

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2017

課題番号：26330189

研究課題名（和文）ヒューマンセンシングに基づく感性評価と個別環境スマート制御

研究課題名（英文）Kansei evaluation and smart control of individual environment based on human sensing

研究代表者

杉本 千佳（Sugimoto, Chika）

横浜国立大学・未来情報通信医療社会基盤センター・特任教員（准教授）

研究者番号：40447347

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：人の感情や快適感などの内的状態を客観的に定量評価する手法として、生体データおよび行動データからの適切な特徴量抽出法と学習のための識別器を評価し、評価対象の感性や計測条件に応じた、サポートベクターマシン、ランダムフォレスト、畳み込みニューラルネットワーク、VAE等を用いた新たな認識モデルを導出し、個々人の状態に基づき最適フィードバックするためのヒューマンスマートセンシングシステムを構築した。休憩時や映像視聴時、学習時やオフィスワーク時等の外界からの視聴覚情報や温熱・照明・音環境が変化する日常環境下での計測実験において感性推定精度を評価し、認識モデルの有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：We proposed the method to estimate internal states such as human emotion and comfort using vital data and motion data in an objective way. The novel state recognition models, which depend on the state target and condition for sensing, were developed based on SVM, RF, NN, CNN, or VAE examining appropriate feature selection methods and discriminators. Moreover, human smart sensing system was developed to appropriately provide the feedback based on the individual state. The state estimation accuracy was evaluated while taking a rest, watching videos, studying or working at an office. As a result, the availability was shown under daily environments which have changes in the thermal, light, and sound conditions.

研究分野：生体計測工学

キーワード：ヒューマンセンシング 識別モデル 機械学習 特徴量 状態認識

1. 研究開始当初の背景

日々の日常生活での人間情報の取得・蓄積が、計測技術、通信・ネットワーク技術、解析技術の進歩により可能になってきた。こうした技術的背景のもと、自己認識や管理、サービスの個別対応化、持続可能な社会実現のための効率化や省エネ対策として、個々人の情報、中でも時々刻々と変化する心地よさや感情等の人の内的状態の情報を取得したいというニーズが高まっている。このため、感情や状態等の認識対象とする項目、人が置かれた環境、情報を活用する目的に応じた適切なセンシングシステムの構築とデータ解析および評価手法の確立が求められている。

対象を人間とそれを取り囲む環境を含めた人間系とした場合、人に受容されるスマートなシステムとするために、センサの小型軽量化や低消費電力化、非侵襲・非拘束化、高信頼なデータ無線送受信機能、大量のデータ蓄積と情報抽出機能、情報のフィードバック機能等が必要となる。スマートフォンの普及は、人の情報を計測し活用するシステムの構築を進展させてきた。近年は、日常での生体情報及び行動情報をセンシングして医療、健康・生活管理、アミューズメント、マーケティング等に活用しようとする取り組みが活発になっている。研究代表者は、ヘルスケアや医療を目的として、ウェアラブルセンサを用いて生体情報を取得し、リアルタイムでの状態診断や異常検出によりフィードバックを行うバイタルセンサネットワークシステム(図1)を提案してきた。また、生活支援を目的としたウェアラブル行動認識システムを構築している。これらのシステムは、ウェアラブルセンサで時々刻々のデータを取得しモニタリングするとともに、行動や健康の状態を識別アルゴリズムで推定・認識し、目的に応じて最適なフィードバックを行うものである。これらのヒューマンセンシングシステムのセンサや識別アルゴリズムは、感性評価に応用することが可能である。

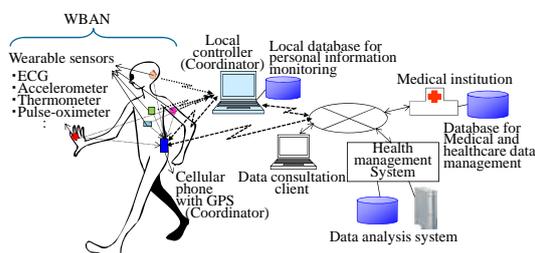


図1 バイタルセンサネットワークシステム

感性情報の評価・分析のための代表的計測手法として、SD(Semantic Differential)法による心理計測と脳波や心電図等の生体データにより評価する生理学的計測があり、SD法がしばしば用いられてきたが、外界からの刺激や内的要因により生じる感性情報を客観的かつ自動的にリアルタイムに計測するためには、生体情報に基づく評価が有用である。脳波計測や近赤外分光法(NIRS)による脳

機能計測、自律神経系評価のための心電図計測等により、感性を定量的に評価しようとする試みがこれまでも行われてきた。しかし、感性は複合的な要因による影響が大きく、外部条件と個人の状態によって生体に生じる反応が異なるため、人間環境の条件により評価精度も変化する。このため、多様な目的に適用できる定量的評価モデルはいまだ確立されていない。

2. 研究の目的

外界の環境(温湿度、音、照明等)や刺激(物や人からの作用や映像等、行動に応じた入力情報)に対して人間が感じる快不快や感情等の感性・内的状態を生体データや行動データから定量的に評価する手法を構築し、個々人の状態にもとづき環境を最適に制御するためのヒューマンスマートセンシングシステムを開発することである。そのため、感性を形成する様々な要素を分類し条件を整理して、条件毎に定量的に評価できるように適切な計測項目を選別し、認識に有用な特徴量と識別器を検証して最適な識別モデルを導出する。ダイナミックで複雑系の人間を対象とするため、個人毎の反応に含まれる時間的変動、個体差、応答の時間遅れ等を加味してモデルを検証する。

想定するシステムは、図2に示すようにバイタルデータやモーションデータから識別モデルにより個人の状態を推定し、個々人が快適な状態になるように省消費電力条件下で環境を制御したり、ヘルスケアや作業の効率化のために情報フィードバックしたりするものである。

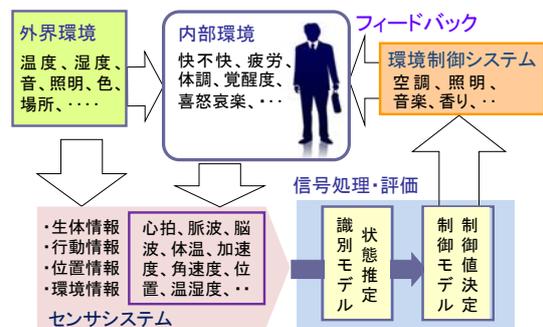


図2 全体システムイメージ

3. 研究の方法

感性評価モデルを作成するため、日常環境での計測を想定した上で取得データ項目を検討し、各評価対象感性状態における生体データ、行動データの取得を行う。将来的にウェアラブルセンサによる計測が可能な生体データに基づく評価モデルの構築を目指す。精度向上および比較検証のため、有用と考えられる生体データの取得を実験室環境において一定条件下で行うと共に、研究用オープンデータも活用して、モデルの構築と評価にいかす。

各状態で取得したデータを基にそれぞれ

学習を行い、評価対象の識別モデルを作成する。識別に有効な特徴量の抽出が重要であることから、既存研究の知見をいかして選別すると共に、特徴量抽出自体に最適化手法を導入し、適切な特徴量抽出法を評価して採用する。具体的には、有効と推測される統計量を事前に選定し特徴量として用いる場合、SFFS (sequential forward floating search) などによって逐次選択された特徴量の組み合わせを用いる場合、遺伝的アルゴリズムによって生成・選択された特徴量を用いる場合などを比較してその有用性を評価する。また、特徴量そのものの獲得が可能である深層学習を用いた評価も行う。識別モデルは、サポートベクターマシン (SVM)、ランダムフォレスト (RF)、ニューラルネットワーク (NN)、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 等の教師あり学習を用いて構築し評価する。

感性・内的状態として、快不快、Valence、かわいい (Kawaii)、集中を主な評価対象とした。これらの感性状態は、コンテキストによって人に表れる反応が異なる。例えば、温熱環境に対する快不快は、生理的応答により皮膚温度や衣服内気候に表れる。一方、音環境や照明環境に対する快適感、脳波や心拍等に表れる。温熱環境や音環境、照明環境は、その条件に応じて快不快を感じさせる度合いが高い、環境の快適性制御において重要な要素である。そこで、温熱環境、音環境、照明環境における快適性やその環境下での作業・行動において誘起される感情等について、知覚モデルや生理学的知見をもとに外部環境の生体への影響を分析して要素分類し、環境要素により影響を受ける内的状態を抽出して、それらを実測するための適切な生体信号計測手法と識別モデルを検証する。

まず温熱環境については、計測実験から得られた知見をもとに深部体温、皮膚温、衣服内気候、心電図、動作、活動度のデータから計測条件に応じて有効な生体情報を選別し、個体差、個体内変動、応答時間遅れ、揺らぎ等を考慮して適切な特徴量を抽出し、感性評価する。快適度評価手法として、生体情報からニューラルネットにより状態を推定し、階層型隠れマルコフモデルを用いて確率的状態遷移から感性状態を導出する。照明環境については、人の行動状態 (作業中、休憩中等) によって適切な条件が異なるため、適切さが快適感と覚醒感に依存すると仮定し、心拍、脳波を用いて快適感と覚醒感の二次元モデルにより適切感評価モデルを導出する。音環境については、脳波、皮膚温度、心拍、脈波、皮膚電気抵抗からリラックス度や覚醒感、快適感についての評価モデルを検証する。また快適感については、それぞれの環境要素の相互作用の影響を、パフォーマンス指標を考慮して評価する。従来のアンケート形式での主観評価もリファレンスとして用いる。

次に、Valence や Kawaii といった感性状態については、主に脳波を用いた認識モデル

を評価する。脳波信号は微小で変動性も高いため、周波数成分やフラクタル次元などの特徴量有効性分析を行うと共に、様々な識別器での学習により認識精度比較を行い、特徴表現の学習に優れたディープニューラルネットを用いたモデルも採用して評価する。

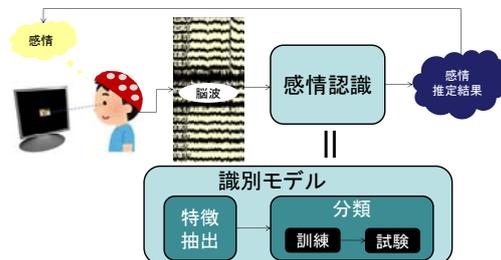


図3 脳波を用いた感情認識手法

それぞれの評価指標と感性評価モデルをもとに互いの影響を考慮しながら、センシングデバイスと認識評価フィードバックシステムを統合したヒューマンスマートセンシングシステムを構築し、実証実験により評価モデルとそれに基づく制御アルゴリズムを評価する。

4. 研究成果

(1) 感性評価モデル

各感性について有効な特徴量と分類器から成る識別モデルを構築した。また、生体データの変動性、個人差、個人内変動が感性評価の特徴量選択及び認識精度に与える影響について評価した。

脳波から抽出したパラメータを用いた場合、人によって選択される特徴量も識別精度も大きく異なる結果となった。脳波に影響を与える因子は多様でその個人差は大きく、個人内でも変動の幅があり時間的変化も見られた。そこで、感性認識の精度向上を図るため、特徴量としてエネルギースペクトル密度 (ES)、微分エントロピー (DE)、フラクタル次元 (FD)、およびそれらを修正した数値を細かく設定して用い、分類器としては SVM、RF、および深層学習の CNN 等を用いて評価し、識別精度の高い認識モデルを導出した。

図4は特徴量をFD、分類器をSVM、RFとしたときの感情 Valence についての識別精度結果である。FD(120)は16計測部位から得られる各信号の120の差分をチャンネルとして、FD(16)は各計測部位の16信号をチャンネルとして求めたものである。差分信号を取って求めたFD(120)の方が精度は高くなった。また、シャローモデルではRFが分類器として高精度を示したが、一般的にSVM、RFともに分類器として十分な性能を持っており、解析条件によって適切な分類器が変わると考えられる。図5は、感情 Valence を認識するための最適化した識別モデル ES+RF、ES-SUM+RF、FD+RF、DCNNの精度比較結果である。DeepCNNが最も高い精度結果を示し、ディープニューラルネットモデルは画像認識のみならず、脳

波に基づく感情認識においても特徴抽出能力に優れ有効性が高いことが示された。

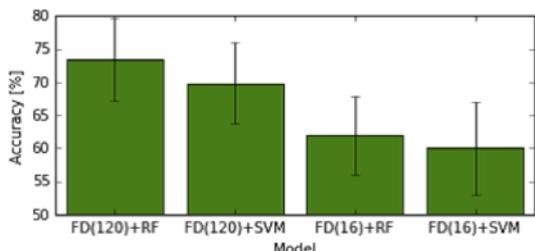


図4 識別モデルの精度比較

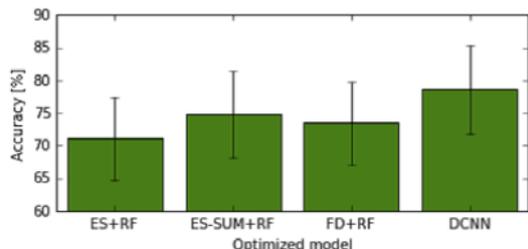


図5 最適化モデルの精度比較

ディープニューラルネットにより高い認識精度を得られたが、このモデルでの学習には大量のデータが必要であり、多様な内的状態に関してラベル付きデータを収集することは容易ではない。そこで、教師なし学習のVAE (Variational Autoencoder) を用いてさらに状態の抽出・評価を試みた。ここでは、日常的にしばしば起こりえる視覚情報入力、聴覚情報入力、内的精神活動に意識を向ける集中状態の評価を行った。生体データとしては、集中状態と関連があるとされる脳血流、眼球運動、瞳孔径、心拍変動、皮膚コンダクタンスを計測し特徴量として用いた。その結果、VAEによる次元圧縮効果が見られ、VAEにより集中状態の特徴を抽出できる可能性が示唆された。

以上により、生体データを用いた識別モデルにより、様々な感性・内的状態を比較的高い精度で推定できることを示した。

(2) 温熱環境における感性評価

簡易に計測可能なバイタルデータとして複数指標の中から皮膚温度と活動度を抽出し、温熱快適性の推定モデルを構築した。温湿度の環境要因において、個別の状態に対する皮膚表面温度の変化を学習することによって、個人の温熱快適性を推定するためのモデル作成を行なった。階層型隠れマルコフモデル (HMM) により温熱環境におけるバイタルデータと個人の快適性と因果関係を温度の層と湿度の層を含めた階層化した状態で確率パラメータを用いて表している (図6)。状態遷移の確率パラメータは学習データをもとにニューラルネットワークによって算出した。バイタルデータの値とその変化量に対する心地よさの変化に着目し、階層型 HMM での推定において、バイタルデータの値だけでなく、時間変化に対応する推定アルゴリズムを導入している。バイタルデータの変化に

対する心地よさの変化の時間遅れの要素をニューラルネットワークで算出し、その遅れ要素を考慮することで、従来手法に対し高い推定精度が得られることを示した。

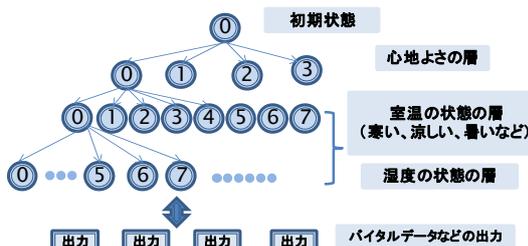


図6 温熱快適状態推定モデル

(3) 照明環境及び音環境における感性評価

照明環境及び音環境での快適性を評価した。日常環境下での計測評価を想定し最少センサ数の生体データから評価を行うため、心拍変動データを周波数解析、カオス解析して得た複数の特徴量をパラメータとして快適感、覚醒感を導出し、快適感と覚醒感の二次元モデルにより適切感の評価した。快適感と覚醒感を心拍の特徴量から重回帰分析によりモデル化した結果、覚醒感の精度は快適感の精度と比較して低く、安定しなかった。そこで、ニューラルネットを用いて心拍特徴量を学習させ快適感、覚醒感を導出する適切感モデルを作成した (図7)。その結果、快適感の決定係数となり、高い推定精度を得ることができた。一方で、心拍に基づく快適感評価モデルには個人差が見られ覚醒感評価モデルより精度が低く、脳波データから抽出した周波数成分の特徴量を付加することにより、更なる精度の向上が見られた。音環境においては、脳波データを主として同様に評価モデルを構築した。

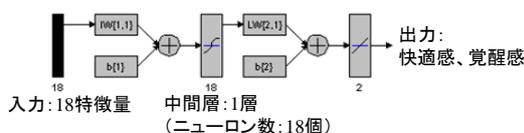


図7 ニューラルネット構造

(4) フィードバックと環境制御

各個人の状態に応じて適切なフィードバックを行うためには、感性状態と共に行動状態を認識することが必要である。人のコンテキストを自動的に認識するため、また、行動に感性・内的状態変化による影響が表れると考えられるため、ウェアラブルセンサを用いて日常生活環境下で簡易に行動状態および心身状態を認識するためのセンシングシステムを開発した (図8)。本システムでは、ウェアラブルセンサで人の情報を計測し、スマートフォンを介してサーバーにデータを蓄積できる。心拍、眼球運動、頭部及び腕の動きから人の状態を評価し、スマートフォンに

フィードバック情報を表示する。また、ウェアラブルセンサや環境センサ等の複数のセンシングデバイスを組み合わせて統合し、生体情報、行動情報、および環境情報からリアルタイムの評価に基づきフィードバックを行うためのヒューマンスマートセンシング環境制御フィードバックシステムを構築した。環境制御モデルの例を図9に示す。

感性評価の利用環境として、環境整備による集中度や効率性の向上が重要と考えられる教育・学習やオフィスワークを想定し、感性評価および行動状態評価とフィードバック実験を行った。その結果、十分な精度の認識結果を得られることが確認できた。

また、日常生活環境下では、様々な環境要因が快適感に影響を与える。オフィスワークでの一定条件下の温熱環境においては、照明環境を個人に適切に制御することで、作業効率を上昇させる効果が見られた²⁾。一方、音環境の制御では個人差が大きく、必ずしも作業効率を上げるような適切な制御結果は得られなかった。様々な環境条件下で検証した結果、各環境要因の中で快適度を高めるための制御においては、不快レベルの高い要因を低減することが重要である一方、別の感覚器への作用を利用して他の環境要因を変化させてトータルの不快感を低減させることが可能であり、複数の環境要素を考慮して適切に快適度を制御することが有効であることが示された。よって、省エネルギーに配慮し、作業の効率化や生体負荷の低減などを考慮した目的に応じた適切な環境制御が有効と考えられる。

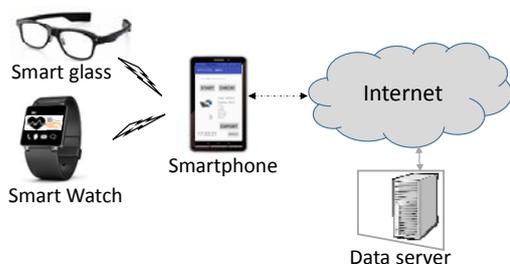


図8 ウェアラブルセンシングシステム



図9 環境制御モデル

<引用文献>

1) 韓剛熙, 横浜国立大学大学院修士論文, オフィス知的照明制御のための生体情報に基づく適切感評価法の研究, 2015
 2) 新出拓人, 横浜国立大学大学院ポータル, 温熱環境における照明・音楽制御による作業効率への影響評価, 2015

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計11件)

① Chika Sugimoto, Body Sensor System for Health Support Based on Machine Learning, IEEE 15th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN-2018), TuPO.19, 2018

② 渡辺圭祐, 杉本千佳, 着座時の腕の動きに基づく動作認識における特徴選択手法, 2018年 IEICE 総合大会, D-9-4, 2018

③ 角文真, 杉本千佳, 教師なし学習に基づく日常生体データからの内的状態推定の一検討, 2018年 IEICE 総合大会, D-9-3, 2018

④ Miku Yanagimoto, Chika Sugimoto, Tomoharu Nagao, Frequency Filter Networks for EEG-based recognition, Proc. of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, ThB3.9, pp.270-275, 2017

⑤ 柳元美玖, 杉本千佳, 長尾智晴, 感情解析用脳波データ上の周波数フィルタネット, IEICE_H29 年度第1回 NC 研究会, 信学技報, vol. 117, no. 64, NC2017-4, pp. 19-24, 2017

⑥ 渡辺圭祐, 杉本千佳, スマートウォッチによる授業中の学習行動状態認識手法の一検討 2017年 IEICE 総合大会, D-15-29, 2017

⑦ Miku Yanagimoto, Chika Sugimoto, Convolutional neural networks using supervised pre-training for EEG-based emotion recognition, the eighth International Workshop on Biosignal Interpretation, 2016

⑧ Miku Yanagimoto, Chika Sugimoto, Recognition of Persisting Emotional Valence from EEG Using Convolutional Neural Networks, IEEE 9th International Workshop on Computational Intelligence and Applications, 2016

⑨ 杉本 千佳, 脳波を用いた感情認識における識別モデル, IEICE_ICB 研究会ワークショップ, 2016

⑩ 柳元美玖, 杉本千佳, 脳波を用いた感情認識における入力条件が与える影響評価, IEICE_HCG シンポジウム 2015, 2015

⑪ 柳元美玖, 杉本千佳, Deep Learning を用いたミュージックビデオ鑑賞時の脳波による感情認識手法の一検討, IEICE_HCG シンポジウム 2015, 2015

[図書] (計1件)

① 杉本千佳 他, 情報機構, 製品開発のための生体情報の計測手法と活用ノウハウー脳計測・生理計測に基づく客観的な感性評価を商品へ活かすー, 2017, 99-106

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本千佳 (SUGIMOTO, Chika)
横浜国立大学・未来情報通信医療社会基
盤センター・特任教員 (准教授)
研究者番号：40447347

(2) 研究協力者

山末耕太郎 (YAMASUE, Kotaro)
横浜市立大学・医学研究科・特任講師

(3) 研究協力者

須藤隆 (SUDO, Takashi)
株式会社東芝