

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00145

研究課題名（和文）モバイル生体センシング基盤における分散複合イベント処理に関する研究

研究課題名（英文）A Study of Distributed Complex Event Processing on Mobile Biosensing Platform

研究代表者

幸島 明男（SASHIMA, AKIO）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：20357130

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、腕時計型の情報端末であるスマートウォッチをターゲットデバイスとしたモバイル生体センシング基盤の実現を念頭に、複数のセンサデバイスから得られる時系列センシングデータを Peer-to-Peer (P2P) 方式で共有するためのエッジデバイス上の分散複合イベント処理の効率的な実現方法について検討した。そして、スマートウォッチをターゲットデバイスとして研究開発を行い、1) モバイル時刻同期システムの実現、2) モバイルセンシングシステムの実現と多次元時系列センサデータ解析手法の提案、3) 出版-購読型の内部アーキテクチャを用いたP2P通信システムの実現などの成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、腕時計型の小型の情報端末の双方向相互通信により、遠隔地から高齢者の身体状態や生活状況を見守ることを可能にする遠隔見守りサービスを実現するための情報処理技術に関する研究です。今後の応用としては、より多くの小型センサを使用した身体状況の統合計測や、人工知能技術に基づく健康状態の診断・管理システムなど、腕時計型の端末を用いた新しい介護・医療サービスへの展開が考えられます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have been developing a Peer-to-Peer (P2P) mobile biosensing platform for analyzing and sharing the time series data obtained from multiple sensor devices using smartwatches. To realize the biosensing platform, we advanced mobile sensing technologies to implement efficient, flexible complex-event-processing on smartwatches. The proposed technologies are a time synchronization system for smartwatches referencing a mobile-time-server and a mobile sensing system on a smartwatch for a multi-dimensional time-series analysis technique for the sensing data. We also developed a P2P communication system on smartwatches using a publisher/subscriber messaging model.

研究分野：サービス工学

キーワード：モバイルセンシング

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンによるモバイルインターネットサービスの普及にともない、高齢者等の身体状態や生活状況をセンシングし、家族や介護者が遠隔地から見守ることを可能にする、遠隔見守りサービスに対する期待が高まっている。これまで我々の研究グループでは、コストのかかるデータサーバなしに、家族や介護者が手持ちのスマートフォンで、直接、遠隔地から高齢者の身体状態や生活状況を見守ることを可能にする Peer-to-Peer (P2P)方式による見守りサービスを提案してきた[1]。そして、その基盤技術として、複数のスマートフォンによる P2P オーバレイネットワークにより、利用者の装着したモバイル生体センサのセンシングデータを相互に送受信可能にするモバイル生体センシング基盤の開発を進めてきた[2]。P2P 方式を用いた見守りサービスは、データ管理のコストやプライバシーの保護など、従来のサーバ方式と比べて有利な点を持つ一方で、計算資源の限られたエッジデバイス上でさまざまな情報処理を行うため、計算負荷の観点から解決すべき問題を数多く抱えている。例えば、一人の利用者の身体状況を同時に複数のモバイルセンサデバイスを用いて計測しようとした場合、送信側のエッジデバイス(スマートフォンなど)の通信量や情報処理の負荷が増大しやすいという問題がある。P2P 方式のデータ共有を前提として、複数のセンシングデバイスから得られる時系列センシングデータを、スマートウォッチなどの計算資源の限られたエッジデバイスにおいて、統合的かつ効率的に扱うための情報処理手法に関しては、これまで十分な研究がなされていない。

2. 研究の目的

本研究課題では、複数のセンサデバイスから得られる時系列センシングデータを P2P 方式で共有するための、エッジデバイス上の統合的情報処理を、分散複合イベント処理と呼び、その効率的な実現方法について検討する。具体的には、以下に述べる 3 つの観点から研究開発を行う。

1) 複数のモバイルセンサデバイスの時刻同期機構

複数のウェアラブルデバイスから得られた多様なデータを統合的に扱う際の問題として、センシングデータの時刻同期の問題がある。身体の動作に伴い発生する物理的事象を多次元の時系列データとして扱うには、複数のセンサから得られたデータのタイムスタンプが同期していなければならない。本研究課題では、モバイル環境において無線通信によりネットワーク化された複数のスマートウォッチ間のメッセージ交換による時刻同期機構の実現を目指した研究開発を行う。

2) 多次元時系列センサデータからの分散複合イベント解析手法の開発

複数のウェアラブルデバイスから得られた多様なデータを統合的に扱う際の問題として、センサ情報の統合の問題がある。多次元の時系列センサデータから利用者の状況を理解する問題は依然として困難な問題の一つである。複数のモバイルセンサデバイス(スマートウォッチや生体センサ、スマートフォンなど)から得られる時系列生体センサデータを機械学習の手法等を用いて統合的に解析し、利用者の身体・生活状況の変化を検知する手法を開発する。

3) スマートウォッチ上における効率的なモバイル生体センシング基盤の実現

多様なデータソースからのデータを統合的に扱うための情報処理機構は、Complex Event Processing (CEP)と呼ばれ、クラウドサービス上のストリームデータ処理などに活用されているが、スマートフォンやスマートウォッチなどの計算資源の限られたエッジデバイスにおいて実現する方法については依然として十分な研究がなされていない。本研究では、スマートウォッチ上において複数のセンサデバイスから得られる多次元センシングデータを統合的に処理するモバイル生体センシング基盤を実際に実装し、その効率的な実現方法を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究課題では、腕時計型の情報端末であるスマートウォッチをターゲットデバイスとして、上記のような統合的情報処理の実現手法について研究開発を行う。利用者の周囲の環境音や動作データのモバイルセンシングにおいては、ポケットやカバンに入れて携帯するスマートフォンよりも、身体に直接装着するスマートウォッチの方が信頼性の高いセンシングデータの収集が可能である。また、小型で慣れれば違和感なく長時間にわたる利用が容易であり、本研究の対象とするモバイル生体センシング基盤の実装環境として適切である。具体的なデバイスとしては、Google 社製の Wear OS を搭載したスマートウォッチを用いて研究開発を行った。両者ともに身体状況の計測が可能な内蔵のセンサデバイス(3軸加速度・角速度など)と Wi-Fi による無線通信機構を有しており、スマートフォンの通信機能に頼らずとも独立した動作可能である。そこで、本研究では、スマートウォッチとモバイル生体センサを用いて目的とするモバイル生体センシング基盤に関する研究開発を実施した。特に、複数のセンサデバイスから得られる時系列センシングデータを共有するための統合的情報処理に関して、スマートウォッチをエッジデバイスとして用いた、以下のような研究開発を実施した。

まず、1)の時刻同期に関しては、GPS 信号による正確な時刻情報をもとに、Wi-Fi による無線通信を用いて時刻情報をメッセージ交換することで、時刻同期を行うシステムをスマートウォッチ上に実現し、その同期精度の向上を可能にするアルゴリズム等について検討した。また、2)の時系列データ解析に関しては、利用者の生活状況や周囲の環境音をスマートウォッチの内蔵センサを用いてセンシングし、センシングしたデータをログとして継続的に記録可能なモバイルセンシングシステムの開発を行った。そして、そのモバイルセンシングシステムを用い

て収集した時系列センシングデータを用いて、オフラインで各種の機械学習法やデータ解析の手法を適用し、利用者の状況(家にいるなど)を認識する技術について研究を行った。さらに、3)の効率的実装に関しては、複数のモバイル生体センサからの情報を相互に P2P 方式で共有可能なモバイル生体センシング基盤を、スマートウォッチを用いて実現し、その効率的な実装方法について検討した。モバイル生体センシング基盤の内部アーキテクチャの改良やデータの表現形式の工夫などにより、モバイル生体センサやスマートウォッチに内蔵されたセンサからのセンシングデータを P2P 方式により共有するための効率的な仕組みについて検討した。

4. 研究成果

本研究課題の成果に関して以下に述べる。

1) 複数のスマートウォッチを用いたモバイル時刻同期システムの実現

デバイス間の時刻同期の仕組みについて、市販のスマートウォッチを用いた実験的検討を行った[3]。具体的には、GPS/PPS 信号を受信することにより NTP の Stratum 0 サーバとして時刻同期された Linux デバイスを時刻配信サーバ(マスター)とし、複数のスマートウォッチがクライアント(スレーブ)として、サーバ時刻に時刻同期を行うモバイル時刻同期システムのプロトタイプを開発した。時刻配信サーバは、モバイルバッテリーを電源として動作する小型のモバイルサーバ(Raspberry Pi)に、Wi-Fi ルータの機能と PPS 信号に同期した時刻配信の機能を実装することで実現している(図1参照)。このモバイルサーバと複数のスマートウォッチとが無線通信によりスター型で接続するセンサーネットワークを形成することで、モバイル環境においても時刻同期が可能なシステムを実現した。

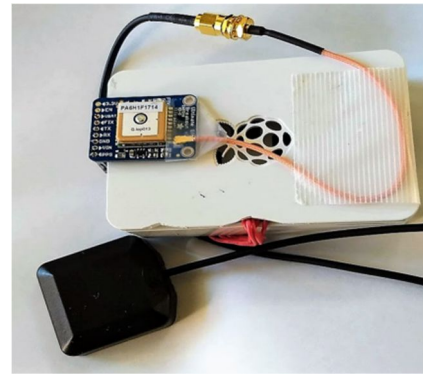


図1 GPS アンテナとモバイル時刻サーバ

本システムの時刻同期はカルマンフィルタを用いた時刻同期法により行う。ある時点 t のマスターの時刻とスレーブの時刻との時刻差を $offset$ とし、その後のある時点 t' におけるマスターの時刻を T_M 、スレーブ上の t からの経過時間 T_S とすると、その関係は $T_M = skew * T_S + offset$ と表せる。ここで $skew$ は、スレーブのマスターに対する単位あたりの時間の進みや遅れの度合いである。各スレーブは、NTP など一般的な時刻同期プロトコルと同様な方法で T_M と T_S を得た後に、マスター時刻とスレーブ時刻の差分: $T_{delta} = T_M - T_S$ を計算し、 $T_{delta} = skew_{delta} * T_S + offset + w$ を出力方程式とするカルマンフィルタを適用することで、 $offset$ と $skew$ を逐次的に推定するプログラムをスマートウォッチ上に実現した。ここで、 w は観測雑音、 $skew_{delta}$ は差分に対する遅れ・進み度合いであり、 $skew$ は $skew = skew_{delta} + 1$ により計算する。カルマンフィルタを用いることでノイズの影響を抑えながら、1msec 以下の精度の時刻同期を実現した。さらに、メッセージの送信遅延時間が極端に大きい場合は時刻同期を行わないというヒューリスティクスを導入することで、より精度の高い動機が可能になることも確認した。GPS 以外に特殊なハードウェア等を用いず、マスター・スレーブ間の通信だけで時刻同期を行うという条件のもとでは、見守りサービスに使用するための同期精度としておおむね妥当な性能を得ることができた。

2) スマートウォッチによるモバイルセンシングシステムの実現と多次元時系列センサデータ解析手法の提案

スマートウォッチ内蔵の3軸加速度センサやジャイロ(角速度)センサ、マイクロフォンなどを用いて、利用者の行動や身体状況、周囲の環境音等を統合的に計測、記録、解析するシステムを開発した(図2参照)[4]。本システムは、マイクロフォンで計測した周囲の環境音データを特徴量ベクトル(MFCC)へと変換し、多次元時系列データとして記録する処理を、エッジデバイスであるスマートウォッチ上で行う。この変換処理により軽量の特徴量へと変換することで、大量の環境音データをスマートウォッチでデータ共有可能な程度のデータ量に圧縮する機能を実現した。



図2 スマートウォッチを用いたモバイルセンシングシステム

また、本システムを用いて収集した環境音データから利用者のコンテキスト情報(オフィス、自転車、自宅など)を抽出するためのデータ解析手法を提案した。具体的には、コンテキスト抽出プロセスを多次元時系列データの時間軸方向における教師なし学習による分割としての形式化した。そして、その分割の具体的な方法として

多次元時系列データを Non-negative Matrix Factorization (NMF) と呼ばれる行列分解の手法により次元圧縮し、得られた特徴量を時間軸方向で k-means クラスタリングすることで、時間軸上のコンテキストの変化を検知し、分割する手法を提案した。本提案手法により実際の環境音データの分割を行い、分割された期間が実際の利用者のコンテキストにほぼ対応することを確認した。

3) スマートウォッチを用いた P2P 双方向通信の実現

分散複合イベント処理を実現するための基盤技術として、スマートウォッチを用いたセンシングデータの効率的な双方向通信機構の実装と提案を行った。計算資源の限られたスマートウォッチ上のセンシングデータの双方向通信について、Publisher/Subscriber 型のメッセージングモデルによる通信制御用の内部アーキテクチャ

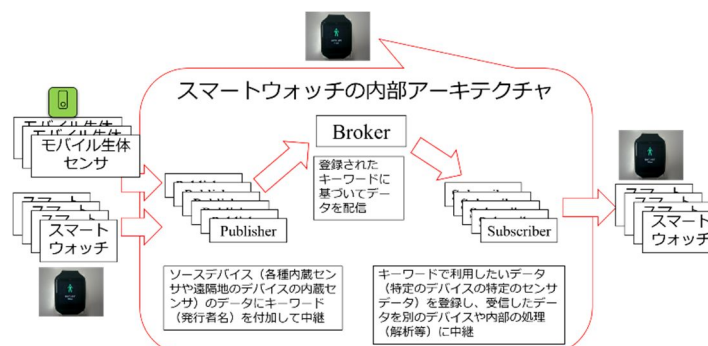


図3 Publisher/Subscriber 型アーキテクチャ

を導入し、疎結合によるセンサデータ配信を実現した(図3参照)[5]。

具体的には、メッセージに含まれるキーワードに基づいて他のスマートウォッチへのデータの配信や内部解析プロセスへのデータ供給などを柔軟に制御する機能をエッジデバイス上に実装した。この機構により、スマートウォッチと Bluetooth で通信する無線生体センサやスマートウォッチの内蔵センサからのセンシングデータを相互に送受信可能な P2P 双方向通信を実現した。市販のスマートウォッチを用いて、柔軟かつ効率的な通信制御が可能な P2P 型の遠隔見守りシステムが実現できる可能性を示した。

< 引用文献 >

幸島明男, 池田剛, 山本晃, 車谷浩一, データサーバレス方式による遠隔生体情報モニタリングシステムの構築, IT ヘルスケア, Vol.8, No.1, 54-57, (2013).
 Akio Sashima, Koichi Kurumatani, Towards A Peer-to-Peer Communication Model for Mobile Telecare Services, Proc. of the HealthInf 2016, No.5, 542-549, (2016).
 幸島明男, 複数のウェアラブルデバイスによる時刻同期センシングに関する検討, 第 81 回全国大会講演論文集, 2019(1), 56, (2019).
 Akio Sashima, Mitsuru Kawamoto, Towards Sensing and Sharing Auditory Context Information Using Wearable Device, Communications in Computer and Information Science (CCIS), Vol. 1168, 54-59, (2020).
 Akio Sashima, Mitsuru Kawamoto, Koichi Kurumatani, A peer-to-peer telecare system using smart watches and wireless biosensors. Health Technology, 8, 317-328, (2018).

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 Akio Sashima, Mitsuru Kawamoto, Koichi Kurumatani	4. 巻 8
2. 論文標題 A peer-to-peer telecare system using smart watches and wireless biosensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Health and Technology	6. 最初と最後の頁 317 ~ 328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12553-018-0240-8	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 Akio Sashima, Mitsuru Kawamoto	4. 巻 1168
2. 論文標題 Towards Sensing and Sharing Auditory Context Information Using Wearable Device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications in Computer and Information Science (CCIS)	6. 最初と最後の頁 54 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-43887-6_5	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4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 幸島 明男
2. 発表標題 モバイル生体センシングにおける時刻同期機構に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ヘルスケア・医療情報通信技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 幸島 明男
2. 発表標題 複数のウェアラブルデバイスによる時刻同期センシングに関する検討
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 幸島明男
2. 発表標題 モバイル生体センシング基盤における分散複合イベント処理に向けて
3. 学会等名 電子情報通信学会ヘルスケア・医療情報通信技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2019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
研究分担者	河本 満 (Kawamoto Mitsuru) (10300865)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	車谷 浩一 (Kurumatani Koichi) (50356945)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究主幹 (82626)	