



Title	Estimation of Thermal Sensation Based on Machine Learning via Physiological Sensing
Author(s)	吉川, 寛樹
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88150
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (吉川 寛樹)	
論文題名	Estimation of Thermal Sensation Based on Machine Learning via Physiological Sensing (生体センシングによる機械学習に基づく温冷感推定)
論文内容の要旨	

快適な空調環境が労働生産性や学習効率を高めることがわかっている。それらが求められるオフィスビルや学校など多くの人が利用する屋内環境では、利用者の温冷感に配慮した適切な空調環境を実現することが求められる。しかし、これらの施設では利用者が求める空調環境を常に提供することは困難である。それは環境の空間的な不均質性、外気温の変化、人の密度変化などにより理想的な環境が動的に変化することに起因する。さらには衣服や代謝の影響により同じ空調環境であっても温冷感が個人で異なることもわかっており、全ての利用者の嗜好を考慮した空調環境を同一空間で実現することは困難である。

それらの課題に対し、生体センシングデバイスを用いて動的に変化する個人の温冷感を機械学習により推定するシステムが提案されている。それらでは環境因子である温度や湿度に加え、サーモグラフィカメラやウェアラブルセンサから収集したデータで温冷感を推定可能であることが示されている。しかしながら、簡易型サーモグラフィによる体表温度測定の際の測定誤差が大きいことや、実環境における温冷感推定手法の適用可能性については課題が残る。そこで本研究では、それらの課題を考慮した、機械学習により温冷感を推定する手法を提案する。推定モデルの構築には、生体データの収集、機械学習による推定モデルの構築、不均衡なデータセットのための推定モデルの訓練手法という3つの手順が必要である。

まず、スマートフォンのサーモグラフィカメラで撮影した熱画像に対して、動的なオフセット誤差補正手法であるThermalWristを提案する。本研究では1枚の熱画像内に含まれる複数箇所の相対温度は高い精度で測定可能であるというサーモグラフィカメラの特性を利用する。ThermalWristは熱画像と、腕時計型センサから高精度に得られた絶対温度を組み合わせて、オフセット誤差を補正する。空調が制御された屋内環境下での評価結果では、顔の温度測定誤差の平均絶対誤差が49.4%、誤差の標準偏差が64.9%減少した。また、相関係数は112%増加し、ThermalWristの有効性を示した。また、ThermalWristが有効に機能する環境温度についても調査を行い、22.91℃以上の通常のオフィス環境では手法が有効であることがわかった。

次に、動的に変化する環境において温冷感を推定するために生体データの時系列変化を反映した深層学習に基づく推定手法であるTSVNetを提案する。この手法では横断的な入力データと時系列的な入力データを転移学習により組み合わせ推定を行う。評価では、21人の被験者から動的な環境において収集したデータを含むのべ123日分のデータを収集した。また、時系列データを含む不均衡なデータセットに対する回帰問題のためのデータバランシング手法を設計した。その結果、TSVNetは比較手法に対し、F1スコアを5.8%向上させることを確認した。さらに推定モデルに入力する時系列データの長さを変化させ評価を行うことで、過去10分間の生体データを用いることで手法の性能が向上することを示した。

さらに、時系列生体データデータセットを用いた回帰問題において、データセットの不均衡を緩和するSMOTEを拡張したデータバランシング手法を提案する。本研究では時系列データの形を保存するためデータセット内の2つのサンプル間の距離を測定する距離関数を拡張する。時系列サンプル間の距離を定義するためにDynamic Time Warping (DTW)を使用する。本研究では希少なサンプル間に、DTW距離に基づいて内挿的に時系列データを生成する。評価では非制御環境下で収集された不均衡な温冷感と深部体温のデータセットに対して提案手法の有効性を確認した。

以上の手法により、生体データを用いた温冷感推定手法を提案する。提案手法は希少なケース、すなわち暑い、寒いといった屋内環境の利用者の快適性が損なわれる可能性のあるケースに対し、より高精度に温冷感を推定可能であることから空調制御システムへの応用が見込まれる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (吉 川 寛 樹)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	山口 弘純
	副 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	松岡 茂登

論文審査の結果の要旨

快適な空調環境が労働生産性や学習効率を高めることがわかっている。それらが求められるオフィスビルや学校など多くの人が利用する屋内環境では、利用者の温冷感に配慮した適切な空調環境を実現することが求められる。しかし、これらの施設では利用者が求める空調環境を常に提供することは困難である。それは環境の空間的な不均質性、外気温の変化、人の密度変化などにより理想的な環境が動的に変化することに起因する。さらには衣服や代謝の影響により同じ空調環境であっても温冷感が個人で異なることもわかっており、全ての利用者の嗜好を考慮した空調環境を同一空間で実現することは困難である。それらの課題に対し、生体センシングデバイスを用いて動的に変化する個人の温冷感を機械学習により推定するシステムが提案されている。それらでは環境因子である温度や湿度に加え、サーモグラフィカメラやウェアラブルセンサから収集したデータで温冷感を推定可能であることが示されている。しかしながら、簡易型サーモグラフィによる体表温度測定の際の測定誤差が大きいことや、実環境における温冷感推定手法の適用可能性については課題が残る。

本論文の研究成果は、サーモグラフィやウェアラブルデバイスなどのセンシングデバイスから得られる生体センシングデータを用い、機械学習により温冷感を推定する新たな手法を提案している点である。

第一の研究成果として、スマートフォンのサーモグラフィカメラで撮影した熱画像に対して、動的なオフセット誤差補正手法であるThermalWristを提案した。ThermalWristは熱画像と、腕時計型センサから高精度に得られた絶対温度を組み合わせ、オフセット誤差を補正する。空調が制御された屋内環境下での評価結果では、顔の温度測定誤差の平均絶対誤差が49.4%、誤差の標準偏差が64.9%減少した。また、相関係数は112%増加し、ThermalWristの有効性を示した。また、ThermalWristが有効に機能する環境温度についても調査を行い、22.91℃以上の通常のオフィス環境では手法が有効であることを示した。

第二の研究成果として、動的に変化する環境において温冷感を推定するために生体データの時系列変化を反映した深層学習に基づく推定手法であるTSVNetを提案した。この手法では横断面的な入力データと時系列的な入力データを転移学習により組み合わせて推定を行う。評価では、21人の被験者から動的な環境において収集したデータを含むべ123日分のデータを収集した。また、時系列データを含む不均衡なデータセットに対する回帰問題のためのデータバランシング手法を設計した。その結果、TSVNetは比較手法に対し、F1スコアを5.8%向上させることを確認した。さらに推定モデルに入力する時系列データの長さを変化させ評価を行うことで、過去10分間の生体データを用いることで手法の性能が向上することを示した。

第三の研究成果として、時系列生体データデータセットを用いた回帰問題において、データセットの不均衡を緩和するSMOTEを拡張したデータバランシング手法を提案した。本研究では時系列データの形を保存するためデータセット内の2つのサンプル間の距離を測定する距離関数を拡張し、時系列サンプル間の距離を定義するためにDynamic Time Warping (DTW)を使用する。本研究では希少なサンプル間に、DTW距離に基づいて内挿的に時系列データを生成する。評価では非制御環境下で収集された不均衡な温冷感と深部体温のデータセットに対して提案手法の有効性を確認した。

以上のように本論文は、サーモグラフィやウェアラブルデバイスなどのセンシングデバイスから得られる生体センシングデータを用い、機械学習により温冷感を推定する技術に関して、有用な研究成果を上げている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。