

# 独立成分分析におけるセンサー位置の最適化

三根 宏太\*  
Kouta Mine

下平 英寿†  
Hidetoshi Shimodaira

**Abstract:** 独立成分分析は、センサーで得られた観測信号から、混合前の原信号を推定する。この際、センサーの位置を動かせるとした場合、センサーの位置によって推定のおよしあしが異なってくるのが予想される。似た状況は機械学習分野で能動学習として研究されている。そこで能動学習の結果を参考にして、独立成分分析においてセンサー位置を最適化するための規準の計算を試みる。

**Keywords:** Independent Component Analysis, active learning

## 1 独立成分分析

独立成分分析 (Independent Component Analysis:ICA) は混合された信号を分離する手法であり、暗中信号分離 (Blind Source Separation) とも呼ばれる。互いに独立な原信号を  $\mathbf{s}(t)$ , 観測信号を  $\mathbf{x}(t)$  としたとき、 $\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t)$  により信号を観測する。ここで  $\mathbf{x}(t) = \{x_1(t), \dots, x_N(t)\}^T$  および  $\mathbf{s}(t) = \{s_1(t), \dots, s_N(t)\}^T$  は各信号を要素として並べたベクトルであり、同じ次元とする。観測信号のデータ  $\mathcal{X} = \{\mathbf{x}(1), \dots, \mathbf{x}(T)\}$  のみから、原信号  $\mathcal{S} = \{\mathbf{s}(1), \dots, \mathbf{s}(T)\}$  を推定するのが ICA である。

このとき、混合行列  $A$  の値によって、ICA 推定の精度の差が出てくることが予想される。とくに、原信号が発生している信号源の位置と、観測信号を観測するセンサーの位置から混合行列  $A$  が定まるとすれば、ICA 推定の精度のよい混合行列  $A$  を求める問題は、センサーの位置を動かし ICA 推定の精度のよい位置にセンサーを配置する問題となる。

## 2 定式化

簡単のため、次のような場合を考える。信号源の列とセンサーの列を平行に配置し、直線上でセンサーを自由に動かせる場合を考える。直線と平行に座標軸をとり、信号源、センサーの位置を各々  $\mathbf{z} = \{z_1, \dots, z_N\}^T$ ,  $\mathbf{y} = \{y_1, \dots, y_N\}^T$  とおく。ただし  $z_1 < \dots < z_N$ ,  $y_1 < \dots < y_N$  とする。原信号  $s_i$  は期待値 0 分散  $\sigma^2$  の確率

分布  $p_i(s_i)$  に従うとする。混合行列  $A$  は関数  $f$  を用いて  $A_{i,j} = f(y_i, z_j, \sigma^2)$  で表されるとする。特に真の値を  $A^*$  とする。

復元行列  $W$  の推定値を用い、 $\hat{W}\mathbf{x}$  で原信号を推定する。観測データ  $\mathcal{X}$  を白色化することで、復元行列は直交行列に限るとして、 $\hat{W}$  は下で求める。

$$\hat{W} = \arg \min_W \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^N \log p_i(W_i \mathbf{x}(t)) + |\det W| \right\} \quad (1)$$

ここに  $W_i$  は  $W$  の第  $i$  行である。

このとき、推定の良さを測るために次の期待値を考える。

$$E_{\mathcal{S}} \left[ \int p(\mathbf{s}) \sum_{i=1}^N (s_i - \hat{W}_i A^* \mathbf{s})^2 d\mathbf{s} \right] \quad (2)$$

式 2 を最小にする  $\mathbf{y}$  が最適なセンサーの位置といえる。機械学習の能動学習に関連して、式 2 の  $\hat{W}$  に関する展開を行うことで、規準が導かれることが期待される。

## 参考文献

- [1] T. Kanamori, H. Shimodaira, Active learning algorithm using the maximum weighted log-likelihood estimator, J. Stat. Planning Inference 116 (1) (2003) 149-162
- [2] Amari, S., T. Chen and A. Cichocki, Stability analysis of learning algorithms for blind source separation, Neural Networks 10 (1997) 1345-1351

\*東京工業大学大学院 情報理工学研究所, 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1, e-mail mine.k.aa@m.titech.ac.jp, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku Tokyo 152-8552

†東京工業大学大学院 情報理工学研究所, 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1, e-mail shimo@is.titech.ac.jp, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku Tokyo 152-8552