

## 自己評価報告書

平成 23 年 4 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008年度～2011年度

課題番号：20680007

研究課題名（和文） 動的に変化する環境下での機械学習

研究課題名（英文） Machine Learning under Dynamically Changing Environment

研究代表者

杉山 将 (SUGIYAMA MASASHI)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90334515

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：機械学習，データマイニング，非定常環境，重点サンプリング，密度比推定

## 1. 研究計画の概要

従来のデータ学習法は、データが生成される環境が定常的（即ち時間とともに変化しない）という大前提の下で理論が構築され、その理論に基づいたアルゴリズムが開発されてきた。しかしながら、近年の応用分野では定常性が成り立たない場合が多い。本研究プロジェクトの目的は、環境の変化に対応するための基礎理論、および、実用的なアルゴリズム開発を行なう。そして、その成果をロボティクスやブレイン・コンピュータインターフェースなどに応用する。

## 2. 研究の進捗状況

計画の項目別に説明する。

- ・基礎理論研究：環境が変化した場合に既存の学習法がどのような影響を受けるかを数理的に解明し、環境が変化した場合でもアルゴリズムが正しい答えに収束することを理論的に保証するための一般論を構築した。
- ・アルゴリズム開発：環境の変化の影響を吸収できるアルゴリズムを開発した。
- ・応用：開発した手法をブレイン・コンピュータインターフェース、音声による話者識別、顔画像からの年齢推定、強化学習によるロボット制御に応用し、提案手法の有効性を示した。
- ・情報発信：開発したアルゴリズムをウェブで一般公開した。ACM Transactions on Intelligent Systems and Technologyにおいて特集号のco-editorを務めた。一連の研究成果を本としてまとめており、MIT Pressより出版する予定である。

## 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している

理由：アルゴリズム開発は予定以上にスピーディに進捗し、研究プロジェクトの早い段階で当該分野最難関の国際会議 NIPS を含む主要な国際会議に論文が採択された。国内では、画像の認識・理解シンポジウム 2008 (MIRU2008)にて優秀論文賞、2010年人工知能学会 DMSM 研究会研究会優秀賞を受賞し、また、研究代表者が所属する東京工業大学にて2008年東工大挑戦的研究賞を受けた。そしてこれらの研究成果が認められ、複数の企業から産業応用の申し込みを受け、共同研究を開始した。また、専門書出版社として世界的な権威である MIT Press から、関連分野を幅広く調査した書籍を編集し出版した。更に同出版社より、本研究プロジェクトの成果を中心に含む単行本を出版する予定であり、現在執筆中である。

## 4. 今後の研究の推進方策

すでに非定常環境適応の基礎アルゴリズムは完成しているため、更なる応用分野の開拓に努める。また、情報発信も積極的に行う。具体的には、上述したように MIT Press より専門書を出版するとともに、様々なソフトウェアを無償で公開する。

一方、学術的な立場からは、非定常環境適応学習の理論的研究を通して様々な新しい研究課題が見つかりつつある。その一部はすでに、JST さきがけプロジェクトとして採択されるなど、新たな研究パラダイムの創生につながっている。引き続き、本研究プロジェクトの当初の枠組みに囚われ過ぎることなく、新たな研究パラダイムの模索を続ける。

5. 代表的な研究成果  
(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 12 件)

1. Li, Y., Kambara, H., Koike, Y., & Sugiyama, M. Application of covariate shift adaptation techniques in brain computer interfaces. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.57, no.6, pp.1318-1324, 2010.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2010/BIWLDA.pdf>

2. Akiyama, T., Hachiya, H., & Sugiyama, M. Efficient exploration through active learning for value function approximation in reinforcement learning. *Neural Networks*, vol.23, no.5, pp.639-648, 2010.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2010/API.pdf>

3. Yamada, M., Sugiyama, M., & Matsui, T. Semi-supervised speaker identification under covariate shift. *Signal Processing*, vol.90, no.8, pp.2353-2361, 2010.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2010/IWKLR.pdf>

4. Hachiya, H., Akiyama, T., Sugiyama, M., & Peters, J. Adaptive importance sampling for value function approximation in off-policy reinforcement learning. *Neural Networks*, vol.22, no.10, pp.1399-1410, 2009.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2009/SRPI.pdf>

5. Sugiyama, M. & Nakajima, S. Pool-based active learning in approximate linear regression. *Machine Learning*, vol.75, no.3, pp.249-274, 2009.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2009/PALICE.pdf>

6. Kanamori, T., Hido, S., & Sugiyama, M. A least-squares approach to direct importance estimation. *Journal of Machine Learning Research*, vol.10 (Jul.), pp.1391-1445, 2009.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2009/LSIF.pdf>

7. Sugiyama, M., Suzuki, T., Nakajima, S., Kashima, H., von Büna, P., & Kawanabe, M. Direct importance estimation for covariate shift adaptation. *Annals of the*

*Institute of Statistical Mathematics*, vol.60, no.4, pp.699-746, 2008.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2008/KLIEP.pdf>

[学会発表] (計 16 件)

1. Ueki, K., Sugiyama, M., & Ihara, Y. Perceived age estimation under lighting condition change by covariate shift adaptation. *20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010)*, Istanbul, Turkey, 2010.8.23-26.  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2010/ICPR2010a.pdf>

2. Hachiya, H., Peters, J., & Sugiyama, M. Efficient sample reuse in EM-based policy search. *European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML-PKDD2009)*, Bled, Slovenia, 2009.9.7-11  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2009/ECML-PKDD2009.pdf>

3. Akiyama, T., Hachiya, H., & Sugiyama, M. Active policy iteration: Efficient exploration through active learning for value function approximation in reinforcement learning. *Twenty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI2009)*, Pasadena, California, 2009.7.11-17  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2009/IJCAI2009.pdf>

4. Kanamori, T., Hido, S., & Sugiyama, M. Efficient direct density ratio estimation for non-stationarity adaptation and outlier detection, *Neural Information Processing Systems (NIPS2008)*, Vancouver, Canada, 2008.12.8-13  
<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/2008/NIPS2008.pdf>

[図書] (計 1 件)

Quiñonero-Candela, J., Sugiyama, M., Schwaighofer, A., & Lawrence, N. D. (Eds.), *Dataset Shift in Machine Learning*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2009.

[その他]

ソフトウェアの公開ページ

<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/oftware/index.html>