

## 論文内容の要旨

博士論文題目

Probabilistic approach to unsupervised representation learning  
in dynamic environments

(動的環境における教師なし表現学習への確率的アプローチ)

氏名 平山 淳一郎

Learning useful representation of multivariate data is one of the principal themes of unsupervised learning. In this thesis, I investigate dynamic extensions of such “representation learning” techniques, particularly focusing on specific problems in which some difficulties arise from a dynamic nature of environment.

In the former part of this thesis, I propose a new extension of probabilistic/noisy independent component analysis (ICA), to address a difficult non-stationarity that may occur in real-world contexts of blind source separation (BSS) problem, such that each source signal abruptly appears or disappears with time. I employ a special type of hidden Markov and hidden semi-Markov models to realize a dynamic switching of source variables in the framework of probabilistic ICA. I derive an effective approximation of Bayesian inference for this model based on the variational Bayes (VB) method. In simulation experiments using artificial and realistic source signals, I demonstrate the superior performance of the proposed method to existing ones, especially in uncertain situations.

In the latter part, I investigate an online feature extraction problem, particularly focusing on such situations that the environment is not stationary but dynamically changing, sometimes even abruptly. In this difficult non-stationary context, an appropriate control of adaptability/stability of a learning model is the key for rapid adaptation to the environmental changes. Focusing on feature extraction task by means of the probabilistic PCA (PPCA), I propose two online learning schemes that

have such a character, based on the previously-proposed online variational Bayes (VB) method: One is based on an explicit formulation of probabilistic novelty detection by a mixture of PPCA model, the other is a principled approach using the hierarchical Bayes method based on a new interpretation of the online VB presented in this thesis. I demonstrate their availabilities in simulation experiments. In addition, I also discuss the biological implication of the proposed learning models, especially with hypothesizing their possible realization in brain.

While the methods proposed in this thesis have been developed as general statistical techniques to analyze and process stochastic data that inherently have dynamic natures, their high performances demonstrated in the simulation experiments indicate the future availabilities for specific real-world problems. Thus, I finally discuss the potential applications of the proposed methods with also discussing open issues remained for future developments of these methods.

(論文審査結果の要旨)

本論文は、確率モデルに基づくアプローチにより、主成分分析や独立成分分析といった基本的な多変量解析の手法を、データの性質が時間的に変動する非定常な状況へと拡張している。提案された手法群はシミュレーション実験により評価され、非定常な状況において実際に従来手法と比較して高い性能を示すことが確認された。本論文の主な成果は以下のように要約される。

1. 隠れマルコフ（もしくはセミマルコフ）モデルにより独立成分の出現・非出現を陽にモデル化した Switching ICA 法を提案し、ブラインド信号分離において従来の独立成分分析では時間とともに異なる原信号が出現する状況で適切な結果が得られないという問題を解決した。また、独立成分の数が未知の場合や観測次元よりも大きいといった困難な場合にも適用できることを示した。
2. 非定常独立成分分析の手法としてセミマルコフモデルを初めて導入し、その有効性を計算機実験により示した。
3. オンラインベイズ学習において学習速度を自動的に調節する手法はこれまでに提案されていなかったが、本論文ではベイズ推定に基づく手法を提案し、ベイズ的主成分分析を環境の動的変化に追従可能な形へと拡張した。また、その有効性を計算機実験により示した。
4. 近年提案されているオンライン変分ベイズ学習法に関して理論的考察を行い、その手続きが古典的な逐次ベイズ推定法の特殊な形として解釈できることを示した。

以上のように、本論文は非定常性に対処可能な多変量解析手法を、理論的な裏付けに基づいて提案し、その有効性を計算機実験により検証したものである。十分な独創性と学術的な意義に加え、現実問題においてはしばしば環境の非定常性が問題となることから、さまざまな領域への将来的な応用も期待できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値があるものと認める。