

# ユーザ適応インタフェースのための状態空間モデルによるユーザタイプの推定

## Estimation of user type by state space model for user adaptive interface

馬場 恵子                      百留 貴弘                      松本 洋介  
Keiko Baba                      Takahiro Hyakudome                      Yousuke Matsumoto  
生駒 哲一                      前田 博  
Norikazu Ikoma                      Hiroshi Maeda

九州工業大学工学部  
Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

**Abstract:** This study aims at the development of the user adaptive interface for the aged, the physically handicapped, and the injured, etc. This GUI displays the operation screen according to the user characteristic for making easy to use a wheelchair with the autonomous run function. By mixture models, we extract user types from the operation data, and estimate the degree of belonging to each user type from the user's operation history. For this estimation, we use the state space model from which the mixing probabilities change smoothly.

### 1. はじめに

現在、コンピュータはさまざまな電化製品に利用され、私達の生活に欠かせないものになっている。しかし、これらの製品は、全てのユーザの要求を満たすものとは言えない。また、大量生産された製品では満足できない現代社会において、より自分の個性に合ったものが求められている。現在、コンピュータ技術の飛躍的な発達によって、それまで人間が行うことが不可能であったような膨大な計算や解析が詳しくできるようになってきた。従って、技術的には、各ユーザの個性を把握し、その要求に応じたサービスを提供することが可能である。さらに、ユーザについての大量なデータも容易に入手できる。しかし、実際に得られたデータをどのように解析し、どう扱えばユーザの要求に応じることができるのかという問題が生じる。

そこで、事前に取得できるデータから、混合分布モデルによりユーザタイプを抽出する。新規ユーザに対しては、測定した値から各ユーザタイプに属する度合いを推定した。この時、新規ユーザに対し、多数の測定をすることは困難なので、部分的な観測値からユーザタイプを推定しなければならない。ここでは、混合分布モデルの混合比率を初期値とし、混合比率の値が滑らかに変化する状態空間モデルを用いて推定を行う。

この原理に基づき、キーボードのタイピングについて、ユーザタイプを推定する実験を行う。可能な限り多数の被験者に、表示された文章を入力してもらい、混合分布モデルによってモデル化する。新規ユーザについては、少ない操作数から観測されたデータに基づき、状態空間モデルを用いて、ユーザタイプを推定する。

### 2. 原理

#### 2.1. 混合分布モデル

あるユーザタイプについて、入力  $\mathbf{x}$  と外部入力  $\mathbf{z}$

が与えられた時、ユーザの反応結果から得られる測定項目  $\mathbf{y}$  の値を確率密度関数

$$p_k(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{z}) \quad (1)$$

によりモデル化する。ここで  $k$  はユーザタイプの番号を表す。

多数のユーザについて、入力  $\mathbf{x}$  と外部入力  $\mathbf{z}$  が与えられた時、ユーザの反応結果から得られる測定項目  $\mathbf{y}$  の値を混合分布モデル

$$p(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{z}; \alpha) = \sum_{k=1}^K \alpha_k p_k(\mathbf{y} | \mathbf{x}, \mathbf{z}) \quad (2)$$

で表す。ここで

$$\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K] \quad (3)$$

は各ユーザタイプに対応する重み係数  $\alpha_k$  からなる混合比率のベクトルである。ただし、制約条件

$$\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1, \quad \alpha_k \geq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad (4)$$

を満たすものとする。

事前にどのようなユーザタイプが存在するのか、また、各ユーザがどのユーザタイプに属するのかは判らないものとする。様々なユーザに対して、様々な入力と外部入力を与えたとき、測定項目について測り、このデータから混合分布モデルを推定する。ここでは「タイプ抽出」と言う。

モデル推定には EM アルゴリズムを使用し、観測データから最適なコンポーネント分布  $f_k$  が得られる。この各コンポーネント分布は各ユーザタイプを表す。

#### 2.2. ユーザタイプの推定

新規ユーザに対しては、ユーザタイプを推定しなければならない。しかし、混合分布モデルで用いたような、様々な入力や外部入力の対するユーザの反応を測定することは出来ないため、少数の観測に基

づいてユーザタイプの推定を行う。ここでは、状態空間モデルを用いたベイズ推定を利用する。

ユーザタイプの推定は混合比率  $\alpha$  を推定することであり、データが与えられる度に更新する。データが与えられる回数を整数  $t$  でカウントし、時刻  $t$  と呼ぶことにする。時刻  $t$  における混合比率を  $\alpha_t$  で表し、制約式(4)を満たすものとする。 $\alpha_t$  の要素は

$$\alpha_t = [\alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_K(t)] \quad (5)$$

とする。混合比率は  $t$  に関して滑らかであるという制約を設け、状態遷移行列

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_{ij} \end{bmatrix}, \quad \sum_{i=1}^K W_{ij} = 1, \quad W_{ij} \geq 0 \quad (6)$$

を用いてシステム方程式を

$$\alpha_t = \mathbf{W} \alpha_{t-1} \quad (7)$$

と表す。 $\mathbf{W}$  は対角要素に大きな値を持つものを用いる。

時刻  $t$  における観測データを  $\mathbf{y}_t$  とすると、観測データ系列は

$$\mathbf{Y}_t = [\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_t] \quad (8)$$

と表せる。 $\mathbf{y}_t$  は混合比率が  $\alpha_t$  である混合分布モデルに従うものとする、観測方程式は

$$\mathbf{y}_t \approx p(\cdot | \mathbf{x}, \mathbf{z}; \alpha_t) \quad (9)$$

となる。

ここでの推定とは、式(7)・(9)からなる状態空間モデルから、データ系列  $\mathbf{Y}_t$  が与えられた下での条件付き分布  $f(\alpha_t | \mathbf{Y}_t)$  を推定することを意味し、一般に「状態推定」という。

状態空間モデルのシステム方程式は線形であるが、観測方程式は非線形である。従って、状態推定には非線形非ガウス型状態空間モデルを用いる。

### 3. 実験

ここでは例として、与えられた文章をキーボードから入力するというタスクについて、ユーザタイプを推定する実験を行った。

ユーザは決められたタスクを行い、誤った入力に対しては、バックスペースキーで訂正する。全文を入力した後、ユーザタイプを判定する。入力時の測定項目として

- キー押打時間間隔
- バックスペースキー押打率
- 総所要時間

について測定する。入力後、原文と入力文を照合して正答率を算出する。

与えられる文章の長さや単語の頻出度などの特徴量を入力とし、測定項目の値を出力として混合分布モデルを当てはめた。述べ 30 名の被験者の入出力について測定し、観測されたデータから混合分布モデルによるタイプ抽出を行う。

次に新規ユーザのタイプを推定するために、与えられた英文の特徴量と測定項目の値について測る。状態推定には、状態の非ガウス分布を状態空間中の多数の粒子により近似し、粒子ごとに計算を行うモンテカルロフィルタを用いる。

### 4. おわりに

本研究は、ユーザ特性に応じて動的に変化するユーザ適応インタフェースの開発を目的とし、そのためには、ユーザ特性を把握する必要がある。そこで、事前に観測された大量なデータから、混合分布モデルによりユーザタイプの抽出を行い、新規ユーザがやってきた場合、可能な限り測定をし、測定値から各ユーザタイプに属する度合いを推定する。

今回は、与えられた文章のキータイピングについて、タイプ抽出とタイプ推定の実験を行う。同様に、自律走行機能を持つインタリジェント車椅子に実装される GUI についても、タッチパネルに表示されるボタンの大きさ(個数)を入力、操作状況を出力、課せられるタスクを外部入力とすると、混合分布モデルによりユーザタイプの抽出とタイプ推定ができる。

今後、混合分布モデルにより得られる各ユーザタイプに対して別の新しいアンケート調査を行う。調査結果を各ユーザタイプの評価とし、これにユーザタイプ推定で得られる混合比率を用いて、ユーザ適応のためのモデルを構築する。

### 参考文献

- [1] Mario A.T. Figueiredo, Anil K. Jain; unsupervised Learning of Finite Mixture Models, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.24, no.3, pp.381-396, 2002
- [2] A. Dempster, N.Laird, and D. Rubin; Maximum likelihood estimation from incomplete data via EM Algorithm, Journal of Royal Statistical Society, B, vol.39, pp.1-38 (1977)
- [3] G. Kitagawa; Monte Carlo filter and smoother for non-Gaussian nonlinear state space models, Journal of Computation and Graphical Statistics 5, No.1, pp.1-25, (1996)
- [4] 山田尚勇, 桑原守二, 黒川恒雄, 上林弘彦, 大田 茂; コンピュータと人間の共生, コロナ社, 1994
- [5] 森田 潤, 馬場恵子, 生駒哲一, 前田 博; インテリジェント車椅子におけるユーザ適応型インタフェースの開発 第17回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.253-256, (2001)

### 連絡先

〒804 - 8550 北九州市戸畑区仙水町 1 番 1 号  
九州工業大学 工学部 情報工学教室  
TEL/FAX (093)-884-3216  
E-mail: kei@sys2.comp.kyutech.ac.jp