

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800013

研究課題名(和文) 認識系と意志決定系を統合した脳型情報処理モデルの基礎研究

研究課題名(英文) Basic research on brain-inspired information processing systems with integrated computation for recognition and decision making

研究代表者

奥 牧人 (Oku, Makito)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：30633565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円、(間接経費) 450,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳における二種類の情報処理系、すなわち認識系(入力に関する処理系)と意志決定系(出力に関する処理系)を統合的に扱うための理論的枠組みを整備し、脳のような高度に知的な情報処理システムを工学的に実現するための基礎モデルを築くことに取り組んだ。

具体的に、認識系および意思決定系に関わる計算を、ダイナミックベイジアンネットワークモデル上の確率推論問題として統合的にモデル化し、その厳密解の導出ならびに近似解法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：This research aimed for the development of a new computational theory of the brain that integrates two types of brain's functionality, that is, recognition (input-related computation) and decision making (output-related computation). We also tried to establish a fundamental mathematical model based on the theory that may contribute to the realization of highly intelligent information processing systems like the brain.

Specifically, we have modeled the computation associated with recognition and decision making as probabilistic inference on a dynamic Bayesian network model in a unified manner. We have also derived the exact solution of the probabilistic inference problem and proposed an approximation method for it.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生体生命情報学

キーワード：脳型情報処理 確率推論 ベイズの定理 ダイナミックベイジアンネットワーク 意思決定 近似解法
マルコフ連鎖モンテカルロ法 部分観測マルコフ決定過程

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳の情報処理は極めて複雑であり、その仕組みはまだ十分に明らかになってはいない。脳の研究には様々なアプローチがあるが、その中で「脳はそもそも何を計算しているのか」を問う脳の計算論が近年大きな進展を見せている。

(2) 近年の脳の計算論によると、脳の機能のうち入力に関する処理(例えば、目や耳など感覚器からの入力情報と、対象に関する事前の知識に基づいて、物体の識別や外界の状態推定を行う処理など)は、「ベイズ推論」の理論的枠組みによって多くの場合うまく説明できることが分かってきた。

(3) 一方、脳の出力に関する処理(例えば、与えられた目的を達成するために、或いは、なるべく多くの報酬を得るために、ある制約条件のもとで最適な行動を選ぶ処理など)は、以前より「期待報酬最大化」の理論的枠組みで議論されることが多かった。

(4) このように、従来の脳の計算論では、入力に関する処理系(以降、認識系と呼ぶ)と出力に関する処理系(以降、意思決定系と呼ぶ)の機能を、それぞれベイズ推論と期待報酬最大化の考え方に当てはめて理解しようとしていた。これに対し、両者を同一の理論的枠組みの下に統合することが出来れば、脳の機能を統一的に見通すことができるようになり、知的な脳型情報処理システムの実現にも繋がると期待される。例えば、災害・医療現場で今後需要が見込まれる自律型ロボットなどへの応用も考えられる。

(5) 実際に、これら2つの理論的枠組みの統合へ向けた機運は近年高まりつつある。例えば、BotvinickとAnは、意思決定系の機

能をベイズ推論として捉えられることを、脳科学的視点から論じている(Botvinick & An, 2008)。この他にもベイズ推論の考え方を意志決定系に導入する試みは近年盛んに研究されている。

(6) これに対し、本研究の代表者らは、認識系と意思決定系の機能理解へ向けて、数学的に扱いやすいダイナミックベイジアンネットワーク(DBN)モデルを用いて研究を進めてきた(奥 & 合原, 脳と心のメカニズム夏のワークショップ, 2011; 奥 & 合原, 生産研究, 2013)。これまでの研究では、認識系と意思決定系を同一のDBN上の別々の推論問題として定式化し、類似点と相違点を整理するところまで出来ていた。しかし、両者を統合し、さらにその理論を発展・展開する部分の研究がまだ出来ていなかったため、本研究課題を申請するに至った。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、脳における二種類の情報処理系、すなわち認識系(入力に関する処理系)と意思決定系(出力に関する処理系)を統合的に扱うための理論的枠組みを整備し、脳のような高度に知的な情報処理システムを工学的に実現するための基礎モデルを築くことである。

(2) 具体的に、以下の3つの項目を主要課題として設定した。

【統合モデルの構築】認識系における有力な既存の理論、ベイズ推論の考え方を、意思決定系も含む形に拡張する。

【厳密解の導出と近似手法の検討】統合モデルにおける厳密な最適解を定式化し、それを近似的に解く手法についても検討する。

【新たな情報処理システムの提案】ベイズ推論における直接モデルと間接モデル

を組み合わせ、柔軟性の高い新たな情報処理システムを提案する。

3. 研究の方法

(1) 本研究課題の期間は平成24年度と平成25年度の2年間であったため、初年度は主要課題の項目1および項目2に取り組み、次年度は項目2の続きおよび項目3に取り組むという予定を立て、研究を行った。

(2) 具体的な手段としては、理論解析、数値実験、文献調査、議論・意見交換、研究会参加などを通して、課題に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 主要課題1【統合モデルの構築】については、大筋計画どおりの成果が得られた。研究代表者のこれまでの研究を進展させ、これまでDBN上の異なる2つの確率推論問題として別々に定式化されていた認識系の機能と意思決定系の機能を、一つにまとめて定式化することに成功した(図1参照)。

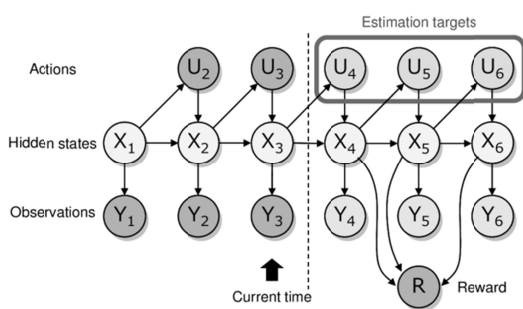


図1: DBN上の確率推論問題に即した統合モデルの構築

(2) 主要課題2【厳密解の導出と近似手法の検討】についても、大筋は計画どおりに進めることが出来た。まず、前述の統合モデルにおけるベイズ最適な厳密解を、全ての変数が離散の場合について導出するこ

とに成功した。

(3) また、この厳密解を近似的に解く手法を検討した結果、既存の手法では効率が不十分であることが分かり、既存手法を改良した新たな近似手法を開発した。両手法を比較するため、部分観測マルコフ決定過程のベンチマーク問題を少し変更したものを用意し、数値計算によって提案手法の有効性を検証した(図2参照)。

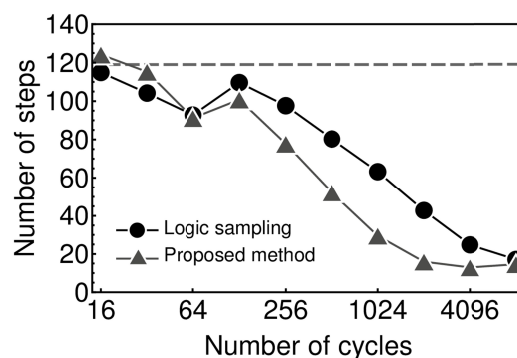


図2: 推論問題の近似解法における既存手法と提案手法の性能比較

(4) 以上の主要課題1および2における主な成果は、査読付き国際会議にて発表した(主な発表論文等、学会発表)。

(5) 一方で、主要課題3【新たな情報処理システムの提案】については、残念ながら期間内に具体的な形でまとめることが出来なかった。これについては、将来的にきちんとまとまった段階で、本助成事業による研究成果として発表を行う予定である。

(6) 本研究で得られた成果の国内外におけるインパクトは、残念ながら大きくはない。しかし、前述のとおり本研究は潜在的に大きな将来性および発展性を有していると期待されるため、本研究をきちんと次のステップへ繋げて、さらなる展開を目指すことが重要であると考えられる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

Makito Oku, "Approximated Probabilistic Inference on a Dynamic Bayesian Network Using a Multistate Neural Network," 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2013), 2013年9月11日, サンタフェ、アメリカ合衆国.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sat.t.u-tokyo.ac.jp/~oku>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

奥 牧人 (Makito Oku)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：30633565

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし