に基づく学習(Explanation-Based Learning)の適用も可能であり、実際、そのような試みもある。
- ・属性の間に従属関係がある場合、属性に関する概念階層の組織化が必要とされる。

【課題3 (事例ベースの組織化)】

- ・事例の組織化を行わないフラットな事例ベースの構成は、明らかに限界がある。
- ・事例ベースがフラットな場合、事例の追加は容易であるが、網羅的探索が必要となり、並列探索のためのハードウェアが必要となるなど、一般に、非経済的である。
- ・複数事例の間での特徴記述の共通性に着目、分類木などを利用して、事例の汎化階層(分類階層)を形成することにより、事例の検索を効率的なものにすることができる。
- ・事例集合が事前に所与の場合、汎化階層の最適構成が問題とされる。
- ・事例が逐次的に与えられる場合、汎化階層の動的更新が問題とされる。
- ・すなわち、事例が入力されるごとに、汎化階層をインクリメンタルに更新するアルゴリズムを確立する必要がある。

【課題4 (事例の照合と検索)】

- ・問題と事例が完全に照合することは稀であり、部分的にしか照合しない(partially matched)ことが普通である。
- ・問題および事例の中で陽に記述されている表面的な特徴に基づく照合ではなく、隠された特徴をも考慮した意味的な照合が必要である。
- ・意味的照合を行うためには、概念階層的知識や因果関係的な知識の利用が必要である。
- ・事例ベースより、最も問題解決に貢献するとみられる事例を検索するためには、問題と事例の間での属性名および属性値の一致および不一致の程度を何らかの方法で尺度化することが必要である。
- ・属性名および属性値は、その相対的な重要度に応じて、順序づけまたは重みづけられ

ることが必要である。

- ・類似性の取扱いに関しては、例えば、幾何学モデル、集合論的モデルなど数理心理学の分野では伝統的なモデルがあり、また最近ではファジィ理論に基づくモデルがあり、これらの事例検索における利用可能性を検討する必要がある。

【課題5（複数事例の利用）】

- ・複数事例の利用には、3とおりの場合があり得る。
- ・第1は、同一または類似した結論をもつ事例が複数検索される場合で、この場合、複数事例を利用することにより、推論結果の正当性を高めることに貢献できる。
- ・第2は、相反する結果を示す事例が複数検索される場合で、この場合、競合解消のためのメタ知識が要請される。
- ・そうした知識が利用可能でない場合、仮説推論的な取扱いが必要である。
- ・HYPOにおける比較&対比(comapare and contrast)という方法も競合解消の1つの方法である。
- ・第3は、合成型問題領域を対象とするとき、一般に、単一事例からだけでは解を導くことが困難であり、この場合、複数事例を相補的に利用して、問題解決を達成することが要請される。

【課題6（事例の修正と修復）】

- ・事例の修正には類推が関係する。
- ・類推の基本型として、変形型類推(transformational analogy)および誘導型類推(derivational analogy)の2つがある。
- ・変形型類推では、事例の解を変換して問題の解を導くことを基本とする。
- ・誘導型類推では、事例における解の誘導過程を変換して問題の解を再誘導することを基本とする。
- ・一般に、解析型問題領域に対しては変形型類推が、合成型問題領域に対しては誘導型類推が、それぞれ適しているといえる。
- ・事例の修正および修復を行うためには、領域知識を必要とする。

【課題7（正当化問題）】

- ・CBRにおける推論の基本原理は類推にあり、類推の本質は、単一事例の一般化(帰納)とその具体化(演繹)に他ならない。
- ・従って、CBRによる推論結果を正当化するためには、別の手段が必要である。
- ・ルールベース推論またはモデルベース推論が併用できる場合、CBRの推論結果を後づけ的に証明する方策も考えられる。
- ・あるいはファジィ推論のように、複数事例から同じまたは類似した結論を帰結することによって結果の正当性を主張する方策が考えられる。

【課題8（領域知識とユーザの役割）】

- ・事例の検索において、意味的照合を最適化するためには、概念階層的知識の利用が不可欠である。
- ・類推によって事例の修正や修復を行なうための知識として、因果的知識や修正知識などの領域知識の整備が必要である。
- ・しかし、領域知識を整備するにつれて、それが経験的知識に基づくものであれば、CBRはルールベース推論に近づくことになり、それが深い知識に基づくものであれば、CBRはモデルベース推論に近づくことになる。
- ・領域知識に依存しないで、ユーザの介入を拡大するにつれて、CBRはデータベース検索に近づくことになる。
- ・CBRは、ルールベース推論、モデルベース推論およびデータベース検索の中間に位置するとの認識の下に、領域知識とユーザの役割分担および協調を考えることが必要である。

【課題9（事例の獲得）】

- ・ルールベースシステムにおける知識獲得問題と同様に、CBRシステムにおいても事例獲得問題は重要な問題である。
- ・事例は経験が知識化される前の1次的情報であり、エピソード的な記憶として保持されている場合が多いことから、知識獲得に比べて事例獲得の方が容易ではある。
- ・事例が多数存在する場合には、その取捨選択に注意を要する。
- ・典型的な事例を選択的に獲得し、問題空間を適切にカバーすることが望まれる。
- ・事例の獲得方法としては、専門家に対するインタビューに基づく対話的な獲得および探索ベースでの問題解決過程の解析に基づく自動獲得の2つがある。
- ・事例ベースの維持管理問題、すなわち事例間の矛盾や冗長性を除去することはCBRの性能向上に寄与する。
- ・ただし、知識ベースの維持管理程には厳格に行なう必要はない。

【課題10（CBRツール）】

- ・CBRシステムの研究開発は、まだプロトタイプの段階にあり、CBRは概念的枠組みについても完全な合意が得られているとはいえない状況にある。
- ・従って、CBRのツール化もまだプロトタイプの段階にあり、概念的枠組みをツール化するための条件の洗い出しがこれから必要になってくる。
- ・その際、考慮すべきことは、CBRの利用形態である。
- ・CBRの利用形態は、自動化指向および対話指向の2つに分けられる。
- ・自動化を指向する場合には、問題解決能力の完全性、すなわち、検索・修正・修復の各過程における完全性が要求される。
- ・対話的利用で、教育訓練が目的の場合、検索・修正・修復の完全性が要請される。
- ・オペレータガイダンスが目的の場合、検索と修正の完全性が要請される。

- ・領域専門家が利用する場合、修正や修復の完全性は不要で、検索の完全性だけが要請される。

【課題11（CBRの評価）】

- ・CBRシステムとルールベースシステムの比較は多角的に行う必要がある。
- ・システム開発期間、知識獲得の負荷、問題解決の性能、説明能力、システムの拡張性や保守性などが評価として考慮されるべきである。
- ・定量的／定性的評価を行うために、テストベッド的な問題をいくつか用意することが望まれる。

4. 他の問題解決パラダイムとの関連

ここでは、CBRと他の問題解決パラダイムとの関連および学習との関連を議論する。

【ルールベース推論との関連】

- ・CBRとルールベース推論は、互いに、相補的な関係にある。
- ・ルールベース推論の結果をCBRによって裏づけたり、ルールベース推論が失敗した場合、CBRで補完することが可能である。
- ・逆の場合もあり得る。

【探索／データベース検索との関連】

- ・CBRと生成検査に基づく探索は、互いに、相補的な側面と競合的な側面をもつ。
- ・探索データベースから事例ベースへの変換は、事例の獲得問題に関係し、今後の研究課題である。
- ・CBRとデータベース検索の間にも、同様の関係がある。
- ・データベース検索では、正確な検索条件の入力が要請されるが、CBRでは部分的な照合が許されるので、柔軟な検索が可能である。
- ・CBRは、データベース検索と比べて、自己組織化的側面に特徴がある。

【ニューロ／ファジィとの関連】

- ・ニューラルネットやファジィ推論も、CBRの1種とみなすことができる。
- ・ニューラルネットは認知レベルでのCBRであり、ファジィ推論は技能レベルでのCBRに他ならない。
- ・ニューラルネットの利点は自己組織化能力にあり、ファジィ推論の利点は複数の類似事例からの合成（補間）能力にある。

【学習との関連】

- ・CBRはその問題解決過程自身が新しい事例の獲得につながり、自己増殖的な側面をもつ。

- ・その意味で、CBRは学習システムの1形態とみなすこともできる。
- ・事例は1つのマクロルールとみなすこともでき、その意味で説明に基づく学習との関連性も深い。
- ・深い知識がモデルとして利用可能な場合、説明に基づく学習の枠組みを用いて、事例からルールへの変換が可能である。

5. 統合的問題解決に向けて

以上議論してきたように、CBRはルールベース推論とモデルベース推論あるいは探索型問題解決の中間に位置して、両者の橋渡しの存在に位置するといえる。CBRは問題解決パラダイムの中心的存在であることに加えて、学習的側面をもち、さらに説明に基づく学習との関連も深い。

Fig. 2に統合的問題解決の一般的枠組みを示す。Fig. 2では、問題解決パラダイムとして、ルールベース推論、CBRおよびモデルベース推論の3つが示されている。モデルベース推論を探索型問題解決に置き換えることにより、この枠組みは計画や設計などの合成型問題領域にも適用可能である。これら3種の推論方式は、1つが失敗したら、他に切り替えるという弱い結合形態ではなく、互いに協調を取りながら相補的に実行することにより、全体として、信頼性が高く、かつ効率的な問題解決につながる事が望まれる。

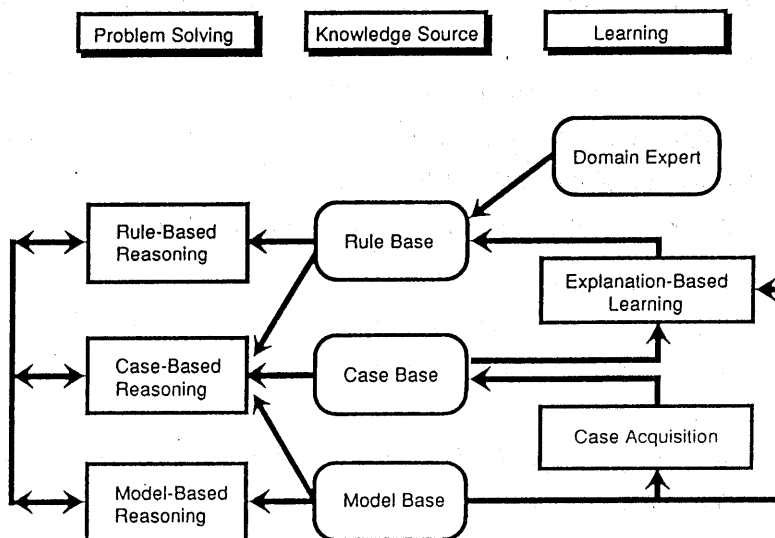


Fig. 2 統合的問題解決の一般的枠組み

Fig. 3に故障診断領域を対象とした統合的問題解決の枠組みを示す。モデルベースには、概念階層的知識およびシステムの構造と構成要素の特性から導かれる因果的な知識が格納される。ルールベースには、経験的な診断知識、点検・観測に関する知識、事例を修正するための知識が格納される。EBL（説明に基づく学習）により、事例からルールへの変換およびルールの事例による洗練化が行われる。

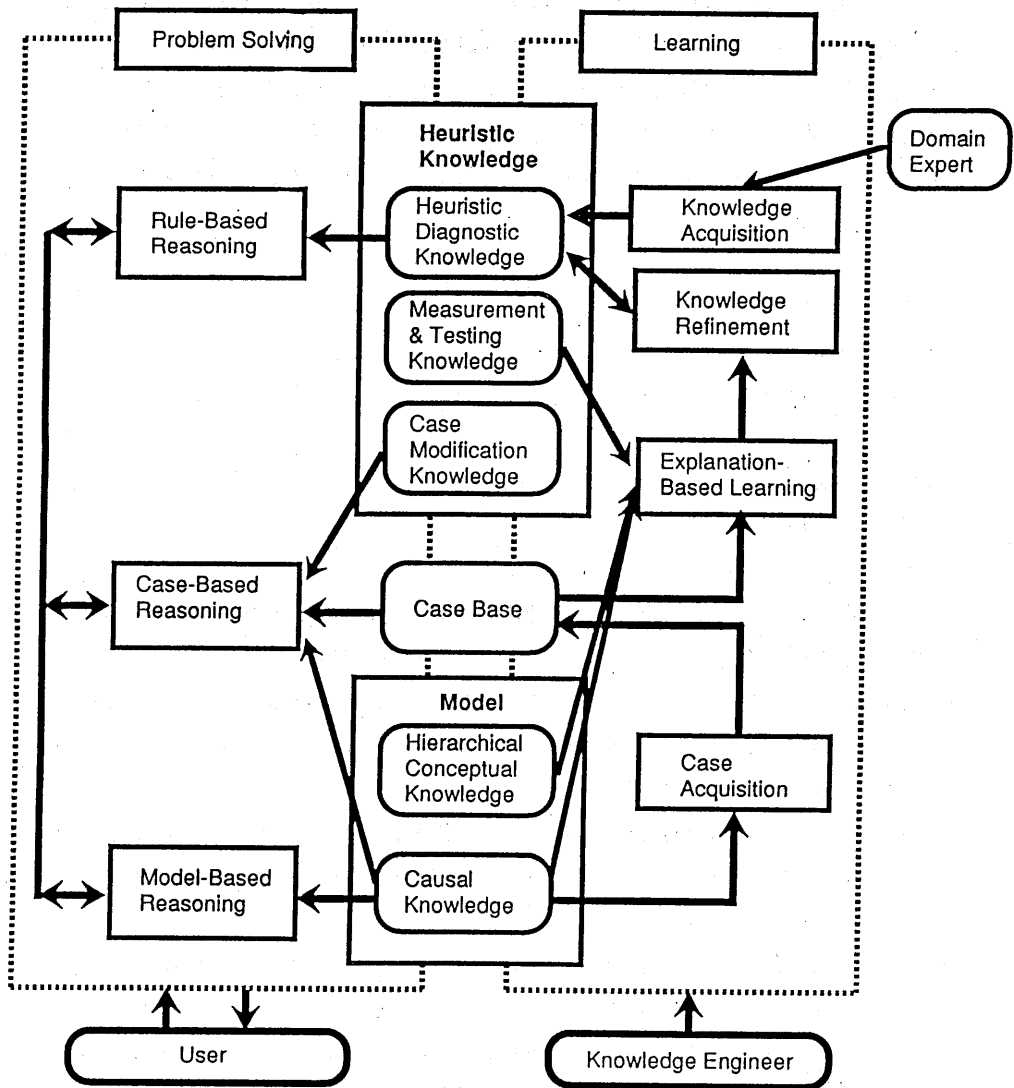


Fig. 3 : 故障診断領域を対象とした統合的問題解決

6. おわりに

以上、CBRの研究課題を中心に議論してきた。これまで、事例は知識として一般化される前の1次的情報として、多数蓄積されているにも拘らず、有効に利用されないままできた。ルールベース推論に基づくエキスパートシステムが知識獲得問題を抱え、実用化を前に足踏みしている現状を打破する上で、CBRは有望な技術の1つとみられる。しかし、CBRシステムが実用段階に達するまでには、本稿で議論したように解決すべき課題が山積している。

当面は、CBRの要素技術としての基盤を固めることが重要であるが、長期的には、統合的問題解決の枠組みのもとに、種々の問題解決パラダイムや学習パラダイムを融合させ、柔軟で知的な問題解決を実現していくことが必要であることを強調したい。

最後に、本稿をまとめる上で、平成元年度及び2年度を通じて、ICOTにおけるワーキンググループ(KSA/KAR)での討論が参考になった。ワーキンググループの各位に感謝する。

参考文献

【CBRのワークショップペーパー】

[1]Proc. of Workshop on Case-Based Reasoning (1988~1990).

【CBRのサーベイペーパー】

[2]事例ベース推論の研究動向に関する報告書、ICOT KSA/KAR SWG報告書、新世代コンピュータ技術開発機構(1990).

【著者のCBR関連ペーパー】

[3]中村孝太郎, 小林重信: 事例ベース推論の対話型モデルとその機械調整支援への適用, 人工知能学会誌, Vol. 4, No. 6, pp. 704/713 (1990).

[4]Kobayashi, S., Terano, T., Motoda, H. and Mizoguchi, R.: A Survey of Japanese Research and Development on Knowledge Acquisition and Learning, Proc. of JKAW '90, pp. 113-133 (1990).

[5]Nakamura, K. and Kobayashi, S.: Knowledge Acquisition from Machine Adjustment Cases by Causal Model and Operational Criteria, Proc. of JKAW '90, pp. 261-276 (1990).

[6]Nakamura, K. and Kobayashi, S.: Roles of Domain Knowledge and User in Case-Based Machine Adjustment Systems, Proc. of PRICAI'90, pp. 687-692 (1990).

[7]Ase, H. and Kobayashi, S.: A Case-Based Reasoning System for Intelligent Information Retrieval, Proc. of PRICAI'90, pp. 583-588 (1990).

[8]堀籠隆文, 山村雅幸, 小林重信: 事例ベース推論における複数事例の利用, SIC E 知能システムシンポジウム講演資料 (1991. 3).