

圧電素子を用いたキャスト荷重計測による離床行動の予測

Prediction of Bed-Leaving Behavior with Measurement of Caster Loads Using Piezoelectric Elements

○間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人, 徐粒 (秋田県立大)

Hirokazu MADOKORO, Nobuhiro SHIMOI, Kazuhito SATO, and Li XU, Akita Prefectural University

Abstract: This paper presents a caster-stand sensor using piezoelectric films to measure weight changes of a subject on a bed to be loaded through bed legs. The features of our sensor are that it obviates a power supply for operations and that it can be installed on existing beds. Moreover we developed a bed-leaving detection method using Elman-type Counter Propagation Networks (ECPNs), a novel machine-learning-based method used for time-series signals. We inserted a feedback loop as the second Grossberg layer for learning time-series features. We evaluated our sensor system by examining 10 people in an environment representing a clinical site. The mean recognition accuracy for seven behavior patterns is 71.1%. Furthermore, the recognition accuracy for three behavior patterns of sleeping, sitting, and leaving the bed is 83.6%. Falsely recognized patterns remained inside of respective categories of sleeping and sitting. We infer that this system is applicable to an actual environment as a novel sensor system requiring no restraint of patients.

Key Words: Bed leaving, Piezoelectric elements, Elman-type counter propagation networks

1. はじめに

日本の高齢化率は、2012年10月時点で24.1%となっており、社会の長寿化が加速度的に進んでいる。また、高齢化率が全国トップの秋田県は、2013年7月時点で31.4%に達し、中には50%近くになる市町村もある。このような社会背景において、介護現場では、少数のスタッフが多数の入居者を介護する状況に直面している。このため、人手不足が常態化しており、特に夜間のケアが行き届かず、ベッドからの転落事故が問題となっている。転落防止策として、離床センサを用いて安全の確保に努めているものの、精度や信頼性、QOL (Quality of Life) において課題は多い。

我々は以前、ベッド上にパッド形状の荷重センサを配置し、離床を判定する手法を提案した⁽¹⁾。しかしながら、被介護者の動きによるセンサの位置ずれや就寝時の違和感が課題として残っていた。また、判別器として用いた対向伝搬ネットワーク (Counter Propagation Networks: CPN) は、時系列特徴が学習できないため、行動パターンの遷移が考慮されていなかった。

このような問題を解決するため、本論文では、無拘束かつ不可視の離床予測センサシステムを提案する。使用時の位置ずれや違和感がなく、利用者からは完全に見えないセンサとして、ベッドのキャスト下に敷設する荷重センサを開発した。また、CPNにフィードバック結合を付加し、時系列データを扱うことを可能としたElman型CPNによるしきい値の設定を必要としない判定手法を開発した。本研究では、使用するセンサを最小限に留めることにより、離床予測時におけるデータ量の低減と、誤認識の減少を目指している。

2. センサシステム

2-1 キャスタ荷重センサ

キャスト荷重センサは、ベッドの脚に設置し、ベッド全体の荷重の変化を計測する。本研究で試作したキャスト荷重センサの外観と内部構造を図1に示す。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た。センサ部には、圧電素子のピエゾフィルム (株式会社東京センサ製DT-028K/L) を使用した。電極は、銀インクスクリーンにより印刷されている。フィルムの表面には薄いアクリルコーティングが施されて

おり、僅かな歪みでも数mVの電圧を発生する。このため、一般的なストレインゲージと比較して、60dB以上の出力が得られる。設計時には、全方位からの荷重変化が検出できるように、2枚のピエゾフィルムを垂直に組み合わせる構成とした。上下から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である。

寝返りなどによりベッド上で荷重変化が生じた場合、ピエゾフィルムが変形し、電圧が発生する。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。また、ピエゾフィルムの変形量と出力電圧は比例関係を示す。このため、姿勢変化に伴う荷重の強度が線形に得られる。更に、ピエゾフィルムは電源を必要としないことから、配線が単純になり、故障や誤作動が少ない。また、被介護者の体重を事前に設定することなく使用可能である。

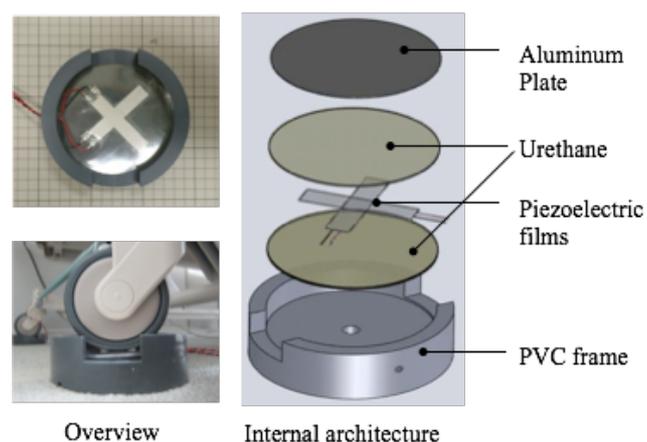


Fig. 1 Caster Load Sensor

2-2 判別方式

従来研究では、判別器にCPNを用いていた⁽¹⁾。CPNは画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という特徴を有する。また、実際の離床行動において、各姿勢をとる時間は様々であるため、判定時には時系列データを取り込む必要がある。しかしながら、通常のCPNは、

時系列データを扱うことができない。その問題を解決するため、CPN にフィードバック結合を付加することにより、時系列データによる離床行動判定を試みた。フィードバック結合を付加したCPNのネットワーク構造が、Elmanの考案したニューラルネットワークと類似していることから、本ネットワークをElman型CPN (ECPN) と名付けた。

2-3 システム構成

本システムの特徴は、QOLを重視して、通常の生活と変わらないモニタリングを実現することにある。試作したキャスタ荷重センサの配置を図2に示す。ベッド脚部に敷設するキャスタセンサ4台から構成される。また、本実験で使用したベッドを図2に示す。ベッドは、パラマウントベッド株式会社製カリストエールシリーズのKA-36121を使用した。ベッドは、リクライニングの機能を有するが、本実験では使用しないという条件でデータを取得した。

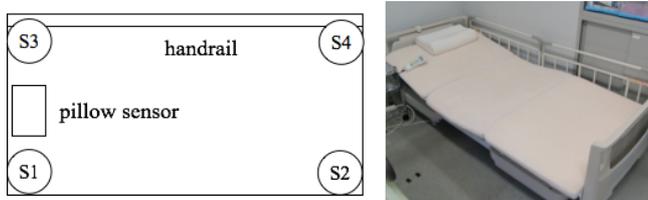


Fig. 2 Sensor assignment and bed used for this study

3. 評価実験

3-1 実験条件

臨床現場を模した実験環境を構築し、評価実験を実施した。実験データは10名の被験者から取得した。各被験者は、以下に示す7パターンの動作を行った。

- (1) 仰臥位 (FU)：仰向けになって就寝している状態
- (2) 右臥位 (RI)：右側を向いて就寝している状態
- (3) 左臥位 (LE)：左側を向いて就寝している状態
- (4) 長座位 (LO)：ベッドの長手方向に着座している状態
- (5) 短座位 (LA)：離床に向けた動作を試みている状態
- (6) 端座位 (TE)：ベッドの端に着座している状態
- (7) 完全離床 (LB)：ベッドから完全に離床している状態

被験者毎に5回試行し、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。データ取得のサンプリングレートは50Hzとした。動作量に関しては、被験者には明示的には指定していない。本研究の趣旨を説明した上で自由に動いてもらった。

3-2 実験結果

生成したカテゴリマップを図3に示す。カテゴリマップ上の数値は、学習によりユニットに割り振られたラベルであり、姿勢番号と対応している。また、行動パターンの大きな変化となる臥位姿勢と座位姿勢、および離床状態の区分を示すために、マップ上のユニットの境界を太線で区切った。カテゴリマップより、類似する行動パターンは、近傍を形成している。また、個人毎に固有な判別器が生成できている。更に、データ間の関係性を可視化して確認できる。

判定精度を表1に示す。キャスタセンサは、臥位姿勢の判定率は低いものの、離床予測において重要な判定対象となる端座位において98.0%の精度が得られた。また、完全離床の判定率は96.0%であった。一方、就寝時の判定率は低く、仰臥位が42.0%、右臥位と左臥位は20.0%と12.0%であった。起き上がり姿勢となる長座位についても54.0%に留まっていた。

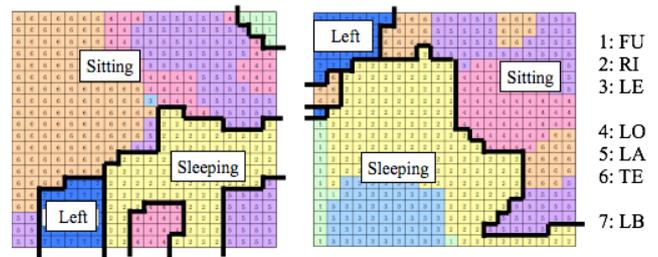


Fig. 3 Category maps

Table 1 Recognition accuracy [%]

FU	RI	LE	LO	LA	TE	LB	Ave.
42.0	20.0	12.0	54.0	76.0	98.0	96.0	56.9

3-3 考察

混同対照表を用いて、誤判別について分析した。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。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。

本結果の混同対照関係を表2に示す。離床予測に重要な端座位は、1データのみの誤判別となった。また、座位姿勢では完全離床に誤判別されたデータは皆無であった。しかしながら、臥位姿勢では完全離床に誤判別が多く見られる。臥位姿勢では、すべてのセンサにほぼ均等に荷重がかかるものの、圧電素子の出力特性として、荷重変化時のみの起電となるため、センサの出力が顕著にならなかった。誤検知への対処法として、微小な荷重変化が検知できるようにセンサの感度を上げることが考えられるが、ノイズの拡大が懸念されるため、両者を同時に検討しなければならない。

Table 2 Confusion matrix

	FU	RI	LE	LO	LA	TE	LB
FU	21	2	1	4	0	1	21
RI	5	10	2	3	9	9	12
LE	4	2	6	4	13	9	12
LO	2	0	2	27	9	10	0
LA	0	1	1	5	38	5	0
TE	0	1	0	0	0	49	0
LB	0	0	1	0	1	0	48

4. まとめ

本論文では、キャスタ荷重センサを用いて離床行動の判別を行った。10名の被験者を対象にセンサデータを取得し、提案手法の有用性を検証した。その結果、平均判別率は56.9%であったが、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。また、完全離床の判定率は96.0%であった。一方、誤判別の大半は臥位もしくは座位の姿勢内に留まっていたことから、非拘束性を重視した実用化に資するセンサシステムが構築できた。

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。

参考文献

- (1) 間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人, "圧電素子を用いた非拘束センサシステムによる離床行動予測," 日本機械学会論文誌 (C編), vol.79, no.800, pp.1024-1035, Apr. 2013.