

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月26日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22656088

研究課題名（和文） 対数の一般化に基づく高速な尤度最適化アルゴリズムとその応用

研究課題名（英文） Fast Likelihood Ratio Optimization Based Upon Generalized Logarithm and Its Applications

研究代表者

松山 泰男 (MATSUYAMA YASUO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：60125804

研究成果の概要（和文）：尤度を最適化する学習アルゴリズムをアルファ対数の利用という形で一般化し、高速なアルゴリズムを得た。対象としては、波及効果の高い隠れマルコフモデル推定アルゴリズムと独立成分分析アルゴリズムを選んだ。いずれの場合においても、アルファ対数の利用は繰り返しにおける過去情報をモーメンタム項として利用するという形で現れ、少ないオーバーヘッドで通常の対数の場合よりも高速な収束を達成できるという成果を得た。

研究成果の概要（英文）：Likelihood optimization for learning algorithms was generalized by using the alpha-logarithm. This generalization led to a faster convergence than traditional methods. Algorithms on hidden Markov model estimation and independent component analysis were chosen since they have high ramifications. The use of the alpha-logarithm appears as the utilization of past information via momentum terms. This property enabled faster convergence than traditional methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	0	1,200,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	540,000	3,540,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：信号処理

1. 研究開始当初の背景

凸ダイバージェンスは確率構造間の類似度を測る情報距離として最上位にある。その逆で、最下部にあるのが対数関数に基づく情報量、すなわちエントロピーや対数尤度である。

対数は乗法的コストを加法的コストに変換するものとして最もよく用いられているが、その曲率の強さのために増加が鈍く、繰り返し

が必要な最適化においては収束が遅くなるという問題を抱えていた。

2. 研究の目的

この研究では、凸ダイバージェンスから導かれるアルファ対数を用いて、情報量の最適化に基づく確率的学習アルゴリズムを理論的に一般化し、かつ高速なアルゴリズムを得ることを目的とした。このとき、成功時の波

及効果が大きいと思われる隠れマルコフモデル推定アルゴリズムと独立成分分析アルゴリズムを主要な問題として選び、抽象的な最適化アルゴリズムにとどまらず、ソフトウェアとして実現できる具体性を得ることまでを問題設定とした。

3. 研究の方法

確率的最適化を図る従来の学習アルゴリズムは確率量を尤度とみなし、その対数値を最大化する方法をとっていた。これに対して、本研究ではアルファ対数を採用し、さらに尤度比を用いることを出発点とした。対数を用いる場合、尤度の最適化と尤度比の最適化に違いは出ないが、アルファ対数の場合にはその違いが出る。ただし、この場合は対数関数の最大の長所である積を加算に変える性質は成り立たないので、冪関数の展開を用いた。また、尤度比の性質を用いると因果律を満たさない計算方法となることがあるので、その場合には左辺（被更新値）と右辺（更新値）の間で因果性が成り立つように、時制をシフトした。

4. 研究成果

(1) アルファ隠れマルコフモデル推定アルゴリズムの作成

この問題においては、隠れマルコフモデル推定アルゴリズム、すなわち Baum-Welch アルゴリズムが期待値最大化アルゴリズム (EM アルゴリズム) の特例であることを用いた。そしてさらに、Matsuyama によるアルファ EM アルゴリズムが通常の EM アルゴリズムを特例として含むことにより、アルファ EM アルゴリズムの Q-関数を隠れマルコフモデルに適用し、それに対してラグランジュ最適化法、冪関数の級数展開、そして因果性を満たすための時制のシフトを行った。これにより、次の4つの場合の全てにおいて、ソフトウェアとして作成できるアルゴリズムを得ることができた。

- ① 離散記号の情報源
- ② 連続記号の情報源
- ③ 半連続記号の情報源
- ④ 離散・連続混在の情報源

以上のように、Baum-Welch アルゴリズムが登場してから 40 年後に、本研究により一般化された高速隠れマルコフモデル推定アルゴリズム (アルファ HMM) が得られた。

図 1 はアルファ HMM の高速性を示したものである。この図において、横軸は収束回数、そして縦軸はコスト関数としての対数尤度である。パラメータの β が 1.0 の場合が対数関数の場合すなわち Baum-Welch アルゴリズムの場合である。そして β が 1.0 より大きい場合がアルファ HMM の場合であり、3 倍程度高速である。 β が 3.0 の場合までを図示して

いるのは、この値が安定限界であることを理論的に導いてあるからである。

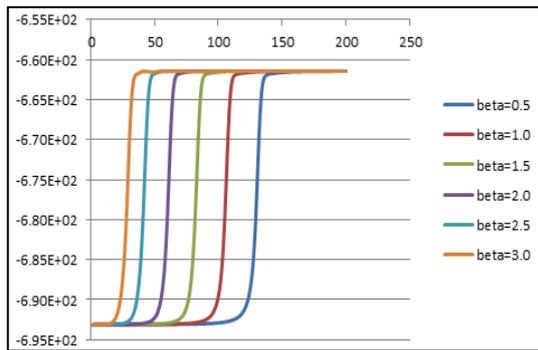


図 1 アルファ HMM の収束速度

(2) 高速な独立成分分析アルゴリズムの作成

この問題においても、過去情報の利用が有効であることを見据え、デファクトスタンダードとなっているフィンランド学派の Fast ICA アルゴリズム (Fast Independent Component Analysis algorithm) を打ち破ることを目指して、これを達成した。この問題は不動点アルゴリズムである Fast ICA の優れた性能のため、多くの研究者たち挑戦を退け続けてきた問題であった。この研究において Fast ICA を打ち破った成果は次の通りである。

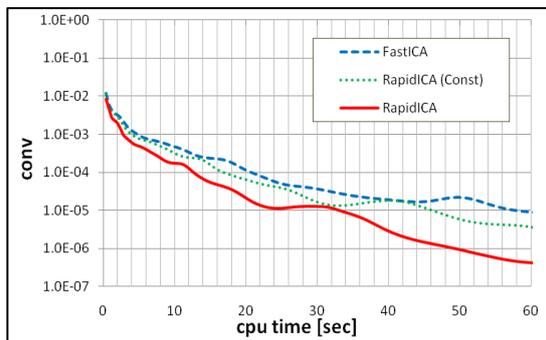


図 2 Rapid ICA と従来の Fast ICA

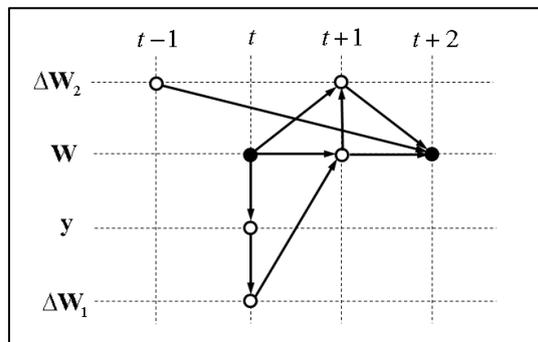


図 3 Rapid ICA のための過去情報の利用法

図 2 は過去情報を利用した ICA アルゴリズム

ム、すなわち本研究の成果である Rapid ICA と従来の Fast ICA の収束速度を比較したものである。横軸は実際の CPU 使用時間、そして縦軸は誤差値に相当するコスト関数である。使用データとしてはデジタル自然画像を用いた。この図にあるように、Rapid ICA は従来のデファクトスタンダードである Fast ICA よりも 1.5~2 倍程度高速となっている。この高速性が得られる原因はやはり過去情報の利用である。

図 3 は過去情報の利用手順を図示したものである。この図において、横軸はアルゴリズムの繰り返しにおけるインデックス、そして縦軸にある諸量は重み行列の値、その増分、そして繰り返しの過程での独立成分分解値である。

本研究は、以上のような研成果を得て終了することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① R. Yokote and Y. Matsuyama, Rapid algorithm for independent component analysis, Journal of Signal and Information Processing, Vol. 3, No. 3, pp. 275-285, 2012, 査読あり.
DOI: 10.4236/jsip.2012.33037
- ② Y. Matsuyama, R. Yokote and Y. Yokosawa, Conversion of sensitivity-based tasks from brain signals and motions, Proceedings of the International Association of Science and Technology for Development's International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing, pp. 270-277, 2012, 査読あり.
DOI: 10.2316/P.2012.777-015
- ③ Y. Matsuyama, From convex divergence to human-aware information processing: Good models mismatch well, therefore serviceable, Invited Talk Abstract of International Workshop on Anomalous Statistics, Generalized Entropies, and Information Geometry, Paper 20, 2012 (Invited Presentation).
<https://sites.google.com/site/next2012nara/program>
- ④ R. Yokote, T. Nakamura and Y. Matsuyama, Independent component analysis with graphical correlation: Applications to multi-vision coding,

Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, San Jose, CA, pp. 701-708, 2011, 査読あり.
DOI: 10.1109/IJCNN.2011.6033290

- ⑤ Y. Matsuyama, Hidden Markov model estimation based on the alpha-EM algorithm: Discrete and continuous alpha-HMMs, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, pp. 809-816, San Jose, CA, 2011, 査読あり.
DOI: 10.1109/IJCNN.2011.6033304
- ⑥ Y. Matsuyama and R. Yokote, Fast estimation of hidden Markov models via alpha-EM algorithm, Proceedings of 2011 IEEE Statistical Signal Processing Workshop, Nice, France, pp. 89-92, 2011, 査読あり.
DOI: 10.1109/SSP.2011.5967835
- ⑦ R. Yokote and Y. Matsuyama, Yet rapid ICA: Applications to un-indexed image-to-image retrieval, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Barcelona, Spain, pp. 4255-4262, 2010, 査読あり.
DOI: 10.1109/IJCNN.2010.5596895
- ⑧ Y. Matsuyama and R. Hayashi, Alpha-EM gives fast hidden Markov model estimation: Derivation and evaluation of alpha-HMM, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Barcelona, Spain, pp. 663-670, 2010, 査読あり.
DOI: 10.1109/IJCNN.2010.5596959

[図書] (計 1 件)

- ① 松山泰男, バイオインフォマティクス in silico, 培風館, 全 290 ページ, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

- ① 名称: 隠れマルコフモデルの推定方法, 推定装置および推定プログラム
発明者: 松山泰男, 林 龍之介
権利者: 同上と早稲田大学
種類: 特願
番号: 2010-159949
出願年月日: 2010 年 7 月 16 日
国内外の別: 国内
- ② 名称: 独立成分分析の分析装置, 分析方法および分析プログラム
発明者: 松山泰男, 横手良太

権利者：同上と早稲田大学
種類：特願
番号：2010-161211
出願年月日：2010年7月16日
国内外の別：国内

[その他]

○新技術説明会（計1件）

- ① 松山泰男、汎用性を有する高速な隠れマルコフモデル推定法、科学技術振興機構新技術説明会資料、科学技術振興機構JSTホール、2011年12月20日。

○ホームページ等（計2件）

- ① 松山泰男研究室
<http://www.wiz.cs.waseda.ac.jp>
- ② ReaD & Researchmap
<http://researchmap.jp/read0169581/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松山 泰男 (MATSUYAMA YASUO)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：60125804