

非拘束性とQOSを重視したテラーメイド型離床予測センサシステム の実用化研究

間所洋和¹, 下井信浩¹, 佐藤和人¹, 徐粒²

¹ 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

² 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

本論文では、時系列機械学習法に基づく離床行動判別方式を提案する。我々の従来研究では、自己組織化マップ (Self-Organizing Maps: SOMs) を教師あり学習に拡張した対向伝搬ネットワーク (Counter Propagation Networks: CPNs) を用いていた。CPNs は、入力データと教師信号の関係性を学習し、カテゴリマップとして写像し可視化する。我々は、時系列特徴を学習するための改良として、CPNs に第 2 Grossberg 層を追加しフィードバックループを形成した。また、ベッドのキャスタに加えられる被験者の荷重の変化を計測するために、ピエゾフィルムを用いてオリジナルの脚荷重センサを試作開発した。本センサの特徴は、センサの動作の電源が不要なことであり、後付け可能なことである。臨床現場を模した実験環境において、10名の被験者を対象に提案手法の有用性を検証した結果、平均で 81% の平均判別率が得られた。特に離床予測に重要となる端座位において、98% の精度が得られた。一方、長座位の精度が 54% に留まっていたが、いずれの行動パターンにおいても完全離床への誤判別は発生していないため、致命的なエラーには結びつかないと考えられることから、実用化に資する結果と知見が得られた。

キーワード：離床センサ, Elman 型対向伝搬ネットワーク, 圧電素子, 生活の質

少子高齢化の急速な進行に伴い、介護や福祉の現場では、少数のスタッフが多数の入居者を介護している現状にある。特に、夜間における介護者の見守りが十分に行き届かず、ベッドからの転落・転倒事故が問題視されている (山田, 2010)。施設内で被介護者が負傷した際には管理責任を問われることになるため、離床時の転落防止対策として、離床センサを利用する施設が増えている (今泉, 2010)。

離床センサは、利用形態や価格に応じて、様々なセンサが市販されている。クリップやマット型のような簡易なセンサから、パラマウントベッドの離床 CATCH (初雁, 2012) やフランスベッドの見守りケアシステム M-1 ベッドに組み込まれて一体となったセンサシステムまで、多種多様なラインアップがある。著者らは、後付け可能で非拘束かつ簡易的な離

床センサとして、これまでいくつかのセンサシステムを提案してきた。離床行動の予測では、ベッドの端に着座する端座位の検出が最も重要となる。茂木らの調査によると、入院患者の 80% が離床時にベッドの安全柵を把持することが報告されている (茂木, 2011)。

我々は、橋梁の振動解析用センサとして試作したボルト型センサ (下井, 2012) をベッド用に小型化し、安全柵に挿入して端座位における判別精度の向上を試みた (下井, 2014)。また、簡易性と汎用性を考慮して、これらの 3 種類のセンサの組み合わせによるシステム化について検討した (間所, 2013)。一方、判別に用いた機械学習法は時系列特徴を扱うことができず、任意の時間間隔での判定に留まっていた。このため、連続的に遷移する行動パターンの

特徴を判定に利用できていなかった。また、ボルト型センサ以外はベッド上での固定が難しく、位置ずれが発生した場合に、判定精度への影響が懸念された。

本論文では、フィードバック結合により時系列特徴の学習を可能にした新しい手法を提案する。また、簡易性と非拘束を維持しつつ、位置ずれや使用時の違和感がなく、利用者から見えないことを考慮して、ベッド脚のキャスタ下に敷設する荷重センサを試作した。病院や介護施設において広く普及しているベッドを用いて、新センサを含む提案手法の性能を評価したので報告する。

提案手法

機械学習法

対向伝搬ネットワーク (Counter Propagation Networks: CPNs) (Nielsen, 1987) は近傍と競合に基づく自己組織化マップ (Self-Organizing Maps: SOMs) (Kohonen, 1995) を教師あり学習に拡張したネットワークであり、以下の特徴を有している。

- (1) SOMsに教師信号を入力するGrossberg層が追加するだけの学習アルゴリズムのため実装が容易、
- (2) 写像構造を形成する過程でデータ間の関係性が可視化できる、

一方、離床行動では、判定対象とする各姿勢は時々刻々と連続的に変化する。しかしながら通常のCPNsでは、時系列データは対象としておらず、任意の時刻での特徴しか考慮されない。

そこで本研究では、CPNsにフィードバックループを付加することで時系列データによる離床行動パターンの学習と予測を目指す。このネットワークは、Elmanの考案したフィードバックループ (Elman, 1991) に基づいていることから、本論文ではElman型フィードバックCPNs (Elman-type Feedback CPNs: EF-CPNs) と命名する。

EF-CPNsのネットワーク構造を図1に示す。ネットワークは第1及び第2入力層、マッピング層、第1及び第2Grossberg層の5層から構成される。ここで各層のユニット数を、 I 個、 K 個、 $X \times Y$ 個、 J 個、

L 個とする。第2Grossberg層と第2入力層はフィードバックループにより結合されているため、 $K=R$ となる。なお、本研究ではデータ間の類似性を可視化するために、マッピング層は2次元構造とした。

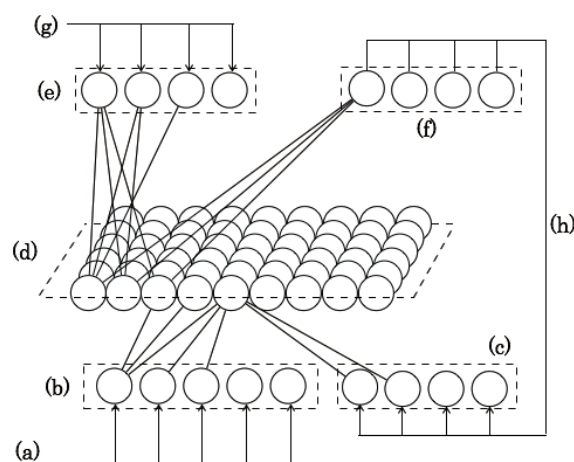


図1 EP-CPNsのネットワーク構造

キャスタ荷重センサ

従来の離床センサは拘束性や検知速度、コスト面で課題が残されていた。また、ベッドと一体になったセンサシステムは、ベッドを新たに購入しなければ利用できないという制約があった。本研究では、コストと簡易性を重視した新しいセンサを開発した。また、睡眠の質 (Quality Of Sleep: QOS) に考慮して、利用者の目が届きにくい場所に設置できるセンサとした。

試作したセンサを図2(a)に示す。ベッド脚のキャスタ下に設置して、脚荷重の変化を計測するセンサである。センサ部には、図2(b)に示す東京センサ製のピエゾフィルムDT-028K/Lを用いた。DT-028K/Lは、フィルム本体に電極が導電性の銀インクによりスクリーン印刷されており、更にその上に薄いアクリルコーティングが施されている。特性としては、一般的なストレインゲージより高い出力が得られる。また、基準電位はフィルムに変形が生じる度にオフセットされるため、繰り返し測定が可能となる。更に、ピエゾフィルムの変形量と出力電圧は比例関係を示すため、姿勢変化に伴う荷重の強度をリニアに得ることができる。

試作したセンサは、図2(c)に示すように2枚のピエ

ゾフィルムを全方位からの荷重変化に対応できるよう90度に組み合わせ、2枚のウレタン樹脂で挟み込み、エポキシ樹脂で接着固定した。なお、ウレタン樹脂は直径100mm、厚さ2mmとした。センサフレームは外径120mm、内径100mm、全高40mmの円筒形で、材質には塩化ビニルを用いている。

本センサをキャスタ下に設置した様子を図2(d)に示す。なお本センサは初試作であるため、頑強性を考慮して厚さを大きめに取っているが、実用化に向けては薄型化を図りたいと考えている。

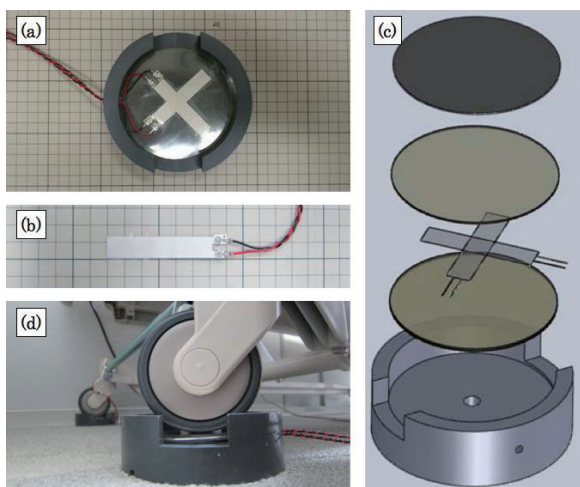


図2 試作したキャスタ荷重センサ

評価実験

実験条件

本実験ではパラマウントベッド社カリストエールシリーズの電動ベッドKA-36121Dである。このベッドにはリクライニング機能が装備されているが、本実験では使用しないという条件でデータを取得した。

判定対象とする動作パターンは、以下の4姿勢とした。

- (a) 長座位: 被験者が起床し、ベッドの長手方向に着座している姿勢。ここからが離床予測の対象姿勢となる。
- (b) 短座位: 被験者が離床に向けた動作を試みている状態の姿勢。
- (c) 端座位: 被験者がベッドの端に着座し、離床を試みている状態の姿勢。離床寸前の姿勢なので、迅速かつ確実に判定しなければならない。

(d) 完全離床: 被験者がベッドから完全に離床している状態。

被験者は10名とした。実験に先立ち、各被験者には上記の各姿勢の特徴について事前に説明した。その後、各被験者は一連の動作を5回試行した。被験者毎に20パターン、合計200パターンのデータを取得した。各姿勢の動作は20秒ごとに切り替えた。動作量に関しては、被験者には明示的に指定していない。データの取得にはロガーを用いた。サンプリングレートは50Hzとした。

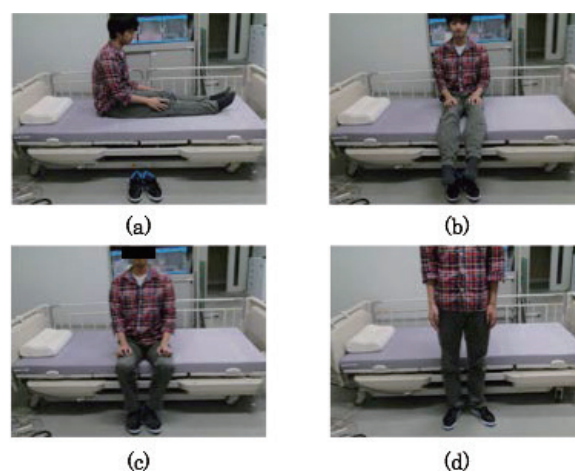


図3 判定対象動作パターン

判定結果

判定結果を表1に示す。交差検定法により5通りの組み合わせについて評価した。平均判別率は、81.0%であった。被験者別では、最も高い判別率は95.0%、最も低い判別率は60.0%であった。姿勢別では、端座位が最も高く98.0%、長座位が最も低く54.0%となっている。四隅のキャスタに平均的に荷重が与えられる長座位は、本センサシステムでは最も判定が難しく、ばらつきが大きい結果となった。

続いて、表2に示す混同対照表を用いて、誤判定について分析した。混同対照表では、判定に成功したデータ数が対角線上に表示される。表中では下線を付して示している。誤判別のデータ数と姿勢の名称は、横方向を基準として縦方向のラベルを参照することで特定できる。最も判別率が低かった長座位は、端座位に10データ、短座位に9データの誤判別があった。また、表中ではその他として示している就寝

状態に対応付くユニットへの誤判別も4 データあった。短座位は、行動パターンが隣接する長座位と端座位に5 データの誤判別、その他に2 データの誤判別があった。一方、端座位はその他に1 データのみ、完全離床においても短座位とその他にそれぞれ1 データのみの誤判別に留まっていた。また、いずれの行動パターンにおいても、完全離床への誤判別は発生していない。

表1 交差検定法による判定結果

Subject	Long.	Lateral	Terminal	Left	Average
A	100	40.0	100	100	85.0
B	60.0	60.0	80.0	100	75.0
C	40.0	100	100	100	85.0
D	0	100	100	100	75.0
E	80.0	80.0	100	100	90.0
F	40.0	100	100	100	85.0
G	80.0	100	100	100	95.0
H	40.0	60.0	100	100	75.0
I	0	80.0	100	60.0	60.0
J	100	40.0	100	100	85.0
Average	54.0	76.0	98.0	96.0	81.0

表2 混同対照表による誤判定分析

	Long.	Lateral	Terminal	Left	Other
Long.	27	9	10	0	4
Lateral	5	38	5	0	2
Terminal	0	0	49	0	1
Left	0	1	0	48	1

まとめ

本論文では、新しい離床予測センサシステムとして、EF-CPNs とキャスタ荷重センサを提案した。臨床現場を模した実験環境において、10 名の被験者を対象に提案手法の有用性を検証した結果、平均で 81.0%の判定率が得られた。特に離床予測に重要となる端座位において、98.0%の精度が得られた。一方、長座位の精度が54.0%に留まっていたが、いずれの行動パターンにおいても完全離床への誤判別は発生していないため、致命的なエラーには結びつかないと考えられることから、実用化に資する結果と知見が得られた。

今後は、被験者数を増加させて、本手法の適用範囲を広げると共に、安定した検出と再現性を確保し

たい。また、介護施設や独居高齢者宅での被介護者のプライバシーを確保しつつ、安心・安全を見守る生活モニタリングシステムへの発展を目指したい。

文献

今泉, 岩上, 山下和彦 (2010) . 「高齢者の健康支援のためのモニタリングシステムの有用性」『ITヘルスケア』5 (1) , 63-64.

J. Elman (1991) . Distributed Representations, Simple Recurrent Networks, and Grammatical Structure. *Machine Learning*, 7, 195-224.

下井, 西條 (2012) 「橋梁の危険予知用簡易スマートセンサの開発」『計測自動制御学会論文集』48 (12) ,816-821.

下井, 間所, 徐粒 (2014) . 「ピエゾ振動計測センサと加速度計を用いたベッドモニタリングシステム」『日本機械学会論文誌C 編』80 (812) , 1-14.

T. Kohonen (1995) *Self-Organizing Maps*, Springer Series in Information Sciences.

間所, 下井, 佐藤 (2013) . 「非拘束性とQOL を考慮した離床予測センサシステムの開発」『電子情報通信学会論文誌D』J96 (D-12) ,3055-3067.

茂木, 松村, 山田, 武藤, 金丸, 下倉, 阿部, 大久保, 森田, 葛西, 山元, 落合 (2011) . 「転倒転落事故の予防を目的とした見守りベッドシステム」『電子情報通信学会論文誌D』J94 (D-6) 1025-1038.

H. Nielsen (1987) . Counterpropagation networks, Proc. of IEEE First Int'l. Conf. on Neural Networks.

初雁, 椎野, 村井真也 (2012) . 「ベッド上の患者行動を推定・通知するシステム「離床CATCH」の提案」『労働科学』88 (3) , 94-102.

山田, 高島, 佐藤, 伊藤, 伊藤, 浅沼 (2010) . 「転倒・転落に伴うインシデント事例の検討と対策－発生構造に基づいた分類法を用いて－」『秋田大学大学院医学系研究科保健学専攻紀要』18 (2) , 144-150.

〔平成 27 年 6 月 30 日受付〕
〔平成 27 年 7 月 31 日受理〕

Prediction of Bed-Leaving Behaviors based on Time Series Feature Learning using Elman-type Feedback Counter Propagation Networks

Hirokazu Madokoro¹, Nobuhiro Shimoi¹, Kazuhito Sato¹, Li Xu²

¹ *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

We present a novel machine-learning-based method for bed-leaving detection using Elman-type feedback counter propagation networks (EF-CPNs), which are particularly effective for processing time series signals. In an earlier study, we proposed a method based on CPNs, a form of the supervised model of self-organizing maps, to produce category maps for learning the relations among input and teaching signals. In this study, we introduce a feedback loop in CPNs as the second Grossberg layer so that the time series features can be learnt. Moreover, we develop an original caster-stand sensor using piezoelectric films to measure, via bed legs, the weight changes in a subject on a bed. The developed sensor does not require power supply for operations and can be easily installed on existing beds. We evaluate our sensor system by examining ten people in an environment representing a clinical site. The mean recognition accuracy of our system is 81.0%, and the mean recognition accuracy for the most important behavior terminal sitting is 98.0%. Because the most falsely recognized patterns belong to the categories of sleeping and sitting, which are not so important for bed-leaving detection, we believe that the developed system can be applied to an actual environment as a novel sensor system requiring no restraining of patients.

Keywords: Bed-leaving sensor, Elman-type counter propagation networks, Piezoelectric films, Quality of life