

愛知工業大学情報科学部情報科学科
コンピュータシステム専攻

令和3年度 卒業論文

特定の時空間への進入時に
自動センシングする
アプリケーションに関する研究

2022年2月

研究者 K18054 須崎翔太

指導教員 梶克彦 准教授

目次

第 1 章	はじめに	3
1.1	研究背景	3
1.2	クラウドセンシングの課題	4
1.3	センシング端末の課題	5
1.4	研究目的	5
1.5	論文構成	6
第 2 章	関連研究	7
2.1	クラウドセンシングに関する研究	7
2.2	クラウドセンシングプラットフォームに関する研究	7
2.3	センシング端末に関する研究	7
第 3 章	時空間フェンシングに基づいたクラウドセンシングプラットフォーム	8
3.1	時空間フェンシングの定義	8
3.2	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	8
第 4 章	特定の時空間への進入時に自動センシングするアプリケーション	9
4.1	ラヴラスのモバイルアプリケーションの要求仕様	9
4.2	時空間への進入時に自動センシングするアプリケーションの実装	9
4.2.1	時空間フェンシングの実装	9
4.2.2	センシング依頼通知の実装	9
4.2.3	自動センシングの実装	9
第 5 章	動作検証	10
5.1	時空間フェンシングの動作検証	10
5.2	ユースケースを想定した動作検証	10
第 6 章	おわりに	11
6.1	まとめ	11
6.2	今後の課題	11
	謝辞	12
	参考文献	13

第1章 はじめに

1.1 研究背景

近年、高機能センサを備えたスマートフォンが増加している。内蔵されているセンサの例として、加速度や角速度、磁気、気圧、Wi-Fi、BLE、音などが挙げられる。これらのセンサは、正確で高精度な測定データの取得が可能のため、スマートフォンの3次元での位置や動作、周囲の環境のモニタリングが可能である。例えば、ユーザの現在位置や動き、ゲームでは、スマートフォンを振る・傾けるなどの複雑な操作や動きの測定が内蔵センサによって可能となる。追加モジュールによっては、花粉やPM2.5、風速や湿度などの計測も可能となる。

この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ある。クラウドセンシングとは「群衆の持つスマートフォンなどの携帯端末に内蔵されたセンサを用いて低コストで大規模にセンサデータ取得し、そこから実世界の様相を把握するための方法論 [1]」である。クラウドソーシングとセンシングを掛け合わせたものである。参加型センシングとも言われる。スマートフォンの登場以前は、センサデータを多くの人から取得するのは現実的ではなかった。クラウドセンシング専用のデータ収集端末を開発しても、収集したデータの共有は困難であった。スマートフォンは文字入力、センシング、通信機能など様々な機能を備えているため、クラウドセンシングを行うための端末として非常に適している。スマートフォンの登場によって、クラウドセンシングという考え方が進んだと言っても過言ではない。クラウドセンシングの技術的背景としては、スマートフォンの内蔵センサの小型化・高性能化が挙げられる。センサの精度は初期のものとは比べ、格段に良くなっている。また、どんどん小型化・スマート化し、電力消費量も少なくなっている。もう1つの技術的背景として、通信速度の高速化が挙げられる。現在は4G（第4世代移動通信システム）が主流となっているが、2020年には5G（第5世代移動通信システム）のサービスが開始された。5Gの通信速度は4Gの20倍、遅延は4Gの10分の1、4Gの10倍のデバイスに接続が可能となる [2]。クラウドセンシングの社会的背景としては、スマートフォンの急速な普及が挙げられる。2007年にApple社から「iPhone」、2008年にはAndroid端末が発売され、全世界に「スマートフォン」が爆発的に普及されていった。日本でも主流は「フィーチャーフォン」から「スマートフォン」に変化した。2010年はスマートフォンの世帯保有率は9.7% [3]で、まだ全体的な普及はしていなかった。この時点ではクラウドセンシングに協力するしないにかかわらず、まずクラウドセンシングに協力するためのスマートフォンを所持しているかしていないかで対象者が振り分けられる。つまり、対象者の母数が圧倒的に少なかった。クラウドセンシングは収集できるデータ数が多ければ多いほど価値が高くなるため、スマートフォンを所持していない2010年頃はクラウドセンシングを利用するには適していなかった。2019年にはスマートフォンの保有率は世帯では83.4%と2010年と比べ約9倍、個人では67.6% [3]となり、半数以上の人がスマートフォンを所持するようになっている。所持している人全員がクラウドセンシングに協力してくれるとは限らないが、明らかに母数は増えているため、現在はクラウドセンシングを利用するのに適している。

クラウドセンシングは幅広いデータ収集かつセンシングコストを削減できるため、様々な研究で採用されている。例えば、街頭の明るさ調査、観光スポット調査、騒音調査、温度調査などの研究が進められている [4]。クラウドセンシングは研究だけではなく、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。例えば先述の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となり、そのデータを基によりよい地域や町づくりが可能となる。また、公園管理者にとってはいつどのような場所に人が集まるのか、危険な箇所では子供が遊んでいない

か、といった施設の安全確保に有効なデータを収集できる。

しかし、クラウドセンシングプラットフォームにはいくつかの課題があり、それを解決するために我々は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「ラヴラス」を提案した。クラウドセンシングのプラットフォームを作成し、クラウドセンシングの容易利用と多様なデータ収集ができるようにして、研究や調査におけるコスト（時間・費用・手間）を大幅に軽減する。また、時空間フェンシングを提案し、クラウドセンシングを利用してセンサデータを集める人（以下、依頼者）はセンシングする範囲の容易な定義、クラウドセンシングに協力してセンサデータを提供する人（以下、協力者）はセンシングされている時空間の明確な認識を期待する。ラヴラスを利用する場合、依頼者は専用の Web アプリケーション、協力者は専用のモバイルアプリケーションを使用する。本研究はラヴラスのモバイルアプリケーションに関する研究である。

1.2 クラウドセンシングの課題

クラウドセンシングの課題として、専用システムの開発コスト、センシングによるプライバシーの侵害、適切なセンサデータの確保、協力者のモチベーション維持などが挙げられる。依頼者がクラウドセンシングを利用するためには、協力者のセンサデータを収集するための専用アプリや収集したセンサデータを管理するための専用サーバが必要となる。自治体や地域施設の管理者などシステムの開発知識がない人にとっては自ら開発するのは困難であり、業者に委託するにも費用や手間などが大きくかかる。また、知識のある研究者にとっても、システムの開発という研究の本質からずれた作業をしなければならないため、研究の速度は下がってしまう。そのため、依頼者のクラウドセンシングに対するハードルは高くなっている。

依頼者の知識不足により、本来扱ってはいけない協力者のプライバシーを侵害するセンサデータを集めてしまったり、協力者にセンシングがプライバシーを侵害する危険性を説明しきれない可能性がある。例えば、依頼者が個人情報にあたるセンサデータを取り扱う可能性を考慮できず、本人の同意のないまま音センサやイメージセンサで個人の氏名や生年月日等が記録されたとする。協力者がそのセンサデータをアップロードした場合、依頼者は個人情報保護法に違反する可能性がある。

クラウドセンシングで協力者から集めたデータのクオリティが依頼者の要求するレベルに達しない場合がある。クラウドセンシングではセンシングに慣れている人がセンシングされるわけではないため、協力者が依頼者の期待しているセンサデータを提供できるとは限らない。また、協力者が足りず、センサデータが依頼者の必要とする量に満たない場合もある。

クラウドセンシングはセンサデータを提供する協力者が必須であるが、協力者に対するディスインセンティブ要素が多い。協力者に対するディスインセンティブ要素として、第三者に対するデータ提供の不安、プライバシー侵害の危険性などがある。協力者にとってセンサデータの提供そのものにインセンティブ要素はなく、依頼者がインセンティブを用意しなければ協力者の獲得は難しい。

ラヴラスが対象とする課題は、専用システムの開発コスト、センシングによるプライバシーの侵害、協力者のモチベーション維持である。クラウドセンシングにラヴラスを利用した場合、依頼者は専用システムの開発及び運用をする必要がなくなる。そのためコストの大幅な軽減ができる。協力者は依頼者の情報やセンシングされる時空間を適切に認識し、センシングに協力すると判断した場合のみセンシングされる。協力者は依頼者の提示した情報に少しでも不信感を覚えたらセンシングに拒否できる、また、協力者がアップロードするセンサデータは協力者のプライバシーを侵害しないように匿名化及び抽象化される。ラヴラスではインセンティブ要素を増加させず、ディスインセンティブ要素を軽減する。そのため、インセンティブ要素と組み合わせられる。

1.3 センシング端末の課題

クラウドセンシングに必要なセンサを搭載したセンシング端末にはいくつかの課題がある。クラウドセンシングに専用のデータロガーを使用した場合の課題として、データロガーの確保や配布、回収などにコストがかかる点が挙げられる。協力者に専用のデータロガーを持たせてセンシングする場合、協力者の人数分データロガーを確保する必要がある。そして、協力者に専用のデータロガーを配布し、センシングが終了したらデータロガーを回収する必要がある。また、協力者がデータロガーを紛失する可能性もある。データロガーにセンサデータをアップロードする機能が搭載されている場合、回収する必要はないが、もう一度クラウドセンシングをする場合再度データロガーを確保する必要がある。

クラウドセンシングにモバイルアプリケーションを使用した場合の課題として、協力者の物理的コストと心理的コストが挙げられる。協力者の物理的コストとして、協力者の手間と端末への負担が挙げられる。協力者は複数のクラウドセンシングに協力すると協力した分だけ専用のアプリケーションをインストールしなくてはならない。例えば、3人の依頼者がいた場合、専用のクラウドセンシングアプリケーションは3つある。そのため、3つのクラウドセンシングにすべて協力するとなった場合、3つもアプリケーションをインストールしなければならない。もっと協力するとなると、その分インストールしなければならないアプリケーションの数も増える。それにより、協力者の負担も増加するといえる。協力者の端末はセンシングのためにセンサを使用する。一般的なモバイル端末において、センサの使用は端末のバッテリーを消費を早める。協力者の端末がセンサデータをアップロードするまでにセンサログを保持する必要がある。そのために端末の容量を圧迫してしまう。協力者は依頼者にセンサデータをアップロードする必要がある。センサデータをアップロードするのにモバイル通信を使用した場合、端末のモバイル通信量を圧迫してしまう。協力者のアプリケーション内での操作やアプリケーションを使用する際のデータ通信量などの負担が多いと、協力者はアプリケーションを放置または削除してしまう。

協力者への心理的コストとして、第三者へのセンサデータ提供に対する不安や個人情報悪用の心配などのプライバシー意識が挙げられる。普段から携帯しているモバイル端末をセンシング端末とした場合、協力者は普段の行動をセンシングされ、プライバシーを侵害される可能性がある。そのため、協力者は認識していない時空間でのセンシングやセンサの使用に心理的障壁を持つ。また、協力者が認識しているセンサや時空間だとしても、大多数の協力者は専門家ではない為、センシングの危険性を考慮しきれない。

本研究が対象とする課題は、協力者の負担と、アプリ端末のデータ通信量及び心理的コストである。

1.4 研究目的

本研究では協力者のディスインセンティブ要素の軽減を目的とし、ユーザのセンシングの協力かつ継続を促進する。そのために協力者の発生しうる物理的及び心理的コストの軽減を行う。物理的コストの軽減として、協力者の操作や通知を最小限にし、センサデータアップロードはWi-Fi下で行う。協力者の操作の低減として、協力者は1つのアプリケーションで複数のクラウドセンシングに参加できるようにする。また、インストール等環境設定を除き、協力者の主な操作はセンシング依頼承諾画面に移動する時とセンシング依頼に承諾、拒否する時のみにする。協力者の普段の利用を妨げないように時空間判定やセンシングはバックグラウンドで行う。協力者が一度センシング依頼に承諾していた場合、時空間に進入した時自動でセンシングする。協力者に対する通知を最小限に抑えるため、協力者が時空間に進入する可能性が高い場合のみ通知を送る。心理的コストの軽減として、協力者がクラウドセンシングの内容に納得し、協力すると判断した場合のみセンシングを行う。また、協力者のプライバシーの侵害を防ぐために、本アプリでアップロードされるセンサデータ等はすべて匿名化及び抽象化され、協力者は自身のセンサデータの削除及び削除申請ができる。

1.5 論文構成

本稿の構成は以下の通りである．2章では，クラウドセンシング及びクラウドセンシングプラットフォーム関連の既存研究を紹介し，その本研究との関連性を述べる．3章では，時空間フェンシングを定義し，それに基づいたクラウドセンシングプラットフォームの全体像について述べる．4章では，特定の時空間への進入時に自動センシングするアプリケーションの実装について述べる．5章では，時空間フェンシングと実際のユースケースを想定した動作検証を行う．6章では，まとめと今後の課題について述べる．

第2章 関連研究

2.1 クラウドセンシングに関する研究

幅広いデータ収集かつセンシングコストを削減できるクラウドセンシングを利用している研究はいくつかある。これらの研究ではクラウドセンシングシステムの開発などには大きなコストがかかると考えられる。

2.2 クラウドセンシングプラットフォームに関する研究

実際に運用を行っているクラウドセンシングプラットフォームとして、Ohmage や AWARE などがある。クラウドセンシングは協力者の確保が非常に重要であるため、様々な方法でモチベーションを向上・維持させる必要がある。本研究ではディスインセンティブ要素を軽減する。

2.3 センシング端末に関する研究

クラウドセンシングのセンシング端末として様々な端末が使用されている。例えば、スマートフォンが使用されている。スマートフォンのクラウドセンシングは協力者がそのクラウドセンシングに対応したアプリケーションをそれぞれインストールする必要がある。スマートフォンを使用しない例として、市販の環境センサや、専用に開発されたものがある。スマートフォンを使用せず、市販の環境センサや、専用に開発したものは、長時間のセンシングや大規模なセンシングが可能であるが、イニシャルコストとランニングコストがかかる。

第3章 時空間フェンシングに基づいたクラウドセンシングプラットフォーム

本章ではまず時空間フェンシングの概念を定義し、次に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全体図について述べる。本クラウドセンシングプラットフォーム「Lavlus」(以下、ラヴラス)の命名は、”a view of Laplace’s demon”「ラプラスの魔の視界」から来ている。

3.1 時空間フェンシングの定義

時空間フェンシングは「ジオフェンシングに時間要素を追加し拡張したフェンシング手法」として定義する。時空間フェンシングのメリットとして、時間とエリアで境界を区切ると依頼者は様々なシチュエーションを指定したクラウドセンシングが可能となる。協力者のクラウドセンシングに対するプライバシー障壁は、時空間フェンシングによる時間と空間の制限で軽減できる時空間フェンシングのデメリットとして、時間と空間に依存しないクラウドセンシングに適さない点である。

3.2 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

ラヴラスの一連の流れは「Web アプリでセンシングプロジェクトの定義」、「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」、「Wi-Fi 環境下で自動的にアップロード」、「データ利用」の順で行う。依頼者はプロジェクト管理 Web アプリにて、センシング依頼の内容を細かく定義し、センシングプロジェクトを作成する。スマホアプリ側ではセンシングプロジェクトに応じて、3.1 節の定義をもとに時空間フェンシングを行い、協力者が指定された時間帯かつエリアにいる場合のみ通知が送られる。本プラットフォームは時空間を適切に設定でき、無意識化でセンシングするクラウドセンシングのみ使用できる。例えば遊園地の経営企業が遊園地の入場者の動向を知るために移動履歴をセンシングしようとしたとする。その場合、時間は遊園地の開園時間から閉園時間、空間は遊園地内、必要なセンサデータは位置情報と設定できる。

第4章 特定の時空間への進入時に自動センシングするアプリケーション

4.1 ラヴラスのモバイルアプリケーションの要求仕様

ラヴラスのモバイルアプリケーションはセンシングプロジェクトダウンロード、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、Wi-Fi 環境下で自動的にアップロードの順で行う。協力者が本アプリを起動、もしくは起動してから一定時間毎にサーバからセンシングプロジェクトをダウンロードする。協力者が時空間に進入した場合、通知が発行され、センシング依頼画面が立ち上がる。センシング依頼に承諾した場合、時空間に進入している間、バックグラウンドで自動でセンシングされる。センシングが終わった後、Wi-Fi に接続している時に自動でアップロードされる。協力者はすでにセンシングに承諾したセンシングプロジェクトにもセンシング拒否ができる。クラウドセンシングプラットフォームとして、多くのセンサに対応する必要がある。

4.2 時空間への進入時に自動センシングするアプリケーションの実装

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ために Android アプリを作成した。本アプリは 4.1 章で述べた内、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のみ実装した。

4.2.1 時空間フェンシングの実装

時空間に進入しているかの判定のため、一定間毎に位置情報を現在時刻を取得する。複雑な矩形に対応するためにポリゴンの内外判定アルゴリズムを使用する。ジオフェンシングの境界付近かつ、位置情報が不安定になると進入、退出の判定を繰り返してしまう。これを防ぐためにマージンを設けた。

4.2.2 センシング依頼通知の実装

協力者が時空間に進入するとセンシング依頼の通知が発行される。協力者が安心してセンシングに協力できるように

4.2.3 自動センシングの実装

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でセンシングされる。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た。

第 5 章 動作検証

本研究の動作検証は特定の時空間に進入時のみセンシングできているか、プラットフォームとして複数のユースケースを想定して適切にセンシングできているかの 2 つを行う。

5.1 時空間フェンシングの動作検証

5.2 ユースケースを想定した動作検証

天候によって所要時間が増える地図アプリを作成したい人がいたとする。研究室の管理者が、研究室内でどれだけコミュニケーションが取れているか測定しようとしたとする。

第6章 おわりに

6.1 まとめ

研究目的動作検証では時空間フェンシングが適切に行えているか、実際のユースケースを想定して適切にセンシングできているか検証した。結果何がわかった。

6.2 今後の課題

今後の課題として、今回実装に至らなかった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におけるモバイルアプリケーションに必要な機能の実装が挙げられる。時空間フェンシングにGPSを使用しているのでGPSの精度が落ちる屋内で動作が不安定になる点。

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くの御指導，御鞭撻を賜りました梶克彦准教授に深く感謝致します．
最後に，日頃から熱心に討論，助言してくださいました梶研究室のみなさんに深く感謝致します．

参考文献

- [1] 下坂正倫. クラウドソーシングの現状と可能性: 3. クラウドセンシングの研究動向. 情報処理, Vol. 56, No. 9, pp. 891–894, aug 2015.
- [2] 5g と 4g で何が変わる? — 法人のお客さま — ソフトバンク. https://www.softbank.jp/biz/5g/column3/#biz-5g-01_02. (Accessed on 01/30/2021).
- [3] 総務省 | 令和元年版 情報通信白書 | 情報通信機器の保有状況. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd232110.html>. (Accessed on 01/23/2021).
- [4] Jinwei Liu, Haiying Shen, Husnu S. Narman, Wingyan Chung, and Zongfang Lin. A survey of mobile crowdsensing techniques: A critical component for the internet of things. *ACM Trans. Cyber-Phys. Syst.*, Vol. 2, No. 3, June 2018.