

課題番号	Q22D-05
課題名（和文）	因果ベイジアン・ネットワークにおける効率的な因果探索アルゴリズムの開発
課題名（英文）	Development of efficient causal discovery algorithms in causal Bayesian networks
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 先端科学技術研究科 情報学専攻 博士後期課程 氏名 樋口 滉規
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 東京電機大学大学院 先端科学技術研究科 情報学専攻 教授 氏名 高橋 達二
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名

研究成果の概要（和文）

本研究は、認知科学研究において有効性が示された人間の因果関係に関する直感のモデルを、数理科学研究において複雑な事象間の因果構造を取り扱うために開発された枠組みであるベイジアン・ネットワークへと適用することで、新たな構造探索アルゴリズムを開発した。また、コンピュータ・シミュレーションに基づいて提案アルゴリズムの性能を定量的に評価することで、提案アルゴリズムが特にスモールデータから推論において従来のアルゴリズムよりも高い母集団推定性能を示すことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）

In this study, we developed a new structure-search algorithm by applying the model of human intuition about causality, which has been shown to be effective in cognitive science research, to Bayesian networks, a framework developed in mathematical science research to handle causal structures among complex events. We also quantitatively evaluated the performance of the proposed algorithm based on computer simulations, and found that the proposed algorithm shows higher population estimation performance than conventional algorithms, especially in inference from small data.

1. 研究開始当初の背景

複数事象間の因果的な構造を表現するための枠組みとして因果ベイジアン・ネットワークがあるが、考慮する事象の数に対して必要な計算量が指数的に増大するために実問題への適用が難しいという問題がある。それを解決すべく、これまでに様々な探索アルゴリズムが提案されてきた。特に PC アルゴリズムと呼ばれる手法の登場は、探索の飛躍的な効率化を実現したが、その適用範囲が疎結合ネットワークに限られるなどの問題は依然として残っており、問題の本質的な解決には至っていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、人間の因果関係に関する直感のモデルとして知られる **proportion of Assumed-to-be Rare Instances (pARIs)** をベイジアン・ネットワークにおける構造探索アルゴリズムへと適用するものである。また、それによって、従来の認知科学的な枠組みを超えて、より複雑な状況下における人間の因果推論プロセスの説明という科学的な目標ならびに、より儉約的な因果探索アルゴリズムの提案という工学的な目標の双方の実現を試みる。

3. 研究の方法

ベイジアン・ネットワークの枠組みにおいて、データからその背景にある因果的な構造を推定する際には、一般的に条件付き独立性の検定が利用される。本研究では、認知科学的な因果的直感のモデルである pARIs を条件付き独立検定の近似として利用するアルゴリズムを提案する。また、提案したモデルの性能の評価は2つの観点から行う。まずは工学的観点からの分析として、人工データ生成とパラメータ・リカバリーの確認の組からなる計算機シミュレーションによって、ネットワーク探索の速度および精度の観点から分析を行う。条件付き独立性検定をより単純な pARIs による独立性判断で代替することにより、スモールデータから推論可能で、効率的なベイジアン・ネットワークの構造学習の実現が期待

される。

また、認知科学的な分析として人間を対象とした認知実験を Web 上で実施し、認知科学の観点から性能の評価を行う。人間の因果的直感と極めて近い振る舞いを示す pARIs を用いたベイジアン・ネットワークの構造学習アルゴリズムを適用することで、人間が複数事象間の因果関係をどのように学習しているか、またなぜそのように学習しているのかを説明できる可能性がある。

4. 研究成果

人工データ生成とパラメータ・リカバリーの確認の組からなる計算機シミュレーションによって、ネットワーク探索の速度および精度の観点から分析を行った。その結果、提案アルゴリズムはデータからその背後にある因果構造を推定するための手法として、特にスモールデータからの推論において従来手法と比較して有効であることが示された。

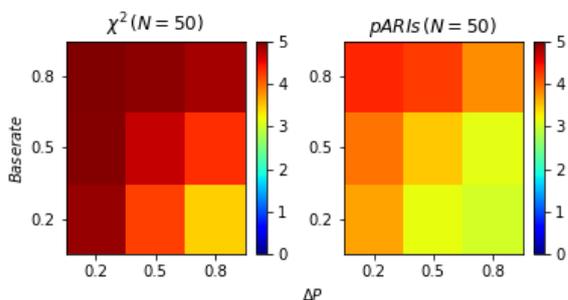


図1 スモールデータにおける従来のアルゴリズム(左)と提案アルゴリズム(右)の推定誤差。縦軸は各事象の生起確率、横軸は事象間の因果強度

他方、提案アルゴリズムを以て人間の因果探索のプロセスを説明できるかを認知実験に基づいて分析は行えておらず、今後の課題とする。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

- ① 樋口 滉規, 高橋 達二, 人間の因果的直感に基づく因果探索アルゴリズム, 日本認知科学会第39回大会, 2022年9月8日, オンライン