

居住空間における Depth カメラを用いた バイタルセンシングに関する研究

知能システム制御研究室 小谷 龍雅

1. はじめに

近年、独居世帯が増加している。2020 年現在、全世帯のうち独居世帯は 38%、2050 年には 44.3% に達すると予測されている。特に都市部の一極集中型地域では独居世帯が多く、自宅内での転倒および急病の発見や治療の遅れが致命的な結果を招くことが指摘されている [1]。これらより、独居世帯を見守るシステムの必要性が高まっている。さらに、プライバシーに配慮し、対象者にストレスを与えない見守りシステムの開発も重要な課題である。

本研究では、プライバシー保護および非接触・非拘束の観点から Depth カメラを用いた独居世帯の見守りシステムを提案する。Depth カメラは、赤外線レーザーを用いて測距画像を生成するため、プライバシー保護と暗所での利用が可能なデバイスである。著者らは以前、Depth カメラを用いて就寝中の対象者を非接触・非拘束でモニタリングするシステムを開発し、位置推定と呼吸推定を実現した [2]。しかし、従来のシステムは人物の睡眠状態を前提としており、Depth カメラの画角から人物が外れた場合でも存在しない位置で呼吸数の算出を試みてしまうという課題があり、居室全体を通じたモニタリングには対応していなかった。

本研究の最終的な目標は、Fig. 1 に示すように、画角内のデータ (Depth マップ) を基に部屋の凸凹を認識することでレイアウトの把握と対象者のトラッキングを行うシステムの開発である。実現されることで、単なる位置情報の推定だけでなく、対象者の位置や呼吸数を基に部屋全体の環境情報と対象者の身体状態を総合的に評価し、現在の危険度の推定が可能となる。

本論文はその前段階として、従来の研究を拡張し、居住空間における行動トラッキングを通じて人物のバイタルセンシングを推定する手法を提案する。

2. 背景差分と呼吸推定によるセンシング

部屋全体を撮影できるように Depth カメラを設置する。また、本論文で取り上げる生活の基本的な動作は、「部屋の中を移動」、「静止する」であり移動している人の継続的な追跡と静止した位置の特定、および、再度移動したことの判定を行う。また、人物が静止した位置で呼吸推定を適用することで静止中の呼吸数が導出できる。結果として、対象者の静止

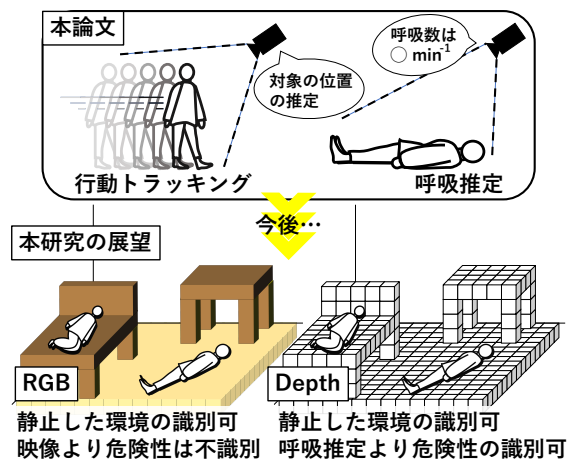


Fig. 1: 本論文のコンセプトおよび展望

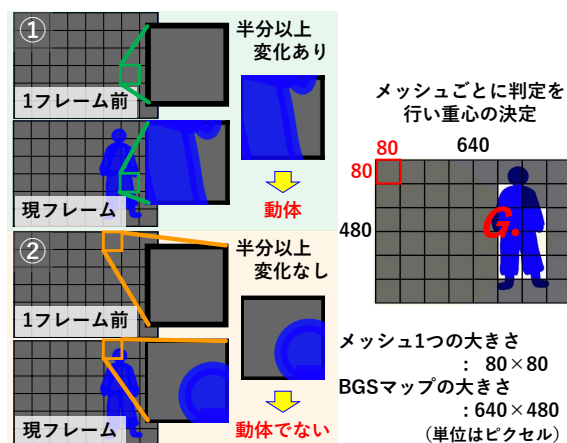


Fig. 2: フレームごとに行う対象者の重心特定方法

場所 (ベッドや床) や静止状況 (寝姿勢や呼吸停止の危険性) を判定できる。

また、Depth カメラより得られる 640×480 の Depth マップを 80×80 のメッシュに区分けし、メッシュごとで背景差分を行う。この処理により、ノイズや微小な変化を除去し、人物の大きな動きのみを検出しやすくなる。なお、最低でも対象者が2~3メッシュで表現できる大きさとする。以下 (1)~(4) に背景差分による追跡方法、(5)~(6) に呼吸推定の方法を示す。なお、(1), (2) の方法を Fig. 2 に示す。

- (1) 各メッシュで前フレームと現在のフレームを比較し、フレーム間で変化の生じたピクセル数を数え、半数以上のピクセルが変化した場合「動体」と判定 (Fig. 2 ①)、半数以上のピクセルが変化していない場合「動体でない」と

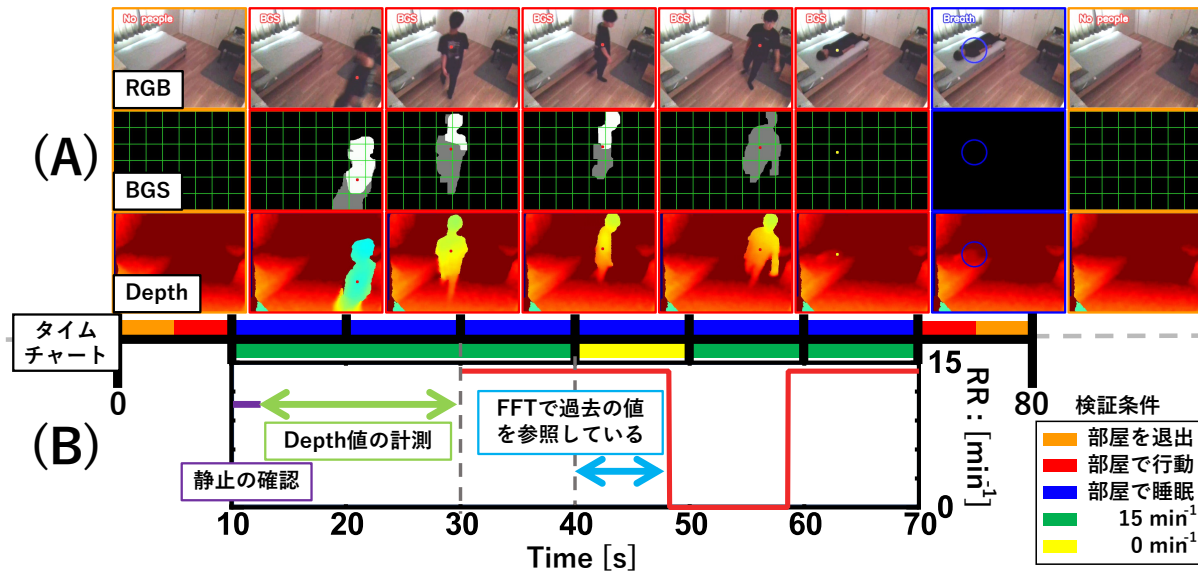


Fig. 3: 検証のタイムチャートおよび背景差分 (A), 呼吸推定 (B) の結果

判定する (Fig. 2 ②).

- (2) (1) より「動体」と判定した各メッシュの中心位置の平均を求めることで、フレーム全体における対象者の重心位置 G を特定する。
- (3) 対象者の静動を判定する。あるフレームにおいて「動体」と判定されたメッシュが1つでも存在する場合 (1) に、1つもない場合後続処理の参照として重心を保持し (4) に進む。
- (4) 対象者が (3) から継続して $x[s]$ 停止したかを判定することで特定の位置に留まったかどうかを判定する。 $x[s]$ 停止していれば (5) へ、途中で動き出した場合は (1) に戻る。
- (5) (3) で保持した重心 G を中心に持つ半径 60 ピクセルの円 (以後、注目円) を設定し、注目円内にある複数の Depth 時系列に対して FFT 解析を通して呼吸推定をする。詳細については文献 [2] を参照されたい。
- (6) 呼吸推定中に移動を検出した場合は (1) に戻り背景差分を、移動を検出しない場合は (5) に戻りフレームごとに呼吸数を算出する。

これらを繰り返すことで対象者をトラッキングしていく。

3. 検証・結果

健康な 20 代男性 1 名を対象とし、対象者は「部屋の中を移動」と「静止する」を行う。また、静止中に呼吸数を変化させる。使用する Depth カメラは Intel® RealSense™ Depth Camera D415, 画素数は 640×480 , フレームレートは 15fps, 検証で使用する部屋の大きさは約 6 畳で、平均的な 1 室の部屋の大きさである。なお、Fig. 3 に検証におけるタイムチャート、背景差分、呼吸推定の結果を示す。

Fig. 3 (A) に各マップにおける対象者の行動と部屋の様子を示す。これらの結果から、対象者の行動に応じたトラッキングは正確に行われている。さらに、実際の行動との一致率が 97.9% であることから、システムより対象者の「部屋の中を移動」と「静止する」の追従ができています。

Fig. 3 (B) に対象者の呼吸推定結果を示す。10～20s は、呼吸推定するための前処理に必要な時間である。また、呼吸数算出部では呼吸の時間帯に 14.1min^{-1} 、無呼吸の時間帯に 7min^{-1} 以下と条件に沿う結果が得られた。なお、条件値の 15min^{-1} と合致しないのは、FFT による周波数分解能が約 0.059Hz であり、呼吸数に換算すると分解能が約 3.54min^{-1} となるためである。また、無呼吸検出までに約 8.5s の遅れが生じたが、FFT で過去の時間帯を参照することに起因するものである。なお、検出までの時間遅れは一定であるためオフラインでは問題がなく、一般的な救急手当においても十分短時間である。結果より呼吸推定においても条件通りの結果が得られた。

4. まとめ

本研究は居住空間における人物の行動トラッキングよりバイタルセンシングを推定することを目的として、Depth カメラを用いて対象者の背景差分と呼吸推定より実現した。

参考文献

- [1] 総務省統計局 国勢調査：「日本の世帯数の将来推計（全国推計）（令和 6 年推計）」, 国立社会保障・人口問題研究所, (2024)
- [2] 小谷, 櫛田：「三次元座標に基づく睡眠中の体動検知および呼吸推定」, 電学論 C, Vol.144, No.7, pp.608–614 (2024)