

患者の動向監視支援システムの開発

小池志歩^{*1}, 藤尾三紀夫^{*2}

Development of a System to Monitor Dementia Patient in a Hospital Using Depth Sensor

Shiho Koike^{*1} and Mikio Fujio^{*2}

The number of hospitalized patients with dementia has been increasing due to the aging of the population in recent years. It becomes a social problem that a dementia patient causes accidents such as falling from bed and wandering around the hospital in the night. To prevent these accidents, bed side sensors are installed. However, the sensor can't monitor the patient conditions correctly and an incorrect operation occurs occasionally. The purpose of this research is to develop the monitoring system for watching patient in the sickroom. This report describes the basic algorithms for identifying the eight states of patient and condition of bed side rails.

Key Words: Bedside sensor, Kinect2, Depth Sensor, Bed Side Rail

1. 緒論

近年日本では、超高齢化社会の到来により、認知症を持つ高齢者が入院する割合が著しく増加している。認知症を持つ患者は、夜間等に予測不可能な行動を起こし、それによる転倒、転落によって時に大怪我や死亡事故に繋がるため、社会問題となっている。現状では、その対策として看護師による巡回や離床センサが用いられている。しかし、看護師による巡回では、人数の関係により転倒、転落に対応できていない状況である。また、現在の離床センサでは瞬間にしか患者の状態を把握できないため、誤動作の発生や、センサが作動した時には既にベッドから転落しているという問題点がある。

そこで本研究では、患者の動向を常時監視することで、患者の状態を連続的に把握することができる患者の動向監視システムの開発を行っている。本論文では、患者のベッド上、ベッド外での状態検知と、柵の領域を検出することで患者が柵を取り外したり柵に乗りあがっていたりしないかの検知、寝返りの検知を行う機能を開発したので報告する。

2. ハードウェア・システム構成

本研究では、センサから患者の距離を取得することで患者の状態検知を行っている。センシングデバイスには、導入コ

ストなどを考慮し、マイクロソフトの Kinect for Windows v2(Kinect v2)を用いた[1]。Kinect v2 は現在病院で使用されている離床センサより比較的安価に導入することができ、赤外線を用いて深度を取得するため夜間でも使用可能である。図 1 に、Kinect v2 の外観写真を示す。また、表 1 に Kinect v2 の仕様を示す[2]。



図 1 Kinect v2

表 1 Kinect v2 の仕様

赤外線エミッタ ー	Class1 レーザー ^{Time of Flight}
カラーカメラ	1920×1080[pixel]
深度センサ	512×424[pixel] 範囲 0. 5~8. 0[m]
フレームレート	~30FPS
視野	水平 70 度 垂直 60 度
オーディオ	高性能 4 マイクアレイ 強化 MEC
サイズ	W245 × H65 × D60/68[mm]

図 2 に Kinect v2 の設置位置を示す。Kinect v2 は、患者の寝るベッド面から 1. 96[m]の高さの上部に取り付け、Kinect v2 の 512 画素をベッドの横に合わせ、ベッド全体を

*1 専攻科

Advanced Course

*2 制御情報工学科

Department of Control & Computer Engineering

真上から監視し、深度画像を取得することにより、ベッド領域や患者領域を取得する。Kinect v2 の深度取得可能範囲により、この高さで使用することが可能である。図3に実際に病室で設置した際の写真を示す。

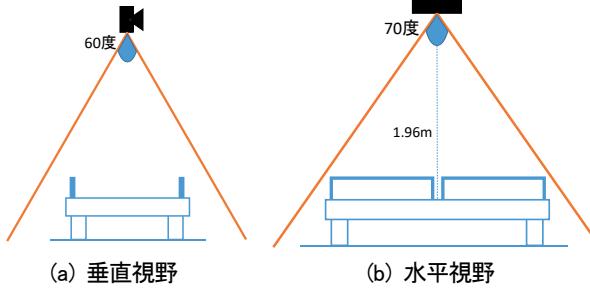


図2 Kinect v2 の設置位置



図3 病院での設置写真

ソフトウェア構成として、OS を Windows10 とし、開発には C++ を用いている。また、Kinect v2 を制御するための API として Kinect for Windows SDK を利用している。

3. システムの基本動作

本研究で開発しているシステムでは、患者を連続的に監視するために、Kinect v2 が深度を取得する毎に深度差分計算を行い、患者の状態を検出する処理の繰り返しを基本動作とする。その手順として、まず初めに患者がない状態での深度データを取得し、背景深度とともにベッドの領域および柵の領域を取得する。その後これらは得られた患者を含んだ距離データとの深度差分計算、患者領域取得、頭の位置認識、そして患者の状態検出に使用される。そして、患者および柵の状態を判断し、画面上に状態を表示する。これらの動作を Kinect v2 よりフレームが送られてくる毎に深度データの差分計算から順に処理を繰り返す。なお、ベッドの位置が変わった時などに対応するため、システムの表示画面上でダブルクリックをすることにより再度ベッド領域の取得が可能である。

4. 状態認識のアルゴリズム

4. 1 ベッド領域と患者領域およびベッド柵の取得

患者の状態認識手法として、ベッド領域と患者領域を取得

し、それらを基準として状態を取得する。図4(a)は患者のいない時の基準となる背景深度である。このデータから画面中央をベッドの基準として、同一の法線ベクトルを有する領域をベッド領域として認識する。患者領域の取得には、患者がない場合の深度データを基本とし、患者がベッド周りにいる場合の深度データと比較した時の深度差分を用いる。

図4(b)はベッド上に患者が横たわった状態の深度データであり、図4(c)が深度の差分を示している。これらより取得できる領域の検出状態を図4(d)に示す。ここで図4(d)の緑の枠が検出されたベッド領域であり、黄色の画素が患者画素、黄色の枠が患者領域を示す。患者画素とは、図4(c)で示される背景深度と患者深度の差分であり、患者を示す画素のことである。

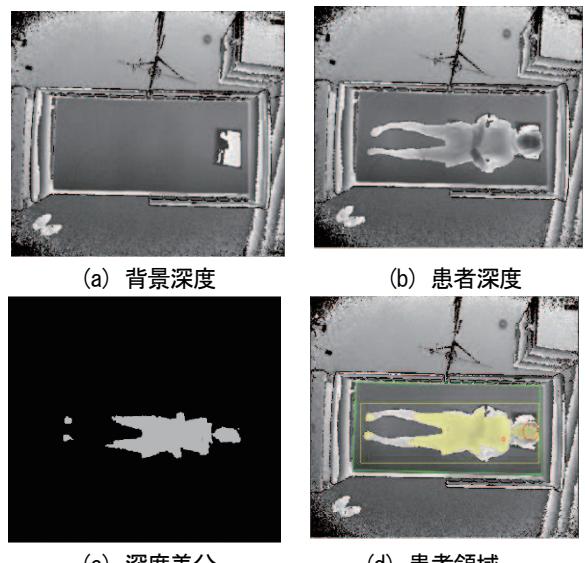


図4 深度情報と深度差分

次に、柵の状態を判断するために柵の領域を取得する。柵の検出手法として、図5(a)のようにベッド領域を基準にベッド上下に柵探索範囲を定める。探索範囲内で最も高くなる点を探し、その点の高さから 100mm 低い高さまでの範囲の高さの点をベッド柵の点群とする。その点群を包括する四角形を求め、柵領域とする。図5(b)に示す青で表示された枠が検出された柵領域を示す。また、ノイズ対策として、一定の面積以下となる領域は柵領域として認識しないように閾値を設けている。

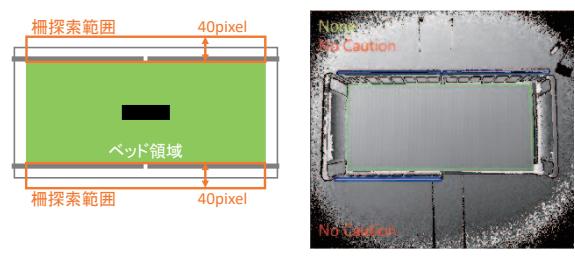


図5 柵の検出

Kinect v2 は毎フレームで全ての画素の深度を正しく取得できるわけではなく、フレームによっては値の欠損が生じる。柵領域はベッド領域と比べて面積が小さく、領域取得をする際に距離値の欠損の影響を受けやすい。そのため、1 フレームのみで柵領域を取得するのではなく、3 フレームで有効な値を使用して領域を取得することにより、値の欠損の影響を低減することができる。具体的には、Kinect v2 は値が欠損した場合 0 を返すため、0 でない深度の平均を計算し領域取得に用いる。図 6(a)に1 フレームを使用し、図 6(b)に3 フレーム平均を使用して柵領域を取得した場合の実行結果を示す。

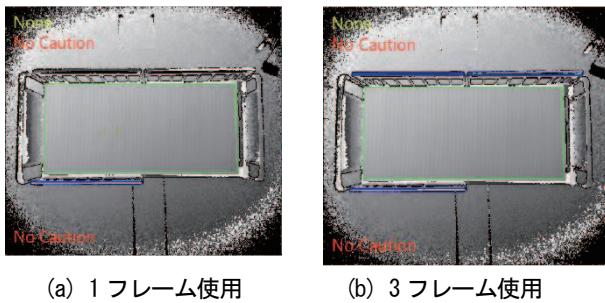


図 6 使用フレーム数による領域取得

図 6(a)より、1 フレームを使用して領域取得を行った際、ベッド上部に柵があるのに関わらず柵を 1 つしか取得できていないことがわかる。また、図 6(b)より 3 フレームの有効な値を使用することにより 3 つの柵が正常に取得でき、値の欠損の影響が低減できていることがわかる。なお、使用するフレームを増やしても深度が正しく取得できない場合は正常に領域が取得できるまで領域の再取得を行っている。

4. 2 患者状態の取得

患者状態の取得には、得られたベッド領域および患者領域の関係性および患者の頭や肩の高さを使用する。患者領域とベッド領域の位置関係から患者の状態を判断するために、患者画素がベッド領域にある確率 p を計算する。ここで確率 p は式(1)で表される。

$$p = \frac{\text{ベッド上にある患者画素数}}{\text{全患者画素数}} \quad - (1)$$

この確率を設定した閾値と比較し、両領域の関係性を判断している。確率を求めて比較を行うことにより、四角形の領域同士を比較するよりも精度よく関係を判断することができる。

患者の状態判断は、図 7 に示す患者領域とベッド領域の関係から、判定を行う。その具体的な手法を以下に示す。図 7(a)に示すように、患者領域とベッド領域が完全に一致している場合、患者はベッド上にいると判断する。この時、更にベッド上の状態判別を行うため患者の頭の高さを用いる。図 4(c)で示した深度差分領域の中で患者が寝ている時は左右どちらかの側端、それ以外の時は最高点を優先的に頭として判定する。そして、頭の高さが設定した閾値よりも高い時、患

者がベッド上で座っている(Sitting)と判断する。また、頭の高さが閾値よりも低い時、患者がベッドの上で寝ている状態と判断する。寝ている場合は、上半身の中で背景深度と患者深度の深度差分が最も低い点を用いて肩の位置を求め、仰向け又はうつ伏せで寝ている状態(Lying)と、左右横向きで寝ている状態(Lying on Side)を判断している[3]。

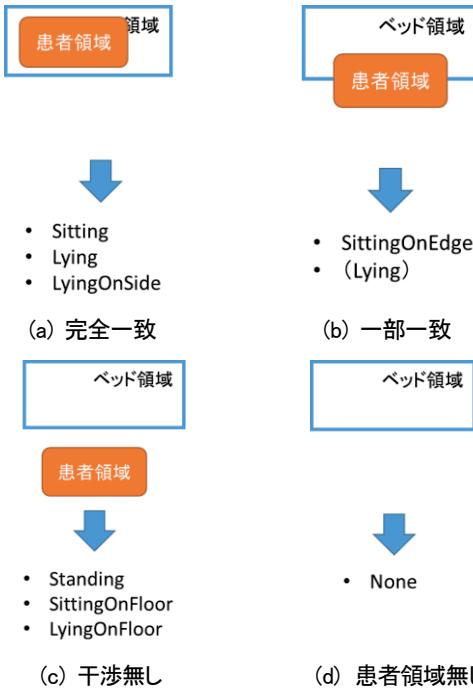


図 7 患者領域とベッド領域の関係

また、図 7(b)に示すように、患者領域とベッド領域が一部だけ重なる時は患者がベッドの端に座っている状態(Sitting on Edge)、図 7(c)に示すように両領域が重なっていない場合は患者がベッドの外にいる状態と判断する。ベッド外にいる場合も寝ていたり座っていたりする可能性があるため、ベッド上の状態判定と同様に頭の高さを基として更に判断を行う。具体的に、図 8 に示すように閾値を 2 つ用意し、オレンジの点で示す頭の高さが閾値 1 より高い場合患者はベッド上で立っている状態(Standing)，閾値 1 より低く閾値 2 より高い場合は床で座っている状態(Sitting on Floor)，それ以下の場合は床で寝ている状態(Lying on Floor)として判断する[4]。

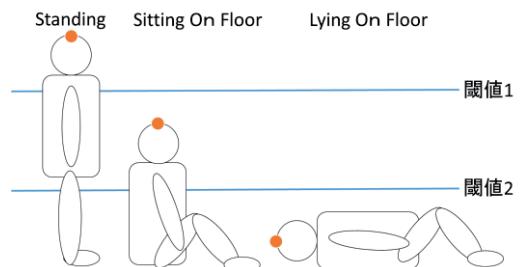


図 8 ベッド外の患者状態判定

図 7(d)に示すように患者領域が検出されない場合、患者がない状態(None)と判断する。図 9 に、これら 8 つの検出状態を示す。画面の左上に状態をテキストで示し、黄色の線

は患者領域、緑の線はベッド領域、患者領域の大きい赤丸は頭、小さい赤丸は肩を示している。8 つの検出状態に対して、左上の状態を表す文字列と実際の患者の状態が一致していることが確認できる。

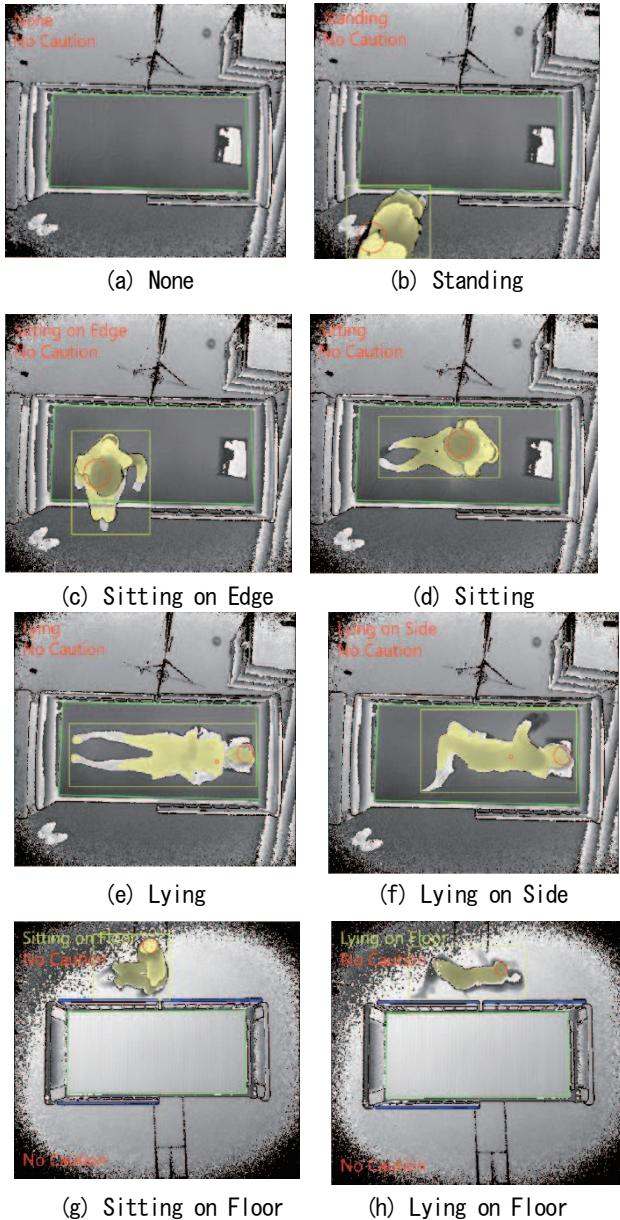


図 9 検出した患者の 8 状態

システムはリアルタイムで動作し、Kinect v2 からは最大 30fps で深度情報が送られてくる。その度に状態の判断を行うが、全ての深度データが毎回正しく取れるわけではなく、値の欠損などが生じる。肩の高さなど、状態検出に用いる値の検出状況によっては、患者の状態は変化していないのにも関わらず、距離データが変化するチャタリング現象が起こる場合がある。そのため、フレームが送られてくる毎に状態の検出をした後ローパスフィルタへ通し、誤認識された状態を判断せずに有効な状態のみを出力している。

4. 3 柵状態の取得

ベッド柵状態の検出には、処理を高速化するため、柵領域内の全ピクセルを使わず柵領域内で最も高さのばらつきが小さい横一列の点の高さを用いる。柵状態の検出手法として、まず監視点列を求めるとき同時に、監視点列の高さの平均を求め、これを基準の高さとする。その後深度画像が更新されるたびに各柵領域内の高さを監視点列ごとに監視し、基準の高さから 300[mm]以上低い場合は基準高さよりも低い点、300[mm]以上高い場合は基準高さから高い点としてカウントする。最後にそれぞれを総点数で割ることにより、代表点が基準の高さから低い割合 Ra と基準の高さから高い割合 Rb を計算する[5]。

Ra が 60%以上の時、患者などが柵の上に乗っている状態として認識し、画面左下に「Fence Upper Caution」と警告を表示する。また、Rb が 60%以上の時、柵が外された状態と認識し、画面左下に「Fence Lower Caution」と警告を表示する。図 10(a)に警告のない場合、図 10(b)に柵の上に物や人が乗っている警告を表示する場合、図 10(c)に柵が取り外されたと警告を表示する場合の実行結果の画面を示す。この結果から、柵状態が正しく認識できていることが確認できる[6]。

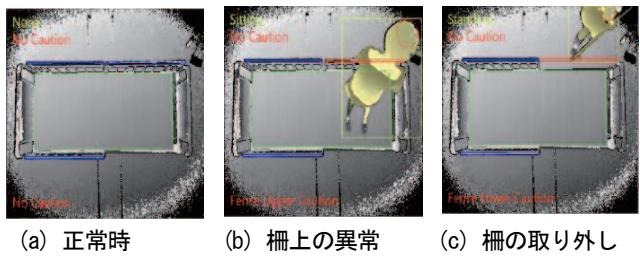


図 10 ベッド柵の状態検出

4. 4 寝返りの判定

患者がベッド上で寝ている時、肩の高さにより仰向け・うつ伏せで寝ている状態と横向きで寝ている状態を判断できることから、寝返りの検出が可能である。

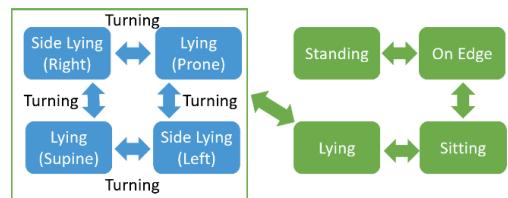
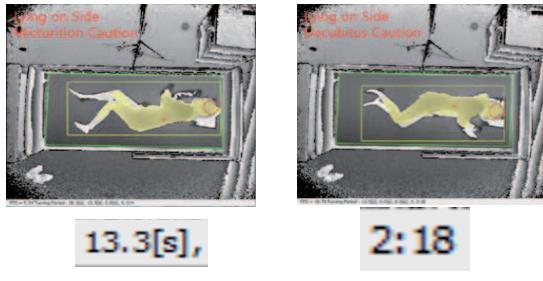


図 11 患者の状態遷移図

図 11 に本研究で想定している患者の状態遷移図を示す。システム全体ではベッド周りにいる患者の認識状態として緑で示す Standing, On Edge, Sitting, Lying がある。また、患者が寝ている時の状態を詳しく見ると、青で示す仰向け(Supine Lying), うつ伏せ(Prone Lying), 右向き(Right Side Lying), 左向き(Left Side Lying)の 4 状態に区別でき、図 11 のように遷移する。本研究では、これらの患者がベッド上で寝ている時の 4 状態の遷移を寝返りとして判定する。

寝返りを取得すると共に寝返りをした時刻を取得することにより、寝返り間の時間差を計算することができる。そして寝返り間の時間差を用いて、尿意を感じると寝返りが頻発するという仮定より尿意の検出を行うことができる他、褥瘡の予防に適用できると考えられる。



(a) 尿意警告あり (b) 褥瘡警告あり

図 12 寝返り周期を用いた警告の例

図 12 に、寝返り周期を用いた警告例を示す。今回は試験的に、寝返り周期が 14[s]以下になったとき尿意を感じたと見なし警告を出すこととした。また、褥瘡の予防を目的として試験的に前回の寝返りからの経過時間が 2[min]以上となった時警告を出すこととした。図 12(a)に示すように寝返り周期が 14[s]よりも短くなった時、左上に警告が報知されていることがわかる。また、図 12(b)より設定された時間よりも長い間寝返りをしなかった場合も警告が出されていることがわかる[7]。

4. 5 パラメータの自動調整

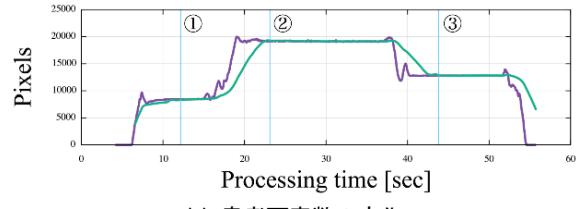
患者の状態認識を行う際、患者がベッド上に存在する確率と患者の肩、腰、頭の高さをパラメータとして使用している。このパラメータは個人別に異なるため、正確に患者の状態を認識するためには患者ごとに設定を行う必要がある。本研究では、患者があらかじめ定められた動作を行うことによりパラメータを自動設定することができる。自動設定により再計算されるパラメータは次に示す 7つである。

1. ベッド端に座っている時の存在確率 (P1)
2. ベッド外に立っている時の存在確率 (P2)
3. 頭から肩までの距離 (P3)
4. 頭から腰までの距離 (P4)
5. 仰向きと横向きの判定用パラメータ (P5)
6. 座っている状態と寝ている状態の判定用パラメータ (P6)
7. 頭の高さ

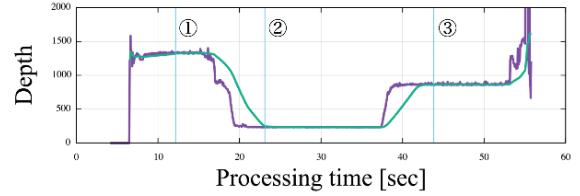
患者のパラメータ設定を行うにあたり、患者は次に示す決められた一連の動き「①ベッド端に座る」、「②ベッド上で横になる」、「③ベッド上に座る」を行い、そのデータからパラメータ設定を行う。なお、データの安定化を図るためにそれぞれの状態で 4 秒以上停止する必要がある。

状態の検出には、図 13(a), (b) に示す患者画素数と患者画

素中の最大高さの変異を用いる。図中紫のグラフはそれぞれの値の変動を表し、緑のグラフは直近 4 秒間の値の平均値の変動を表す。得られた値(紫)と直近 4 秒間の平均値(緑)が、患者画素数と高さの両方で閾値の範囲内の場合を患者の静止状態①, ②, ③(青)と判定し、その時点における深度情報を保存する。図 14 は、検出した各状態を示している。

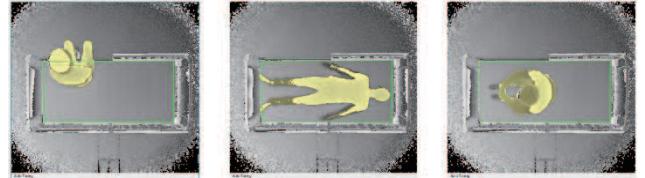


(a) 患者画素数の変化



(b) 患者画素中の最大高さの変化

図 13 患者画素数と最大高さの変化



(a) Sitting on Edge

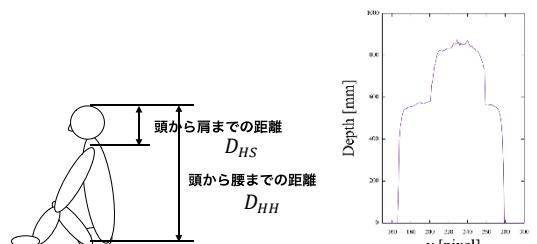
(b) Lying

(c) Sitting

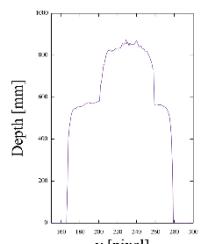
図 14 検出した状態

図 14(a)の状態から、ベッド端に座った時の患者画素のベッド上の存在確率(P1)を算出する。このパラメータにより、ベッド外にいる状態を判別する。また、ベッド外に立っている状態を判別するパラメータ(P2)は、ベッド端にいる状態の存在確率よりも小さくなるように設定する。

図 14(c)の状態から、図 15(a)に示すように患者の頭から肩までの距離(P3:D_HS)及び頭から腰までの距離(P4:D_HH)を算出する。図 15(b)のグラフは、患者がベッド上に座っている時の後方からの輪郭を表した図である。この値の変動から肩の位置を決定し、頭から肩までの距離(D_HS)を算出する。また、グラフの最高点から頭から腰までの距離(D_HH)を算出する。



(a) 肩および腰までの距離



(b) 患者の輪郭

図 15 頭から肩及び腰までの距離と輪郭

図14(b)の状態から、仰向け状態と横向き状態を判別するパラメータを設定する。まず、図14(c)の状態から取得した頭から肩及び腰までの距離D_HS, D_HHから、図16赤で示す肩から腰までの領域を算出する。距離をピクセル数に変換するために、患者と同じ高さの平面上(図16青色)の1ピクセルあたりの距離dL_xを用いる。ここで、dL_xは式(2)で求め。また、頭から肩及び腰までのピクセル数P_HS, P_HHは、それぞれ式(3)から求める。

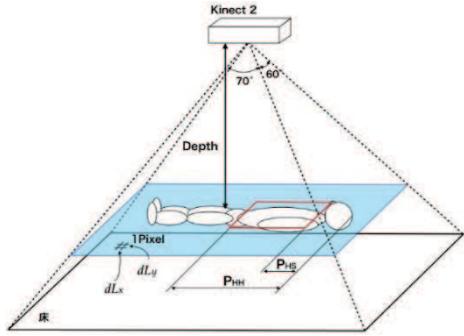


図16 肩から腰までの領域の算出

$$dL_x = \tan\left(\frac{70}{2} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \text{Depth} \times \frac{1}{256} \quad - (2)$$

$$P_{HS} = \frac{D_{HS}}{dL_x}, \quad P_{HH} = \frac{D_{HH}}{dL_x} \quad - (3)$$

次に、図14(b)の状態で算出した領域内の患者画素の最低高さを求める。また、肩の位置のピクセル数から肩幅を算出する。図17(a), (b)に示す、仰向けと横向きを判別するパラメータ(P5)は最低高さと肩幅の間の値で設定する(図17赤線)。

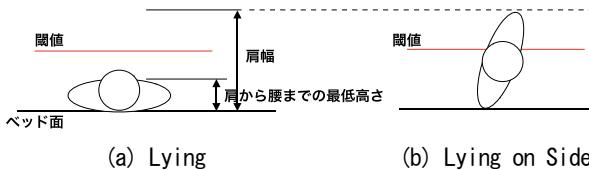


図17 仰向けと横向きの判別パラメータ(P5)の設定

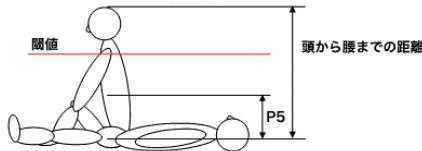


図18 座った状態と寝た状態の判別パラメータ(P6)の設定

座った状態と寝た状態を判別するパラメータ(P6)は、設定したパラメータP5よりも大きくP4よりも小さくなるように設定する(図18赤線)。頭の大きさ(P7)は③の状態の頭の位置のピクセル数から算出する。

提案手法で年齢や体格の異なる9名についてパラメータの自動設定を行った。その内、2名について主なパラメータのデフォルト値から自動設定された値を表2に示す。また、図19に示すように自動設定されたパラメータを用いて動作確認を行い、2名個別に6状態が認識できていることを確認した[7]。

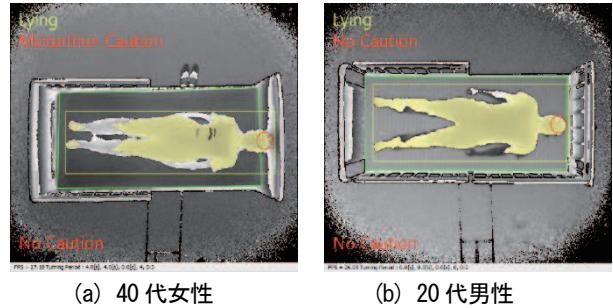


図19 自動設定法の適用結果

表2 変更したパラメータ

パラメータ	40代女性	20代男性
P3	250 → 373	250 → 303
P4	750 → 897	750 → 838
P5	200 → 245	200 → 256

5. 結論

本研究では、患者の状態を連続的に把握することができる患者の動向監視システムの開発を目的として、患者のベッド上、ベッド外での状態検知と、柵の領域を検出することで患者が柵を取り外したり柵に乗りあがっていたりしないかの検知、寝返りの検知を行う機能を開発した。また、寝返りの周期より褥瘡の予防、パラメータ設定による個人の体格差への適応なども行った。今後は、バイタルデータの取得や検出精度の向上が課題としてあげられる。

参考文献

- [1] 中村薰ほか: Kinect for Windows SDK プログラミング, 秀和システム, pp. 2-79, 2015
- [2] 太田昌幸, 江田周平: Kinect v2 楽しいプログラミング入門, 株式会社インプレス R&D, pp. 9, 2015
- [3] 長島弘昂, 梅本琢也・藤尾三紀夫: 患者の動向監視支援システムの開発 一基本システムの構築ー, 2017年度精密工学会春季学術講演会, C77, 2017
- [4] 小池志歩, 藤尾三紀夫: 患者の動向監視支援システムの開発-ベッド外での転倒状態の検出-, 第23回知能メカトロニクスワークショップ(IMEC2018), 2B1-2, 2018
- [5] 小池志歩, 藤尾三紀夫: 患者の状態監視支援システムの開発 一柵の検出ー, 第22回知能メカトロニクスワークショップ(IMEC2017), 3B1-2, 2017
- [6] 小池志歩, 藤尾三紀夫: 患者の動向監視支援システムの開発ー柵の状態検出ー, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, K31, 2017
- [7] 岩田和磨, 小池志歩・藤尾三紀夫: 患者の動向監視支援システムの開発 ー患者パラメータの自動調整についてー, 精密工学会 第25回学生会員卒業研究発表講演会, M27, 2018