

距離画像センサによるベッド転落防止のための空間認識法の提案 Proposal of Space Recognition Method for Bed Fall Prevention Using Depth Image Sensor

駒形 英樹¹ 小野塚 菜月² 中野 萌子³ 加瀬 遼香⁴

村山 大輔⁵ 石川 雅浩¹ 篠田 一馬⁶ 小林 直樹¹

Hideki Komagata Natsuki Onotsuka Moeko Nakano Haruka Kase
Daisuke Murayama Masahiro Ishikawa Kazuma Shinoda Naoki Kobayashi

1. はじめに

近年の高齢化社会の進展とともに病院や介護施設等での転倒・転落事故が非常に多く発生している[1,2]。また、転落事故の多くはベッドからの離床時、または、臥床中など、ベッド周辺で起きている。これらの多くは介助行為や見守りを行っていない状況下で発生しており、発見が遅れると生命に関わる危険を伴うこともある[2]。

ベッドからの転落事故を未然に防ぐため、危険度が高いと評価された患者にはクリップタイプやマットタイプの離床センサを使用することが多い[3,4]。しかし、クリップタイプは患者の衣服に取り付けるため侵襲的であるという問題点がある。マットタイプは床に敷くタイプとベッドに敷くタイプがあるが、前者はマットを跨いで回避する可能性が有ること、後者は誤検知などの問題点がある[5]。そこで、近年、複数の圧電素子センサを用いる方法[6]や超音波距離画像センサを用いる方法[7]、赤外線距離画像センサを用いる方法[5,8-11]が提案されている。また、これらを複数併用する方法も提案されている[12]。これらの多くは起床や離床動作の検知を行っており、離床時のベッド転落防止に有効である。特に、超音波や赤外線などの距離画像センサを用いる方法は行動の計測が可能であるため、将来的に危険動作を予測できる可能性もある。

しかし、距離画像センサを用いた従来法の多くはセンサを天井に固定するなど、センサやベッドの設置位置に制約があった[7,9,10]。いくつかは制約無しで自由視点でセンサの位置や姿勢の初期校正を行ったが、ベッド領域の設定が必要であるなど、一部手動設定が必要であった[11]。

そこで、本研究では赤外線距離画像センサによるベッド転落防止のための空間認識を目的とし、自由視点でセンサを設置した場合でも全自動でセンサの位置と姿勢を取得し、対象者がベッド内外のどちらの領域と高さ存在しているかを自動認識する方法を提案する。

2. システム構成

本研究では三脚やベッド柵上など、距離画像センサを自由に設置可能なシステムを想定する。距離画像センサはカメラ座標系 ($X'Y'Z'$ 軸) における Z' 軸 (光軸) 方向の値を取得することができる。ここで、距離画像センサでベッドを撮影し、センサで取得した Z' 値が大きいかほど明るくなるように描画すると、図 1 のようになる。一部黒くなってい

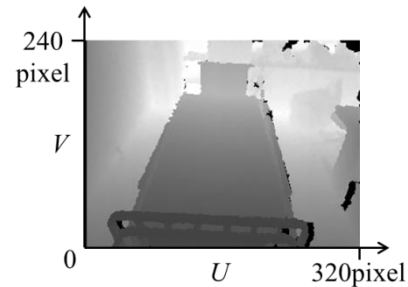


図 1 撮影画像

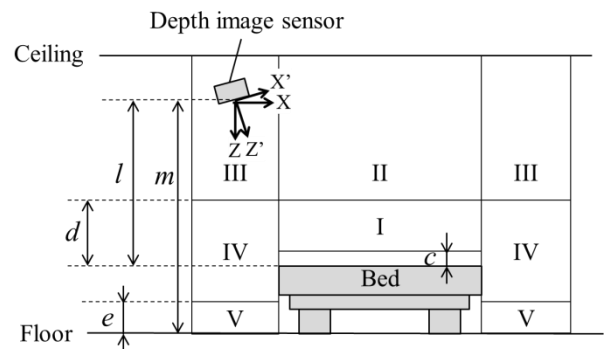


図 2 領域分割図

る領域は距離データを取得できなかった欠損領域である。本研究では図 1 を撮影画像と呼び、UV 軸で表す。また、ベッドの幅、長さ、高さ方向をそれぞれ世界座標系の X , Y , Z 軸とする。

図 2 はベッド周辺領域を XZ 軸成分で模式化した図である。ここで、あらかじめ設定した高さ c , d , e , および、ベッド領域内外の位置を基準として、領域 I~V に分ける。従来の多くの研究は領域 I に写ったオブジェクトの面積により臥床状態かを検知し、II の面積により起床状態かを検知した[5,8,9]。また、III~V の面積により離床を検知し、V の面積により、転落状況の検知を行った[9,10]。

自由視点でセンサを設置し、このような領域分けを行うためには、ベッド領域の検出とセンサの位置・姿勢の取得が必要となる。そこで、本研究では全自動でこれらを検出・取得する方法を提案する。

次に、これらを基に空間領域の認識を行う。認識には、入力画像を世界座標に一旦変換する方法と UV 軸のまま計算する方法が考えられる。一般的に前者を用いることが多いが、オクルージョンが発生すること、また、処理コストが増大して装置の小型・リアルタイム化の障壁となり得る

¹ 埼玉医科大学, Saitama Medical University

² 東京西徳洲会病院, Tokyo-nishi Tokushukai Hospital

³ 埼玉医科大学病院, Saitama Medical University Hospital

⁴ 埼玉医科大学総合医療センター, Saitama Medical Center

⁵ 群馬県立心臓血管センター, Gunma Cardiovascular Center

⁶ 宇都宮大学, Utsunomiya University

ことから、本研究では後者の UV 軸のまま、空間領域の認識を行う。

3. 空間領域認識法

3.1 ベッド領域の検出

UV 軸で領域設定を行うためには、センサの姿勢 N とベッド面とセンサとの距離 l 、ベッド面と床との距離 m 、および、撮影画像上のベッド領域を判別する必要がある。そこで、本研究ではベッド面と床が平面であり、かつ、同一の傾きであることを使用してこれらを検出する。

撮影画像上の座標 (u, v) における輝度を $I_{u,v}$ 、1 輝度あたりの Z 軸方向の深度を k 、光軸中心座標を (C_u, C_v) 、焦点距離とセンサ画素サイズの比を a とすると、座標 (u, v) に写るオブジェクトのカメラ座標値 $P_{u,v}$ は式(1)となる。

$$P_{u,v} = k I_{u,v} \begin{bmatrix} a(u - C_u) \\ a(v - C_v) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

また、3次元空間上の面の傾きは主成分分析 (PCA) における第 3 主成分 ($P_{u,v}$ の分散共分散行列の第 3 固有ベクトル) [13] で表すことができる。そこで、座標 (u, v) を中心とする小区画 (本実験では経験的に小区画を 11×11 [pixel] に設定) から欠損領域を除いて $P_{u,v}$ の集合を作成し、その集合の第 3 主成分の単位ベクトル $N_{u,v}$ (ただし、 $N_{u,v} \cdot P_{u,v} > 0$) を求める。全画素の $N_{u,v}$ の集合をクラスタリングすることによって、床面や壁面など、傾きに応じた領域分けをすることができる。一例として、図 1 を k-means 法 [13] によってクラスタリングし、そのクラスタ中心 A を以下の式で色づけた画像を図 3(a) に示す。

$$[R \ G \ B]^T = 127A + 127 \quad (2)$$

カメラはベッドが大きく写るように設置するため、通常、ベッドや床を含む領域のクラス (図 3(a) では緑色) の面積が最大となる。そこで、最大面積のクラスをベッド・床候補領域 Φ とする (図 3(b))。ベッド・床候補領域中のベッド領域と床領域は一部で繋がる可能性がある。そこで、撮影画像 (図 1) のエッジを抽出し (本研究では Canny 法 [13,14] を使用、適用結果は図 3(c))、ベッド・床候補領域とのマスクを取り (図 3(d))、マスク画像の最大面積のラベルをベッド領域 Ψ とする (図 3(e))。

3.2 センサの傾きと位置の導出

図 3(e) のベッド領域 Ψ 内の画素 (u, v) のカメラ座標値 ($P_{u,v} \mid (u, v) \in \Psi$) に対して再度主成分分析を行い、その第 3 主成分の単位ベクトルをセンサの姿勢 N (ただし、 $N \cdot P_{u,v} > 0$) とする。

また、座標 (u, v) の世界座標 Z 値 $Z_{u,v}$ は次式で求めることができる。

$$Z_{u,v} = N \cdot P_{u,v} \quad (3)$$

従って、センサからベッドまでの距離 l と、センサから床までの m は以下の式で導出することができる。

$$l = \text{Average} (Z_{u,v} \mid (u, v) \in \Psi) \quad (4)$$

$$m = \text{Mode} (Z_{u,v} \mid ((u, v) \in \Phi \cap (u, v) \notin \Psi)) \quad (5)$$

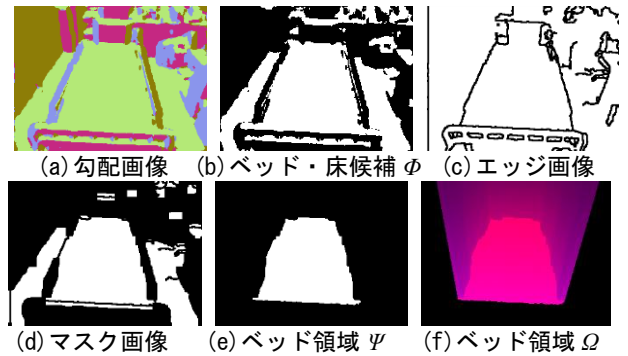


図 3 ベッド領域の抽出

ここで、Average は平均を表す関数とする。また、Mode は量子化 (本実験では 1.0 [mm] 幅で量子化) 後の最頻値を表す関数とする。

3.3 空間領域の認識

画素 (u, v) に対し、 $Z_{u,v} \leq l-d$ であれば、その画素は図 2 の領域 II または III である。また、 $l-d < Z_{u,v} \leq m-e$ であれば領域 I または IV、 $Z_{u,v} > m-e$ であれば領域 V である。しかし、ベッド内外の判別は単純に $(u, v) \in \Psi$ だけでは決まらない。ベッド面を Z 軸の負方向 (センサに近づく方向) に仮想的に平行移動すると、撮像されるベッド領域は広がる。そこで、ベッド面を仮想的にカメラ座標系の N 軸の負方向に b ($b=1 \dots 1800$ [mm] とする) 移動したときのカメラ座標値 $\hat{P}_{u,v} = (\hat{p}_x, \hat{p}_y, \hat{p}_z)$ と画像座標 (\hat{u}, \hat{v}) を式(6)と(7)よりそれぞれ求め、図 3(f) のような高さを考慮したベッド領域 Ω を作成する。

$$\hat{P}_{u,v} = P_{u,v} - bN \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_u \\ C_v \end{bmatrix} + \frac{1}{a\hat{p}_z} \begin{bmatrix} \hat{p}_x \\ \hat{p}_y \end{bmatrix} \quad (7)$$

図 3(f) の赤色成分 $R_{u,v}$ と青色成分 $B_{u,v}$ はベッド内外を分けるための閾値であり、任意の画素 (u, v) に対して式(8)が成り立てばその画素 (u, v) はベッド領域内、成り立たなければベッド領域外となるように設定した。

$$B_{u,v} \leq I'_{u,v} \leq R_{u,v} \quad (8)$$

ここで、

$$I'_{u,v} = \frac{g_1}{m-l} Z_{u,v} + g_2 - \frac{m}{m-l} g_1 \quad (9)$$

であり、 g_1 はベッド・床間の輝度差を表す任意定数、 g_2 は床の輝度を表す任意定数とする。本実験では $g_1=60$ 、 $g_2=250$ とした。

式(7)までの手続きは初期校正として、センサ設置後に一度だけ行う。式(8)と(9)は初期校正だけではなく監視中も常に計算し、図 2 の I~V の各領域に含まれる画素数 (面積) をカウントすることによって、起床や離床の検知を行う。

4. 実験・考察

3. で示した初期校正法の有効性を検証するため、三脚に距離画像センサ (ASUS 社, XTION PRO, 分解能 320×240 [pixel]) を取り付け、様々な位置・視点から撮影し、

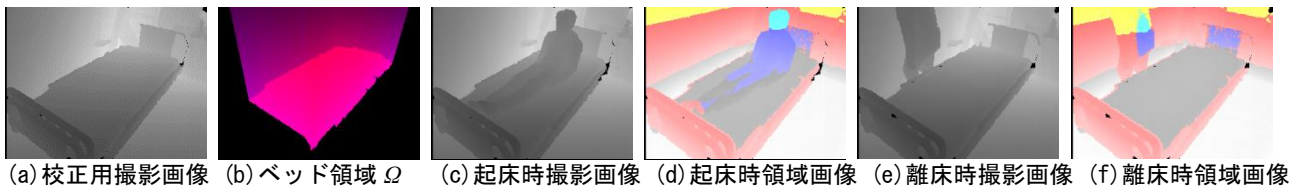


図4 実験の成功例

初期校正と空間領域認識実験を行った。ただし、初期校正パラメータ k , C_u , C_v , a はそれぞれ 12.5 [mm/輝度], 160 [pixel], 120 [pixel] (画像サイズの半分), 0.003452 (センサの仕様より決定) にし、領域認識パラメータ c , d , e はそれぞれ 150, 500, 300 [mm]とした。初期校正の成功例を図4に、失敗例を図5にそれぞれ示す。

図4(a)は成功時の校正用撮影画像の一例であり、(b)は3章の方法で求めたベッド領域 Ω である。また、(c)と(e)はそれぞれ起床時と離床時の撮影画像であり、(d)と(f)は校正結果を基に、(c)と(e)を領域認識した結果である。(d)と(f)の青色、水色、黄色、赤色はそれぞれ領域 I, II, III, IVを表す。また、世界座標系の Z 値に応じて明暗を付けた。図4(b)と(a)を見比べると、主観的ではあるが、ベッド領域抽出に成功しているといえる。また、(d)では領域 II (水色)の面積が増え、(f)では領域 I, II から III, IV に変化する様子がわかるため、領域分けにも成功しているといえる。このように、初期校正と領域分けは多くの場面で成功した。

しかし、図5(a) (画像下方はベッド、上方は壁となっている)では初期校正に失敗し、ベッド領域 Ψ が図5(c)となった(壁面がベッド領域として認識された)。途中経過の勾配画像(図5(b))を見ると、ベッド・床領域よりも壁面の方が大きく写っており、これが原因で失敗した。図5(a)は失敗したが、図5(a)の設置位置でもセンサの向きを下に傾けることにより、ベッド・床領域を大きく写すことが可能であり、この問題は解決可能である。他の失敗事例でも、センサの設置角度を注意することにより、多くは解決可能である。

5. おわりに

本研究では距離画像センサによるベッド転落防止のための空間認識を目的とし、自由視点でセンサを設置した場合でも全自動でセンサの位置・姿勢とベッド領域を検出の初期校正法の提案を行った。また、撮影画像の各座標点がベッド内外のどちらの領域と高さに存在しているかを自動認識する方法を提案し、実験により正しく空間領域の認識が出来ていることを確認した。

今後の課題は起床や離床の検知のタイミングの改善、および、起床や離床だけではなく危険動作に繋がる可能性のある動作の予測、実際の臨床や介護の現場での有効性の検証である。

謝辞

本研究の一部は BM&W 株式会社、および、埼玉医科大学保健医療学部グラント (28-024) の支援による。



図5 実験の失敗例

参考文献

- [1] 公益財団法人日本医療機能評価機構, “医療事故情報収集等事業第33回報告書” (2013).
- [2] 三田寺裕治, 赤澤宏平, “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, Vol.30, No.2, pp.123-130 (2013).
- [3] 宮本まゆみ, 内田宏美, “転倒予防に関する研究の動向と看護分野における今後の課題”, 島根大学医学部紀要, Vol.32, pp.23-33 (2009).
- [4] 東京都病院経営本部, “転倒・転落防止対策マニュアル” (2009).
- [5] 安川徹, 出立祥一, 上辻雅義, “3次元電子マットと人体パターン認証を用いた予測型見守り機能”, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (2014).
- [6] H.Madokoro, N.Shimoi and K.Sato, “Prediction of Bed-leaving Behaviors using piezoelectric non-restraining sensors”, Journal of Sensors and Sensor Systems (JSSS), Vol.2, No.1, pp.27-34, 2013.
- [7] 清水雅年, 菅原協子, 尾崎文恵, 浜善博, 西村三千雄, 吉野裕教, “超音波アレイセンサを用いた離床検出システムの開発 (Part 3)”, ライフサポート学会誌, Vol.21, No.3, pp.9-16 (2009).
- [8] 平林裕治, “3次元距離センサを用いたベッド周りの見守りシステムの開発”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会講演論文集, Vol.2010, pp.ROMBUNNO.3A2-5 (2010).
- [9] 平林裕治, Japan Patent Kokai 2011-86286 (2011).
- [10] 浅野秀胤, 鈴木孝司, 岡本淳, 村垣善浩, 伊関洋, “三次元距離センサを用いた離床検出”, 東京女子医科大学雑誌, Vol.84, No.2, pp.45-53 (2014).
- [11] 小倉光博, 古賀麻裕子, 宇田賢史, 田上有沙, 中尾直之, “3次元距離センサを用いた離床センサの開発”, 医療機器学, Vol.85, No.5, pp.487-493 (2015).
- [12] 茂木学, 松村成宗, 山田智広, 武藤伸洋, 金丸直義, 下倉健一朗, 阿部匡伸, 大久保由美子, 森田佳子, 葛西圭子, 山元友子, 落合慈之, “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, Vol.J94-D, No.6, pp.1025-1038 (2011).
- [13] 奥富正敏 (編), デジタル画像処理 [改定新版], CG-ARTS 協会, 東京 (2015).
- [14] Canny, J., A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679-698 (1986).