

育児支援システムのための寝かしつ姿勢インタラクションのモデル化 Modeling of Sleeping Posture Interaction for Childcare Support Systems

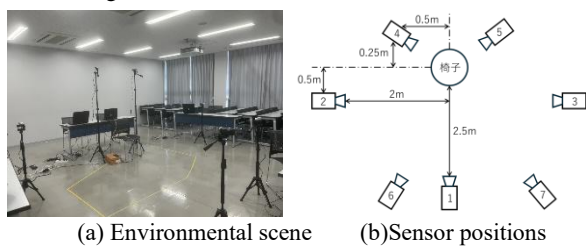
張 斌[†] 山崎 南実[†] 麻生 典子[†] 小林 麻衣子[†] 森田 麻登[†] 沈 宏港[†]
Bin Zhang Minami Yamazaki Noriko Aso Maiko Kobayashi Asato Morita Honggang Shen

1. はじめに

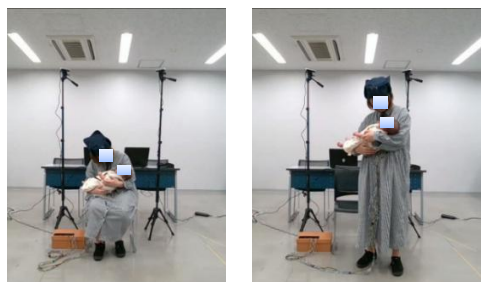
昨今、虐待死や妊婦の死亡率、両親の産後うつ問題の増加が深刻な社会問題となっており、特に乳児の睡眠問題は乳児の 15~25%に発生し、親の精神的健康を悪化させ、虐待のリスクを高めている[1]。特に、身体接触を利用した虐待予防的アプローチは十分に確立されていない。そこで、本研究は、心理学と人工知能(AI)、ロボティクス技術を統合し、児童虐待という社会問題の解決を目指す。まず、センサネットワークを構築し、姿勢推定アルゴリズムで骨格の座標を取得する。その後、親の姿勢と乳児の心的状態をアノテーションし、HMM(隠れマルコフモデル)モデルを学習し、親の姿勢座標データから乳児の心的状態を推定可能にする。親のストレスを緩和可能な寝付け行動パターンを抽出し、虐待予防可能な抱っこ姿勢インタラクションのモデル化を行うことで、寝付けにおいて、乳児の泣きを減少させ、親の精神的健康や育児ストレスを改善する。

2. センサネットワーク

センサネットワークを構築し、二組の親子に協力してもらい実験を行う。実験には Intel 製の RealSense Depth Camera D455 とビデオカメラを使用し、親の姿勢と乳児の表情を撮影した。実験は座った状態と立った状態に分けて、約 3 分間行った。被験者には中央で乳児の寝かしつけを行ってもらい、その周りで撮影を行った。実験環境を Fig. 1(a)に、センサ配置図を Fig. 1(b)に示す。また、実際の実験の様子を Fig. 2 に示す。



(a) Environmental scene (b) Sensor positions
Fig. 1 Experiment environment



(a) 座った状態 (b) 立った状態
Fig. 2 実験の様子

Fig. 1(a)において、1~5 のカメラは RealSense、6 および 7 はビデオカメラである。カメラ 2 と 3、4 と 5 はそれぞれ対称の位置に配置されている。ビデオカメラ 7 は、共同実験者が手に持ち、撮影を行った。

3. 姿勢認識

親の骨格座標を取得するために YOLOv8-Pose を用いた[2]。これは物体検出およびポーズ推定タスクに特化した深層学習モデルで、リアルタイムで人体の姿勢を推定することができる。人物の関節位置を高精度で取得できる。その姿勢推定の様子を Fig. 3 に示す。取得できるキーポイントは、合計 17 個あり、鼻、両目、両耳、両肩、両肘、両手首、両股関節、両膝、表足首となっている。骨格のキーポイントを抽出して座標として記録する。座標は RGB-D カメラの対応関係で取得する。

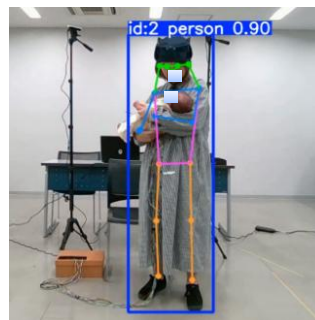


Fig. 3 YOLOv8-poseによる姿勢推定

4. HMM モデル

乳児の心的状態を 5 段階にアノテーションする。骨格の座標データと併せて、乳児の心的状態を推定するモデルを学習する。

推定には HMM を用いる[3]。HMM は時系列データを用いた状態推定に用いられる確率モデルである。観測可能なデータ(観測値、骨格の座標データ)と、それに対応する隠れた状態(潜在変数、乳児心的状態)がマルコフ過程に従うという仮定のもと構築されている。HMM の構成を Fig. 4 に示す。

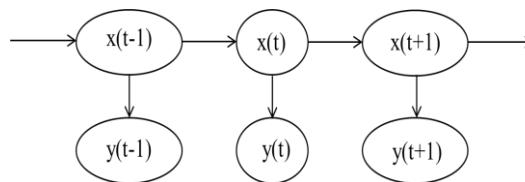


Fig. 4 HMM model

時刻 t における潜在変数 $x(t)$ の条件付き確率分布は、潜在変数 $x(t-1)$ にのみ依存する。また、観測値 $y(t)$ は $x(t)$ のみ

[†] 神奈川大学 Kanagawa University

に依存する。このことをマルコフ性という。隠れマルコフモデルのパラメータは、遷移確率と出力確率の二種類で構成される。

遷移確率は、時 $t-1$ での潜在変数から t 時刻での潜在変数への状態遷移を表す。出力確率は、隠れ状態（乳児心的状態）が与えられたときに、観測データ（骨格の座標データ）が観測される確率のことをいう。観測データと隠れ状態の関係をモデル化し、最適な確率を HMM モデルが学習する。

観測値の親の骨格座標は、特に動きがみられた箇所を選択した。顔や下半身の動きが少ない部分は除外し、両肩、両肘、両手首を観測値の特徴量とした。乳児の心的状態は、超ポジティブ、ポジティブ、ナチュラル、ネガティブ、超ネガティブの5段階とした。

5. 実験

親の骨格データから乳児の心的状態を推定する HMM モデルを構築し学習を行う。実験では2組の親子（両親と乳児）のデータを取得した。一人の親が3分間の寝付け動作を1セットとして扱う。2組目の母親の立った状態では、カメラの不具合によりデータを取得することができなかつたため、合計で11セットとなった。

モデルの学習の結果を混同行列として Fig. 5 に示す。混同行列とは、分類モデルの予測結果と実際のラベルとの関係を示すものである。縦軸は実際の状態が、横軸が予測された状態を示している。結果が多いほどセル内の色が濃く出力されている。混同行列の合計は、学習に用いたデータのフレーム数の合計となっている。心的状態のラベル付けは、0が超ネガティブ、1がポジティブ、2がナチュラル、3がポジティブ、4が超ポジティブとなっている。

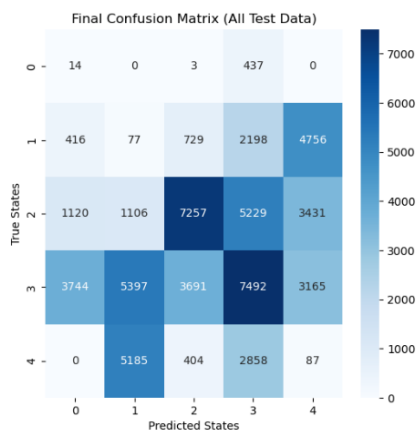


Fig. 5 学習データでの混同行列

混同行列では右下がりの対角線上のデータが多いと精度がいいといえる。しかし、推測されたデータはばらつきがある。テストデータでの精度は、平均 25.4%と低い数値となった。

条件を変更して心的状態の推定を行った。条件ごとの学習データは、性別ごとでは、それぞれ父親（6セット）、母親（5セット）とした。状態ごとでは、座った状態（6セット）、立った状態（5セット）とした。特徴量を変えての学習は、入力データは全データ（11セット）を用いた。座標のみの場合、特徴量を両肩、両肘、両手首の座標とし

た。座標と速度の場合、両肩、両肘、両手首の座標に加え、それぞれの速度を追加した。入力したデータのうち一つをテストデータとし、その他のデータを学習データとするクロスバリデーションを組み込んだ。条件と精度の平均を Table.1 に示す。

性別ごとに分けた場合、父親より母親の方の精度が高い。このことから、母親の姿勢が乳児の心的状態を推定するのにおいて、より明確なパターンを持っていると考えられる。また、母親の方が、乳児の心的状態とのインタラクションがあると考えられる。

状態ごとに分けた場合、立った状態の精度が高い。立った状態の方が親の姿勢から乳児の心的状態をとらえやすい、もしくは、立った状態の方が乳児の心的状態により強い影響を与えていると考えられる。

特徴量を変えた場合、座標と速度の精度が高い。特徴量に速度を含めることにより、座標だけで足りない姿勢の変化をより詳細にとらえることができ、心的状態の推定精度向上につながっていると考えられる。

Table.1 条件ごとの精度

			平均精度[%]
条件	性別	父	9.42
		母	26.3
	状態	座り	12.3
		立ち	20.2
	特徴量	座標のみ	20.8
		座標と速度	25.4

全体的に心的状態の推定精度が低い原因は、データ量の少なさが原因だと考えられる。乳児の心的状態をアノテーションしたが、同じデータ内で心的状態が変化しない場合も存在した。そのようなデータがモデルの学習に影響を与え、推定精度が下がってしまったと考えられる。

6. おわりに

本研究では、親の寝付け姿勢（骨格座標）を用いて乳児の心的状態推定可能なモデルの学習を行った。心的状態の変化率や、データ量が不足していたことが原因で推定の精度が低くなり、完全な推定ができたとは言えない。今後はより多くの学習データを収集し、学習データベースを構築し、推定精度の高いモデルの構築を行う。

謝辞

本研究は神奈川大学分野横断型研究推進事業の助成を受けて行った。実験協力していただいた鈴木様、瀧澤様のご家族に深く感謝を申し上げる。

参考文献

- [1] Reijneveld, S. A., Brugman, E. and Verhulst, F. C., "The prevalence of emotional and behavioral problems in children aged 3-6 years in a general population in The Netherlands", *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 39(12), 985-992 (2004).
- [2] Ultralytics. YOLOv8-Pose. <https://docs.ultralytics.com/ja/tasks/pose/> (2025).
- [3] Baum, L. E. and Petrie, T., "Statistical inference for probabilistic functions of finite state Markov chains", *The Annals of Mathematical Statistics*, 37(6), 1554-1563 (1966).