

確率的因果モデルを用いたエージェントの議論に基づく交渉の提案

Argumentation-based Negotiation Method using Probabilistic Causal Model

服部 宏充*¹ 大園 忠親*² 新谷 虎松*²
 Hiromitsu Hattori Tadachika Ozono Toramatsu Shintani

*¹名古屋工業大学大学院 工学研究科
 Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

*²名古屋工業大学 知能情報システム学科
 Dept. of Intelligence and Computer Science, Nagoya Institute of Technology

In this paper, we propose an argumentation-based negotiation method for multiagent, each of which has different goal for the negotiation. During the argumentation-based negotiation, agent may make proposals which express a claim supported by arguments. In our method, we employ Causal Bayesian Network (CBN) to understand causal relations among variables. We can also calculate the probability which can be considered as plausibility of the claim using CBN. Since agent can judge plausibility of each proposal quantitatively, he/she can select desirable proposal.

1. はじめに

エージェント間の競合解消に対する有望なアプローチとして、議論に基づく交渉方式が提案され、注目を集めている [3]。既存のエージェント間交渉の手法では、エージェントが、互いの主張を表明する提案を交換することで、交渉のプロセスが進められる [2]。議論に基づく交渉では、主張を支持する根拠、すなわち主張が生成された原因を示す情報を付加した提案をエージェントが交換し、合意形成を試みる [1]。主張の根拠を明らかにすることは、エージェントが、提案を受領したり、反論したりするための情報として利用できる。文献 [1] や文献 [5] のように、既存の研究では、エージェントが保持する知識ベースを、論理表現に基づいて表現し、主張を演繹する推論の過程を根拠として利用している。これまで、上記の枠組みでは、各々の知識に対する、ユーザの信念や確信度といった数値的な情報は利用されていない。そのため、エージェントは、提案の尤らしさを定量的に判断することができない。

本論文では、事象間の確率的な因果関係を処理可能な、Causal Bayesian Network (CBN) [4] に基づく知識ベースを持ったエージェントによる、議論に基づく交渉手法を提案する。本提案手法では、各々異なる目標を持ったエージェントが、自身の目標を達成するために議論を行う。CBN は、事象間の直接的な因果関係を表現可能である。事象を表す変数間の因果関係は含意関係にマッピングできるため、議論の過程においてエージェントが提案を生成する際に、主張の根拠（原因）を生成することが可能になる。また、CBN では、確率計算の際の不要な確率伝播を避けるための、ネットワーク構造の修正を許しているため、より正確な確率計算に基づく提案の生成が可能である。CBN を用いることにより、ユーザは、値が決定的でない、確率的に値が定まる知識 (e.g., 天候) 含む知識ベースをエージェントに与えることができる。そのため、エージェントは、生成可能な提案が複数存在する場合に、CBN に保持された情報に基づいた確率計算により、ユーザにとって最も確信の高い提案を表明することができる。

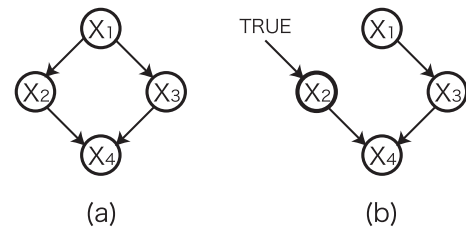


図 1: Causal Bayesian Network

2. 確率的因果モデル

本論文では、事象間の確率的な因果関係を表現するためのモデルとして、Causal Bayesian Network (CBN) [4] を用いる。CBN は、基本的にはベイジアンネットワークと同様である。すなわち、条件付き確率表が与えられた確率変数をノードとする、有向非循環グラフである。ただし、通常のベイジアンネットワークとは異なり、変数間の因果関係を操作できる。具体的には、ある変数 X の値が定まった場合、変数 X は親の変数に依存しないように、ネットワーク構造が変更される。図 1 に例を示す。ここで、初期状態が図 1 (a) であるネットワークに対して、変数 $X_2 = TRUE$ (真である) と定めた場合、図 1 (b) のように、変数 X_1 と変数 X_2 の因果関係が削除される。通常のベイジアンネットワークの場合、変数 X_2 の値が $TRUE$ と“観測”されたとしても、変数間の因果関係は削除されない。そのため、変数 X_2 の観測結果は、他の全ての変数へ影響を与える。一方、CBN では、図 1 (b) のように親ノードとの因果関係が削除されるため、変数 X_1 や X_3 に対して影響を与えない。以上の通り、CBN では、親ノード間の直接的な因果関係がより厳密に表現される。

3. エージェントの議論に基づく交渉

3.1 確率的因果モデルの利用

エージェントの議論に基づく交渉の概要について、図 2 を例として述べる。図 2 では、ブール値を採る変数をノードとする CBN を持った 2 つのエージェント $agent1$ 、および $agent2$ の議論の様子を表している。本例では、 $agent1$ の目標は、変数

連絡先: 服部 宏充, 名古屋工業大学大学院 工学研究科, 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 知能情報システム学科 新谷研究室, TEL: (052)735-6550, FAX: (052)735-5584, E-mail:hatto@ics.nitech.ac.jp

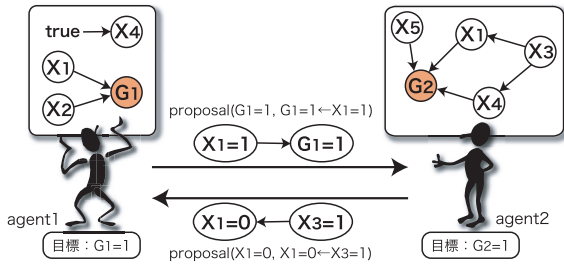


図 2: エージェントによる議論の様子

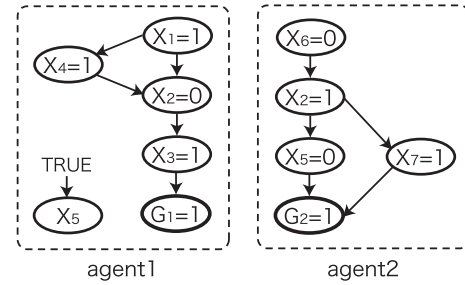


図 3: 議論するエージェントの CBN の例

G_1 の値を 1 とすることであり, $agent_2$ の目標は変数 G_2 の値を 1 とすることである. エージェントは, 目標の達成のために提案 *proposal* を生成 / 送信する. エージェントは, 主張の根拠として, ネットワーク中の一経路と経路上の変数の値を用いる. 図では, $agent_1$ が, 変数 X_1 の値が 1 ならば, 変数 G_1 の値が 1 となり得ることを根拠として, $G_1 = 1$ を主張している. 一方, $agent_2$ は, 変数 X_3 の値が 1 ならば, 変数 X_1 の値が 0 となることを根拠として, $agent_1$ の提案の根拠 $X_1 = 1$ に対して反論する新たな提案を生成している. 本論文で提案する, 確率的因果モデルを導入した議論に基づく交渉手法では, 最も好ましい提案の選択に確率の数値を利用する. 例として, $agent_1$ による提案の生成を考える. $agent_1$ は, $G_1 = 1$ を成立させるために, 根拠として利用する変数と, その具体的な値を決定する必要がある. もしも, 変数 G_1 の値が 1 となる確率を最も高くする条件が, 変数 X_1 のみが 1 の値を採ることであるならば, $agent_1$ は図のような提案を生成する. また, 変数 X_4 は事実を表しており, 値が常に 1 であることを意味する. $agent_1$ が X_4 が事実であることを $agent_2$ に送信した場合, 2. で述べたように, 変数 X_3 と X_4 の因果関係が削除される. このため, 以後は, X_3 と X_4 に関する誤った因果関係の影響を受けることなく確率計算が可能となる.

3.2 議論のプロセス

具体的に, 2 つのエージェント $agent_1$ と $agent_2$ による議論の一例を示す. 各エージェントが保持する CBN を図 3 に示す. 各々の変数はブール値を採るとし, 目標を達成するための最も望ましい変数の値を変数名と共に示している. 各エージェントの目標は, それぞれ $G_1 = 1$, および $G_2 = 1$ である. また, X_5 は反論不可能な事実である. ここで, 確率計算により, 各エージェントにとって最も好ましい提案は, それぞれ *proposal*₁($G_1 = 1, G_1 = 1 \leftarrow X_3 = 1 \leftarrow X_2 = 0 \leftarrow X_1 = 1$), および *proposal*₂($G_2 = 1, G_2 = 1 \leftarrow X_7 = 0 \leftarrow X_2 = 1 \leftarrow X_6 = 0$) とする. $agent_1$ の提案から開始される場合, 以下のステップで議論は進行する.

- 【Step 1】 $agent_1$ が, 提案 *proposal*₁($G_1 = 1, G_1 = 1 \leftarrow X_3 = 1 \leftarrow X_2 = 0 \leftarrow X_1 = 1$) を生成
- 【Step 2】 提案 *proposal*₁ は, $agent_2$ の目標達成を妨害するため, 反論 *proposal*₂($X_2 = 1, X_2 = 1 \leftarrow X_6 = 0$) を生成
- 【Step 3】 $agent_1$ は, $X_2 = 0 \leftarrow X_4 = 1$ を根拠とした反論, もしくは *proposal*₂ を受取することが可能である. ここでは, *proposal*₂ を受取する方が, $G_1 = 1$ となる確率が高いため, *proposal*₂ を受取したとする.
- 【Step 4】 提案 *proposal*₂ が受取されたため, $agent_2$ は, 目標 $G_2 = 1$ を達成するために, さらに提案 *proposal*₃($G_2 = 1, G_2 = 1 \leftarrow X_7 = 0 \leftarrow X_2 = 1$) を生成

- 【Step 5】 *proposal*₃ の根拠に含まれる $X_5 = 0$ は事実と反するため, 反論として *proposal*₄($X_5 = 1, X_5 = 1 \leftarrow true$) を生成
- 【Step 6】 $agent_2$ は無条件に *proposal*₄ を受取
- 【Step 7】 $agent_2$ が目標達成のために *proposal*₅($G_2 = 1, G_2 = 1 \leftarrow X_7 = 1 \leftarrow X_2 = 1$) を生成
- 【Step 8】 $agent_1$ は, *proposal*₅ によって目標を妨害されないため受取する. その結果, いずれのエージェントも目標達成が可能な状態であり, かつ反論生成の必要性が無いため, 議論は終了する.

4. おわりに

本論文では, 確率的因果関係を導入した, エージェントによる議論に基づく交渉手法を提案した. 本手法により, エージェントは確率値を用いて, 生成可能な提案の尤らしさを, 定量的な観点から判断可能となる. また, Causal Bayesian Network の持つ特徴により, より厳密に因果関係を考慮した交渉が可能となる. 現在, 本研究では, 1 つのノードが複数の親ノードを持つ場合, 親ノードが連言的 / 選言的な関係にあるかを明確に判断可能な条件付き確率表を用いている. 今後, 確率の与え方がより複雑化した場合への対処法が今後の課題である.

参考文献

- [1] Amgoud, L., Parsons, S., and Maudet, N., "Arguments, dialogue, and negotiation," Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2000), pp. 338-342, 2000.
- [2] Chavez, A., and Maes, P., "Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods," Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM-96), pp. 75-90, 1996.
- [3] Parsons, S., Sierra, C., and Jennings, N. R., "Agents that reason and negotiate by arguing," Journal of Logic and Computation, Vol. 8, No. 3, pp. 261-292, 1998.
- [4] Pearl, J., "Causality - Models, Reasoning, and Inference -," Cambridge University Press, 2000.
- [5] Prakken, H., and Sartor, G., "Argument-based extended logic programming with defeasible priorities," Journal of Applied Non-Classical Logics, Vol. 7, No. 1-2, pp.25-75, 1997.