

令和 4 年 4 月 1 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12042

研究課題名(和文) 心拍や呼吸の計測信頼度を考慮したベッド上の人の睡眠状態の推定手法

研究課題名(英文) Estimation method for sleep quality considering reliability of measurement of respiration and heartbeat

研究代表者

松尾 一矢 (MATSUO, Kazuya)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50612165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：柔軟面状触覚センサを用いて計測した呼吸と心拍が、どれくらい信頼できるかを評価する指標を提案した。さらに、呼吸の高調波成分の影響を除外することで、心拍の計測精度を改善する手法を提案した。

また、これらの呼吸と心拍の計測信頼度を用いて、睡眠状態を従来手法よりも高精度に推定する手法を提案した。具体的には、計測信頼度が高い生体情報を低い生体情報よりも重視することで、一部の生体情報の計測に失敗してしまった場合でもその影響をできるだけ排除した睡眠状態の推定が可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体情報を用いて睡眠状態を推定する手法はこれまでも多数あるが、用いる情報の計測信頼度まで考慮している研究は見られなかった。従来手法では計測された生体情報は正しいものだという前提で睡眠を推定しているが、実用を考えるとこれは問題である。いくら推定手法がよくできていても、間違った情報を用いてしまえば正しい結果が得られないからだ。

そこで本研究では、各生体情報の計測信頼度を定義して利用することで、正しく計測できない生体情報がある場合でも、安定した睡眠状態の推定を可能とする手法を開発した。今後は、本研究成果を利用した人の見守りシステムを住友理工と協力して商品化する予定である。

研究成果の概要(英文)：I proposed a decision method a reliability of measurement of respiration and heartbeat. In addition, I described a heart rate measurement method by considering the harmonics of a respiratory signal.

Furthermore, I have developed an estimation method for sleep quality considering the reliability of measurement of respiration and heartbeat. We can estimate sleep quality with high precision by making much account of high reliability biological information.

研究分野：センサ情報処理

キーワード：生体情報計測 心拍計測 呼吸計測 睡眠状態推定 触覚センサ

1. 研究開始当初の背景

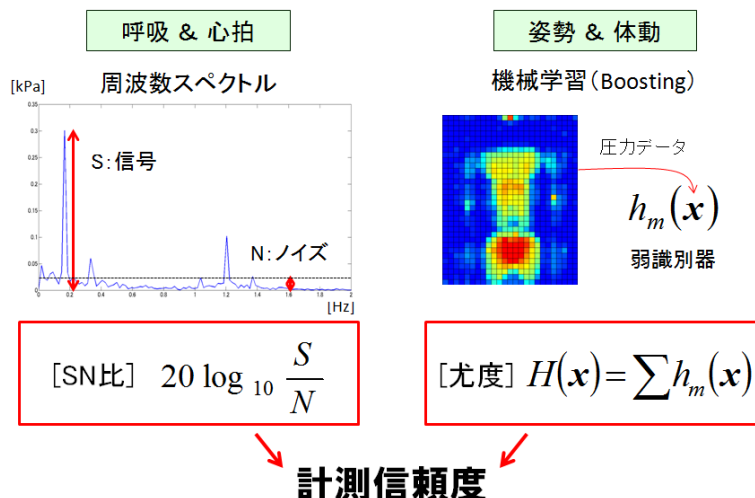
センサを用いてベッド上の人々の状態を自動的に識別できれば、介護施設や病院において職員の負担軽減に大きく貢献できる。ベッド上にいるかいないか、ベッドから転落する危険はないかなどに加え、眠りの深さといった睡眠状態も推定できると、健康状態や生活の質を良好に保つのに有用である。睡眠状態を推定する方法として、睡眠ポリソムノグラフィ検査が最も信頼できる基準とされている。この手法は高精度で睡眠状態を計測できるが、脳波などの様々な生体信号を測定するために多くのセンサを体に取り付けねばならず、拘束感が伴って自然な睡眠が妨げられるという問題がある。ゆえに、睡眠状態を簡便に推定できる手法の開発が求められている。

呼吸数、心拍数、体動数、姿勢と睡眠状態の間には強い相関があることが認められており、比較的簡易に計測できるこれらの生体情報を用いて無拘束に睡眠状態を推定する手法が報告されている。これらの手法を用いれば、自然な睡眠を妨げることなく推定が可能となる。これらの生体情報を単独で用いても推定は可能だが、複数の情報を統合的に用いることでより頑健な推定ができる。そこで、これらの生体情報をすべて計測したい。

申請者は、ベッドに敷いた柔軟面状触覚センサにより、人の呼吸と心拍を無拘束に計測する手法を提案した。この手法では、胸部の体圧の時系列データから周波数スペクトルを求め、周波数帯域の違いに基づいて呼吸と心拍を抽出する。さらに、申請者は呼吸や心拍と同時に、機械学習を用いて体動や姿勢も1枚のセンサのみで計測する手法を開発した。呼吸と心拍の計測には高い圧力分解能が必要であり、体動と姿勢の計測には高い空間分解能が不可欠である。この2つはトレードオフの関係にあり、1つのセンサですべてを計測するのは難しい。そこで申請者は、体圧画像に対する機械学習により呼吸と心拍の計測に適した位置を見つけ、そこにのみ圧力分解能を上げるソフト上の処理を行うことで、限られた処理能力しかない1枚のセンサのみですべての情報を同時に計測できる手法を開発した。簡単に言うと、センサ全体では空間分解能を高くして姿勢を識別し、その姿勢から判断した胸の位置のみ圧力分解能を高くすることで呼吸と心拍も計測している。ベッドに敷いたセンサ上で横になり、これらの生体情報を同時に得られることを実験で確認した。これにより、1枚のセンサで多くの情報を用いた睡眠状態の推定が可能となる。単一のセンサで推定できれば金銭や手間などのコストが少なくすむため、実用的に非常に有用である。

このように、トレードオフの関係にある呼吸と心拍および体動と姿勢を1枚のセンサで計測する手法を開発し、理想的な環境で実験を行ってその有効性を確認した。だが、実環境では必ずしも生体情報を正確に計測できるわけではない。例えば、寝返りが激しい場合は呼吸と心拍の圧力変動が埋もれてしまうし、仰向けでもうつぶせでも横向きでもない中途半端な姿勢で寝ている場合は胸の位置が分からず呼吸と心拍の計測が困難になる。実際に眠っている人に対して一晩ずっと生体情報を計測する実験を行ったところ、計測がうまくいかない時間が少なからずあることが確認できた。睡眠状態を推定する従来手法はどれも、計測された生体情報が正しいという前提で推定を行っている。だが実用を考えると、これは問題である。実環境では生体情報の計測精度が低く、睡眠の推定結果が信頼できない場合がある。

その問題を解決するために、各生体情報の計測信頼度を定義する。それに基づいて情報を利用することで、正確に計測できない情報がある場合でも安定して睡眠状態を推定する手法を開発する。1枚のセンサで多種類の生体情報を同時に計測できることを利用し、それらのうちで計測信頼度が高いものを重視するのである。計測信頼度としては、周波数スペクトルのSN比や機械学習の尤度を用いることを考えている。



## 2. 研究の目的

本研究の目的は、**実環境でも安定して人の睡眠状態を推定できる手法の開発**である。ベッドに敷いた柔軟面状触覚センサにより多種類の生体情報を同時に計測して、それらから睡眠状態を推定する。

呼吸や心拍や体動を触覚センサで計測して睡眠状態を推定する研究は多く行われているが、いずれも姿勢までは分からないという欠点があった。カメラを使用することで姿勢を計測している研究はあるが、それではプライバシーに配慮することが難しい。それに対して、本研究では**ベッドに敷いた空間分解能が高い触覚センサにより圧力分布を測定するため、呼吸や心拍に加えて姿勢や体動も同時に計測できる**。圧力分解能と空間分解能はトレードオフの関係にあるため1つのセンサで呼吸や心拍と姿勢を同時に計測するのは難しいが、申請者は体圧画像から決定した呼吸と心拍の計測に適した位置のみ圧力分解能を向上させることで高圧力分解能と高空間分解能を両立させ、両者の同時計測を実現している。

また、**実環境では必ずしもすべての生体情報を正確に計測できるわけではない**。そこで、各生体情報の計測信頼度を定義することで、**どんな場合でも安定して睡眠を推定する手法を開発する**。

## 3. 研究の方法

本研究の最終的な目的は、**1枚の触覚センサのみで呼吸と心拍と体動と姿勢を計測して、それらの情報の計測信頼度を用いて人の睡眠状態を実環境でも安定して推定できる手法を開発すること**である。そのために、**生体情報の計測信頼度を定義する手法と、計測信頼度に基づいて情報ごとに適切に重みを変えて実環境でも安定して睡眠状態を推定する手法を開発する**。研究の方法としては、以下の2ステップを経る。

### 生体情報の計測信頼度の定義手法を提案

触覚センサで計測した生体情報が、**どれくらい信頼できるかを評価する指標を提案する**。具体的には、周波数スペクトルのSN比と機械学習の尤度を用いる。それらの値と実測した計測誤差との関係を学習して、計測信頼度を定義する。なお、計測には、住友理工が開発した柔軟面状触覚センサであるSRセンサを用いる。申請者は前職において住友理工と共同で研究をしていたため、SRセンサを市販の価格よりも安く購入できる。また、用途に合わせて大きさや解像度をカスタマイズしたセンサも入手可能である。さらに、1年目には、生体信号収録装置であるポリメイトを購入する。これを用いて生体情報の真値を得る。さらに2年目以降は、ポリメイトで脳波を測定することで、人の睡眠状態の真値を求める。

### 呼吸と心拍と姿勢と体動の計測信頼度を考慮した睡眠状態の推定手法を開発

1年目に提案した生体情報の計測信頼度を用いて、**実環境でも常に安定して睡眠状態を推定できる手法を開発する**。呼吸数の変化や心拍数の変化から、眠りの深さを推定する手法は提案されている。また、体動と睡眠状態との間に相関があることも認められている。さらに、姿勢の情報は睡眠評価に有用であると報告されている。そこで、これらの既存手法を参考にして、4種類の生体情報を統合的に用いた眠りの深さを表す指標を考案する。具体的には、各生体情報と脳波から求めた睡眠状態の真値との相関を実験で調査する。その相関の強さと計測信頼度から、各生体情報の適切な重みの値を決定する。

なお、申請者はすでに病院と協力し、睡眠時無呼吸症候群の患者に対する体圧測定実験を行っている。そのため、本研究でも実際の患者に対する実験をスムーズに行える。

## 4. 研究成果

生体情報を用いて睡眠状態を推定する手法はこれまでも多数あるが、用いる情報の計測信頼度まで考慮している研究は見られなかった。従来手法では計測された生体情報は正しいものだという前提で睡眠を推定しているが、実用を考えるとこれは問題である。いくら推定手法がよくできていても、間違った情報を用いてしまえば正しい結果が得られないからだ。

そこで本研究では、各生体情報の計測信頼度を定義した。この信頼度を利用することで、正しく計測できない生体情報がある場合でも、安定した睡眠状態の推定を可能とする手法を開発した。また、この過程で、呼吸の高調波が心拍の計測に悪影響を及ぼす場合があることを発見した。そして、呼吸の高調波成分の影響を除外することで、心拍の計測精度を改善する手法を提案した。それぞれの生体情報は独立して計測されているわけではなく、それらの計測は互いに影響を及ぼし合っているという知見が得られた。このことも各生体情報の計測信頼度を決定するために有用である。

今後は、本研究成果を利用した人の見守りシステムを住友理工と協力して商品化する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsuo Kazuya, Mukai Toshiharu, Guo Shijie	4. 巻 33
2. 論文標題 Unconstrained Measurement of Heart Rate Considering Harmonics of Respiratory Signal Using Flexible Tactile Sensor Sheet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 826 ~ 832
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2021.p0826	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kazuya Matsuo
2. 発表標題 Unconstrained Measurement of Heart Rate Considering Harmonics of a Respiratory Signal by Flexible Tactile Sensor
3. 学会等名 Proc. the 26th Int. Conf. on Artificial Life and Robotics (ICAROB2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Matsuo
2. 発表標題 A Method for Improving Recognition of Lying Postures Using a Measured Signal Intensity of Respiration and Heartbeat by Flexible Tactile Sensor Sheet
3. 学会等名 Proc. the 26th Int. Conf. on Artificial Life and Robotics (ICAROB2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾一矢
2. 発表標題 柔軟面状触覚センサによる呼吸の高調波の影響を除外した心拍の計測手法
3. 学会等名 電気学会C部門 制御研究会 人間中心型システムのための情報・制御技術, および制御一般
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------