

|      |             |
|------|-------------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 1107号 |
|------|-------------|

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 人間行動の時系列信号処理のための  
確率統計モデリングに関する研究

氏 名 橋本 幸二郎

## 論 文 内 容 の 要 旨

### 【 背景 】

機械の操作ミスによる事故、災害、そして損失が社会的課題として問題視されている。操作ミスや誤判断、不注意などの人為的ミスはヒューマンエラーと呼ばれ、このヒューマンエラーに対する研究は古くから取り組まれてきた。人間はストレスや疲労等により判断力や注意力が低下することから、必ずミスを犯す。そのため、ハードウェア側の改善は言うには及ばず、ソフトウェア側における問題解決への対応も期待されている。

解決策の一つとして人間適応型システムの概念が存在する。これは、機械側が扱う人間の操作行動を理解し、必要に応じてミスの指摘や手順の指示といった支援の提供を可能とするシステムである。人間適応型システムを実現するためには、大きく、行動情報の観測部、行動の識別・予測部、アシスト制御部の設計が必須となる。行動の識別・予測部では、操作に関する人間の行動情報を数理モデル化した行動モデルが設計され、この行動モデルと観測情報との照らし合わせにより、行動の識別や予測を実現する。行動モデルに基づく行動識別・予測精度は、アシスト制御部の精度に直接影響を与えるだけでなく、支援される人間の操作性や不随意性にも影響を与える。このことから、人間適応型システムにとって、精度の良い行動モデルの設計がシステム全体の性能を決定付けると言え、この行動モデリングに関する研究が重要となる。

### 【 行動モデリングの枠組み 】

本研究は、操作機器行動を対象とした人間行動のモデル化手法の確立を目指したものである。機器操作行動のモデル化は、周囲の環境（以下、状況）の時系列情報と操作の関係を数理モデルで表現する問題に帰着し、ブラックボックスモデリングに基づき設計されるのが一般的である。すなわち、操作に関する情報と状況に関する情報をセンサで観測し、その蓄積データから統計的にモデルを生成する方法論である。従来より、行動モデル設計時の課題として、入出力間の時系列特性と非線形性の表現、そしてシステムへの組み込みやすさを意味するモデルの操作性が挙げられており、未だこれらの課題を解決する手法は確立されていない。そこで本論文では、この三つの課題を解決する手法として、確率モデルベースに基づく人間の行動のモデル化手法を提案する。

確率モデルベースの特徴は、確率分布という数学的道具を利用し、観測信号や信号間の関係を表現する点にある。この確率の概念を用いることにより、入出力関係の時系列特性と非線形性を表現することができる。さらに既存の確率論に基づく数学的道具が利用でき、モデルの操作性も期待できる。しかし、この確率モデルベースに基づくアプロ

一には、以下の課題が挙げられる。確率モデルベースに基づくアプローチは、主に行動パターン識別の研究分野において発展してきた。パターン認識の分野では、パターンという記号レベルの信号処理を扱うのに対し、制御の分野では、連続なセンサレベルの信号処理を扱う。そのため、既存手法に基づく行動モデルでは、以下の点で不十分と言える。一つ目は、状況と操作という入出力関係を表現するモデル構造でない点である。行動パターンの識別は、行動を直接表現する操作データのみを用い、モデル化を行う。そのため、操作実行の要因となる状況との関係性は表現されないことから、操作予測には不向きなモデル構造である。操作予測は人間適応型システムにとって必要不可欠な機能である。何故ならば、支援の提供に際しては、状況を把握し、実際に支援が必要なタイミングの前に適切な操作が把握されている必要がある。このことから、行動モデルは操作予測可能なモデル構造でなければならない。二つ目は、信号の時系列特性に対して時間情報が欠落している点である。行動パターンという記号レベルの識別では、時間情報を区別しない。すなわち、ゆっくりや速いといった時間的に異なる行動を同じ行動とみなして識別できるよう設計する。そのため、時系列特性の時間情報を要に含まずモデルを構築する。しかし、人間適応型システムで人間に対するタイムリーな支援を実現するためには、支援を提供するタイミングといった時間情報の決定が必要となる。このとき、行動モデルに基づき行動予測する際、次の操作がどのタイミングで実行されるかという時間情報の予測が必要となり、時系列特性の時間情報を行動モデルで表現することは重要である。

#### 【 本研究の目的 】

本研究の目的は、既存の確率モデルベースに基づく手法を発展させ、上記の課題を解決する人間行動のモデル化手法を確立することである。そして、本論文は、目的を達成するまでの過程として、以下の成果を記したものである。

一つ目は、状況を表す入力に連続なセンサレベルの信号、操作を表す出力は記号レベルの信号の場合を対象とし、既存の確率モデルを利用した新しい人間行動のモデル化手法を提案し、その有効性を示した。二つ目は、既存の確率モデルでは表現しきれない、状況と次の操作の実行タイミングの関係を確率分布として表現した行動実行タイミング確率を導入した人間行動のモデル化手法を提案し、実行タイミングの推定精度が向上することを示した。そして、次のステップとして、状況を表す入力と操作を表す出力が連続なセンサレベルの信号の場合にも適応できるようモデル化手法の拡張を検討する際、観測された蓄積データに対して、操作単位や状況単位の分節化問題が顕著化し、行動モデルの学習に必要な学習データの獲得において大きな障害となることが解った。そこで三つ目に、この問題を解決するため、蓄積データからの時系列相関ルールの抽出手法を提案し、その有効性を示した。

#### 【 本論文の構成 】

第1章は、大きく三つの内容から構成される。まず初めに、行動モデリングに関する研究の意義を説明するため、ヒューマンエラーによる社会的課題について、そして、その対策として、人間適応型システムの実現が望まれていることについて述べる。次に、人間適応型システムの設計に必要な人間の行動モデルについて述べる。ここでは、本研究で対象とする人間行動とそのモデリングの枠組みについて述べる。そして、従来の人間行動のモデル化手法について、その特徴と課題を述べる。最後に本研究の目的を述べる。

第2章では、提案手法であるIf-Thenルールと隠れマルコフモデルを組み合わせた人間行動のモデル化手法について述べる。本章では、機器操作行動について、状況を捉え、操作を実行するまでの情報処理を定義し、その情報処理を確率論に基づき定式化する。そして、定式化した行動モデルを表現するため、If-Thenルールと隠れマルコフモデルを組み合わせたモデル構造について述べる。さらに、蓄積データから提案モデルを生成する手法及び、提案モデルに基づく行動予測手法に述べる。実験では、提案モデルの可読性と次操作の予測精度を評価することにより、提案手法の有効性を示す。

第3章では、行動の予測精度の向上に向け拡張した手法である、行動実行タイミング

確率を導入した人間行動のモデル化手法について述べる。本章では、次の操作の実行タイミングが状況の時系列情報に関係しており、特に時系列情報の時間情報が実行タイミングを決定付けていることに着目する。そして、状況の時系列情報の時間情報と実行タイミングの関係を確率的に表現したタイミング出力確率を定義し、これを隠れマルコフモデルに組み込んだ新しい確率モデルを提案する。そして、この確率モデルを導入した人間行動モデルの生成手法と提案モデルに基づく行動予測手法について述べ、実験より、提案手法の有効性を示す。

第4章では、状況と操作が連続なセンサレベルの行動にも適応できるよう行動モデルの拡張を検討する。その際、最初に解決しなければならない問題として、学習データの取得問題について述べる。ここでは、有意な学習データの条件として、状況を表す時系列データと操作を表す時系列データの入出力間に再現性と相関性を持つこと、そして、行動モデルに必要な時間情報も欠落することなく抽出するため、状況の時系列データと操作の時系列データ間の遅れ時間を保持することを挙げ、蓄積データから遅れ時間を含む再現性と相関性を持つ状況と操作の時系列データを抽出する手法を提案する。そして、実験より、その有効性を示す。

第5章では、本研究で得られた成果と今後の課題をまとめ、本論文を締めくくる。