

Depth カメラを用いた呼吸推定に関する研究 ～深度値ノイズ解析に基づく呼吸推定の精度向上～

知能システム制御研究室 難波 雄貴

1. はじめに

睡眠中に無呼吸に陥ってしまう睡眠時無呼吸症候群 (SAS: Sleep Apnea Syndrome) は、無自覚な疾患であるため日常的な観察を通して早期発見することが重要である [1]。研究室では、Depth カメラを用いて就寝中の呼吸推定を試みてきたが、Depth カメラと対象者が 2m 以上離れると呼吸数の推定精度が劣化するという問題があった。

本論文では 10 畳程度の寝室を想定し、Depth カメラと対象者の距離が 2m 以上であっても、従来法と同程度の呼吸推定精度が得られるよう、精度劣化の原因分析と精度改善を実験を通して検討する。

2. 呼吸推定の高精度化

Depth カメラは画角内の対象物について三次元座標 [m] を出力するものであり、それを画像解像度で画像化したものを Depth マップ、各ピクセルにおける三次元座標の Z 軸成分 (画像奥行方向) を Depth 値 [m] と呼ぶ。呼吸に伴う体動を Depth 値に基づき抽出することで呼吸推定を行っている。そのため、まずは Depth 値に混入するノイズの解析を通し、「Depth カメラと対象者との距離」と、「Depth 値に含まれるノイズ」の関係について調査した。その結果、撮影範囲に映っている全ての Depth 値において、距離に応じて混入するノイズの標準偏差が大きくなることが分かった。これは呼吸に伴う体動計測の SN 比悪化と等価であり、呼吸推定精度の劣化原因となる。そこで、以下の手順により Depth 値に混入するノイズの影響を軽減する。

1. 呼吸推定を行う対象者が撮影されている Depth マップにおいて、呼吸に伴う体動が生じる部位 (主として腹部) に半径 60pixel の注目円 COI (Circle of Interest) を設定し、COI 内で等間隔に選択した 88 個の点について Depth 値時系列を取得 [2]
2. 1 で取得した Depth 値時系列に対し、LPF を通すことで Depth 値ノイズ振幅を軽減 (成人の一般的な呼吸数は $12 \sim 20 \text{min}^{-1}$ であるため、遮断周波数 0.34Hz の 4 次バターワース LPF で呼吸と異なる周波数成分を軽減)
3. 2 を各々標準化した後、FFT を用いてパワースペクトルを算出して周波数領域で加算平均
4. 3 のパワースペクトルが最大となるときの周

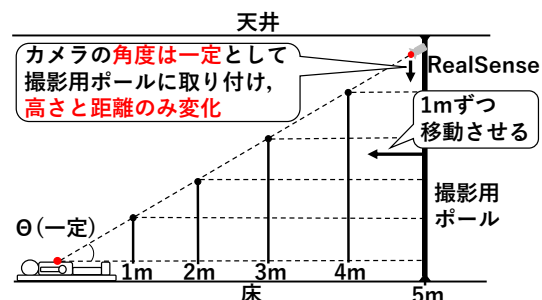
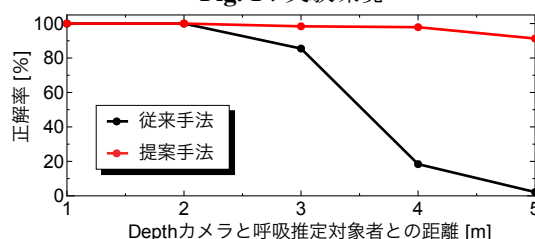


Fig. 1: 実験環境

Fig. 2: 距離に応じた呼吸推定
波数に 60 を乗じて呼吸数を取得

3. 検証と考察

本実験では対象者に健常な 20 代男性を選定し、仰臥位の姿勢で呼吸数 15min^{-1} の一定リズムで 5 分間呼吸を行う。Fig. 1 に実験環境を示す。Depth カメラは Intel 社製の RealSense D415 (以下、D415) を用いた。D415 を撮影用ポールに取り付け、カメラの角度を対象者に向け一定に保ち、1～5m まで距離を変化させ Depth 値の計測を行った。

Fig. 2 に呼吸推定結果を示す。従来法では距離 2m までは正解率 100% であるが、それ以上は 85%、20%、3% と急激に劣化する。それに対し提案法では、5m であっても正解率 90% 以上を保っており、提案法の有効性が確認できる。

4. まとめ

本研究では、Depth カメラである D415 で取得した Depth 値ノイズの解析および補正を行い、呼吸推定の精度向上を行った。検証の結果、従来法では不可能であった 5m を超える遠距離においても正しく呼吸数の推定ができており、10 畳間 (W4.6m×D3.52m×H2.5m) の対角距離でも十分実用できることが確認できた。

参考文献

- [1] 町田和子:「睡眠時無呼吸症候群」, 一般社団法人国立医療学会, **60**-3, 135/142(2006)
- [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, **144**-7, 608/914 (2024)