

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04414

研究課題名(和文) アンビエントセンサ情報とAIを活用した安全・快適療養環境デザイン

研究課題名(英文) Designing a safe and comfortable treatment environment using ambient sensor and AI

研究代表者

横山 清子 (Yokoyama, Kiyoko)

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授

研究者番号：50174868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：アンビエントセンサ(家具や室内など周辺環境に配置されたセンサ)ネットワークの情報から機械学習や深層学習などAI手法を適用して、療養環境における患者の安全や苦痛軽減に寄与するシステム開発を目的とする。
ベッド面に設置した面圧センサーと病衣に装着した加速度センサーの信号から、患者の異常動作検出時に医療スタッフの端末にメッセージを送信する、および患者の睡眠を検知したら自動で照明の照度を落とすシステムを試作した。赤外線深度カメラでベッド上の人動作を深層学習で判別する方法、スマートウォッチで測定する心拍データから自律神経活動を推定する方法も提案している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoTセンサーネットワークは様々活用されてきているが、療養環境を対象とした研究は殆ど行われておらず、新規性の高い成果が得られたと考えている。介護施設などでは、患者見守りに可視カメラを用いる場合も多いが、患者のプライバシー保護の観点からIoTセンサーや赤外カメラを用いたシステムは、実装を鑑みて有用性が高いと考えている。スマートウォッチで測定する心拍データは、自律神経活動を推定するには不十分であったが、研究成果として得られた機械学習を適用する方法は今後療養環境以外にも広範な活用が可能と考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a system that contributes to the safety and pain relief of patients in a medical environment. The system applies AI methods such as machine learning and deep learning to information from ambient sensor networks (sensors placed in the surrounding environment such as furniture and rooms).

A message is sent to the terminal of the medical staff when abnormal movement of the patient is detected from the signals of the pressure sensor on the bed surface and the accelerometer attached to the pajamas. When the patient's sleep is detected, the illuminance of the lighting is automatically reduced.

We have also proposed a method for determining the behavior of a person on the bed using deep learning using an infrared depth camera, and a method for estimating autonomic nerve activity from heartbeat data measured by a smartwatch.

研究分野：情報工学

キーワード：アンビエントセンサ 療養環境 安全 快適 ベッド上での動作認識 スマートウォッチ 自律神経活動 バランス

1. 研究開始当初の背景

転倒・転落、点滴の自己抜去等の患者が原因となる医療事故が、事故全体の約 40%を占めるにも関わらず、医療事故防止を目的とした研究の多くは、医療スタッフのヒューマンエラー防止対策である。患者の病状急変、離床直前の覚醒や行動の予知の観点で、患者が原因となる医療事故の防止を提案・検証している研究は少ない。一方、医療現場において、診断精度の向上、患者の見守りに、IoT、電子カルテや研究知見のビッグデータ、人工知能などの活用事例の提案や実装が始まっている。患者の病状変化の予測・モニタリングや患者の行動予測に、これらの技術を応用することで、患者が原因となる医療事故防止に寄与できると考えられる。

厚生労働省の統計によれば、病院の在院日数は平均 33.2 日、一般診療所が 17.4 日であり、傷病に起因する苦痛に加え、治療や検査の苦痛も加わる療養環境において、少しでもその苦痛を和らげることができる快適な療養環境の構築は、解決が必須の課題である。病院や福祉施設での快適な療養環境デザインに関する研究は少数であり、対象はホスピタルアート(吉岡他 2012)、病室内のインテリアデザイン(鈴木他 2008)、温熱環境計画(羽地他 2013)等である。これらは、病状、年齢、嗜好が異なる患者個別に対応することはできない。IoT や人工知能を活用して環境を智能化する考え方は、住宅(西山 2016)、自動車(我妻 2015)などで研究されているが、療養環境を対象とした例は見られない。療養環境をアンビエントセンサネットワーク、機械学習による心身状態推定、振動や映像による対話的働きかけにより智能化することで、患者個人の病状、嗜好などに適応した快適な療養環境が提供できると考えられる。

2. 研究の目的

患者が原因となる医療事故防止を目指す「安全」と、患者個人にリアルタイムに適応した「快適性」を提供する療養環境のデザインを、以下の内容で実現することを目的とする。

- 1)患者周辺のベッド、医療機器、病衣などに組み込んだアンビエントセンサ情報の収集
- 2)上記 1)の情報、医療従事者の専門知識と経験を基に、人工知能により、患者の病態急変の予兆、異常行動の検出、身体状態、心理状態を推定
- 3)医療事故につながる危険のある予兆情報の医療従事者への伝達
- 4)患者の快適性向上のために、心身状態と実時間対話的に動作する振動、映像の提示

3. 研究の方法

1)療養空間内の寝具、家具、治療機器等に設置したアンビエントセンサからの連続的なデータ収集とクラウドサーバへのデータ転送を行うアンビエントセンサネットワークを構築する。ベッド面圧測定シート、病衣のポケットに装着した加速度センサーからの信号を入力として、面圧や加速度の変動から、患者の起き上がりや異常行動を検出し、クラウドの SNS を介して携帯端末にメッセージを送信するシステムを試作する。

2)ベッドの面圧変動からベッド上の人の寝返り、起き上がりなどの姿勢変化を検出する機械学習モデルを作成する。

3)ベッド上の人を赤外線深度カメラで撮影した映像に深層学習を適用し、姿勢変化を検出するモデルを作成する。

4)病衣のポケットに装着した加速度センサー信号をゲートウェイに送信し、加速度の変化から睡眠、覚醒時の活動状態を推定し、睡眠時は照明の照度を暗くし、覚醒時は照度を明るくすると同時に活動状態に応じて色温度を変化させるシステムを試作する。

5)心電図拍動間隔時系列で測定する自律神経活動バランスと同等精度の評価指標をスマートウォッチで測定可能な心拍時系列に機械学習を適用した回帰モデルを作成する。

4. 研究成果

1)ベッド面に設置した面圧センサーと病衣のポケットに入れた加速度センサーそれぞれから Bluetooth でゲートウェイとなる RaspberryPI に信号を送信し、加速度センサーからの信号の変動が閾値を超えた時に、クラウドの SNS(Slack を使用)を通じて、携帯端末に異常検知のメッセージを送信するシステムを試作した。図 1 にシステムの概要図を示す。

2)実験では、体圧分布センサー(SR ビジョン全身版:住友理工)をベッド面に設置し、12 名の実験参加者を得て、仰臥位、伏臥位、左右側臥位、座位を表 1 の 4 パターン組み合わせた場合と、自由な姿勢での仮眠状態で面圧変動を測定した。

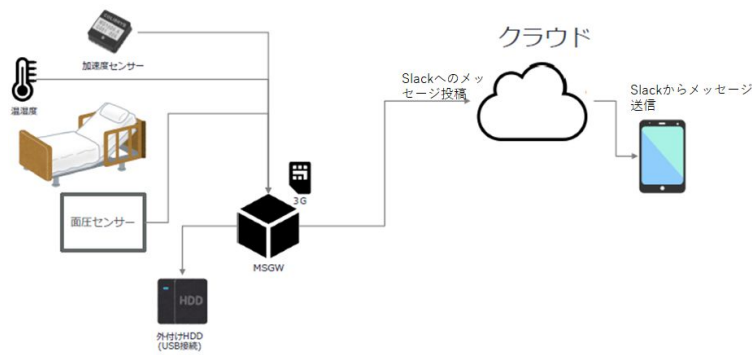


図1 試作システムの概要

分析では、重心位置のx座標とy座標、重心の圧力値、面全体の圧力の総和、圧力がゼロで無い部分の面積の時系列を姿勢変化前後で抽出した。表2は他人11名のデータでモデルを作成し、自身の姿勢変化を識別可能かの評価を行った結果である。表の分類器においてRFはランダムフォレスト、KNNはk-近傍法、SVNはサポートベクターマシンである。時系列の時間長を姿勢変換時点前後5~30秒まで6パターン変化させて、最も精度が高い結果が得られたのは姿勢変換前後15秒で分類器としてランダムフォレストを用いた場合であった。しかし、再現率も適合率も値が低い結果となった。

指示どおりに姿勢変換を行ったデータ12名分をモデル作成に使用し、それぞれの自由姿勢をそのモデルを用いて分類した結果を表3に示す。分類器にはランダムフォレストを使用した。時系列のデータ長を比較すると姿勢変換前後15秒を用いた場合の分類精度が最も高い結果となった。姿勢変換の識別を実装するためには、個人差を考慮し自身のデータで予めモデルを作成することが適切と考えられる。

表1 ベッド上での姿勢変化の順番

パターン	仰臥位	伏臥位	右側臥位	左側臥位	座位
パターン	伏臥位	左側臥位	仰臥位	右側臥位	座位
パターン	右側臥位	仰臥位	左側臥位	伏臥位	座位
パターン	左側臥位	右側臥位	伏臥位	仰臥位	座位

表2 3種類の分類器のk分割交差検証法による評価結果

Classifier	Recall	Precision	F-score	Window(sec)
RF	0.221	0.268	0.242	15
KNN	0.154	0.165	0.160	25
SVM	0.121	0.145	0.132	10

表3 RandomForestによる仮眠の姿勢変換の識別精度

Window(sec)	5	10	15	20	25	30
Recall	0.119	0.490	0.665	0.398	0.456	0.572
Precision	0.192	0.597	0.764	0.499	0.611	0.616
F-score	0.147	0.538	0.711	0.443	0.522	0.593

3) ベッド上の臥位姿勢寝返り、起き上がり、座位から臥位など姿勢変換動作を行う人の動作を赤外線深度カメラ画像により推定する。動作推定には畳み込みニューラルネットワークによる深層学習を用いた。深度カメラには RealSense D435i を用いた。フレームレートは 30fps とし、解像度は 360 × 620 画素で撮影した。ベッド上で動作については、座位から臥位、臥位から座位、仰臥位から左右側臥位、左右側臥位から仰臥位、仰臥位から伏臥位、伏臥位から左右側臥位、左右側臥位から伏臥位、静止状態、姿勢変換以外身体位置の移動の 13 種類に分類してラベル付け(ラベル番号 0 ~ 12)を行った。データセットは、ラベル付けを行った時点の深度画像とその 5 フレーム前(0.167 秒前)との差分画像とした。モデル作成と評価に使用したデータは 12 名の実験参加者から収集した。学習には 10 名から得られた 96896 データを用いた。

表 4 に深層学習において基本としたレイヤー構成を示す。学習に用いるデータの種類、レイヤー構成の調整を行って、それぞれ学習に使用しなかった 2 名のデータを検証データとしてベッド上の動作の識別精度を評価した。図 2 は 2 つのモデルの混同行列を示す。横軸方向が推定ラベル、縦軸方向が予め設定したラベルである。対角線上の数値が大きいほど、推定値と実測値の一致したデータ数が多いことを示す。上のモデルは対角線上に大きい値が並んでおり、精度よく推定できていることが分かる。それと比較して、下の例は推定ラベル 1、3 と 4 に値が集中しており、どのような姿勢であってもこの 3 種類の動作として識別されてしまう結果となった。

今回の結果では、畳み込み積分の出力形状は(7, 14)とし、ラベル付けにおいてはラベル数の標準化を図ることと、差分値は絶対値より正負両方の値を持つ方が姿勢変換の識別精度が高い結果であった。

表 4 深層学習における基本レイヤー構成

Layer (type)	Output Shape
Conv2D	(70, 126)
MaxPooling2D	(35, 63)
Conv2D	(33, 61)
MaxPooling2D	(16, 30)
Conv2D	(14, 28)
MaxPooling2D	(7, 14)
Conv2D	(5, 12)
MaxPooling2D	(2, 6)
Flatten	
Dense	
Dense	(None, 13)

4) 病衣のポケットなどに装着した加速度センサーから人の動きをセンシングし、動作の変化から睡眠・覚醒を判別し、睡眠を検出した場合は照明を暗くし、覚醒時は照明を明るくする試作システムを作成した。図 3 は試作で用いた IoT 加速度センサー、センサーからのデータを受信し Bluetooth で照度と色温度を制御可能な照明器具を示している。療養環境での実装に向けて、加速度センサーと面圧センサーの情報を組み合わせ、覚醒時の身体動作か睡眠時の寝返りなどの身体動作かの判定を行い、睡眠状態に身体の動作が検出されても照明が点灯することがないようにする。また、次の 5) で述べるスマートウォッチから自律神経活動バランスを予測する方法を援用して、治療中の痛みなどによる苦痛を検知した場合に照明の色温度を低下させるなどの改良が必要と考える。

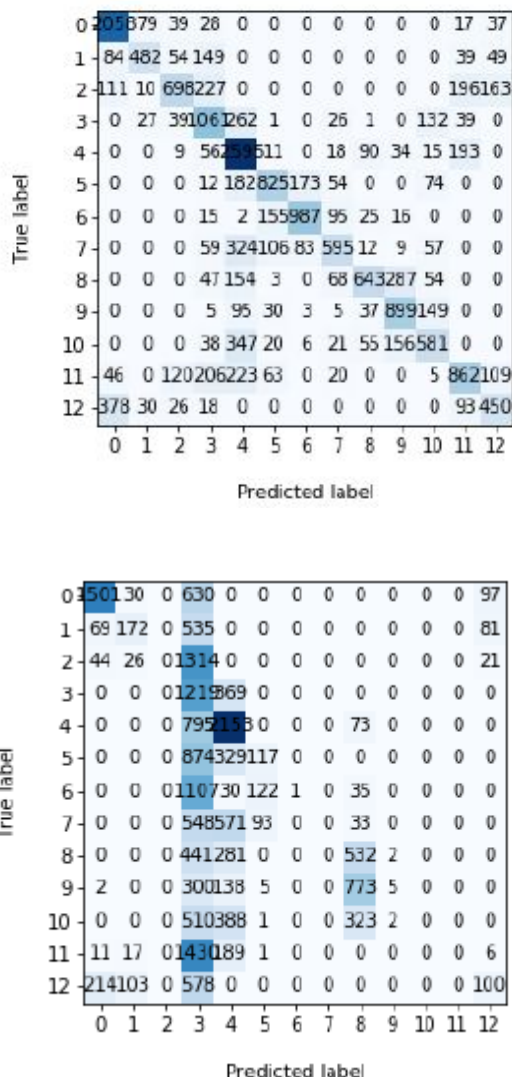


図 2 テストデータの混同行列の例

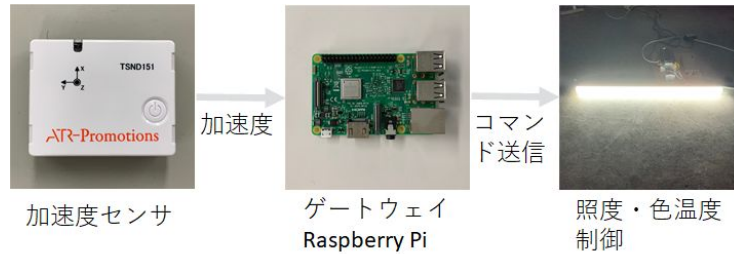


図3 加速度センサーから送信される信号により照明の照度を制御する試作システム

5)療養環境において患者が苦痛やストレスを感じている状態のセンシングについては、これまで述べてきた面圧センサーと加速度センサーのみでは不十分と考える。苦痛やストレス状態においては、交感神経活動が亢進することから、スマートウォッチの心拍測定機能を活用して自律神経活動バランスを評価する方法を検討した。

自律神経活動バランスは、一般的に心電図拍動間隔時系列を用いて推定する。拍動間隔時系列のパワースペクトルの HF(0.15~0.4Hz)が副交感神経活動の指標、LF(0.04~0.15Hz) / HF が交感神経活動の指標として用いられている。ここでは、心電図拍動間隔時系列から算出した LF と HF をスマートウォッチから算出した複数時間領域指標から回帰する機械学習モデルを作成する。回帰モデルとして、ガウシアン回帰、重回帰、ランダムフォレスト回帰、SVM 回帰を比較した。時系列長は2minとし、スマートウォッチの心拍時系列から得られる指標として、拍動間隔の平均値、標準偏差、変動係数、最大値と最小値の差、差分の自乗平均値の平方根(rMSSD)、隣り合う差分の平均値、最大値、最小値、31~60秒の平均値、61~90秒の平均値、91~120秒の平均値それぞれを1~30秒の平均値で除した値を用いた。

解析対象データ数は、立位調理動作456、仰臥位27、立位25、立位スライド視聴162の計670データとし、回帰モデル作成に70%のデータを、モデルのテストに30%のデータを使用した。図4は、横軸に示す回帰方法(G:ガウシアン、M:重回帰、R:ランダムフォレスト、S:SVM)を教師データとテストデータをランダムに70%と30%に分けて30回適用した時の決定係数を縦軸に示している。が30試行の平均値、バーが標準誤差を示している。(a)がLF、(b)がHFである。LF、HF共にランダムフォレストによる回帰の決定係数が最も高い値となっている。決定係数については、線形回帰(散布図で示しているもの)で0.357、0.371が、ランダムフォレストを用いることで、0.577と0.644に上昇した。この値は相関係数で0.746と0.802でありスマートウォッチで測定する拍動間隔時系列を自律神経活動バランス評価に活用できる可能性が得られたと考えている。

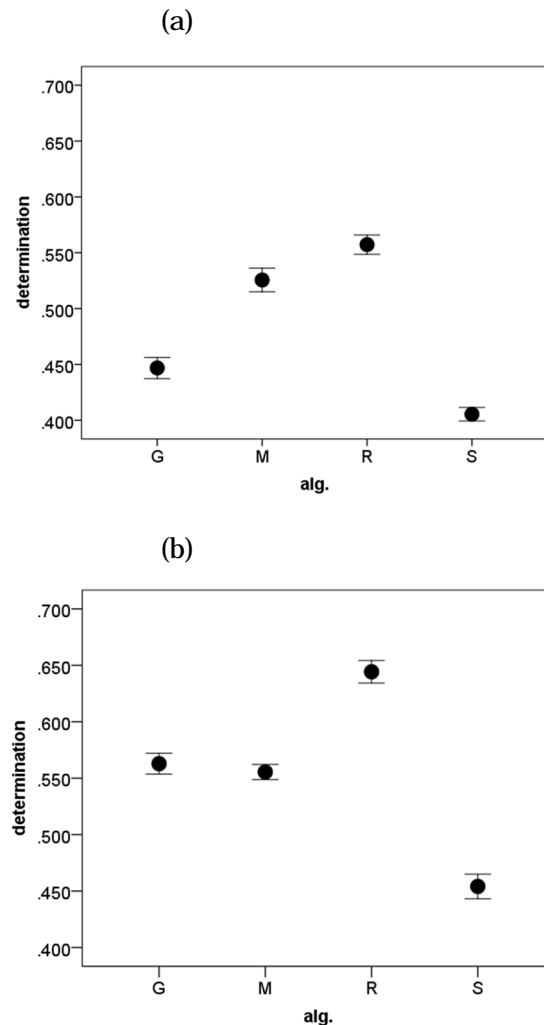


図4 回帰アルゴリズムに対する決定係数の変化 (a)LF (b)HF

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 横山清子、林映見、伊藤久敏、河原ゆう子	4. 巻 142
2. 論文標題 腕時計型心拍計の測定データを用いた心拍変動指標の推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 46 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.46	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yokoyama Kiyoko, Hayashi Emi, Ito Hisatoshi, Kawahara Yuko	4. 巻 105
2. 論文標題 Estimation of heart rate variability from heart rate measured with wristwatch type heart rate monitor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12351	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔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 Yuki Ito, Kiyoko Yokoyama
2. 発表標題 Sleep posture and motion detection using depth camera
3. 学会等名 IEEE EMBC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Ito, Kiyoko Yokoyama, Tomohiro Umetani
2. 発表標題 Health monitoring during sleep based on ubiquitous sensing
3. 学会等名 Sice 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田豊、横山清子
2. 発表標題 機械学習を用いたベッド上の姿勢変換の識別
3. 学会等名 日本人間工学会東海支部研究大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山田一郎他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 367
3. 書名 スマートヘルスケア	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 心拍変動指標推定装置、心拍変動指標推定方法、及び、心拍変動指標推定プログラム	発明者 河原ゆう子、伊藤久敏、横山清子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、202012TG00	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	鈴木 賢一 (Suzuki Ken-ichi) (00242842)	名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授 (23903)	
研究分担者	内田 恵 (Uchida Megumi) (00569254)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院(医学)・助教 (23903)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	梅谷 智弘 (Umetani Tomohiro) (10397630)	甲南大学・知能情報学部・准教授 (34506)	
研究分担者	塙 大 (Hanawa Dai) (50422506)	名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・准教授 (23903)	
研究分担者	渡邊 裕司 (Watanabe Yuji) (60314100)	名古屋市立大学・大学院理学研究科・准教授 (23903)	
研究分担者	明智 龍男 (Akechi Tatsuo) (80281682)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院（医学）・教授 (23903)	
研究分担者	奥山 徹 (Okuyama Toru) (80349349)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院（医学）・講師 (23903)	

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