

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11779

研究課題名(和文) 時空間セグメントと収集データを柔軟に設定可能なクラウドセンシング基盤に関する研究

研究課題名(英文) Research on a cloud sensing framework with flexible configuration of spatio-temporal segments and sensor data

研究代表者

梶 克彦 (Kaji, Katsuhiko)

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：40466412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、行動・環境センシングデータを柔軟に収集して利用できるクラウドセンシング基盤を構築した。クラウドセンシング基盤の利用者は、データ収集依頼者と、データ収集協力者に分類される。データ収集依頼者は「なんのために、いつ、どの場所において、どんな種類のセンサデータが必要か」を定義できる。データ収集協力者は専用スマホアプリをインストールしておくことで、適切な時空間に存在している協力者に対して、センシング要求のプッシュ通知が送られる。ユーザがデータ収集に同意した場合、その時空間にいる間のセンシングデータをロギングし適宜サーバにアップロードされる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、データ収集依頼の手軽さと、ユーザの納得した範囲での協力が可能になった。これまでなされてきたクラウドセンシングに関する研究では、どのようなデータを、どのような人に、どのように依頼すれば、効果的に収集できるのかが不明であったが、本研究において、様々なシチュエーションに対応できるクラウドセンシングプラットフォームが実現され、種々のビッグデータ処理の背景となるデータ収集の基盤となることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, a crowdsensing framework was developed to enable flexible collection and use of behavioral and environmental sensing data. The users of the crowdsensing infrastructure are classified into data collection requesters and data collection collaborators. Data collection requesters can define "for what, when, where and what kind of sensor data is needed". Data collection collaborators install a dedicated smartphone app, which sends push notifications of sensing requests to collaborators who are present in the appropriate time and space. If the user agrees to the data collection, the sensing data while in that time-space is logged and uploaded to the server as appropriate.

Translated with DeepL.com (free version)

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：クラウドセンシング スマートフォン Webシステム 行動認識

1. 研究開始当初の背景

広く普及し様々なセンサが搭載されたスマートフォンのセンシング能力を活かす試みとして、クラウドセンシングが注目されている。クラウドセンシングは、データ収集を幅広く行い、かつセンシングコストを下げるのに有効である。クラウドセンシングは研究分野だけではなく、自治団体や地域施設の管理者など、様々な人にとって有効になりうる可能性がある。例えば騒音調査や公害物質調査などは、自治団体にとって地域の住みやすさ改善のための重要なデータである。また、公園管理者にとっては安全確保に有効なデータを収集しうる。一方、そのような人たちにとっては専用のセンシングアプリ開発自体が困難である。

これらのクラウドセンシングは、それぞれがデータ収集のための特別なスマートフォンアプリを作成し、協力者にインストールしてもらう必要がある。個別のスマホアプリのインストールはコストが高く、ユーザにとっては、似たような機能のアプリを集約したい、一定期間利用しないアプリを消去したい、といった欲求がある。よって、個別のクラウドセンシングアプリのインストールと継続利用には限界がある。

スマートフォンで得られるあらゆるデータをアップロード可能にする単一のアプリを作成し、得られたデータを研究者や自治体などが自由に使えるようにしたとしても、ユーザのプライバシー意識が障壁となり、多くのユーザの協力獲得は難しいと予想される。

多くのユーザに協力してもらえたとしても、その際のユーザの負担が大きければ多くの収集データ量を見込めない。センシングやデータアップロードのために必要なスマートフォン操作や通信コストを最小限に抑える必要がある。

近年ではプライバシー保護に関する法整備や意識の向上がみられ、クラウドセンシングを用いればどのようなデータでも大量に収集できる、というわけではない。データを提供してくれるユーザにとって受け入れられるようなクラウドセンシング依頼の方法論が確立されているわけではない。つまり、どのようなデータを、どのような人に、どのように依頼すれば、効果的に収集できるのかが不明である。

2. 研究の目的

本研究では、行動・環境センシングデータを柔軟に収集して利用できるクラウドセンシング基盤(図1)を構築し、その運用によってデータ収集に必要な条件・依頼方法などの知見を蓄積できるようにすることを目的とする。

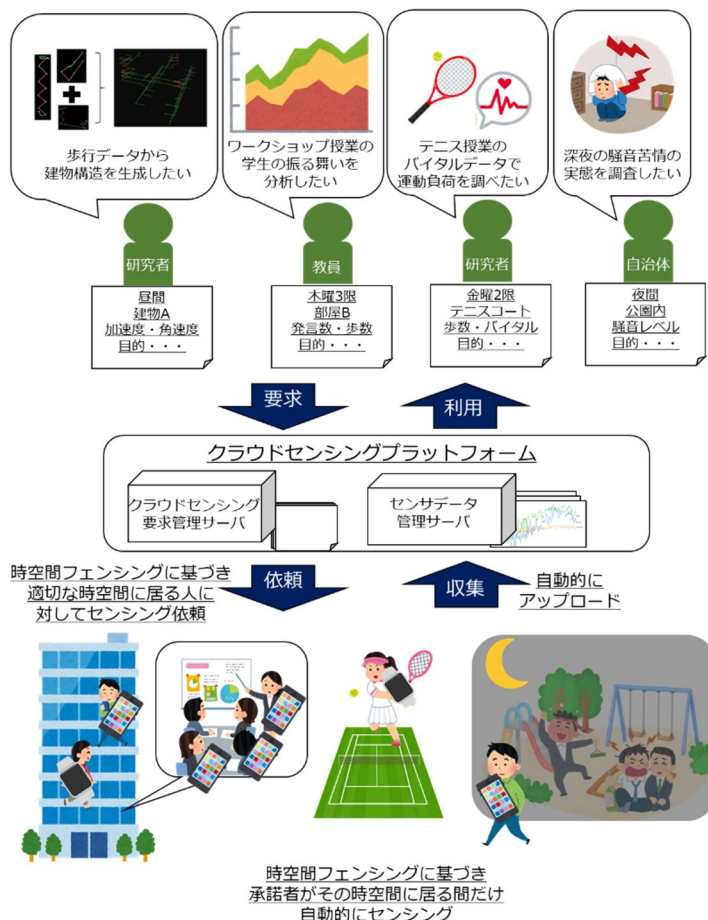


図1：時空間セグメントと収集データを柔軟に設定可能なクラウドセンシング基盤

3. 研究の方法

GPS や Wi-Fi, BLE ビーコンといった位置推定技術によって仮想的な境界を生成し, その境界に侵入した, あるいは出たときに特定のサービスを行うジオフェンシング (Geo Fencing) が注目されている. 本研究では, 地理的な場所を制限するジオフェンシングに時間要素を加えて拡張し, 時間と場所によって境界を区切る時空間フェンシング (Spatio-Temporal Fencing) の概念を提案する. そのうえで, クラウドセンシングに対して時空間フェンシングを導入し, 限定された時空間にいる間に限定してセンサデータを自動収集する仕組みを提案する. 時空間が制限された中でクラウドセンシングであれば, プライベートな活動をしているのか, ある程度他人にデータ提供しても良い活動をしているのかを区別・判断しやすくなり, ユーザがセンシングデータ提供について協力するための心的障壁を低減できるのではないかと考えた.

本プラットフォームは, クラウドセンシング要求管理サーバ, スマートフォンアプリ, センサデータ管理サーバの3つによって構成する.

センサデータを収集したい研究者や自治体は, 「なんのために, いつ, どの場所において, どのような種類のセンサデータが必要か」を定義する. これらの定義はクラウドセンシング要求サーバにおいて管理される. 例を以下にあげる. 「建物構造を構築するため, 昼間の時間帯の, ある建物における, 加速度・角速度・気圧データを収集したい」「深夜の騒音公害調査のため, 夜間の, 公園における, 騒音レベルデータを収集したい」.

ユーザはスマートフォンやスマートウォッチを用いたクラウドセンシング全般に協力できるアプリケーションを予めインストールする. このアプリケーションでは, クラウドセンシング要求サーバで管理されている時空間情報を適宜同期する. ユーザの位置情報とクラウドセンシング要求されている時空間情報を照合し, 適切な時空間にユーザが存在している場合に, ユーザのスマートフォンにセンシング要求のプッシュ通知が送られる. ユーザがデータ収集の種類や目的に同意した場合には, その時空間にいる間のセンシングデータをバックグラウンドでロギングしていく.

センシングデータは, Wi-Fi など高速インターネット通信が確立している場合において, バックグラウンドで自動的にセンサデータ管理サーバにアップロードされる. クラウドセンシング要求の申請者がアップロードされたセンサデータに適宜アクセス可能にする.

4. 研究成果

本研究期間において, 図1に示すクラウドセンシング基盤であるWebサーバと, それに対応するスマートフォンアプリを実装し, 本システムにおいて価値のあるセンサデータを収集できることを複数の実験によって確認した.

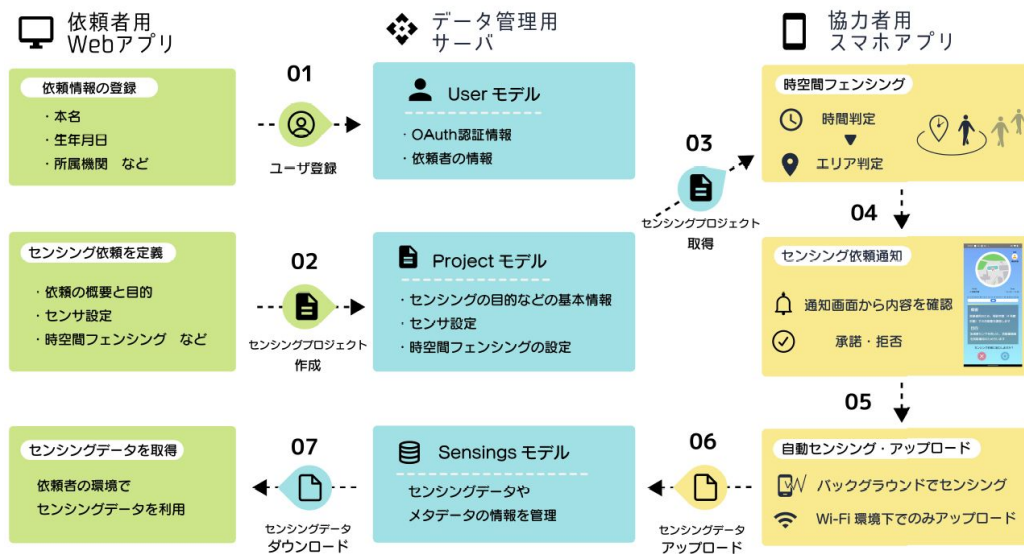


図2: システム構成の概要図

本プラットフォームの全体的な構成を図2に示す. STEP01/02では, 事前準備を行う. 依頼者は, 依頼者情報の登録と時空間フェンシングや使用するセンサなどをセンシングプロジェクトとして定義する. 協力者は, スマホアプリのインストールを行う. STEP03/04ではスマホアプリがサーバからセンシングプロジェクトを取得し, 各プロジェクトに指定された時空間を参照し時空間フェンシングを行い, 協力者が対象の時空間にいる場合にセンシング依頼通知を送信する. 協力者は, センシング依頼通知からセンシングプロジェクトの内容を確認し, 承諾・拒否を判断する.

承諾された場合のみ, センシングは開始される. センシング終了後, Wi-Fi 接続時にのみ自動でサーバにセンシングデータのアップロードが行われる (STEP06). STEP07で依頼者は,

Web アプリを通して協力者によって提供されたセンシングデータを自身の環境を用いて解析を行い研究や調査に利用できる。サーバは、センシングプロジェクトの管理・センシングデータの保存等の機能を持つコンポーネントとして設計した。セキュリティ対策として、ユーザ認証方式に OAuth 認証を採用した。また、Wi-Fi や BLE を用いたエリア判定などに対して拡張が可能なモデルの最適化を行った。センシングデータはデータ量が大容量になる。そこでオブジェクトストレージサーバとして Amazon S3 の互換サービスである MinIO を採用した。

Web アプリは、依頼者がセンシングプロジェクト操作するインターフェースとして設計した。センシングプロジェクトの作成には、主に時空間フェンシングとセンサの設定を GUI の操作によって定義するのみで完了する。これは依頼者にとって容易にクラウドセンシングの定義が可能となる他、協力者にとっていつどこでセンシングが行われるかが明確になり協力を受け入れやすくなる。

依頼者の制作したセンシングプロジェクトに対応したセンシングをするスマホアプリとして Android アプリを実装した(図3)。本アプリ時空間フェンシング、センシング依頼の承諾、自動的にセンシング、センサデータの自動アップロード機能を備える。



図3：クラウドセンシングのためのスマートフォンアプリ

ジオフェンスには緯度経度を使用し、ジオフェンスが複雑な矩形である場合に対応する為、ジオフェンシングの内外判定にポリゴンの内外判定アルゴリズムを使用した。確実に時空間に進入した場合のみセンシングする、時空間に進入する可能性が高い協力者にセンシング依頼通知を発行するなど、様々なシチュエーションに対応するため、時空間の拡大と縮小が可能なマージンを実装した。また、ジオフェンスが複雑な矩形である場合に対応する為、協力者の位置情報にマージンを設けた。本アプリは協力者の時空間進入判定のため、一定時間毎に位置情報と現在時刻を取得する。この時、マージンを含め、時空間ともに進入していた場合、時空間へ進入したと判定する。

協力者へのセンシング依頼通知を減らすために、センシング依頼通知はセンシングプロジェクトに参加する可能性が高い協力者に発行する。その為、時空間を広げるようにマージンを取り、その時空間へ進入した場合センシングプロジェクトに参加する可能性が高いと判断し、通知を発行する。協力者がセンシング依頼通知をタップすると、センシング依頼画面が立ち上がり、依頼者の名前や使用するセンサ、時空間が提示される。提示された情報に協力者が納得した場合、センシング承諾ボタンを押すだけでクラウドセンシングに協力できる。

協力者の操作を低減させる為、協力者が時空間に進入し、センシング依頼に承諾している場合、バックグラウンドで自動的にセンシングされる。確実に協力者の時空間への進入、退出を判定するため、進入時は時空間を狭くするマージン、退出時は時空間を広くするマージンを取る。クラウドセンシングプラットフォームとして多くのセンサと自由な周波数に対応し、プライバシーを侵害するセンサデータは抽象化した。

本プラットフォームの有効性を示す評価実験として、本システムを通して有意義なデータを得られるかどうかを評価する。有意義なデータとは、データ処理後に協力者の行動や環境を推定できるセンサデータである。そのために、実際のユースケースを想定したクラウドセンシングを複数行いデータ処理を行う。

1つ目の実験は、コミュニティ管理者の週毎のコミュニケーション発生時間や頻度調査とした。時間は 8:00~16:00、空間は梶研究室とした。使用するセンサデータは音量と加速度とした。1つ目の実験は研究代表者が主宰する研究室に所属する4人を対象とした。音が連続して発生した時間をコミュニケーションがあったと仮定し、音データからその時間を抽出する。しかしデータを収集するスマートフォンがポケットの中などノイズが発生する場所にある可能性がある。そこで加速度がz軸の絶対値が重力加速度に近い値かつ、x軸とy軸の加速度が0に近い時を

携帯が机の上で安定しているとみなし抽出する。そして、同じ時空間にいた複数人のデータを合成し、時間的に欠けているデータを補完した(図4)。その結果、コミュニティ内のコミュニケーション発生時間と頻度を得ることができた。

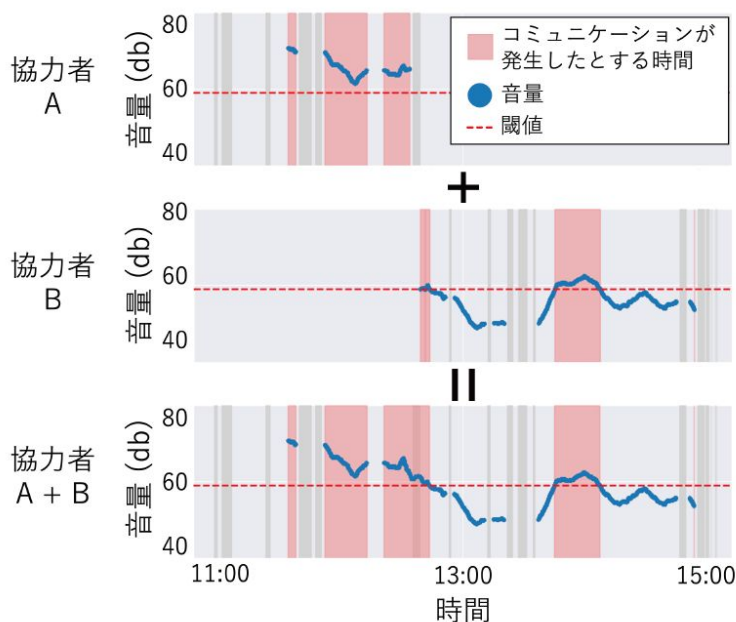


図4：複数の協力者から得られる音量センシングデータの統合によるコミュニケーション量測定

2 つ目の実験は大学管理者が学生の健康意識調査として学生のエレベータと階段の利用率を調査するとする。時間は 8:00 ~ 16:00, 空間は研究代表者の所属する大学にある特定の建物とした。使用するセンサデータは気圧と線形加速度とした。2 つ目の実験は対象の建物に普段から通う 4 人を対象とした。気圧が大きく変化した時を階の昇降があったと仮定し、気圧データからその時間を抽出する。階の昇降があった時に線形加速度が大きく変化していたら階段を使用したとし、変化が少なかったらエレベータを使用したと推定する。結果、学生のエレベータと階段の使用率の情報を得ることができた。

これらの評価実験より、収集したいセンサデータや収集したい時空間を適切に設定でき、そうして得られたデータが分析に有用であったことから、様々なシチュエーションにおいて広く活用できる可能性のあるクラウドセンシング基盤を実現できたといえる。

今後は本プラットフォームを継続的に活用し、複数の実用例に基づいて、どのようなセンシング依頼によってどの程度のセンサデータ収集が見込めるかといった知見を見出したいと考えている。

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 梶克彦, 磯村奎介, 高井飛翔	4. 巻 Vol.62, No.1
2. 論文標題 気圧センサを用いたステップ認識手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 235-245
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shota, S., Nobuhito, M., Katsuhiko K.
2. 発表標題 Implementation of spatio-temporal Fencing for Crowd Sensing in a Smartphone Applications
3. 学会等名 International Workshop on Informatics(IWIN2022)（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須崎翔太, 宮川信人, 梶克彦
2. 発表標題 クラウドセンシングのための時空間フェンシングのスマートフォンアプリへの実装
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO)2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyagawa, N., Tsuchimoto, R., Suzaki, S., Kaji, K.
2. 発表標題 Building a Crowdsensing Platform Based on Spatio-temporal - Fencing
3. 学会等名 The Fourth International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications (MUSICAL 2021 Fall)（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川 信人, 土本 涼雅, 須崎 翔太, 梶 克彦
2. 発表標題 時空間フェンシングに基づくクラウドセンシングプラットフォームの構築
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム2021(DICOMO 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土本涼雅, 宮川信人, 梶克彦
2. 発表標題 時空間フェンシングに基づくクラウドセンシングプラットフォームの提案
3. 学会等名 令和二年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020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	水野 忠則 (Mizuno Tadanori) (80252162)	愛知工業大学・情報科学部・教授 (33903)	

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
---------	---------