

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 | 8 |
| 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 | 9 |
| 3.1 | 時空間フェンシングの定義 | 9 |
| 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 | 10 |
| 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 | 11 |
| 4.1 | ラヴラスのモバイルアプリケーションの要求仕様 | 11 |
| 4.2 | 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 | 11 |
| 4.2.1 | 時空間フェンシングの実装 | 12 |
| 4.2.2 | センシング依頼通知の実装 | 13 |
| 4.2.3 | 自動センシングの実装 | 14 |
| 第5章 | 動作検証 | 17 |
| 5.1 | 時空間フェンシングの動作検証 | 17 |
| 5.2 | ユースケースを想定した動作検証 | 17 |
| 第6章 | おわりに | 20 |
| 6.1 | まとめ | 20 |
| 6.2 | 今後の課題 | 20 |
| | 謝辞 | 21 |
| | 参考文献 | 22 |

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

クラウドセンシングを利用して多くの人々からデータ収集し、推定や分析をする研究はいくつかある。西村らの研究 [5] は、スマートフォンの加速度センサとマイクからスマートフォン保持者の歩行動作と周辺の雑踏音をそれぞれセンシングし、端末周辺の混雑状況の推定を行っている。混雑状況の推定の研究としては、バス内の混雑状況を加速度データと角速度データから推定する研究 [6] もある。これは混雑時にバス利用者が他のバス利用者を避けるために、体を横に捻ったり、肩をすばめて移動したりする回避動作のデータを収集し、そのデータから混雑状況を推定するというものである。このような場合、収集データ量が多ければ多いほどより詳しく混雑状況を推定できる。朴らの研究 [7] では一般の自動車利用者から加速度センサなどのモーションセンサを用いてデータを収集し、凍結や舗装路などの路面状態や平坦やくぼみなどの路面形状の推定を行っている。

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。依頼者がクラウドセンシングを実施するためには、協力者専用のセンシングスマートフォンアプリケーションや収集したデータを管理するサーバなどを開発する必要がある。協力者が依頼者の友人または研究仲間の場合、操作方法は口頭で補えばよいので、デザインや仕様にこだわる必要はない。しかし、協力者が赤の他人である場合、アプリケーションの操作方法を初めてでも理解しやすく簡易的にするなど工夫する必要がある。また、センサなどの種類やサンプリングレートをあらかじめ指定してアプリケーションを作成してしまうと、途中で変更したい場合に再インストールなどしなければならず、依頼者・協力者共に負担がかかってしまう。アプリケーション内でセンサなどの種類やサンプリングレートを変更する機能があっても、協力者の操作が必要であり、負担は増えてしまう。そのため、クラウドセンシングを利用してデータ収集したい場合は、プラットフォームがあると非常に便利である。依頼者としては、研究毎にセンシング専用のスマートフォンアプリケーションを作成・配布する必要がなくなるため、それらに費やしていた時間や手間の省略が可能となる。また、一定の仕様やデザインはプラットフォームとしてあらかじめ決まっているので、一から考える必要はない。協力者としては、研究別のスマートフォンアプリケーションをインストールする手間が省け、研究毎に使い分ける必要もなくなる。そして、協力者のスマートフォンアプリケーションの利用により、協力者を他のセンシングに誘導も可能であるため、多くの協力者獲得にも繋がる。

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[8][9] や AWARE[10][11] などがある。Ohmage はセンサデータ収集だけではなく、質問を作成し、協力者にテキストや選択肢、動画、画像、音声といった方法で回答し、収集が可能である。また、収集したデータは可視化・分析でき、独自の統計分析のためにデータのエクスポートも可能である。AWARE とは、依頼者向けにセンサー計測によるモバイルコンテキスト情報の計測、推測、ログ記録、共有に特化したプラットフォームである。AWARE はプラグインが可能であるため、AWARE で作成したアプリの拡張・機能の追加をし、依頼者独自のクラウドセンシングが実施できる。

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。協力者のモチベーションを向上させる方法として金銭的インセンティブ、非金銭的

インセンティブがある。金銭的インセンティブとは、お金などの報酬である。金銭的インセンティブは、協力者を獲得し、協力者のモチベーションを維持するには非常に有効である。金銭的インセンティブを用いたクラウドセンシングプラットフォームとしては、LiveLabs[12]が挙げられる。多くの協力者を獲得できるものの、報酬には限界があり、協力者が多くなればなるほど依頼者側の負担が大きくなる。また、多くなった協力者を保持するための費用も多くかかる。負担が多いからといって報酬を無くしてしまうと、協力者のモチベーションは下がってしまい、センシングに協力的ではなくなる可能性がある。一方で、非金銭的インセンティブとは、お金などの報酬の代わりとして楽しさや体験を報酬としている。非金銭的インセンティブを提供する手法として、ゲーミフィケーションが挙げられる[13]。ゲーミフィケーションとは、ゲームの構造や考え方をゲームとは異なった分野に組み込んでゲーム化するという意味である。ゲーミフィケーションを用いた例として、河中らの研究[14]が挙げられる。河中らのプラットフォームは観光情報収集を目的としている。ゲーミフィケーションの内容は、特定のエリア内を歩き回る「エリアミッション」と特定の場所で写真撮影を行う「チェックインミッション」があり、ミッションをクリアすると付与されるポイントで協力者同士競い合うといったものである。ポイントに集めている間に加速度や角速度などのセンサの値を収集し、5秒ごとにサーバに送信している。「もっとポイントを獲得したい」という思いがセンシングのモチベーションの向上に繋がるため、協力者維持には有用である。モチベーションを生成するために、金銭的インセンティブと非金銭的インセンティブを柔軟に選択できる松田らのクラウドセンシングプラットフォーム[15]もある。これは、デフォルトとしてモチベーション生成方法が決まっている訳ではなく、依頼者が決める。ポイントやレベル、バッジの有無や付与条件、ランキングの付け方などのゲーミフィケーションや、金銭的インセンティブなどをセンシングに応じて設定できる。このプラットフォームはParmoSense[16]として既に運用されている。しかし、モチベーションを保つために、必ずしもインセンティブが必要であるとは限らない。先述の Ohmage や AWARE は、クラウドセンシングの依頼者のシステム開発コストの削減を主に目的としたシンプルなプラットフォームである。そのため、協力者を多く集め維持するといった部分は標準機能としては備わっていない。その場合、協力者のモチベーションは「センシングに協力したい、研究に貢献したい」という気持ちだけである。例えば、坂村らのまちづくりのためのプラットフォーム[17]は、「町や地域の問題を解決したい」や「まちづくりを促進したい」といった地域の人々の思いやボランティア精神でモチベーションを保っている。クラウドセンシングの目的やどのように社会や暮らしに還元されるかが明確であれば、インセンティブなしでも協力獲得の可能性はある。

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[5][6][8][9][10][11]。クラウドセンシングのセンシング端末にスマートフォンを利用するメリットとして、スマートフォンは普及率が高く、新たにセンシング端末を確保、配布、改修する必要がない点が挙げられる。また、クラウドセンシング専用のモバイルアプリを作成すれば、インターネットを介して世界中の人がクラウドセンシングに参加できる。しかし、デメリットとして、協力者がクラウドセンシングに協力しようとする、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。また、スマートフォンは常に携帯している場合が多く、センサの種類や時間帯によってはプライバシーを侵害してしまう。

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[7][1][18][19]。クラウドセンシングのセンシング端末に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を使用するメリットとして、長時間のセンシングや大規模なセンシングなど目的に沿ったセンサが使用できる点が挙げられる。デメリットとして、イニシャルコストとランニングコストがかかる点が挙げられる。

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。ラプラスの魔とは、ピエール＝シモン・ラプラスによって提唱された概念で「自然界のあらゆる力と宇宙全体のある時点における状態を完全に把握することができ、かつ、これらの素材を完璧に解析する能力をもった仮想的な知的存在。このような魔 (demon) にとっては宇宙の中に何一つとして不確実なものはなく、未来のことを完璧な形で予見することが可能となる。」[20] というものである。本プラットフォームは、ラプラスの魔のコンセプトにちなんで、クラウドセンシングを用いて実世界の様相を把握し分析しラプラスの魔の視界を垣間見られる様なプラットフォームを目指すという意味を込めてラヴラスと命名した。

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。ジオフェンシングとは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、その境界に進入した、あるいは退出したときに特定のサービスを行うフェンシング手法である。位置推定の高精度化や手軽にジオフェンスを構築できるBLEのようなデバイスの普及に伴って、ジオフェンシングを用いた様々なアプリケーションが実現されている。つまり、時空間フェンシングとは、時間と空間の指定によって仮想的な境界を生成し、その境界に進入した、あるいは退出したときに特定のサービスを行うフェンシング手法である。特定のサービスとは、本研究では「センシング」である。仮想的な境界内に進入したときにセンシングを開始し、境界外に退出したときにセンシングを終了する。

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。時空間フェンシングで定義できる範囲は時間と空間を適切に切り離せる範囲である。例えば、午後3時から5時の公園や3限の1号館401教室である。一方で、時間と空間を適切に切り離せない範囲は定義できない。例えば、時間を適切に切り離せない降雨時のみや、空間を適切に切り離せない移動する電車内などは適さない。

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間とエリアの指定がない場合、協力者は「いつどこでセンシングが開始し、終了するかわからない」という不安が生じるため、クラウドセンシングへの協力の判断がしにくい。時間とエリアの指定がある場合、協力者は自分自身が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・判断しやすくなるため、クラウドセンシングへの協力の判断がしやすくなる。時空間フェンシングにより、協力者は自分自身の可能な範囲内でセンシングに協力ができる。

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。例えば、空間に依存しない移動する電車内でのクラウドセンシングや、時間に依存しない雨が降った時のみのクラウドセンシングなどには適さない。他にも、時間を区切れていない1日中のセンシングや、空間が広すぎる市や県単位のセンシングも適さない。1日中のような長時間のセンシングやいつ終了するか定かではないセンシングは、協力者に消費電力など大きな負担をかけてしまう。市や県単位のセンシングも同じく協力者に大きな負担がかかってしまう。

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

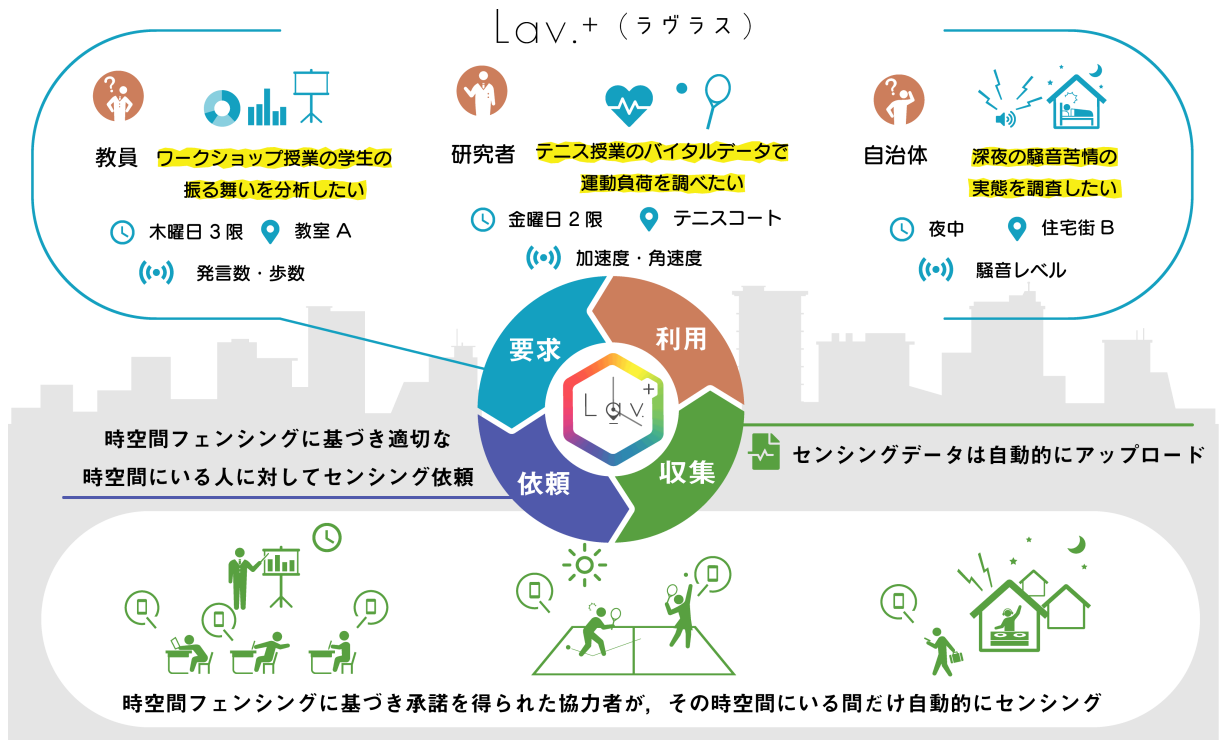


図 3.1: ラヴラスの全体像

ラヴラスの全体像を図 3.1 に示す。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。協力者は依頼者の作成したセンシングプロジェクトをダウンロードする。協力者が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、協力者が設定された時空間にいる場合のみ通知が送られる。協力者がセンシング依頼画面に提示された、依頼者とクラウドセンシングの内容に納得し、センシングに協力する場合センシング依頼に承諾する。協力者がセンシング依頼に承諾し、時空間に進入した場合、バックグラウンドで自動でセンシングが始まる。センシングが終了し、協力者が Wi-Fi 下の場合、センサデータをアップロードする。

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加速度と設定できる。

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

本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について述べる。4.1 章ではまずラヴラスのモバイルアプリケーションの要求仕様を定義する。4.2 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述べる。4.2.1 章では時空間フェンシングの実装について述べる。4.2.2 章ではセンシング依頼通知の実装について述べる。4.2.3 章では自動センシングの実装について述べる。

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ができる必要がある。協力者の物理的コストを軽減させるために、協力者への通知と協力者自身の操作の低減や、端末のデータ通信量を圧迫しない必要がある。センシングプロジェクトをダウンロードする時、端末の通信量とデータ容量を圧迫しない為に、協力者が参加する可能性があるセンシングプロジェクトのみダウンロードする必要がある。また、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必要がある。協力者の物理的コストを軽減させるために、協力者へ通知と協力者自身の操作を最小限に抑える必要がある。依頼者の制作した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のみにセンシング依頼通知を送る必要がある。例えば、時空間に近いもしくはすでに進入している場合である。また、一度センシング依頼に承諾、拒否した場合そのセンシングプロジェクトから通知は発行されない。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必要がある。協力者の心理的コストを軽減するために、協力者はすでに承諾したセンシングプロジェクトへの拒否や、既にアップロードしたセンサデータに削除申請が出せる必要がある。本アプリは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。また、アップロードされるセンサデータは協力者のプライバシーを侵害しない為に、匿名化及び抽象化する必要がある。

4.2 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

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モバイルアプリを実装する。作成するモバイルアプリの候補として iOS と Android アプリがある。本研究で作成するアプリは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。そのため、iOS と比べて多くのセンサを取り扱える 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。

実装したアプリの全体図を図 4.1 に示す。



図 4.1: 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全体図

4.2.1 時空間フェンシングの実装

ジオフェンシングには緯度経度, BLE ビーコン, Wi-Fi などが使われる. ラヴラスではジオフェンシングを確実に認識する必要がある. そのため, 今回は依頼者と協力者が視覚的に認識しやすい緯度経度を採用した.

ジオフェンスが緯線, 経線に並行な線のみでできている長方形の場合, 条件分岐を用いてジオフェンシングが可能である. 現在位置の緯度がジオフェンスの最北端よりも低く最南端よりも高い, また経度が指定エリアの最東端よりも低く最西端よりも高い場合, ジオフェンス内にいると判定する. この条件分岐を用いると, 正常にジオフェンシングできるのは緯度経度と平行な辺のみで構成されている矩形のみとなる. ラヴラスのユースケースとして, 特定の施設や建物などを対象とする場合があり, 多くの施設や建物は緯度経度に並行ではない. 緯度経度に並行ではない場合, 条件分岐では正確なジオフェンシングができない. 例えば, ジオフェンスがひし形の場合を想定する.

正常なエリア判定としては, 図 4.2 左の通り現在地 (赤丸) にいた場合はエリア内に進入していないため, 通知は送られないはずである. しかし, 条件分岐を用いたエリア判定の場合は, ひし形の外側にひし形の頂点を辺の中心とした矩形の判定エリアが形成されるため, 図 4.2 右のように現在地がエリア内になると判定され, 誤って通知が送られてしまう. このように, 条件分岐を用いると自ずとジオフェンスが矩形になってしまう.

ジオフェンスが複雑な矩形な場合に対応するためにポリゴンの内外判定アルゴリズム [21] を使用する. 点の多角形に対する内外判定を図 4.3 に示す. 点の内外判定とは, まず点 (青丸) から多角形に対して線を引く. この時引く線は直線であれば, どの方向に引いても良い. その線と多角形との交点 (赤丸) の数が奇数個であれば多角形よりも内側にいる, 偶数個であれば多角形よりも外側にいると判定できる. この場合, 丁度線と多角形の辺が重なったり, 線と多角形の頂点と重なると, 誤った判定を行ってしまう. しかし, 緯度経度は小数点以下が 7 桁もあり, 位置情報は変化し続けるため, 丁度重なる場合は今回考えないものとしている. 依頼者が図 4.3 のようににどれだけ複雑な多角形のエリアを設定しても, 内部か否かは判定可能である. 今回は実装は行っていないが円のようなエリアでも判定は可能である. また, 今回は GPS のみを用いたエリア判定のため, 平面的なエリア判定しか行えない. 1 階や 2 階などの立体的なエリア判定は今後の課題とする.

ジオフェンスが緯度経度に並行な線のみで構成されている時だけ
条件分岐でジオフェンシングできるよって図

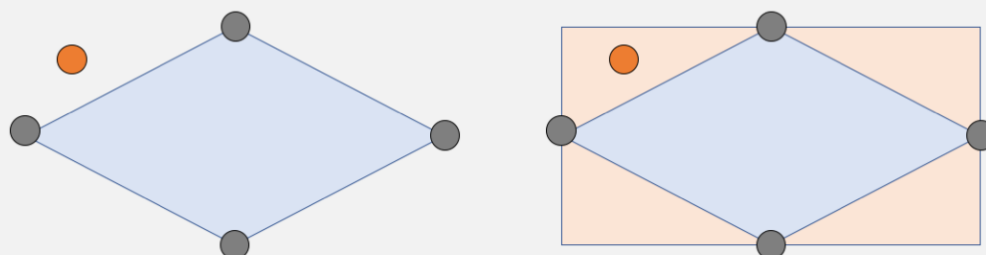


図 4.2: 条件分岐を用いたジオフェンシング

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。

時空間を拡大縮小するマージンの例を図 4.4 に示す。ジオフェンスが緯線、経線に並行な線のみでできている長方形の場合、加算と減算を用いてマージンの実装が可能である。ジオフェンスを拡大する場合は、最北端の緯度と最東端の経度に加算し最南端の緯度と最西端の経度に減算する。ジオフェンスを縮小する場合は、最北端の緯度と最東端の経度に減算し最南端の緯度と最西端の経度に加算する。しかし、本アプリはジオフェンスが複雑な矩形に対応する必要がある。ジオフェンスが複雑な矩形の場合に対応するため、ジオフェンスではなく協力者にマージンを持たせた。

協力者に対するマージンを図 4.5 に示す。協力者の現在位置から上下左右斜めに 8 つの点を作る。ジオフェンスを拡大する場合は、8 つの点のうち 1 つでもジオフェンシングに進入している時に進入していると判定する。ジオフェンスを縮小する場合は、8 つの点が全てジオフェンシングに進入している時に進入していると判定する。これにより、どれだけ複雑な矩形でもマージンを持たせられる。

4.2.2 センシング依頼通知の実装

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クラウドセンシングに参加する可能性が高い協力者に発行する。センシングプロジェクトに設定された時空間に近い協力者を、そのクラウドセンシングに参加する可能性が高いとする。例えば、すでに始まっているクラウドセンシングの付近にいる協力者や、もうすぐ自分がいる場所でクラウドセンシングが始まる協力者である。なので、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、通知を発行する。センシングプロジェクトに設定された空間から離れた場所にいる協力者はそのクラウドセンシングに参加する可能性が低いとする。例えば、すでに始まっているクラウドセンシングから離れた場所にいる協力者である。クラウドセンシングに参加する可能性が低い協力者に通知を発行しても、クラウドセンシングに参加する可能性が低く、たとえセンシング依頼に承諾しても、センサデータがもらえる可能性が低い。また、協力者は参加しないクラウドセンシングの通知が何度も発行されると不快に感じる可能性がある。すでにジオフェンスに

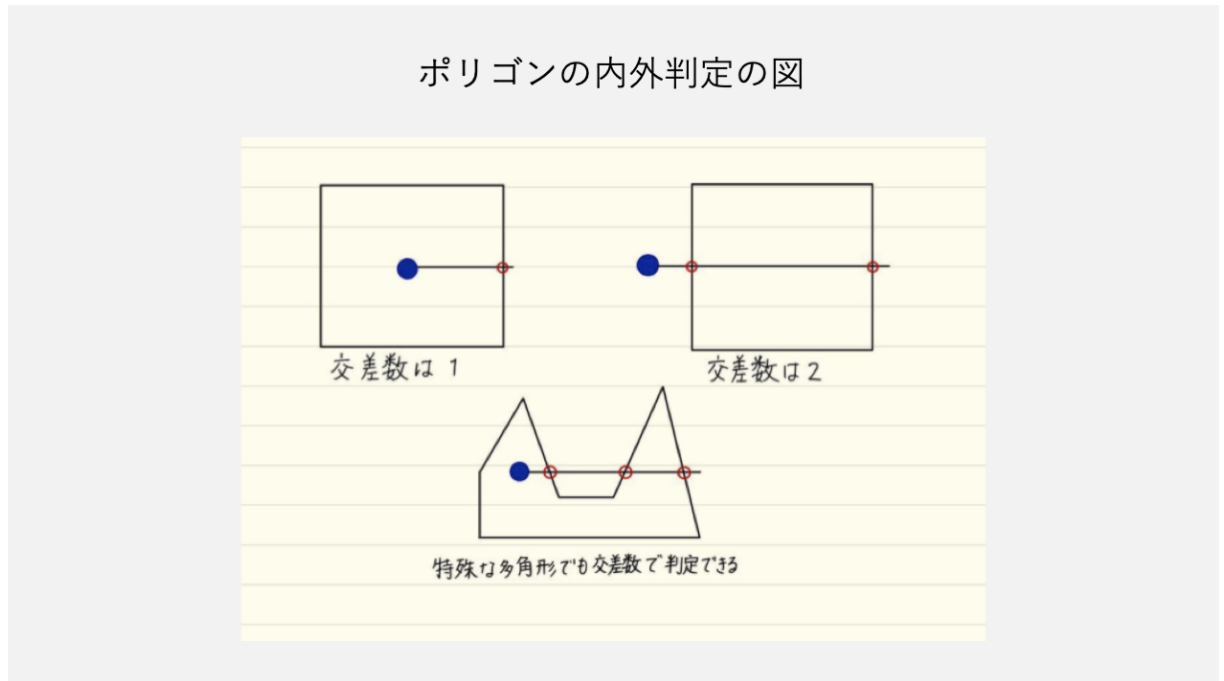


図 4.3: 点の内外判定を用いたジオフェンシング

進入していても、数日後や数ヶ月後など大きく時間が離れている場合も通知を発行しない。旅行や出張などで遠出している協力者が旅行先で、数ヶ月後に行われるクラウドセンシングの通知を受け取っても参加する可能性が低い。自宅や職場の付近で、数ヶ月後に行われるクラウドセンシングは、協力者が参加する可能性が低い。しかし、普段から設定されたジオフェンスに近づく場合、そもそもクラウドセンシングに参加する可能性が高いため、数日前、数ヶ月前に通知を発行する必要はない。また、センシング依頼に承諾してから数日すると、協力者は承諾したクラウドセンシングについて忘れる可能性がある。

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（図 4.6）。協力者に対するジオフェンスの提示は Android アプリと親和性の高い GoogleMap を使用している。協力者がセンシング依頼通知を開いた時、ジオフェンスを瞬時に認識するために、GoogleMap にジオフェンスの境界線を引き、GoogleMap のズームレベルを調整している。GoogleMap はジオフェンスの中央を中心に表示されている。ジオフェンスの中央の緯度は最北端と最南端、経度は最東端と最西端の平均から求めている。GoogleMap はジオフェンスを全て表示するズームレベルに設定される。最北端と最南端から縦の長さ、最東端と最西端から横の長さを計算し、ズームレベル毎のピクセルと距離の関係 [22] を参考に適切なズームレベルを算出する。

協力者が提示された情報に納得し協力すると判断した場合、協力者はセンシング承諾ボタンを押してクラウドセンシングに協力する。協力者はセンシング依頼画面に提示される情報を確認する。この時、協力者は提示された情報に少しでも不信感を覚えたり、納得できない場合はセンシング拒否ボタンを押してクラウドセンシングに協力しない。

4.2.3 自動センシングの実装

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。そのため、協力者はスマホアプリを意識して開く必要はなく、アプリケーション自体を終了させなければ、途中でセンシングは終了しない。バックグラウンドにより、協力者の操作などの負担の軽減に加え、センシングをしているという感覚を意識させないため、より普段の振る舞いをセンシングできる。

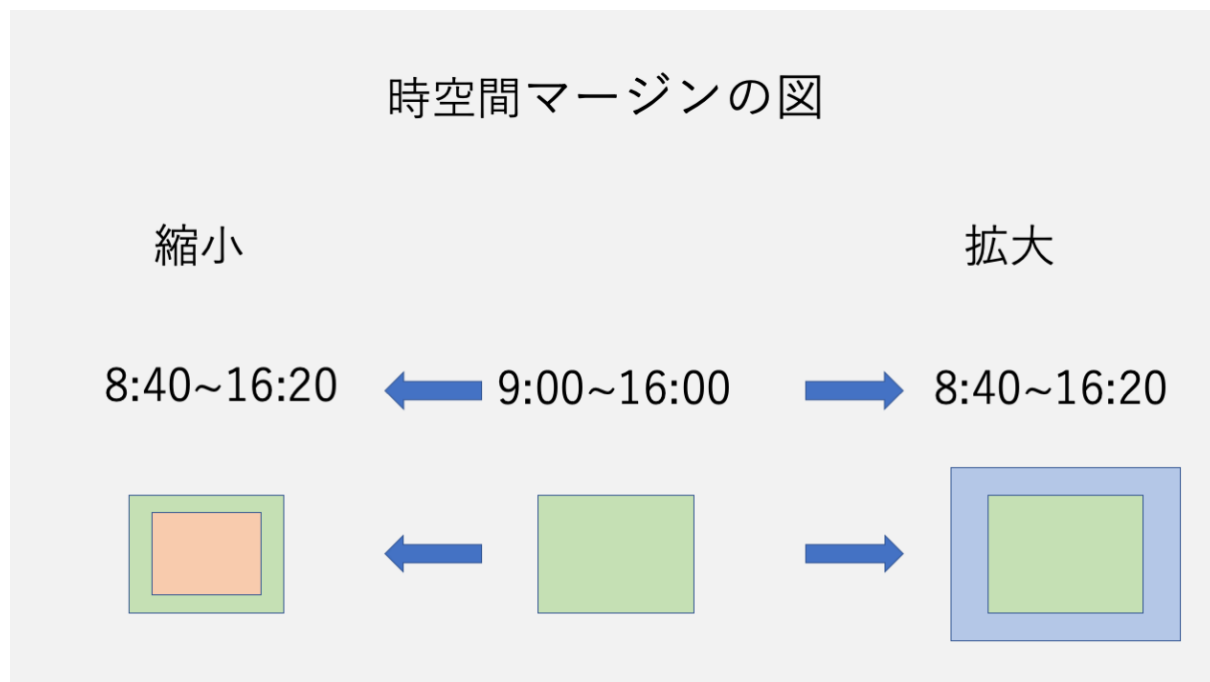


図 4.4: 時空間を拡大縮小するマージンの例

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。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取る。しかし、時空間が小さい場合、狭くするマージンを取りすぎると時空間に進入しづらく、または進入できなくなってしまう。例えば縦横どちらかが 10m 以下のジオフェンスに対して狭くするマージンを 5m 以上取ると進入できなくなる。同様に時間を狭くするマージンを設定された時間より多くとってしまうと進入できなくなる。そのため時空間を狭くするときのマージンは時空間の大きさを考慮する必要がある。現時点でマージンはセンシングプロジェクト毎に設定している。

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。さまざまなクラウドセンシングに対応するために多くのセンサと周波数に対応する必要がある。例えば、歩行推定では加速度センサ、気圧センサ、角速度センサ、位置情報などが必要になる可能性がある。騒音計測では音センサ、環境測定では温度や湿度が必要になる可能性がある。センサの種類だけではなく、自由に設定できる周波数も必要である。同じセンサでも、用途によって周波数はさまざまである。例えば、気圧センサを歩行推定に使う場合、高い周波数でセンシングする。一方、天候推定では高い周波数でセンシングする必要がないため、低い周波数でセンシングする。依頼者が作成するセンシングプロジェクトにはセンサの種類とセンサ毎の周波数が設定されている。本アプリではセンシングプロジェクトに沿って、複数のセンサとセンサ周波数に対応したセンシングができる。例えば、加速度を 50Hz、気圧を 10Hz でセンシングなど、周波数をセンサ単位で設定できる。また、同時に複数の時空間に進入して、複数のクラウドセンシングに参加する場合がある。本アプリはセンシングプロジェクト毎にセンサの種類とその周波数を管理しているため、同時に複数のセンシングが可能である。例えば、加速度を 50Hz で取るクラウドセンシングと 20Hz で取るクラウドセンシングに協力した場合でも適当にセンシングできる。

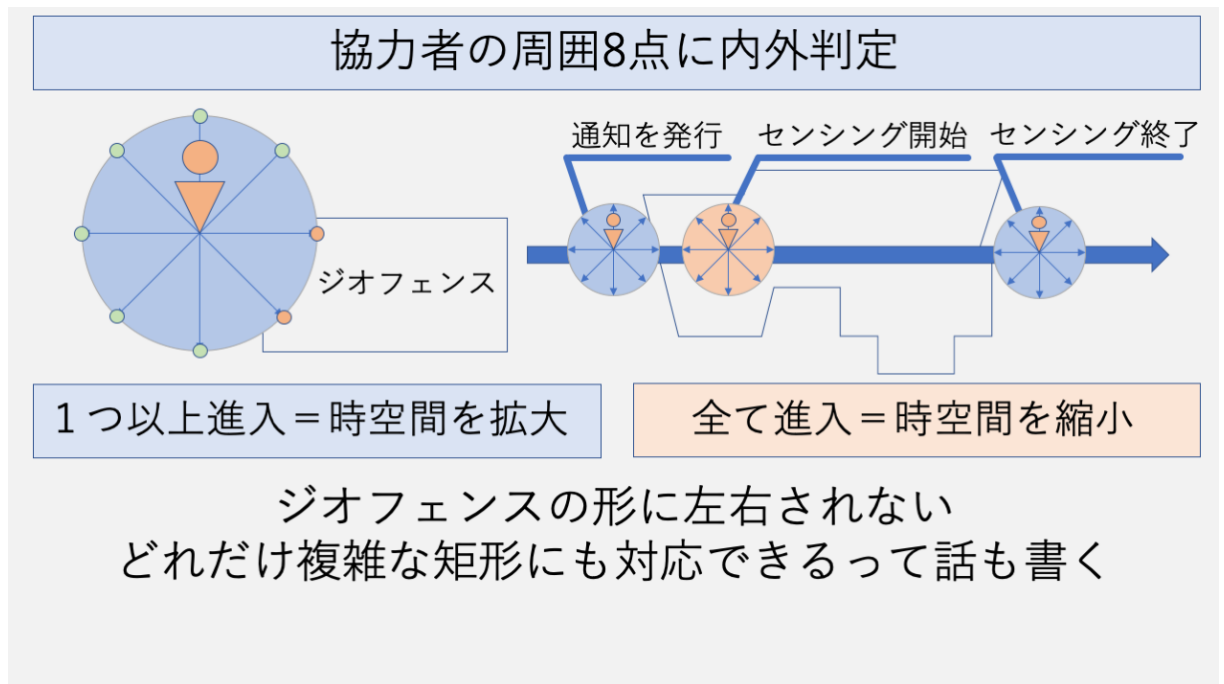


図 4.5: 時空間を拡大縮小するマージン



図 4.6: 発行される通知とセンシング依頼画面の例

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

ジオフェンスが複雑な矩形の時、マージンを含め適切に動作しているか検証した。拡大したジオフェンスに進入した時に通知を発行し、縮小したジオフェンスに進入した時にセンシングが始まり、拡大したジオフェンスから退出した時にセンシングが終了していれば適切に動作しているとする。動作検証の設定は図 5.1 に示す。

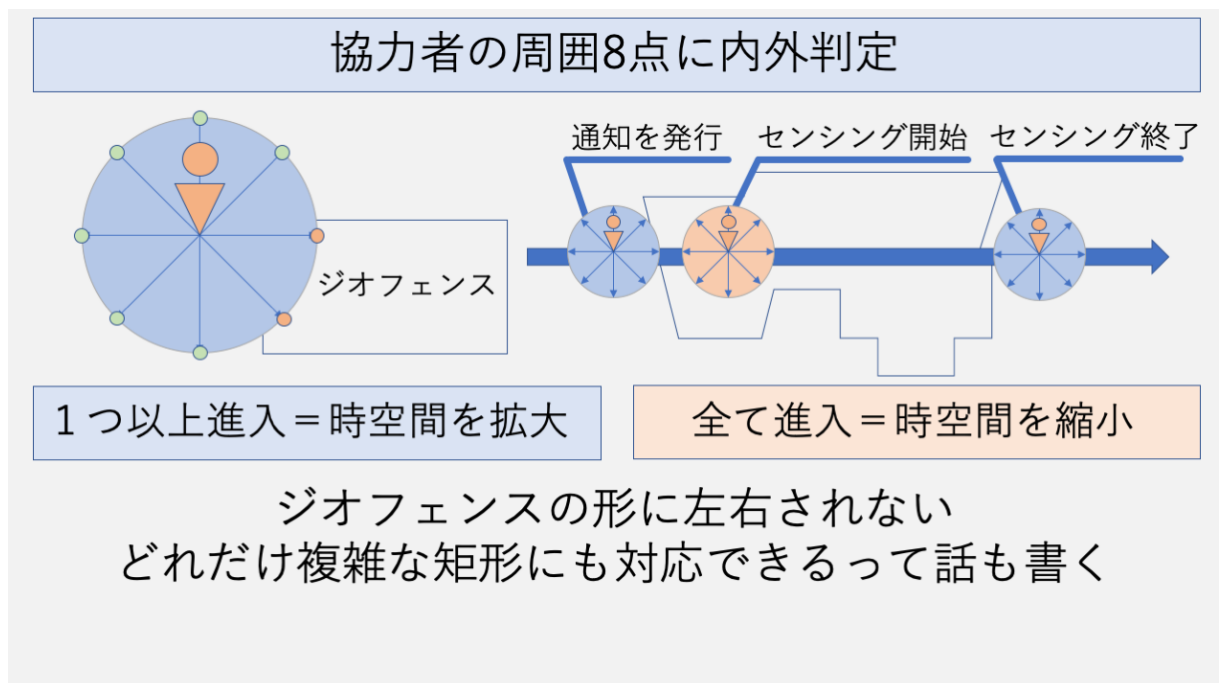


図 5.1: 時空間を拡大縮小するマージン

結果適切な動作が確認できた。

5.2 ユースケースを想定した動作検証

まず、天候によって所要時間が変化する地図アプリを作成したい人がいたと仮定する。時空間を歩行者の多い8時30分から16時50分の愛知工業大学と設定し、使用するセンサを線形加速度とGPSとした(図 5.2)。

結果、集めたセンサデータから移動速度と歩幅推定などができた。



図 5.2: 天候によって所要時間が変化する地図アプリのためのクラウドセンシング

次に、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られているか測定しようとしたと仮定する。時空間を滞在者の多い8時30分から16時50分の研究室と設定し、使用するセンサを音センサとした。

結果、集めたセンサデータから時間帯ごとの賑やかさが推定できた。



図 5.3: 天候によって所要時間が変化する地図アプリのためのクラウドセンシング

第6章 おわりに

6.1 まとめ

本研究では協力者のディスインセンティブ要素を軽減し，ユーザのセンシングの協力かつ継続を促した．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確認した．その結果時空間フェンシングが適切に行えた．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．その結果さまざまなセンサデータを集められた．

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.
- [5] 西村友洋, 樋口雄大, 山口弘純, 東野輝夫. スマートフォンを活用した屋内環境における混雑センシング. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 12, pp. 2511–2523, dec 2014.
- [6] 細川諒, 白石陽. 利用者の歩行特性と乗降車順を考慮したバス内混雑状況推定手法の提案. 第 82 回全国大会講演論文集, 第 2020 巻, pp. 221–222, feb 2020.
- [7] 朴斌, 相原健郎. クラウドソースによるモバイルセンシングを用いた路面状況推定. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 10, pp. 1784–1793, oct 2018.
- [8] H. Tangmunarunkit, C. K. Hsieh, B. Longstaff, S. Nolen, J. Jenkins, C. Ketcham, J. Selsky, F. Alquaddoomi, D. George, J. Kang, Z. Khalapyan, J. Ooms, N. Ramanathan, and D. Estrin. Ohmage: A general and extensible end-to-end participatory sensing platform. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, Vol. 6, No. 3, April 2015.
- [9] ohmage — open data collection. <http://ohmage.org/>. (Accessed on 01/23/2021).
- [10] Denzil Ferreira, Vassilis Kostakos, and Anind Dey. Aware: Mobile context instrumentation framework. *Frontiers in ICT*, Vol. 2, , 05 2015.
- [11] Aware – open-source context instrumentation framework for everyone. <https://awareframework.com/>. (Accessed on 01/23/2021).
- [12] Kasthuri Jayarajah, Rajesh Krishna Balan, Meera Radhakrishnan, Archan Misra, and Youngki Lee. Livelabs: Building in-situ mobile sensing & behavioural experimentation testbeds. In *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '16, p. 1–15, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [13] Yutaka Arakawa and Yuki Matsuda. Gamification mechanism for enhancing a participatory urban sensing: Survey and practical results. *Journal of Information Processing*, Vol. 24, pp. 31–38, 01 2016.
- [14] 河中祥吾, 松田裕貴, 諏訪博彦, 藤本まなと, 荒川豊, 安本慶一. 観光客参加型センシングによる観光情報収集におけるゲーミフィケーションの有効性調査. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, 第 2018 巻, pp. 145–151, jun 2018.

- [15] 松田裕貴, 荒川豊, 安本慶一. 多様なユースケースに対応可能なユーザ参加型モバイルセンシング基盤の実装と評価. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, 第 2016 巻, pp. 1042–1050, jul 2016.
- [16] Parmosense — top. <https://ubi-naist.github.io/ParmoSense/>. (Accessed on 01/23/2021).
- [17] 坂村美奈, 米澤拓郎, 伊藤友隆, 中澤仁, 徳田英幸. Minaqn: 市民参加型まちづくりのための参加型センシング web プラットフォーム. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 10, pp. 2162–2174, oct 2016.
- [18] 気象庁 — アメダス. https://www.jma.go.jp/bosai/amedas/#area_type=japan&area_code=010000. (Accessed on 01/23/2022).
- [19] Nied — 海底地震津波観測網—日本海溝海底地震津波観測網:s-net. <https://www.seafloor.bosai.go.jp/S-net/>. (Accessed on 01/23/2022).
- [20] 山崎昶. 法則の辞典. 朝倉書店, 2006.
- [21] 【第 2 回】点の多角形に対する内外判定 | 【技業 log】技術者が紹介する nttpc のテクノロジー | 【公式】nttpc. https://www.nttpc.co.jp/technology/number_algorithm.html. (Accessed on 01/28/2021).
- [22] Google map の各ズームレベルごとのピクセル数と距離の関係. <https://kinsentansa.blogspot.com/2009/09/google-map.html>. (Accessed on 01/25/2022).