

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11938

研究課題名（和文）多次元超低周波ストリームデータのための次元相関を考慮に入れたパターン認識法の開発

研究課題名（英文）Development of pattern recognition algorithm for ultra low frequency multivariate time-series data considering dimensional correlation

研究代表者

大草 孝介（OKUSA, KOSUKE）

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：30636907

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：多次元時系列データを用いてパターン認識を行うとき、周波数特性や次元間の相関を考慮することは極めて重要である。しかし、人の動作のような観測系列が短時間かつ超低周波信号の場合、この特徴量は容易に抽出できないため、それらを考慮に入れて解析を行うことは非常に困難である。本研究では観測系列が多次元超低周波ストリームデータという制約下で、安定して特徴を推測可能な解析法の構築を目的とした。本研究では特に心拍や血圧といったバイタル検知に着目し実験と検証を行った。一つまたは複数のマイクロ波センサを用いた多次元のセンサデータから得られる情報を用いて、数理モデルを組み込むことによりその測定精度の向上を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での研究成果は、超高齢化社会を迎える日本において非常に重要な役割を果たす。特に本研究での実用例で実施したバイタルセンシングは、独居老人の見守りシステムや、普段からの健康管理に重要な役割を果たすと考えられる。非接触型センサによる高精度バイタルセンシングを実現したことにより、センサを身につける煩わしさのない、普段の生活での健康状態の把握が実現できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：When performing pattern recognition using multidimensional time-series data, it is crucial to consider the frequency characteristics and the correlations between dimensions. However, when the observed sequences, such as human motions, are short-term and ultra-low frequency signals, these features are not easily extractable, making it exceedingly difficult to analyze them while taking these aspects into account. This study aims to develop an analysis method that can stably infer features under the constraint of the observed sequences being multidimensional ultra-low frequency stream data. Specifically, the research focused on vital detection such as heart rate and blood pressure, conducting experiments and validations. By incorporating mathematical models using information obtained from multidimensional sensor data with one or multiple microwave sensors, the study aims to improve measurement accuracy.

研究分野：センシングデータ解析

キーワード：マイクロ波センサ 数理モデリング バイタル検知 非接触 心拍 RRI 血圧

1. 研究開始当初の背景

多次元時系列データを用いてパターン認識を行うとき、その周波数特性や次元間の相関を考慮することは極めて重要である。しかし、人の動作のような観測系列が短時間かつ超低周波信号の場合、この特徴量は容易に抽出できないため、それらを考慮に入れてパターン認識を行うことは非常に困難である。このような問題は、観測系列を短時間かつ逐次的に処理しなければならないストリームデータの解析において顕著であり、センサネットワークの発展により観測されるデータ量が複雑化・巨大化している現在、非常に重要な位置を占めている。

本研究では、このような背景から観測系列が多次元超低周波ストリームデータという制約下で、従来の手法によらない時系列間の相関を考慮した新たな解析法の構築を目的とする。

2. 研究の目的

本研究では、研究期間内に以下の点について明らかにすることを目的とする。

第一に達成する目標は、「多次元超低周波ストリームデータの解析法の構築」である。これには申請者がこれまで提案した相関のある低次元時系列のパターン認識モデルを基点に、周波数特性などを考慮に入れたより高次元に対応したモデル構築を行う。

次に達成する目標は、「センサネットワークデータ」への展開である。上記提案モデルを実際のセンサデータへ適用し、実データの解析で問題となる「計算コストの削減」をアルゴリズムの改善の観点から検討する。

3. 研究の方法

本研究では、研究背景の項でも述べた通り、特に人の動作検知に焦点を当てモデルの構築を行った。また、研究期間初期はコロナ禍の影響を受けたこともあり、実験に関しては特に対象を絞り込み、人の心拍や血圧といったバイタル検知に着目し実験と検証を行った。これらの特徴の非接触な推定を目標に、一つまたは複数のマイクロ波ドップラーセンサを用いた多次元のセンサデータから得られる情報を用いて、数理モデルを組み込むことによりその測定精度の向上を目指した。以下に概要を示す。

心拍検知

非接触でのバイタル検知は、医療だけでなくストレスや感情推定など、様々な領域での応用が期待される技術である。これまでの当該分野の研究でもマイクロ波ドップラーセンサを用いた検出技術はいくつか提案されてきたが、被験者との距離を数センチレベルのごく近距離に設定するなど、実用上現実的なモデルとは言い難い状態であった。これは電波型センサという性質上、対象からの距離が離れるにつれ電波強度が弱くなることから、SN比が急速に悪化し、対象から離れた状態での心拍などのパターン検知は困難であるという問題によるものである。このような問題に際し、本研究では対象の心拍の数理モデルを構築し、ドップラーセンサから得られるI/Q波と呼ばれる相関のある2次元の信号データを数理的にシミュレーションし、その類似度を計測することで、心拍パターンのパターン認識を行った。具体的には以下の図1のように人の心臓に球体を仮定し、その半径の増減で心拍を再現することで、波形のシミュレーションを行った。

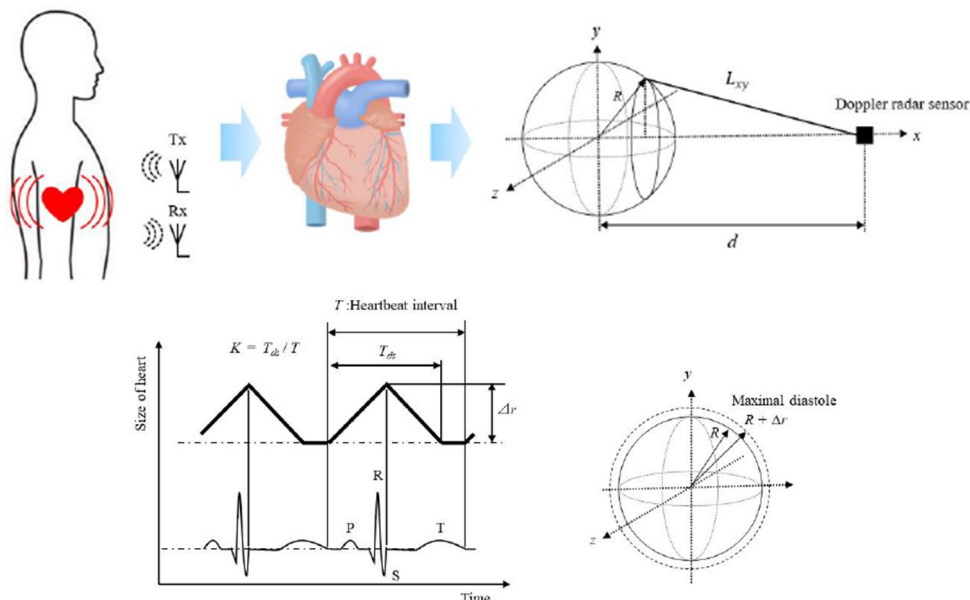


図 1：心臓モデル（図上）と心半径の変動モデル（図下）

提案モデルにより観測データに対して新動作のパターン推定を行うことで、図 2 のように新動

作のパターンを高精度に推定することが可能になった。図2(a)のオレンジ色の線が提案手法による心動作の推定結果であり、青線が比較手法として心半径の変動モデルにsin波を仮定した場合の推定結果になる。また、右側の(b)(c)が提案モデルおよびsin波を仮定した場合のIQ波のシミュレーション結果であり、同じモデルであっても異なる波形が生成されることが確認できる。このように単純に数理モデルを仮定するだけでなく、その動作モデルも正確に定義することが、マイクロ波データの解析には重要となること、今回の解析の結果から明らかとなった。また提案モデルは安定して人の心動作特徴量を推定可能であることも明らかとなり、例えば表1は複数被験者に対して、2回の計測実験を行った結果であるが、回数によらず心動作のパラメータは安定的に推定できていることがこの結果からも見て取れる。また、研究の結果から、ストレスなどの検知で重要な役割を果たすRRIについても非接触で検知できることが明らかとなった。また、被験者によってこれらの特徴量が大きく異なることから、心臓の変動パターンを用いた個人認証なども利用可能な可能性がある。

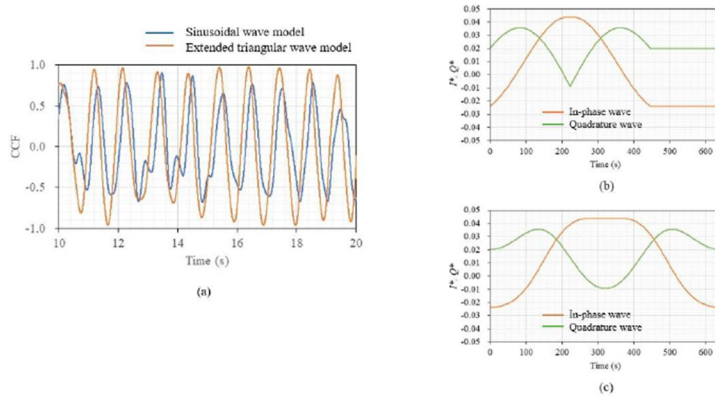


図 2:シミュレーションされたIQ信号と心動作の推定結果

表 1:心拍特徴量の推定結果

Patient	Maximum CCF median		K		R (cm)		Age	Sex	Height (cm)	Weight (kg)	HRA ² (bpm)
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd					
F	0.868	0.806	0.61	0.66	5.0	4.2	22	F	154	51	78
G	0.932	0.865	0.84	0.89	6.2	7.0	23	M	180	65	84
H	0.901	0.911	0.66	0.60	4.8	6.4	23	F	155	44	91
I	0.917	0.889	0.44	0.60	4.6	6.2	23	M	181	66	93
J	0.904	0.921	0.99	0.78	4.8	6.2	22	M	172	70	95
K	0.891	0.831	0.97	0.89	4.8	5.8	23	M	180	72	68
L	0.820	0.920	0.86	0.67	6.2	6.4	22	M	177	77	90
M	0.899	0.849	1.00	0.74	5.8	4.8	22	F	157	49	76

Sex: M (male), F (female), HRA: Heart rate average

血圧検知

提案モデルのセンサネットワークデータへの拡張として、本研究では脈波伝搬時間を利用した、血圧の推定モデルも提案した。複数のマイクロ波ドップラーセンサを用いてセンサネットワークを構築し、心臓の脈波の末端血管への伝搬時間差を測ることで、血圧の安定的な計測を目指した。

ここでも、心動作と同様に血管の伸縮について図3のように円柱を仮定し、その数理モデルを構築することで、多次元超低周波ストリームデータから安定してその特徴量を推定するアプローチを検討した。現在被験者数を増やし、提案手法の有効性を確認しているが、図4のように安定して脈波伝搬時間を推定できており、バイタル検知に新たな手法を提案できる可能性が高い。

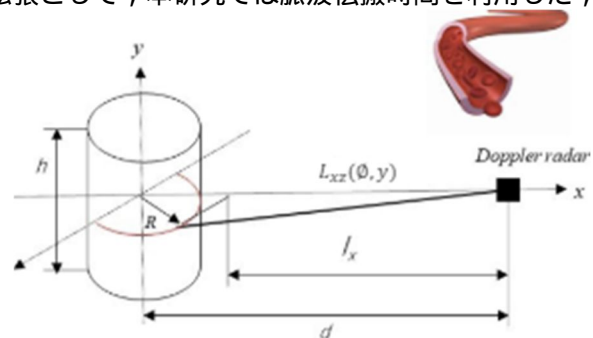


図 3:血管の数理モデル

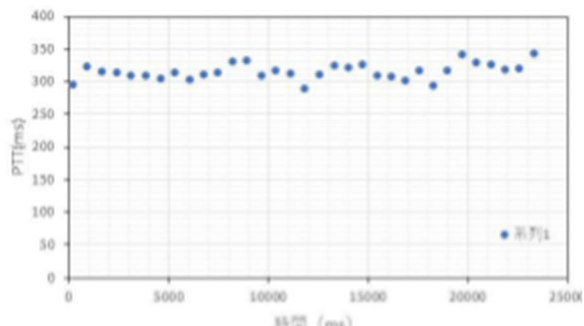


図 4:脈波伝搬時間の推定結果

4. 研究成果

これらの研究成果については非接触による心動作および血圧の推定方法として特許化を行うとともに、学会発表(日本計算機統計学会第36回シンポジウム, COMPSTAT, 日本生理人類学会)などで研究成果の発表を随時実施した。また論文投稿なども実施しており、研究成果が更新され次第、随時研究成果の発表や権利化を進める予定である。

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ishizone Tsuyoshi, Higuchi Tomoyuki, Okusa Kosuke, Nakamura Kazuyuki	4. 巻 2022
2. 論文標題 An Online System of Detecting Anomalies and Estimating Cycle Times for Production Lines	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IECON 2022 - 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IECON49645.2022.9969061	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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 大草孝介
2. 発表標題 ナレッジコミュニティサイトにおけるユーザの興味カテゴリ推定と記事推薦に関する研究
3. 学会等名 日本計算機統計学会第36回シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suzuki, S. & Okusa, K.
2. 発表標題 A study on estimation of the human interest for place based on the human movement data
3. 学会等名 IASC-ARS 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木進之介・大草孝介
2. 発表標題 移動情報に基づく異なる空間における場所の興味度の比較推定
3. 学会等名 日本統計学会春季集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相川優哉・大草孝介
2. 発表標題 競走馬の画像データによる各個体が持つ特性の抽出
3. 学会等名 日本計算機統計学会第37回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片山健悟・大草孝介
2. 発表標題 転移学習を用いた楽器編成の自動認識
3. 学会等名 日本計算機統計学会第37回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ota, T. & Okusa, K.
2. 発表標題 Statistical estimation of heart movements by microwave Doppler radar sensor
3. 学会等名 The 25th International Conference on Computational Statistics (COMPSTAT2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中琉偉・大草孝介
2. 発表標題 オートエンコーダを用いたモデルベースのレーダー信号異常検出と歩行分析への応用
3. 学会等名 日本計算機統計学会第37回シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田隆・大草孝介
2. 発表標題 マイクロ波ドップラセンサを用いた心動作のモデリングによる心周期の推定
3. 学会等名 日本計算機統計学会第37回シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tanaka, R. & Okusa, K.
2. 発表標題 Model-Based Radar Signal Anomaly Detection Using Autoencoder with Application to Gait Analysis
3. 学会等名 IASC-ARS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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