

圧電セラミックセンサによる組み合わせ波形を用いた ベッド上における患者の行動推定システム

Patient behavior estimating system on the bed using a combination waveform with the piezoelectric ceramic sensors

佐藤 琢磨 *1
Takuma SATO

糠谷 祥子 *2
Shoko NUKAYA

田中 博 *3
Hiroshi TANAKA

廣安 知之 *4
Tomoyuki HIROYASU

*1同志社大学大学院生命医科学研究科

Graduate School of Life and Medical Sciences, Doshisha University

*2東京医科歯科大学医歯学総合研究科

Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University

*3東京医科歯科大学医歯学総合研究科

Medical Research Institute, Tokyo Medical and Dental University

*4同志社大学生命医科学部

Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University

Among medical accidents in medical institutions, most of them are occurred at bed sides. To prevent these medical accidents, patients' behavior monitoring at their beds is very important. In our research, we propose a motion discrimination method using vibration time series data derived by four inexpensive piezoelectric ceramic sensors that are set beneath each of the four feet of the bed. In the proposed motion discrimination method, derived time series data is transferred into three types of indexes. Using these indexes, the decision tree is constructed by supervised learning. The decision tree can classify movement data into three categories; going to bed, leaving from bed and turning movement. The proposed method is applied to experimental data. As the result, the identification rate of the proposed method was more than 80 percent.

1. はじめに

医療機関においてベッド転落や離床後の転倒による医療事故が問題となっている [Charles 11]. これらは注射事故に次いで 2 番目に発生頻度が高い医療事故であり、骨折や脳内に重篤な障害をもたらすクモ膜下出血をきたす可能性がある [田中 10][Kibayashi 11]. そのため、転倒転落の防止は医療機関において重要な課題となっており、看護師の定期的な見廻りが昼夜を問わず行われている。しかしながら事故を完全に防ぐことはできておらず、より効果的な対策を講じる必要がある [奥津 11]. そこで臨床の現場では、ベッド上における患者の動作を検出するため、様々なシステムが導入されている。例えば現在導入されている検知システムとしては、圧力センサを埋め込んだマットをベッドの下に置きマットを踏んだことを知らせるものや、クリップ式のセンサを衣服にとりつけクリップが外れたことを知らせるものなどがある。だが、これらの検知システムは患者が何らかの行動をとったことを知らせることはできるが、離床、就床、寝返りといったどの動作をとったのかを知らせることはできない。そこでわれわれは、ベッド左右の 4 本脚に圧電セラミックセンサをそれぞれ 1 つずつ配置した安価なベッド上における行動検知システムを提案した。このわれわれの既存手法では図 1 に示す CH1, CH2 のセンサから得られた信号の和から作られる波形の増減量から離床、就床を識別する決定木を作り、離床就床の識別を行った。また、CH1, CH2 差により作られる波形の増減量から、右方向への寝返り、左方向への寝返りを識別する決定木を作り寝返りの識別を行うものであった [佐藤 14]. しかし、就床や離床と寝返りの方向を異なる識別器で識別を行うため、就床と寝返り、もしくは離床と寝返りの区別がつかない。本研究では、就床や離床

と寝返りの方向を同一の識別器で識別を行うことでこれらの区別を行うことができるベッド上における患者の行動推定システムを開発した。

2. 提案システム

本研究では就床とは患者がベッドに入る動作、離床とはベッドから離れる動作、右方向への寝返りとは患者から見て右方向に移動する動作、左方向への寝返りとは患者から見て左方向に移動する動作と定義する。また、これ以外の動作であるベッドを叩いたり体を掻くなどの動作をその他の動作とした。これらの識別は図 1 に示すベッドの 4 脚と床の間に取り付けられたベッドの振動に反応する圧電セラミックセンサの信号を用いて行われる。圧電セラミックセンサは村田製作所製 7BB-41-2L0 を使用した。次に各動作を識別するシステムの流れを図 2 に示す。まず識別のはじめのステップとして、ベッドの脚に設置された圧電セラミックセンサからベッド振動による圧力変化を時系列信号として取得し、データ処理を行い識別動作固有のパターンをもつ波形を作成する。この信号から識別に使用する特徴量を抽出する。最後に同様の手順で事前に得た特徴量から作成した C4.5 アルゴリズムによる決定木を用い、離床、就床、右方向への寝返り、左方向への寝返りの識別を行う。

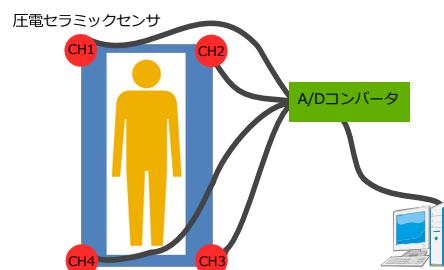


図 1: 提案システムにおける行動推定装置

連絡先: 佐藤 琢磨, 同志社大学大学院生命医科学研究科, 京都府 京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6130, tsato@mis.doshisha.ac.jp



図 2: 提案システムにおける識別の流れ

2.1 ベッド上における行動推定のための特徴波形の作成

就床, 離床, 右方向への寝返り動作, 左方向への寝返り動作を識別するために 3 種類の特徴波形を作成した. これらの特徴波形は図 1 に示した各チャンネルから得られた信号に対し, 4.0Hz のローパスフィルタをかけた信号 S_{CH1} , S_{CH2} , S_{CH3} , S_{CH4} を組み合わせることにより作成を行った. 患者が就床, 離床, 寝返り動作を行うと特徴的なパターンが生じる動作検出波形を S_a とし式 1 に示す. これは図 3 の*1,*2 に示すように就床, 離床では増加, 寝返りでは*3,*4 に示すように減少を示し, この増減により患者が行動をしたことを判断することができる波形である. またこの図 3 における*1 は就床, *2 は離床, *3 は左方向への寝返り動作, *4 は右方向への寝返り動作時の波形を示している.

$$S_{ai} = \sum_{i=0}^i (S_{CH1i} + S_{CH4i})(S_{CH2i} + S_{CH3i}) \quad (1)$$

次に離床, 就床を識別することができる荷重応答波形 S_w を式 2 に示す. これは離床では減少, 就床動作においては増加が見られる特徴波形である.

$$S_{wi} = S_{CH1i} + S_{CH2i} + S_{CH3i} + S_{CH4i} \quad (2)$$

また寝返り方向の識別を行う波形 S_x を式 3 に示す. これは図 3 に示すように右方向への寝返り動作は増加, 左方向への寝返り動作において減少が見られる特徴波形である.

$$S_{xi} = (S_{CH1i} + S_{CH4i}) - (S_{CH2i} + S_{CH3i}) \quad (3)$$

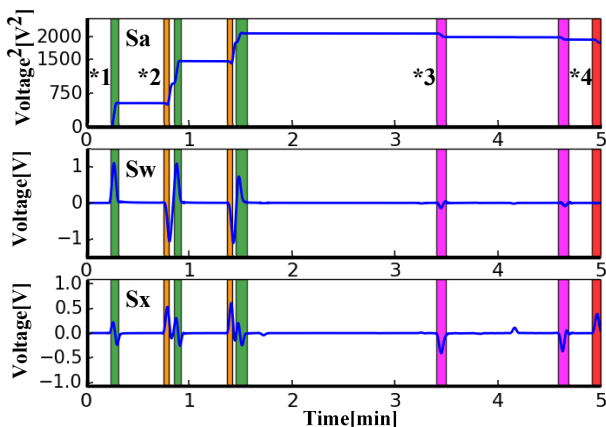


図 3: 組み合わせ特徴波形

2.2 特徴量抽出と識別器の作成

step.1 式 1 に示した動作検出波形 S_a の増減開始点, 増減終了点を微分法を用いて探索し, この時刻を動作開始時刻, 終了時刻とする

step.2 探索した動作開始, 終了時刻間の S_w , S_x の最大値, 最小値を特徴量として取得する

step.3 得られた特徴量をもとに就床, 離床, 右方向への寝返り, 左方向への寝返りの識別を行う C4.5 アルゴリズムによる決定木を作成する

動作の識別を行う際は, 同様に特徴量を取得し, 作成された決定木により識別を行う.

3. 評価実験

3.1 実験環境

圧電セラミックセンサに圧力がかかると正, 緩むと負の電位が生じるように電位の基準を設定し, サンプルング周期は 1[ms] とした. また被験者 11 名で実験を行った. 識別対象動作はそれぞれ, 離床 27 回, 就床 29 回, 左方向への寝返り 85 回, 右方向への寝返り 67 回, またこれ以外の動作であるベッドを叩いたり体を搔くなどの動作は 177 回であった. 実験では動作のラベルをつけ識別器を作成するために, 被験者の動作をリファレンス用赤外線カメラによる録画を行った.

3.2 評価方法

本システムの評価には適合率 (Precision), 再現率 (Recall), F 尺度 (F-Measure) を用いた. 適合率とは, システムが返した動作数とその動作数に含まれる正解動作数の割合で定義され, 正確性を表す割合である. 適合率はシステムが拾いこぼした動作を考慮しない識別率となっている. また再現率とは, システムがどの程度拾いこぼしがなく対象動作を検出しているかを示す割合と定義され, 網羅性を表す割合である. 再現率はシステムの正確性は考慮されていない. そのためシステムの評価を行う識別率として適合率と再現率を考慮した F 尺度を用いた. 以下に正, 負の 2 クラスの分類における適合率, 再現率, F 尺度の定義式を示す. 正例を正しく判定した数を TP (True Positive), 負例を正しく判定した数を TN (True Negative), 誤って正例と判定された負例数を FN (False Negative), 誤って負例と判定された正例数を FP (False Positive) とした. またこれらを識別する際, 妥当性を検証するために Leave-one-out による交差検定を行った.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$F\text{-measure} = \frac{2\text{Recall} \times \text{Precision}}{\text{Recall} + \text{Precision}} \quad (6)$$

3.3 動作識別結果・考察

提案システムにおける識別結果を表 1 に示す. 就床, 離床, 寝返りともに 80% 以上の結果を得た. また既存研究による結果を表 2 に示す [佐藤 14]. これらにより式 1, 式 2, 式 3 の乗算, 加算, 減算により組み合わせた圧電セラミックセンサの信号を用いることで, 提案手法は既存手法と識別率は同程度であるが, ベッド上における患者の動作をひとつに推定できることが示された. また提案手法を用いた C4.5 アルゴリズムにより作成された決定木は図 4 となった. 図 4 から荷重応答波形により就床, 離床を, 寝返り方向識別波形により寝返り動作とその方向を識別できることが確認できる. したがって, 就床と寝返り, 離床と寝返りを区別することができる. また, 右方向, 左方向への寝返りの識別率が就床, 離床と比較し低い原因として, 移動量が小さな寝返りがある他の動作と誤識別されたり, その他の動作が寝返りと誤識別されたりしたためである. 寝返

りの方向だけではなく寝返りの大きさに関しても識別を行うことで、ベッド転落の危険が低い小さな寝返りはその他の動作と誤識別され低い識別率となるが、危険性が高い動作の大きな寝返りの識別率を向上させられることが考えられる。

表 1: 提案システムにおける各動作の識別率

識別対象	適合率 [%]	再現率 [%]	F 尺度 [%]
就床	93.5	100.0	96.7
離床	100.0	88.9	94.1
右方向への寝返り	85.0	80.0	82.4
左方向への寝返り	76.3	91.3	83.0
その他の動作	89.4	85.9	87.6

表 2: 既存手法による各動作の識別率

識別対象	適合率 [%]	再現率 [%]	F 尺度 [%]
就床	87.1	87.1	87.1
離床	97.2	97.2	97.2
右方向への寝返り	75.0	95.7	84.1
左方向への寝返り	85.2	75.4	80.0
その他の動作	93.4	88.3	92.3

4. まとめ

医療機関においてベッド転落や離床後の転倒による事故の解決が課題となっており、ベッド上における患者の行動をモニタリングする必要が生じている。既存手法では1回の動作に対して複数の動作を返すことが課題となっていた。そこでベッドの脚に配置した圧電セラミックセンサから得られた信号を加算、減算、乗算により組み合わせ、動作検出波形、荷重応答波形、寝返り方向識別波形を作成した。動作検出波形の増減から動作開始、終了時刻を求め、その区間の荷重応答波形、寝返り方向識別波形の最大値、最小値を特徴量として決定木による就床、離床、左方向への寝返り動作、右方向への寝返り動作のいずれかを返す行動推定システムの開発を行った。その結果、就床 96.7%、離床 94.1%、左方向への寝返り動作 83.0%、右方向への寝返り動作 82.4%の識別率を得た。これは既存手法と同等の識別率である。寝返りの識別率が低い理由として、寝返りとその他の動作との誤識別があげられる。今後、これらを解決するため寝返りの大きさによる識別を行い危険性の高い移動の大きい寝返りの識別率向上を行う。

参考文献

- [Charles 11] Charles W. Given, *et al.* "Fall prevention in hospitals: an integrative review.", *Clinical nursing research*, Vol. 7, pp.1054773811418106, 2011.
- [田中 10] 田中征夫, *et al.* A 病院における転倒転落アセスメント・スコア・シートの改善に関する研究: 朝日大学経営論集, Vol. 24, pp.1-1, 2010.
- [Kibayashi 11] Kibayashi, Kazuhiko, *et al.* "Accidental deaths occurring in bed: Review of cases and proposal of preventive strategies.", *Journal of forensic nursing*, Vol. 7, pp.130-136, 2011.
- [奥津 11] 奥津康祐, 医療事故遭遇患者・家族のもつ感情: 訴訟事例から, *et al.* 東京大学大学院人文社会系研究科グローバル COE プログラム「死生学の展開と組織化」, 2011.
- [佐藤 14] 佐藤琢磨, *et al.* "圧電セラミックセンサを用いたベッド上での行動検知システム.", *生体医工学シンポジウム 2014 予稿集*, pp.125-125, 2014.

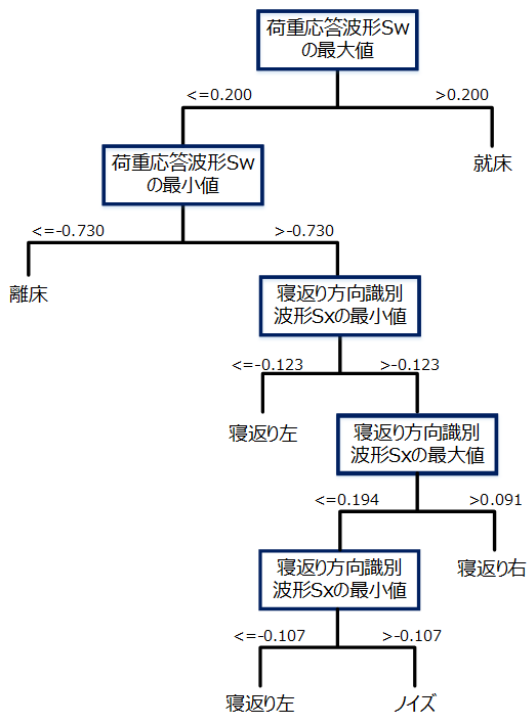


図 4: 決定木による識別モデル