

# KINECT を用いたベッド上の人体認識

古橋知大<sup>†1</sup> 大村廉<sup>†1</sup>

看護や介護において、ベッド上での患者の状態を把握することは非常に重要である。例えば、ベッド上で長時間同じ姿勢でいることは褥瘡を発生させる原因となり、一日のうち長時間をベッド上で過ごさなければならぬ患者にとって非常に大きな問題となる。また、医療の質の向上には、ベッド上での異常な動きの検出による迅速な対応や、患者の動作の支援などが必要不可欠である。本研究では、Microsoft Kinect センサを用いて患者の姿勢を取得するシステムの開発を行い、医療分野へ応用していくことを目的とする。

## Detection of patient's activity on a bed with Kinect

TOMOHIRO FURUHASHI<sup>†1</sup> REN OMURA<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

医療現場において、患者の行動を把握することは非常に重要である。患者の行動がリアルタイムで把握できれば、長時間姿勢を変えないことによる褥瘡の防止や、緊急性のある異常行動の検知に役立てられる。これを実現するために、ベッドに仕込んだ感圧センサを用いる方法[2]があるが、システムが高価になってしまうという欠点があった。コストが高くなってしまえばシステムの量産が難しくなってしまう、病院等実際の現場への導入が困難になってしまう。そのため、特に安価に入手可能な Kinect を用いた研究が行われている。感圧センサを用いる方法とは別のアプローチ、三次元画像から人体認識を行うという方法である。Kinect は、安価にも関わらず性能が高く、また深度画像取得の際に存在するわずかな測定誤差をキャリブレーションする研究も行われている[3]。この研究により、Kinect は 3D TOF カメラを遥かに上回り、SLR ステレオカメラに肉薄する精度を持つことが確認されている。また実際に医療現場への活用を目指した研究として、天井付近に設置した Kinect から患者の容態を監視するシステム[4]では、深度情報の変化から患者の動作の有無を判定したが、人間の骨格抽出による人体認識を行うことが出来なかった。

そこで本稿では、医療現場における支援・補助を目的とし、ベッド上の人体認識を行う手法を提案する。未処理の距離画像から人体の骨格抽出を行うことは不可能であるため、取得した距離画像に対して平面のフィルタリング処理を加えることを考える。平面を決定するにあたって、ランダムに 3 点を選び平面を一意に決定、評価を繰り返す手法であ

る、RANSAC 法を用いる。RANSAC 法によって決定した平面を距離画像から除去し、新たに平面を含まない距離画像として再構成を行う。その距離画像に対して人体骨格抽出を行うことで、ベッド上の人体認識を実現する。

### 2. 関連研究

医療分野での医師や患者の支援・補助は非常に重要であり、さまざまな研究が行われている。西田らは、ベッドに仕込んだ圧力センサによる、睡眠時の患者の呼吸や姿勢の無侵襲、無拘束な計測について提案した。この研究では、仰臥位、側臥位、腹臥位それぞれ姿勢において高精度な呼吸計測や体位認識を可能にした。しかし、圧力センサ自体が非常に高価であり、1 つのシステムを構築するのに約 40 万円必要というコスト面での欠点があった。千葉らは、医療現場の中でも手術中の医師を支援するシステムとして、Kinect センサを用いた非接触画像閲覧システム Opact を提案した[5]。これは、Kinect センサ視野内の 3 次元画像を取得し、ユーザーの動作や声で表示を操作できるシステムである。患者の画像情報を、清潔を維持したまま必要な情報へ直感的にアクセスできるため、執刀の支援として非常に有用なシステムである。吉武らは、入院生活中の普段の患者の容体把握という点に着目し、ベッド上に設置した Kinect センサを用いた医療用の患者監視システムを提案した[4]。この研究では、注目点の深度情報の変化から患者が動いたかどうかの判別を行い、褥瘡の防止などに役立った。しかし、人間の骨格を検知し、人体を認識することは実現できなかった。そのため、患者の細かい姿勢が推定できず、正確な姿勢や状況を取得することが難しかった。これは、深度情報から人体骨格抽出を行う Kinect の仕様上、

<sup>†1</sup> 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

人体と背景の深度差分が小さすぎる場合に発生する問題である。介護現場への応用として、安達らは Kinect を用いた介護支援ホームネットワークの提案を行った[6]。リアルタイムでの間接可動を測定することで四肢の位置や身体の状態を第三者の視点から把握できるようなシステムの有用性を検証した。測定となった可動域は、前後屈、左右屈、内外転、内外旋で、いずれも立ち姿における測定であった。介護現場での活用であれば横たわった状態の測定が必要になると考えられるが言及されおらず、実現できていないと推測される。

そこで本稿では、吉武らや安達らの研究で実現されていない、ベッド上の人体認識を可能にする手法について提案する。Kinect を用いて人体認識を行うことの利点として、感圧センサを用いる方法などよりも人体の姿勢や動作が迅速かつ正確に把握ができるという点がある。よって、動作認識の正確で高速な検出が求められる操作インターフェースとしての活用や、患者の異常行動の素早い検知などに役立てられる。また、RGB 色情報ではなく深度情報による人体認識を行うことで、より照明条件にロバストなシステムを構築できる。Kinect は、搭載された IR カメラにより対象オブジェクトとの距離を三角測量で測っている。よって、対象空間の明暗に左右されず認識を行うことができる。本手法では吉武らの手法と同様に Kinect をベッド上部に設置し、人体認識を行った結果について報告する。

### 3. 提案手法

#### 3.1 システムの全体像

提案するシステムの全体像を図 1 に示す。図 1 中赤い枠で囲った領域が、本研究で実装する部分である。まず、Kinect による深度画像の取得を行う。次に、RANSAC 法を用いて、取得した深度画像からベッド平面を推定、除去を行う。処理後の除去画像に対して各関節座標を取得、人体骨格モデルの推定を行い、医療現場での支援や補助に繋げていく。深度画像と人体骨格モデルの取得については、オープンソースのライブラリ OpenCV2[7]を利用して行う。RANSAC 法によるベッド平面の除去については、後述するアルゴリズムを元にプログラムを組み、深度画像の処理を行う。

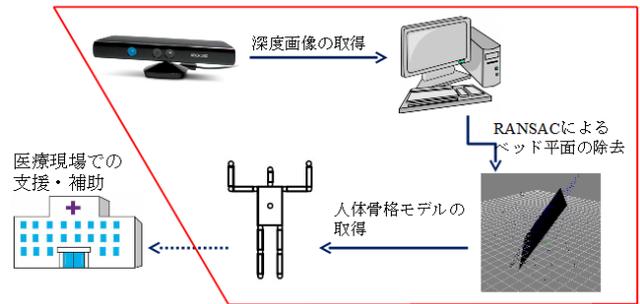


図 1:システムの全体像

#### 3.2 システムの設置環境

提案手法の動作環境を図 2 に示す。本研究では、深度画像の取得に Kinect を用いる。患者が横たわった時に Kinect のカメラが全身を捉えられるよう(図 3)、ベッドの中心から上 2.5m 程度の位置に設置した。また、OpenNI2 を使用して深度画像の取得、処理を行った。使用したコンピュータの性能を表 1 に示す。なお、ベッドの両脇には手すりがあり取り付けられ、その他の障害物、例えば掛布団などは存在しない。



図 2:システムの設置環境

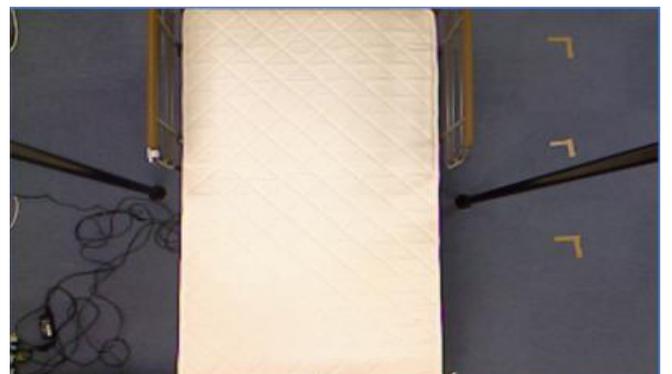


図 3:Kinect からのビュー

表 1:コンピュータの性能

CPU	Intel Core i7-2600K 3.40 GHz
メモリ	8.00 GB
OS	Windows 7 64bit

### 3.3 RANSAC 法によるベッド平面の推定

本研究では、ベッド平面の推定に RANSAC 法を用いる。これは、ランダムに取り出したパラメータの誤差範囲に閾値を設け更新することで、外れ値を含む点群から 2 次元ならば直線、3 次元ならば平面を一意的に決定する、もっともらしいパラメータを推定する手法である。閾値内のパラメータ数が最大になる時、それを正しい推定とみなす。これを 3 次元に適用し、ランダムに取り出した 3 点を更新していくことで平面を推定する。具体的に提案手法で用いたアルゴリズムは次の通りである。まず、3 次元距離画像からランダムで 3 点を選ぶ。3 点を選ぶことで、一般的に知られる次の平面方程式から、3 点を通る平面を一意的に決定できる。

$$a(x-x_0)+b(y-y_0)+c(z-z_0)=0 \quad (1)$$

次に、決定した平面上に存在する点の数をカウントする。カウントされた点の数が最大ならば、平面のセットを更新する。これを規定回数繰り返すことで、3 次元距離画像上でのもっともらしい平面を推定する。図 4 に、ランダムに発生させた点群から平面を抽出する、デモプログラムの出力を示す。

平面推定を行うための別の手法に、最小メジアン法(least median of squares; LMedS)がある。RANSAC 法が最適モデルのパラメータの誤差範囲に閾値を設けるのに対して、最小メジアン法は全データの二乗誤差のメジアンで評価を行い、メジアンが最も小さくなる時を正しい推定とみなす。これら二つの手法は、外れ値に対するロバスト性は同等であるが、最小メジアン法は全データの二乗誤差を計算してソーティングを行う必要があるため、計算量が多くなってしまふ。よって、リアルタイムに患者の状態を把握するために、本研究では比較的計算量の少ない RANSAC 法を用いる。

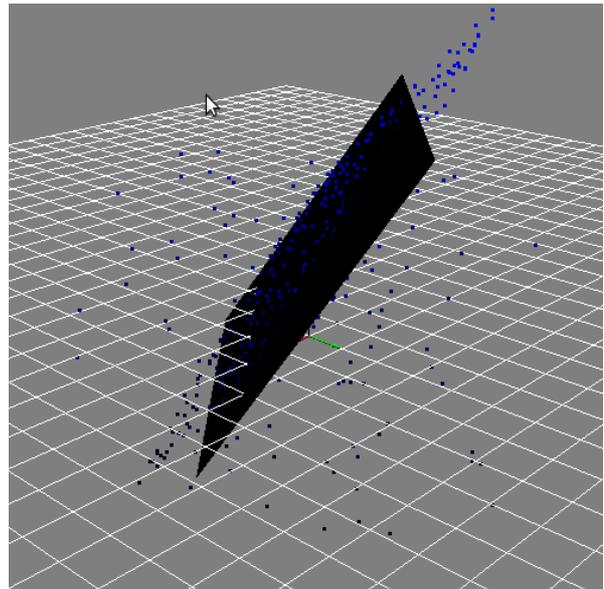


図 4:RANSAC 法による平面抽出

## 4. 実験

### 4.1 従来手法による人体認識

従来の手法では、Kinect の仕様上、ベッド上の人体認識を行うことができなかった。これは、人体と背景の深度差分が小さすぎる場合に発生する問題である。ベッド上と同様に、壁に張り付いた場合の人体認識も困難である。提案手法を実装する前に、図 2 の環境のもとで従来手法による予備実験を行い、その結果を図 5 に示す。

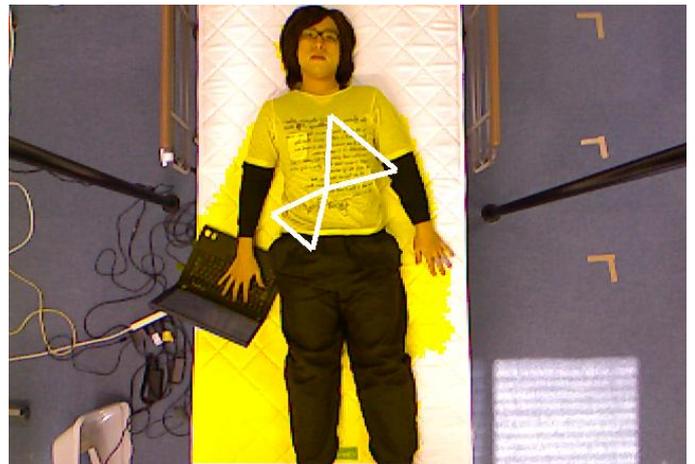


図 5:従来手法による人体認識

図中の黄色い領域が、人体として認識された範囲を示す。また、白線が人体の各関節を結んだ人体骨格を示す。結果から明らかなように、ベッド平面を人体として誤認識している。また骨格検出も、およそ確からしい結果でないことがわかる。直立状態で壁に密着した場合の人体認識実験も行ったが、ベッド上と同様の結果が得られ、人体認識を行

えなかった。従って、従来手法ではベッド上の人体認識を行うことは非常に困難である。人体の各部位の座標を取得することが出来ないため、医療現場での応用を行うことが出来ない。このことから、提案手法によってベッド上の人体認識についての問題解決を図る。

#### 4. 2 提案手法による人体認識

図 2 の環境のもとで、Kinect による距離画像の取得、RANSAC 法を用いた平面推定と除去、再構成した距離画像からの人体骨格抽出を 4 名の被験者に対して行った。図 6 に平面除去前の距離画像を、図 7 に平面除去後の距離画像を示す。また、図 8 から図 10 に人体骨格抽出の結果を示す。仰臥位、側臥位、腹臥位、それぞれの姿勢で平面推定と除去は問題なく行われ、人体骨格が抽出できた。実験の際、ベッドの両脇にある手すりには、特に平面抽出の妨げになることがなかった。ただし、側臥位、腹臥位については、一度仰臥位で正確な骨格抽出を行ってから姿勢を変化させる必要がある。Kinect センサは家庭用ゲーム機に付随するゲーム用センサとして開発されたため、人体の前面を捉えることを前提としている。従って、腹臥位における各関節の座標は、仰臥位と同様に捉えられており、部位ごと左右逆に認識されていると推測される。実際に各部位ごとの動きをモニタリングするシステムを構築する際、この点を考慮に入れて部位ごとの座標修正を行う必要がある。平面除去を行った後の人体骨格抽出については、平面除去画像に対し、OpenNI2 を使用する際のスケルトン制御に用いられる NiTE2[8]で行った。赤色の点で検出した各ジョイント部を示し、人体骨格モデルの取得に成功し、人体の動作への追従を確認した。



図 7:平面除去後の距離画像

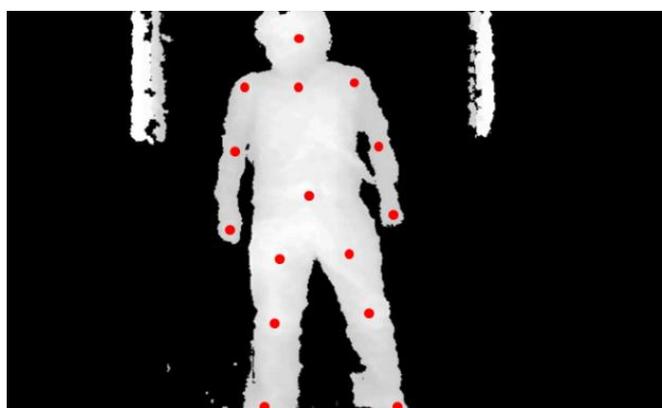


図 8:人体骨格抽出(仰臥位)

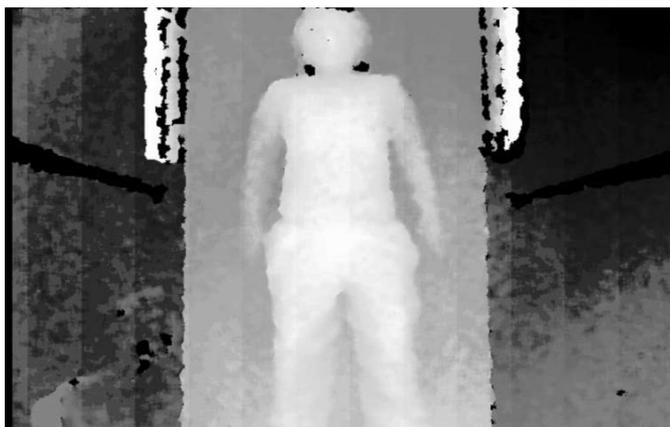


図 6:平面除去前の距離画像



図 9:人体骨格抽出(側臥位)

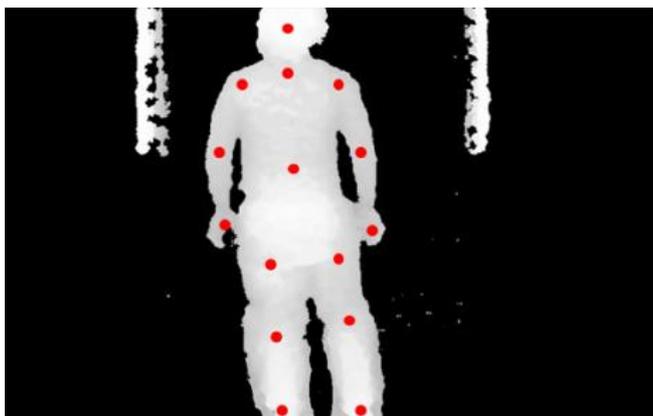


図 10:人体骨格抽出(伏臥位)

## 5. 考察

### 5. 1 実験結果の考察

本実験で想定した環境では、図 8 から図 10 に示した通り良好な出力結果が得られた。一つの平面に対する処理としては非常に有用な結果となった。本研究によって、ベッド上の患者の姿勢が検出可能になったことにより、患者の動作を分析することによる異常動作の監視や動作支援などに役立つことが予測される。例えば、吉武らの手法では注目点の深度の変化で姿勢変化の有無を判定するため、患者が同姿勢で別の位置へ移動した場合対応できないが、提案手法では対応が可能である。

### 5. 2 システムの課題

今回の実験は限定された理想的な環境に対してのみ行われたため、実際の医療現場で考えられる状況に対応させることが課題となる。起こり得る状況として、ベッドが起き上がった状態が考えられる。これに対しては RANSAC による平面抽出を二平面同時に行う必要がある。複数面の同時抽出に対応できれば、食事の際などに使われるベッド上のアームテーブルの検出も可能になり、障害物に対してよりロバストなシステムの構築が可能になると考えられる。複数平面同時抽出の実現方法については現在模索中である。マルチスレッドを用いて複数の平面を同時抽出、その後含まれる点群の多さなどから優先度を決定し、リアルタイムの処理速度を損なわないよう数か所の平面のみ除去する方法が考えられる。まだ漠然とした実現案でしかないため、今後システムの改善に取り掛かるにあたり、いくつかの方法を提案、考察していく必要がある。また、アームテーブルのような平面の障害物が存在する以外の状況として、患者が布団を被った場合が考えられる。この場合に多いケースとして、患者の上半身だけ露出している状況を想定した時、上半身の動きを認識できれば、大部分の行動は検出可能であると考えている。下半身の部位座標が取得できなく

ても、上半身の座標変化から体勢を推測できれば、余程無理な姿勢をとっていない限り十分患者の容体把握に役立てられると考えられる。よって、人体の露出領域が小さすぎる時はシステムの適用は難しいが、上半身が露出しているような状況であれば問題はないと考えられる。

### 5. 3 医療現場への応用

提案手法の出力から医療現場への応用について考察する。上半身を起こすことが困難な患者を想定し、人体骨格から手の動きを認識、ベッドの背もたれを上げ下げできる操作インターフェースとしての活用が考えられる。また、患者個人の学習データから、普段行わないようなものがきき苦しむなどの異常動作を検出した時、即座に担当医師にキャプチャ画像を送信するシステムが考えられる。このように、本研究結果を医療現場での支援・補助に役立てる、さまざまな可能性が示唆される。

## 6. まとめ

医療の質や効率の向上を目的とし、ベッド上の患者の状態をモニタリングするシステムの提案を行った。本稿では、ベッド上に設置した Kinect から得られた距離画像に対して RANSAC 法を適用し、ベッド平面の推定と除去、そして人体骨格抽出を行うシステムを実装した。提案手法を実装する前の予備実験として、従来手法によるベッド上の人体認識について実験を行った。その結果、人体と背景の誤認識が発生することを確認し、提案手法の必要性が確かめられた。提案手法では、4名の被験者に対して一連の処理の実験を行い、仰臥位、側臥位、腹臥位の3姿勢で、平面除去と人体認識において良好な結果を示した。これにより、従来手法では行えなかったベッド上での人体検出を可能にし、医療現場への応用へさまざまな可能性を示した。ただし、本稿で行った実験はベッド上に一平面しか存在しない状況を想定したため、将来的には複数平面の同時抽出を可能にすることが望まれる。

今後の展望として、ベッドが起き上がった状態における人体検出を目指す予定である。現状のプログラムでは対応できていないが、同一の距離画像に対しての並行プロセスによる複数面同時抽出を、リアルタイムで実現できることを目指す。これにより、アームテーブルのような平面上の障害物への対応も可能になると考えられる。人体骨格抽出を行った後の応用として考察した、操作インターフェースや緊急時の即時対応なども順次実装していく予定である。また、今回計算量の理由から RANSAC 法を採用した。その他手法のアルゴリズムを見て同等の検出性能であると判断したが、実装してみないと本当に有意差があるのか不明な点がある。提案手法と最小メジアン法によるシステムを実装した場合とを比較し、処理時間や検出精度の観点か

らどの程度有意差があるのかについても検証予定である。

## 参考文献

- 1) Xbox Kinect  
<<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>>
- 2) 西田 佳史, 武田 正資, 森 武俊, 溝口 博, 佐藤 知正: 圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測, 日本ロボット学会誌 Vol. 16 No. 5, pp. 705-711, 1998
- 3) Jan Smisek , Michal Jancosek and Tomas Pajdla: 3D with Kinect , Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference, pp. 1154 -1160, Nov. 2011
- 4) 吉武 伸泰, 恒田 晃完, 灘口尚大, 田中康一郎: Kinect センサを用いた医療用患者監視システムにおける体勢検知機能の実装, 情報処理学会研究報告 火の国情報シンポジウム 2013, B-5-3.
- 5) 千葉 慎二, 吉光 喜太郎, 丸山 隆志, 遠山 仁啓, 伊関 洋, 村垣 善浩: KINECT センサを用いた非接触画像閲覧システム: Opect, Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery: J. JSCAS 14(3), pp150-151, 2012-10-05
- 6) 安達 栄治郎, 水澤 純一, 稲吉 光子, 増田 卓, 狐崎 直文: 三次元画像処理技術を応用した介護支援ホームネットワークの研究開発, ICT イノベーションフォーラム 2013, B-18
- 7) Open NI  
<<http://www.openni.org/>>
- 8) Nite2  
<<http://www.openni.org/files/nite/>>