

3次元画像処理による離床・転倒検知システムの開発

石井雅樹¹¹ 秋田県立大学システム科学技術学部情報工学科

現在の日本では高齢者の増加および少子化の進行による若年者の減少により、急速な高齢化が進んでいる。さらに、介護施設では深刻な人手不足が懸念され、介護者の Quality of Life(QOL)を維持するためのシステム開発が求められている。本論文では被介護者の離床時の転落、転倒を未然に防ぐことを目的とし、RGB-D カメラを用いた離床検知手法を提案する。具体的には、離床に至る過程を仰臥位、長座位、端座位、離床の四つの姿勢に分類し、姿勢判定を試みた。提案手法では、離床判定の特徴として、離床行動中における被介護者の頭部の高さ情報と移動距離を用いた。また、カメラの設置位置に依存せずに離床判定を可能とするため、居室の床面を基準として、人の骨格座標の座標系変換を行った。基礎実験の結果、提案手法は四姿勢を判別できることが明らかとなり、離床予見（離床寸前の行動検知）と離床検知（完全に離床した状態の検知）を行い得る手法として有用であることが明らかとなった。

キーワード：離床検知、離床予見、生活の質、RGB-D カメラ

現在の日本では、平均寿命の延伸による高齢者の増加および少子化の進行による若年者の減少により、急速に高齢化が進んでいる。国立社会保障・人口問題研究所の報告（2017）によると、2015年における65歳以上の高齢者の割合は全国平均で26.6%であり、2036年には33.3%、2065年には38.4%にまで増加すると推計されている。一方、15歳から64歳までの生産年齢人口の割合は、2015年の60.8%から減少を続け、2017年に60.0%を割り、2065年には51.4%まで減少すると推計されている。また、厚生労働省の報告（2015）によると、2025年に必要となる介護人材は253.0万人と見込まれているが、現状のまま推移した場合、実際に介護分野で働く人の数は215.2万人程度と見込まれており、約38万人が不足すると予測されている。少子・高齢化に伴う就労人口の減少により、介護施設では深刻な人手不足が懸念されており、被介護者の Quality of Life (QOL) を維持するためのシステム開発が求められている。

介護施設における事故件数は転倒・転落が最も多く、事故全体の三分の二を占めている（三田寺、

2013；長谷川，2016）。特に、半数以上は居室で発生しており、ベッド上からの離床および離床後のトイレ、手洗いの動線内で発生するが多い。このような事故を未然に防ぐためには、個々の患者に対するアセスメントおよびそれに基づく適切なケアの提供が必要である。そのため、近年では被介護者の離床行動を早期に検知するために、離床センサを用いた予防策が求められている。

現在、介護現場で広く利用されている離床センサとして、クリップセンサやマットセンサ、赤外線センサなどが挙げられる。クリップセンサは最も安価であり、被介護者の衣服に取り付けるだけで簡単に使用することができる。しかし、身体的拘束を伴い被介護者に不快感を与えることやセンサケーブルの首への巻き付き事故の危険があることから、近年では使用が控えられている。マットセンサは比較的安価なセンサであり、拘束も伴わないことから多くの介護現場で利用されている。しかし、被介護者が床に足を着いた後に離床を検知するため、検知の遅れが問題となっている。赤外線センサは環境に応じて

設置位置や向きを調整する必要があるため、利便性の面で課題を有している。

本研究では、上述の課題を解決するために、RGB-D カメラを利用した離床予見、離床検知システムの開発を目的としている。RGB-D カメラを用いた類似の従来研究としては、ベッド上に被介護者がいない場合といる場合の深度情報を用いて、背景差分により被介護者の姿勢を判定する手法や、深度情報の差異を用いたパターン認識による姿勢判定手法、深度情報から人の姿勢推定を得るとともに、姿勢情報から特徴量を抽出し、機械学習を用いて姿勢を判定する手法が提案されている。また、ベッドに腰掛けた状態から立ち上がる際の点群の動ベクトルを用いて、立ち上がりを検知する手法などが提案されている。しかし、背景差分やパターン認識を用いる場合はベッドの位置を自由に変更できないといった課題を有しており、また、機械学習を用いる場合は汎化能力の高い識別器を生成するため、離床検知の目的に特化し、かつ多様性のあるデータセットを事前に作成する必要がある。

そこで本論文では、カメラの設置位置に依存せず、かつ、特別な設定を必要としない簡便な離床予見（離床寸前の行動の検知）および離床検知（完全に離床した状態の検知）手法を提案する。具体的には、離床に至る過程を仰臥位、長座位、端座位、離床の四つの姿勢に分類し、離床行動中の被介護者の頭部の高さ情報と移動距離を用いることにより各姿勢の判定を試みた。

RGB-D センサ

本研究では居室および被介護者をセンシングするために、Microsoft 社製の Kinect v2 を使用した（以下、Kinect と表記する）。Kinect はカラー画像情報（RGB 画像）と 3 次元形状情報（深度情報）を同時に取得できる RGB-D カメラであり、深度の計測方法は赤外線 ToF（Time of Flight）方式を採用している。Kinect を用いる利点としては、非接触かつ広範囲のモニタリングが可能であり、被介護者の QOL を重視したシステム構築が可能であること、3 次元情報を扱うことからセンサを任意の場所に設置でき

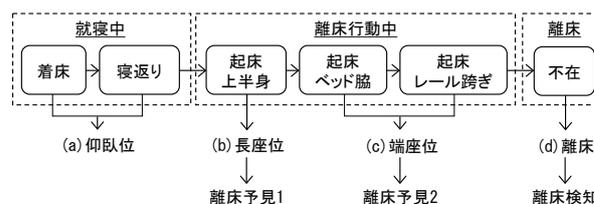


図1 離床過程の動作と姿勢

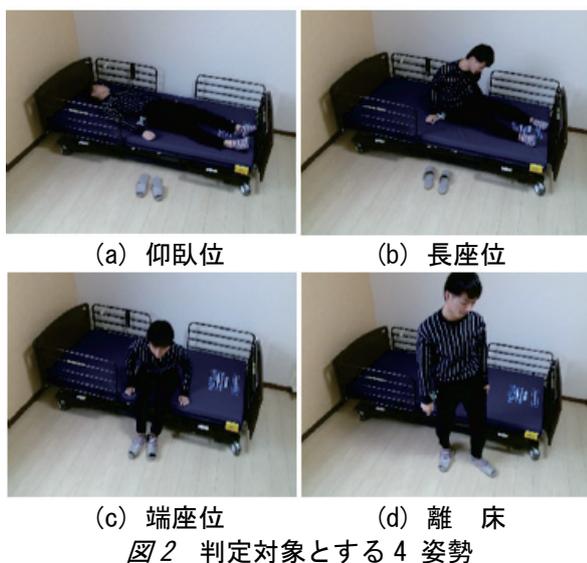
ることが挙げられる。また、SDK を利用することで、人間の 25 関節の骨格座標を取得できることから、離床時の姿勢、居室内での行動認識が可能になることが挙げられる。本論文では、点群処理を行うために Point Cloud Library を使用した。また、人の検出および骨格座標の取得を行うために Kinect for Windows SDK v2 を用いた。

離床姿勢の判定手法

姿勢判定手法

本論文では、図 1 に示すように、離床過程の動作を就寝中、離床行動中、離床の三種類に分類した。また、被介護者の姿勢として、仰臥位（着床、寝返り）、長座位（起き上がり）、端座位（ベッド端に座る）、離床（立ち上がり）の四つの姿勢を定義した。各姿勢の一例を図 2 に示す。本論文では、被介護者が完全にベッドから離れた時点を離床として定義した。また、転倒事故を未然に防止するためには離床直前の検知が重要との考えから、長座位を検知した時点を予見 1、端座位を検知した時点を予見 2 として離床予測を試みた。

Kinect は被介護者がベッド上で起き上がった段階で初めて人の骨格座標を検出する。したがって、未検出の場合は仰臥位、検出された時点で長座位と判定することができる。端座位は長座位を検出した時点から被介護者がベッド上で移動した距離を特徴として用いることにより判定した。具体的には、長座位を検出した時点の頭部座標と現在の頭部座標の距離 D を計測し、しきい値 R を超えた時点を端座位として判定した。離床は立ち上がり、ベッドから完全に離れる状態であることから、頭部座標の高さの変化（床と頭部の距離）を特徴として用いることにより判定した。具体的には、長座位と端座位の頭部の高さ H_1 と離床時の頭部の高さ H_2 の間にしきい値 H



を設定し、 H_2 がしきい値を超えた時点をも完全離床として判定した。

座標変換

居室内でカメラの設置箇所が任意である場合、カメラ座標系では視点の変化により頭部座標の高さも変化する。本研究では、カメラの設置位置が変わっても同じ高さ情報を取得できるようにするため、点群データに対し、カメラ座標系から世界座標系への変換処理を施した。具体的には、居室内で自動抽出した床面を基準として座標系の変換を行った。座標変換には3D点群処理ライブラリであるPoint Cloud Library (PCL) を用いた。はじめに環境(居室)の点群取得を行い、RANSAC (Random Sample Consensus) による平面の抽出を行った。次に、抽出した平面に対してそれぞれの重心を算出し、重心 y 座標の値(高さ)で降順ソートを行った後、最小値を床として認識した。さらに、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムにより仮想平面(xz 平面)と床面のマッチングを行い、変換行列を算出した。最後に、変換行列を用いて人の骨格座標を世界座標系に変換した。なお、頭部座標の移動距離はカメラ座標系および世界座標系において相対距離であるため、カメラの設置箇所に依存しないが、本論文では世界座標系に変換後の xz 平面(床と平行な面)における移動距離を用いた。

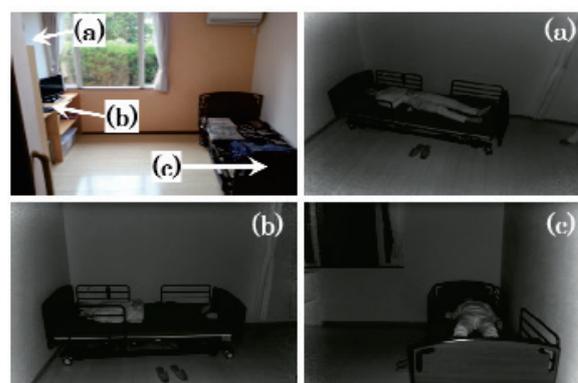


図3 実験環境における Kinect の設置箇所

離床判定実験

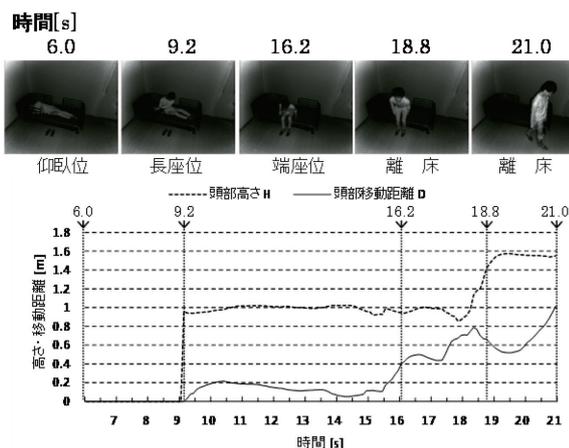
実験概要

本論文では、被験者がベッド上で寝ている姿勢から起き上がり、離床して歩行するまでの一連の動作を撮影し、提案手法の評価に用いた。一連の動作は10fpsで取得した。Kinectの設置箇所は図3に示す3箇所とし、(a)クローゼットの上、(b)ベッドの真横、(c)ベッドの足元側、各視点で4回ずつデータを取得した。被験者は3名の20歳代の成人男性であり、身長は約170cmである。

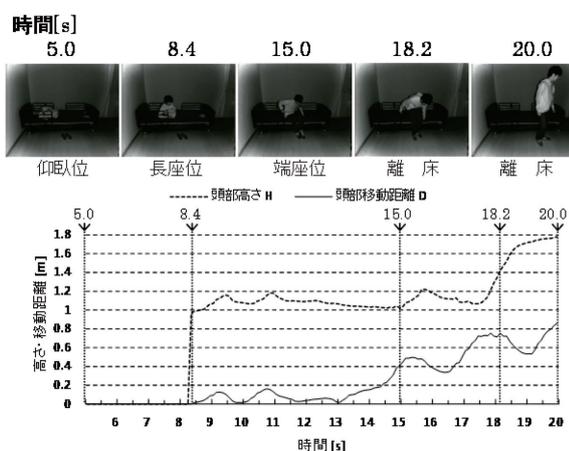
離床予見と離床検知に関する考察

座標変換後の頭部座標の高さと移動距離との関係を図4に示す。同図(a)はKinectをクローゼットの上(図3の位置(a))に設置した場合における値の変化と注目する時間の画像を示している。同様に、同図(b)はベッドの真横(図3の位置(b))に設置した場合の結果を示している。

同図(a)より、初めて被験者の骨格座標が検出された点は、9.2秒の時点であり、画像から姿勢は長座位であることが確認できる。また、端座位と判定するしきい値 R を40cmとした場合、頭部座標の移動距離がしきい値を超える点は16.2秒の時点であった。さらに、離床と判定するしきい値 H を140cmとした場合、頭部座標の高さ H_2 がしきい値を越える点は18.8秒の時点であった。両時点の画像に着目すると、それぞれ端座位、離床状態にあることが確認できる。以上の結果はKinectの設置位置が異なる同図(b)においても同様に認められる。なお、ベッドの足元側(設置箇所(c))においても、同様の結果が認められ



(a) カメラ位置(a)の結果



(b) カメラ位置(b)の結果

図4 離床予見および離床検知の結果

ることを確認している。

以上の結果より、提案手法は対象とした四つの姿勢を判定可能であることが明らかとなった。提案手法ではベッドから立ち上がる離床に加えて、離床以前の端座位、長座位を検知できることから、離床直前の予見が可能と考えられ、早めの通報を行うことにより転倒・転落事故を未然に防ぐことができると考える。

結言

本論文では被介護者の離床時の転落、転倒事故を未然に防ぐことを目的とし、RGB-Dカメラを用いた離床検知手法を提案した。具体的には、カメラの設置位置に依存せず、モニタリング領域の設定などの特別な設定を必要としない手法について検討した。

提案手法では、環境(居室)の床面を基準として、

点群データの座標系変換を行うことにより、カメラの設置位置によらず、同一の高さ情報の取得を可能とした。また、離床姿勢の判定に用いる特徴として、被験者の頭部の高さ情報と移動距離を用いたところ、仰臥位、長座位、端座位、離床の四姿勢を判別できることを明らかにした。以上の結果は、提案手法が離床予見(離床寸前の行動検知)と離床検知(完全に離床した状態の検知)を行い得ることを示唆しており、早めの通報により転倒・転落事故の防止に貢献することが期待される。

今後は介護施設において実際の被介護者を対象とした評価実験を行い、離床予見と離床検知を行うための最適なしきい値設定について検討する予定である。

文献

- 国立社会保障・人口問題研究所 (2017). 「日本の将来推計人口」, 人口問題研究資料, No. 336.
- 厚生労働省 (2015). 「2025年に向けた介護人材にかかる需給推計(確定値)について」, Press Release.
- 三田寺裕治, 赤澤宏平 (2013). 「介護保険施設における介護事故の発生状況に関する分析」, 『社会医学研究』, 30 (2), 123-130.
- 長谷川大悟, 藤田好彦, 坂本晴美, 巻直樹, 若山修一, 稲田晴彦, 奥野純子, 柳久子 (2016). 「介護老人保健施設入居者の転倒発生状況-移動手段に着目して-」, 『日本転倒予防学会誌』, 2 (3), 23-32.

令和3年7月30日受付
 令和3年9月1日受理

Development of a Bed-Leaving/Falling Detection System using 3D Image Processing

Masaki Ishii¹

¹Department of Information and Computer Science, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University, Akita, Japan

In this paper, we propose a bed-leaving detection method using an RGB-D camera to prevent fall accidents when a care recipient leaves the bed. The posture when leaving the bed was classified into four types. Moreover, the posture was determined using the height information and the moving distance of the head as features. Coordinate transformation was performed, based on the floor of the room, to develop a method independent of the position of the camera. The results of the basic experiments showed that the proposed method can distinguish four kinds of postures. Thus, the proposed method enables the prediction and detection of behaviors when a care recipient leaves the bed.

Keywords: Detection of bed-leaving behavior, Prediction of bed-leaving behavior, Quality of life, RGB-D camera