

コンシューマ・システム論文

観光向けアプリケーションを想定した iOSを中心とした適応的ジオフェンス制御

板崎 輝^{1,a)} 渡邊 悠太¹ 楠嶺 生宏¹ 宇式 一雅¹ 藤井 彰¹ 三宅 正史²

受付日 2018年2月28日, 採録日 2018年8月3日

概要: 近年, 着地型観光への取り組みが活発化しており, 観光動線把握や, 1 to 1 サービスの提供ニーズが強くなっている. それを受けて筆者らは, スマートフォン向けのアプリケーションを観光客に提供し, それを用いたサービス提供と, サービス向上のため動線把握を行う仕組みを提案している. この提案での動線把握には, バックグラウンドでの動作も考慮し, ジオフェンスを採用している. このジオフェンスの設定数には制限が存在するため, 多数の地点を定義し, 動線を把握したいという利用シーンにマッチしない. そこで筆者らは, まず十分な数のジオフェンスを定義しておき, その中から観光客の現在地周辺のジオフェンスを適応的に選択する機構を開発した. 本論ではまず, 適応的ジオフェンス制御機構を実装し, 正常動作を確認した. 次に, 移動状況に応じて適切なフェンス半径を設定する手法について評価を行い, 性能目標のチェックイン率 80%を満たすことを確認したので, これを報告する.

キーワード: 領域観測, ジオフェンス, 動線把握, 観光, アプリケーション

Adaptive Geofence Control Centered on iOS for Tourism Applications

AKIRA ITASAKI^{1,a)} YUTA WATANABE¹ NARUHIRO KUSUMINE¹ KAZUMASA USHIKI¹
AKIRA FUJII¹ MASASHI MIYAKE²

Received: February 28, 2018, Accepted: August 3, 2018

Abstract: In recent years, many sightseeing spots are actively engaged in landing-type tourism. There is a growing need to grasp flow lines of tourists and to provide one - to - one marketing. In response to this, the authors have proposed a mechanism to create tourist applications for smartphones, provide services using the applications, and grasp flow lines for improving services. To understand the flow line in this proposal, geofence is adopted. However, Apple and Google are limiting the number of the geofences. In the tourism field there are usage scenes where application providers tend to define a number of points, in which case, existing methods lack several requirements. Therefore, we first defined a sufficient number of geofences, and developed a mechanism to adaptively select the geofences around the present location of tourists from among them. In this paper, we first have developed an adaptive geofence control mechanism for iOS platform and evaluated appropriate system performance. Next, we evaluated a method to set an appropriate fence radius according to the movement situation and confirmed that it meets the check-in rate of the performance target of 80%, so we report this.

Keywords: region monitoring, geofence, flow line, sightseeing, application

1. はじめに

近年, 着地型観光への取り組みが活発になってきている. 着地型観光とは, 出発地が主体となって観光プランを決めるのではなく, 観光地が主体的にアレンジする観光旅行を指す. その流れを受けて, 2015 年から登録が開始

¹ 株式会社富士通研究所
FUJITSU LABORATORIES LTD., Kawasaki, Kanagawa
211-8588, Japan

² 富士通株式会社
FUJITSU LIMITED, Minato, Tokyo 105-7123, Japan

^{a)} itasaki.akira@jp.fujitsu.com

された日本版 DMO (Destination Management/Marketing Organization) は急速に登録数を伸ばし、2017 年 11 月 28 日時点で 133 件の候補法人が登録されている [1]。日本版 DMO とは、多様な関係者と協働しながら、明確なコンセプトに基づいた観光地域づくりを実現するための戦略を策定するとともに、戦略を着実に実施するための調整機能を備えた法人を指す。このように日本版 DMO が多数設立された背景の 1 つに、これまでの観光地域づくりではデータ収集・分析が不十分だった点があげられる [2]。

そのため、DMO は個々の観光客の動線等、様々なマーケティングデータを収集し、それをもとに戦略策定や観光商品の造成を行い、その結果をピンポイントで観光客に届け、そこからフィードバックを取得するというサイクルを回したいと望んでいる [3]。このために必要な機能は、以下 2 つである。

- 観光客の動線把握
- 観光情報 (属性、TPO 等に応じた個別情報) 提供手段

筆者らは、OS が提供するジオフェンスという測位機能と、弊社で開発したプレイスサービス [4] を用いてこれらを提供しようと考えた。ジオフェンスとは、スマートフォンの各 OS が提供する測位機能で、地図上に円を定義し、デバイスがその境界を横切ったタイミングでアプリに通知を送るサービスを指す。プレイスサービスとは、TPO に応じた観光情報提供と観光客の動線把握を可能にするモバイルアプリケーション (以下アプリ) 向けのサービスである。

本論では最初に、ジオフェンスを観光分野に適用する際の課題と、それを回避するための適応的ジオフェンス制御について報告する。それを受けて、4 章では、提案手法の評価およびその課題について述べる。さらに、そこで明らかになった課題を解くため、実運用に即したパラメータ設定に関する方式検討と評価を行った。これを 5 章で詳述し、ジオフェンスを動線取得に活用するための条件について報告する。

2. 先行研究

本研究で対象とするジオフェンスについては、篠原によるアプリの開発例 [5] があるが、この文献では測位精度や行動ログの取得には言及されていない。

その他、ジオフェンスは利用しないものの、位置情報の継続的な取得については、多数の先行研究が存在する。

GPS を活用し、地図上の任意の図形内に入ったことを検知し、観光情報を提示する実験として、Priandani らの実験がある [6]。この実験では、100% の精度 (誤差 5-15m) でフェンスへの侵入を検知しているが、OS のジオフェンス機能を活用していないため、アプリバックグラウンド時には通知できない可能性が残る。

人工衛星を活用した測位については、安田の研究がある [7]。この文献では、GPS の測位原理や測位手法、精

度、その応用について概観されている。また、GLONASS、GALILEO といった他の衛星についても言及されている。

GPS ロガーを活用した観光客の行動ログ取得については、長尾による研究 [8] がある。この文献では、周遊型観光行動情報 (行動ログ) の抽出、分析を行っているが、レンタカーに組み込まれた GPS ロガーを利用しているため、TPO に応じた観光情報提供には別の機構が必要となる。

3. 提案手法

3.1 従来システム

筆者らが提供するプレイスサービスのシステム構成を図 1 に示す。プレイスサービスは、クラウドサービスとスマートフォンにインストールする基本アプリから構成され、クラウドサービスはコンテンツ DB とその配信機能を持ち、基本アプリは、位置や時刻等の TPO に応じてクラウドからコンテンツを受信し、ユーザに提示することができる。

このサービスを活用したアプリにより、観光客に対して、TPO に応じた観光情報を届けることができる。また、OS が提供する測位手段を活用することで、動線把握が可能となる。動線把握については、次節以降で述べる。

本システムを採用する理由として、システムの拡張を容易にする効果があげられる。図 1 に示すとおり、プレイスサービスは位置取得サービスと情報提示サービスを分離して開発可能な基盤であるため、本サービス上で動線把握アプリを作成しておくことで、将来的に、それに応じた観光情報提供機能を作り込むことが容易になる。さらに、このシステムを多数の DMO に展開することを視野に入れた場合も、開発工数の削減やログデータの DMO 間相互活用等、多数のメリットが想定される。

3.2 OS が提供する測位手段

ここで、スマートフォンの主要 OS (Android, iOS) が

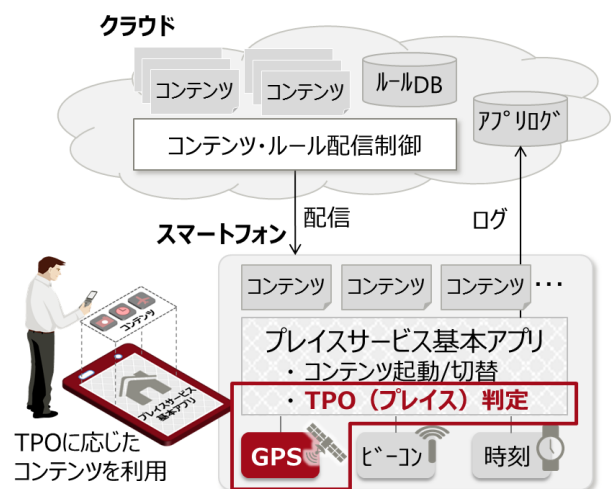


図 1 プレイスサービスのシステム構成

Fig. 1 System configuration of place service.

表 1 各 OS が提供する測位手段

Table 1 Comparison of positioning methods provided by each OS.

OS	名称	BG 動作	BG 通知	精度
Android	FLP / Location Manager	△	×	◎
	Geofencing	○	○	○
	others (Gnss Measurement等)	△	×	◎
iOS	標準位置情報サービス	○	×	◎
	領域観測	○	○	○
	大幅変更位置情報サービス	○	×	△

提供する測位手段を表 1 に示す。

旅行動線把握と観光情報提供を行うためには、バックグラウンドで継続的に測位すると同時に、TPO に応じてプッシュ等の手段でユーザーに情報提供するという、2つの要件を満たす必要がある。

表 1 に示したように、各 OS は様々な測位手段を提示しているが、バックグラウンドで通知を出せる手段は各 OS で 1 つしかない [9], [10]。このため、Android では Geofencing, iOS では領域観測を用いることとする（以下、どちらもジオフェンスと表記）。

ジオフェンスを利用するにあたり、iOS で設定できるパラメータは中心座標と半径のみである。一方、Android はいくつかパラメータが利用できるが、本論では、両 OS に共通でのサービス提供を考慮し、共通に利用可能なパラメータによる議論とする。Android のみで利用可能なパラメータについては 5.4 節で議論する。

3.3 ジオフェンスの制約

ジオフェンスとは、Android, iOS によって提供される機能の名称である。ある地点（緯度、経度）と半径を指定すると、デバイスがその円の円周を横切ったときに OS がアプリに通知するというものである。以下、円に入ったときをチェックイン、円から出たときをチェックアウトと呼ぶ。また、チェックインとチェックアウトをまとめてイベントと呼ぶ。

ジオフェンスを用いる場合、OS ごとに設定可能なフェンス数に上限がある。iOS の場合、1 アプリに対して 20 個、Android の場合は 1 アプリに対して 100 個以下しか設定できない。一方、観光用途を想定した場合、たとえば長野県公式観光ウェブサイトであるさわかや信州旅.net [11] を例にとると、7 カテゴリー 6 地域に分け、「山岳」という項目だけでも 233 の観光スポットが登録されている。この情報をもとに、観光客に情報を提示しようとする、20 や 100 というフェンス数では賄いきれなくなる。

3.4 選択アルゴリズム

そこで本研究では、OS の制約にかかわらず、多数のフェ

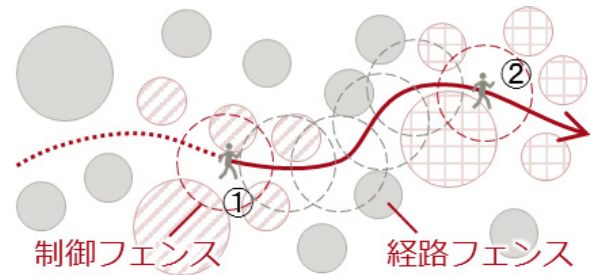


図 2 適応的ジオフェンス選択の模式図

Fig. 2 Schematic diagram of adaptive geofence selection.

ンスを設定したうえで、そのなかから適応的にジオフェンスを選択させるアルゴリズムを考案した。その動作の模式図を図 2 に示す。

図 2 では、破線の円で示した「制御フェンス」と、実線の円で示した「経路フェンス」という 2 種類のフェンスを定義している。制御フェンスは、ある時点での現在地を中心としたフェンスを指し、経路フェンスは、観光スポット等に設置し、動線把握や観光情報提示に利用することを想定したフェンスを指す。この 2 種類のフェンスを活用し、適応的にフェンスを選択する挙動を以下に示す。

まず、観光スポットの周囲等に必要だけ経路フェンスを設置する。そして、本アプリをインストールした端末を持つユーザーが移動するシーンを考える。端末起動時に、現在地を中心とした制御フェンス (①) を設定する。その際、端末の現在地周辺にある n 個の経路フェンスを選択し、それらのフェンス (図 2 の①で示した制御フェンスと、赤い斜線で示した 5 つの経路フェンス) を監視対象として OS に渡す。ここで、 n は iOS の場合、フェンス数の上限値である 20 個から制御フェンス 1 個を引いて、最大 19 個まで設定できる。その後、端末が制御フェンスの外に出たとき、既存の制御フェンスを破棄し、新たに端末の現在地を中心とした制御フェンスを作成する。その際、同様に端末付近にある n 個の経路フェンスを選択し、OS に渡す。以下、同様に繰り返すことで、たとえばユーザーが②の位置にいるときにも、その周囲の経路フェンスを監視対象とすることができる (図 2 の赤い格子で示した 5 つの円がこれにあたる)。ユーザーが経路フェンスを通過しない場合であっても、定期的にイベントを生成することができる。

次に、端末付近にある n 個のフェンスを選択するアルゴリズムを図 3 に示す。

ここで、端末が経路フェンスの内側にある場合、 $x_i - r_i < 0$ となるが、端末が経路フェンスの外側にある場合 ($0 < x_i - r_i$) より優先的に選択される挙動となるため、問題は生じない。

以下、本論中では断りがない場合、iOS についての実験結果を示す。ジオフェンスは OS によって挙動が異なるため、OS ごとに実験する必要があるが、フェンス数の制約が強い iOS で先行して実験することとした。

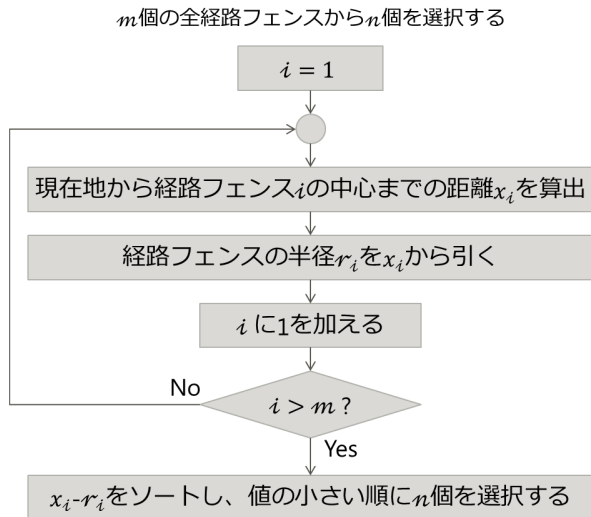


図3 ジオフェンスの選択アルゴリズム

Fig. 3 Geofence selection algorithm.

4. 選択アルゴリズムの評価と課題

本章ではまず、3.4節で示した選択アルゴリズムの動作検証結果を示す。次に、観光スポーツイベントでの現場実証結果について説明し、最後にその考察を述べる。

4.1 選択アルゴリズムの動作検証

図4に、神奈川県川崎市周辺で実験した際の、端末の所在地とそのときに選択された経路フェンスについて図示する。

本論中で示す地図はすべて OpenStreetMap [12] を使用した。本実験においては、JR 南武線の各駅に経路フェンスを設置し（点線の円で図示）、筆者は本アルゴリズムを実装したアプリを試作し、それをインストールした端末を持って電車で移動した。その際、GPS ロガーアプリ [13] をインストールした端末も持参し、そのログを検証に使用した。本実験では、イベント生成位置の妥当性と、近傍フェンス選択率の2点について確認した。イベント生成位置の妥当性とは、GPS ロガーによる測位結果から、端末がどの経路フェンスの中にいるかを求め、その結果と、OS から通知されたチェックイン・チェックアウトのイベントが整合しているかの検証を指す。近傍フェンス選択率とは、制御フェンス生成時に選択アルゴリズムが正しく動作し、OS に正しく近傍フェンスを渡しているかの検証を指す（図4では赤色の円で図示）。結果は以下のとおり。

- イベント生成位置の妥当性 | 98.0% (341/348 点)
- 近傍フェンス選択率 | 100% (348/348 点)

イベント生成位置が妥当ではなかったデータ (2%) については、端末がいったんフェンス内に入り、その後フェンスを出た後で、OS からチェックインイベントが通知されていた。ただし、OS がチェックイン判定に利用した座標は取得できないため、OS からの通知を受けた後、アプリ

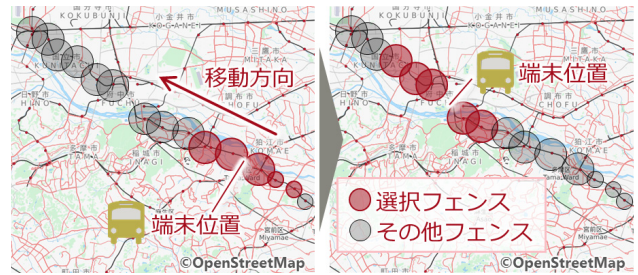


図4 適応的なフェンスの選択例

Fig. 4 Example of adaptive fence selection.

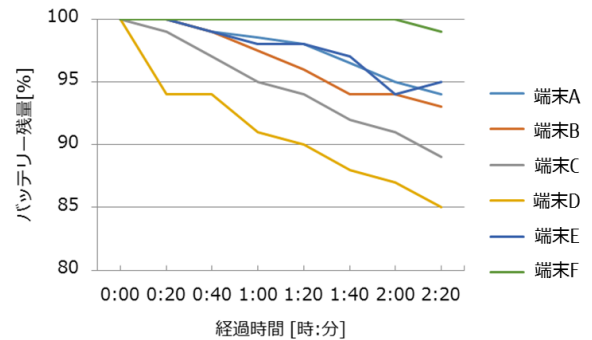


図5 バッテリー残量の変化

Fig. 5 Change in battery level.

側で再度測位を行い、座標を取得している。その時間差や測位精度によって誤判定が起こっていると考えられる。

近傍フェンス選択率については 100% となり、アルゴリズムが正しく動作していることが検証できた。

4.2 消費電力調査

次に、消費電力の調査を行った。ジオフェンスを適度に動作させるため、端末を所持して自転車で片道 6.5 km、往復 13 km の距離を移動した。また、その経路上に 15 個の経路フェンスを設置し、往復の間に通過した。往復 2 時間 20 分の移動実験を行った後、同じ端末を用いて、今度はまったく移動せず、ジオフェンス制御用アプリも起動せずに OS 等による消費電力を測定した。最後に、この2つの実験で測定した消費電力を差し引くことで、アプリ単体の消費電力を調査した。

図5に、iPhone6 および7の端末計6台を用いて、消費電力を測定した結果を示す。

適応的ジオフェンス制御機能を含むアプリを2時間20分動作させたとき、消費電力の平均は7.5%であった。

旅行時に本アプリを活用することを想定すると、朝、家を出てから夜、宿に到着するまで、10時間程度は活用したい。消費電力は一般に時間に比例するため、図5の結果より、アプリ10時間利用時の消費電力は32%程度だと推測できる。このように、旅行での利用にも問題ないことが検証できた。

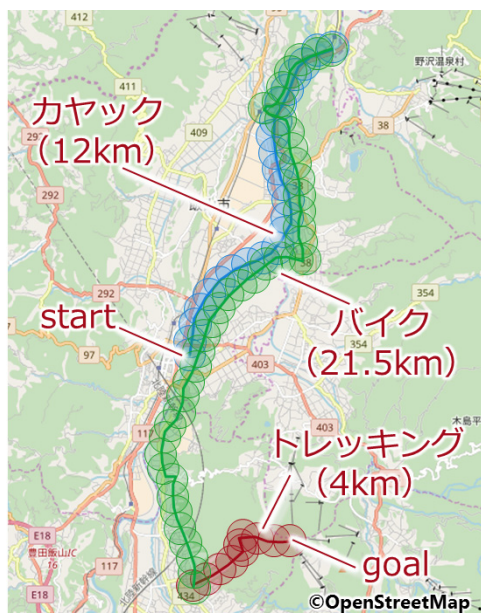


図 6 大会コースとフェンス配置

Fig. 6 Event course and fence arrangement.



図 7 適応的ジオフェンス制御を実装したアプリの画面イメージ

Fig. 7 Screen images of application implementing adaptive geofence control.

4.3 スポーツイベントでの現場評価

長野県飯山市で、SEA TO SUMMIT というスポーツイベントが開催された [14]。本イベントは、人力のみ（カヤック、バイク、トレッキング）で海から山頂まで進む、環境スポーツイベントである。本イベントにおいて、主催者および一部の参加者（モニタ参加者）に協力いただき、適応的ジオフェンスを活用したアプリの現場評価を行った。

(1) 評価概要

現場評価では、適応的なフェンスの選択およびチェックインログの取得が正しく行われているかを検証した。イベントのコースおよび作成した経路フェンスを図 6 に示す。

モニタ参加者には端末を貸し出し、それを持ってイベントに参加していただいた。貸し出した端末には、あらかじめ適応的ジオフェンスを活用したアプリをインストールして

表 2 フェンス選択アルゴリズムの正答率

Table 2 Correct answer rate of fence selection algorithm.

端末ID	フェンス選択回数	近傍フェンス選択率
A	19	100%
B	21	100%
C	15	100%
D	18	100%
E	15	100%

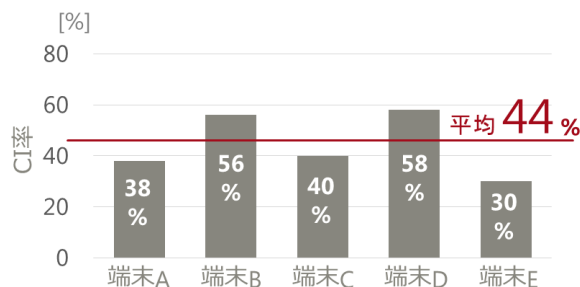


図 8 端末、アクティビティごとのチェックイン率

Fig. 8 Check-in rate by smartphone and activity.

おいた。アプリの画面イメージを図 7 に示す。

本アプリは、観光地付近に来ると、周辺観光情報のプッシュ通知がスマホに届くとともに、アプリのホーム画面上では周辺の観光情報がアイコンの形で表示され（図 7 左）、アイコンをタップするとその観光地の情報が表示される（図 7 右）という挙動を示す。これにより、周辺の観光情報を見逃さずに楽しんでもらうことを目指した。

本論では、アプリとしての使いやすさやコンテンツの是非についての議論は行わない。以下、本アプリによって取得したログの分析結果を述べる。

(2) 選択アルゴリズムの評価

4.1 節で示した、フェンスの選択アルゴリズムが正しく動いているか否かを、Geolib ライブラリ [15] を用いて現在位置（制御用フェンスの中心点）からサービス用フェンスの境界までの距離を計算することで確認した。結果を表 2 に示す。

表 2 では、いずれの端末でも、アルゴリズムが正しく動作し、端末付近のフェンスを 100% 選択していることを確認した。

(3) ジオフェンス動作結果

コース上に計 74 個のフェンスを配置し、このうちどのくらいのフェンスにチェックインしたかを調査した。配置したフェンスの内訳は、カヤック区間 24 個、バイク区間 40 個、トレッキング区間 10 個である。モニタ参加者に貸し出した端末それぞれで、フェンスにチェックインできた割合（チェックイン率）を割り出した。これを図 8 に示す。

フェンスへのチェックイン率は、平均 44% となった。

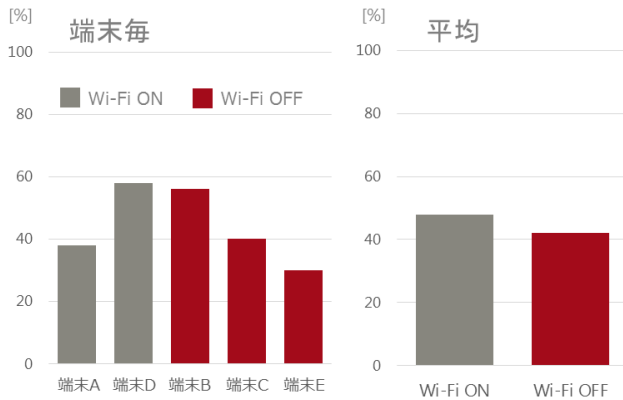


図 9 Wi-Fi ON/OFF によるチェックイン率の違い

Fig. 9 Difference in check-in rate due to Wi-Fi ON/OFF.

(4) Wi-Fi ON/OFF の影響について

Wi-Fi ON/OFF の条件が、チェックイン率に与える影響を調査した。ただし、カヤック区間では一部の端末をモニタ参加者に渡せなかったため、本区間に対する評価を除外して、バイクおよびトレッキング区間での評価を行った。各端末のフェンスへのチェックイン率、および Wi-Fi ON, OFF でそれぞれ平均値をとったグラフを図 9 に示す。

Wi-Fi の ON/OFF とチェックイン率の相関は特に見られなかった。

4.4 現場評価に対する考察と課題

初めに、フェンス動作結果について考察する。

図 8, 図 9 によると、2 回のうち 1 回以上ログを取得できていないため、非常に悪い結果といえる。

さらに解析を進め、アクティビティごとのチェックイン率と、フェンス内滞在時間の関係を求めた。これを図 10 に示す。滞在時間は端末ごとに異なるが、ここではイベント主催者が出しているアクティビティごとの所要時間から算出した。また、一部の端末はイベント開始時点でモニタ参加者に渡せなかったため、端末を車で運搬し、バイクのスタート地点で渡した。カヤックのルートとは異なるルートにより速い移動速度で運搬したため、参考値として扱い、解析からは除いている。

図 10 のとおり、フェンス内滞在時間とチェックイン率には正の相関が見られる。本件については 5 章で追加調査を行っているため、そこであわせて分析する。

次に、選択アルゴリズムの評価結果について考察する。表 2 を確認すると、フェンス選択回数にはばらつきが見られる。3.4 節で示したとおり、フェンス選択は制御フェンス生成時に行われ、制御フェンスは、アプリ起動時に現在地を中心に設定され、その後は端末が制御フェンスから出たら、再度端末周囲に新たなフェンスを生成するという挙動をする。本実験では、制御フェンスの半径を 500 m としているため、理論的には全 37.5 km にわたり 500 m ごとに制御フェンスが生成され、計 74 回フェンスの選択が行わ

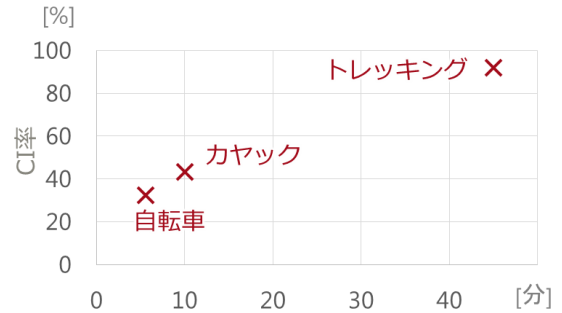


図 10 チェックイン率とフェンス内滞在時間の関係

Fig. 10 Relationship between check-in rate and stay time in fence.

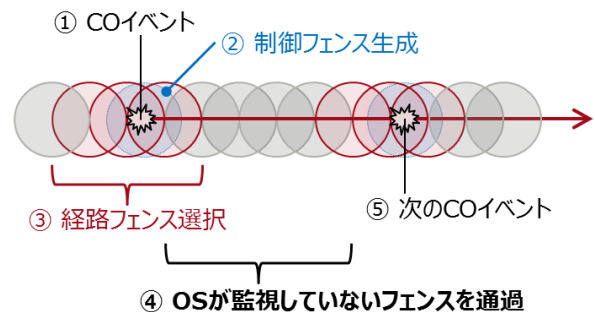


図 11 現場実験での制御フェンス生成間隔模式図

Fig. 11 Schematic diagram of control fence generation interval in field experiment.

れることが期待されるが、表 2 によると、その 2-3 割程度しか生成されていない。言い換えると、端末がフェンスの外に出てから、実際に OS が本アプリを呼び出し、再度制御用フェンスを生成するまでの間に平均 2 km 程度移動していることになる。この状況を図 11 に示す。

図 11 に示すとおり、制御フェンス生成から次の制御フェンス生成までの間隔が開いているため、OS 監視対象外の経路フェンスを通過する区間 (④) があり、この区間の経路フェンスにチェックインできていない。このように物理的に端末がフェンスを横切ったときも、何らかの理由で OS からチェックイン・チェックアウトイベントが通知されず、チェックイン率が伸びないという現象が確認できた。この問題についても、5 章で詳しく述べる。

最後に、Wi-Fi ON/OFF による影響について考察する。Google と Apple は、Wi-Fi アクセスポイント (以下 AP) の SSID や MAC アドレスを収集して、実際の位置情報と紐付けたうえで位置情報サーバに蓄積している。スマートフォンは周辺のアクセスポイントの情報を収集し、それらを位置情報サーバに送り、推定される位置情報を返してもらうことで端末の位置を把握することができる。このように、各 OS は GPS だけでなく、Wi-Fi や BT、携帯基地局の情報等も組み合わせて測位を行っている [16], [17]。

このうち、一般に GPS モジュールが最も電力を消費するとされている。そのため、各 OS は省電力の観点から主に GPS 以外の手法を活用して測位を行うと予想していた。

今回のケースでは、基地局を利用する測位は位置精度が悪く、BTは屋外にはデバイスがあまり存在しないため、主にWi-Fiが活用されると想定していた。一方、Wi-Fi OFFの場合、GPSモジュールを利用することになるが、その分測位頻度を下げることで電力への影響を減らすと予測していた。だが、今回の実験ではWi-Fi ON/OFFによるチェックイン率への影響は見られなかった。この点について、都市部での実験結果とあわせて5章で詳しく述べる。

5. 実運用に即したパラメータ設定に関する方式検討と評価

前章の結果を受け、本章ではまず、制御フェンスの生成タイミングを調査する。その後、複数の実験を通して、確実にチェックインする条件を明確化する。最後に、Wi-Fiの影響について特性調査を行い、前章の結果もふまえて考察を述べる。

5.1 改良に向けた追加評価

前章の評価結果から、フェンス内滞在時間とチェックイン率には正の相関があることが分かった。ただし、チェックイン、チェックアウトがすぐにはOSから通知されず、そのためチェックイン率が悪いという課題が新たに生じた。

本章では、前章までの知見や課題をもとに、どのような状況でも動線把握を可能とするため、フェンスサイズやOSを含む端末の条件、環境を調査し、チェックイン率がつねに80%以上となる条件を推定し、追加実験によりそれを評価した。

5.2 制御フェンス生成タイミング調査

フェンス内滞在時間とチェックイン率の相関を確認するため、神奈川県川崎市に21個の経路フェンス（半径500m）を設置し、自転車で経路上を移動する実験を行った。その際、制御フェンスのチェックインまたはチェックアウトが起きてから、次に起こるまでの時間間隔（測位間隔）を測定した。測定結果を図12に示す。

図12によると、全体の38%が15分±1分に集中していた。また、全体の88%が16分以下に分布している。このことから、16分以上フェンスにとどまるとチェックイン率が80%を超えると推定することができる。以下、80%以上のチェックイン率を性能目標とし、移動手段に応じて、それを達成するサイズのフェンスを用いて調査することとした。

5.3 実験パラメータ検討

移動速度とフェンス半径の関係は、以下の式で表される。

$$\text{移動速度 } v[\text{km/h}] \times \text{時間 } (16/60 [\text{h}]) = \text{フェンス直径 } [\text{km}]$$

ここで、移動手段を定義する必要がある。観光という利用シーンを考慮し、徒歩[4km/h]と自転車[16km/h]を採

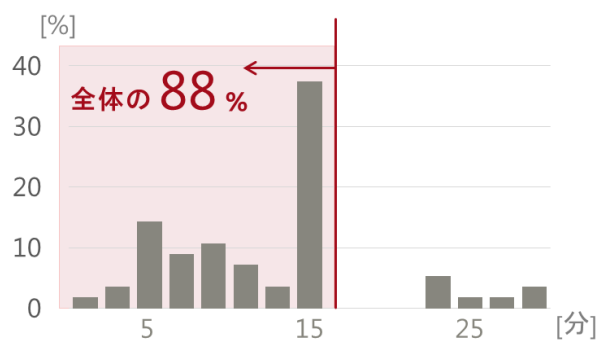


図 12 測位間隔のヒストグラム

Fig. 12 Histogram of positioning interval.

用することとした。

上式から、徒歩と自転車それぞれの経路フェンスを導き、以下2種類の経路フェンスを用いて実験を行う。

- 自転車 | フェンス半径 2,000 m (16 km/h)
- 徒歩 | フェンス半径 500 m (4 km/h)

ちなみに、この半径2kmを、たとえば都内にあてはめると、「新宿」「渋谷」「品川」「東京」「上野」の各駅を中心に円を描いたとき、重なるか重ならない程度のサイズ感であり、観光に活用するには手ごろなサイズ感といえる。

また、確実にチェックインする条件を求めるため、測位に不利な条件および環境で検証を行うこととした。その条件と環境を以下に示す。

1. 端末条件

- I. 常時画面ロック（端末操作なし）
- II. Wi-Fi OFF, BT OFF

2. キャリアの電波環境

- I. 基地局がまばらなエリア

1.-I.については、端末ロック解除と同時にチェックインを観測したことがたびたびあったため、端末操作がチェックインに影響を与えていると推測される。その影響を排除する目的で設定した。1.-II.については4章で説明したとおり。Wi-Fi ON時との比較について、次節で説明する。

2.については、基地局を用いた位置推定が可能なことが知られている[18]。ただ、その機能をOSが利用しているかは不明なため、実験によって確かめることとした。本項目について、選定したエリアを図13に示す。

芦ノ湖周辺では急斜面が多く、また、基地局エリアマップを参照すると、あまり広範囲での実験は困難と判断したため、自転車用の経路フェンスは2カ所のみ設置し、端末を複数台所持し、そこを往復することでデータ数を増やした。芦ノ湖周辺の経路フェンスレイアウトを図14に示す。

本実験の結果、多摩川周辺と芦ノ湖周辺における自転車、徒歩それぞれのチェックイン率について図15に示す。

図15に示したとおり、自転車は平均90%、徒歩では平均88%のチェックイン率となった。このことから、本フェンスサイズによって十分なチェックイン率を達成できるこ

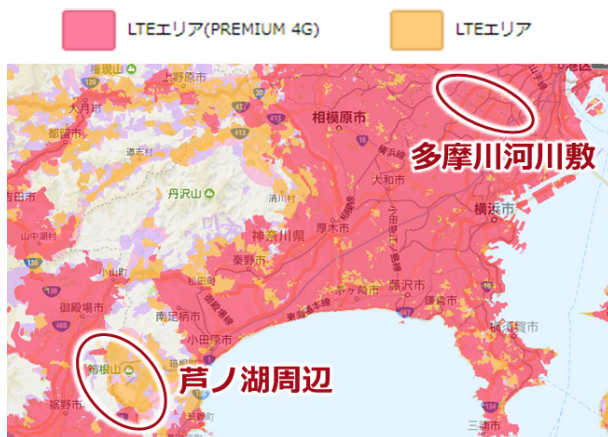


図 13 docomo サービスエリア
Fig. 13 docomo service area.

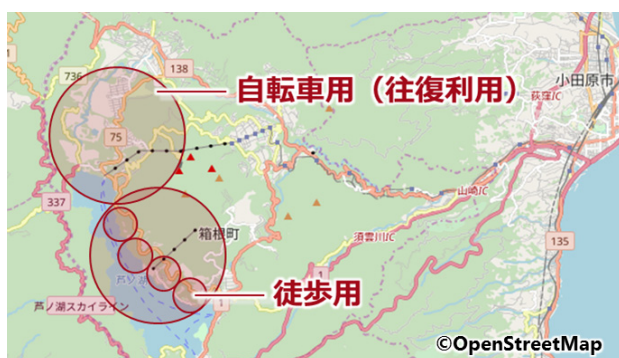


図 14 芦ノ湖周辺ジオフェンスレイアウト
Fig. 14 Geofence layout around the lake Ashinoko.

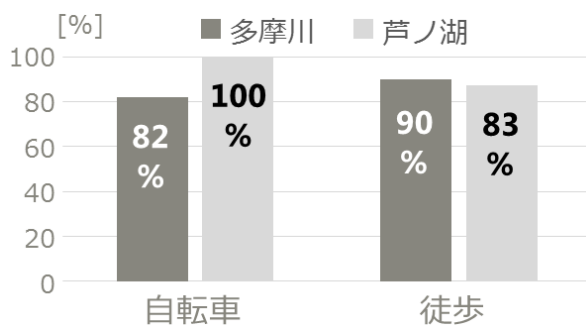


図 15 アクティビティごとのチェックイン率
Fig. 15 Check-in rate for each activity.

とが分かった。また、キャリアの電波環境による差異は本実験からは観測できなかった。

5.4 Android 端末での基礎評価

次に、Android 端末を利用した実験結果を示す。実験は、図 13 で示した多摩川河川敷エリアで実施した。現地には前節で示した半径 500m と 2km の 2 種類の経路フェンスを設置し、そこを徒歩および自転車で移動することで実施した。経路フェンスのレイアウトを図 16 に示す。

本実験では、各 5 台の Android 端末を利用した。3.2 節で述べたとおり、Android 固有のパラメータについては

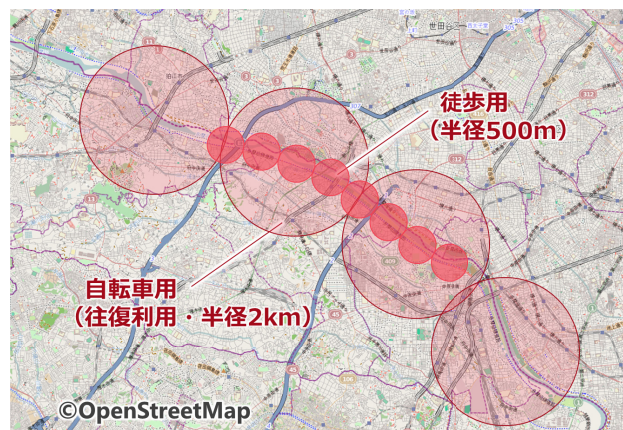


図 16 多摩川河川敷エリアでのジオフェンスレイアウト
Fig. 16 Geofence layout in the Tamagawa riverbed area.

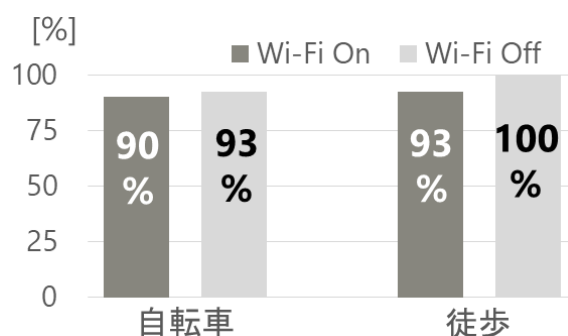


図 17 都市部における Android 端末の自転車、徒歩でのチェックイン率
Fig. 17 Check-in rate of bicycles and walking on Android terminals in urban areas.

iOS と条件を合わせるため、以下のとおり設定した。

setExpirationDuration：ジオフェンス自動削除までの時間。NEVER_EXPIRE（自動削除しない）を指定。

setLoiteringDelay：フェンスに入ってからとどまると判定するまでの時間（ms）。5 秒と指定。

setNotificationResponsiveness：フェンスイン、フェンスアウトのイベントが発生してから、次に OS からアプリが呼ばれるまでの最小時間を設定。5 秒と指定（実際には OS 側の制御で応答性が最適化される）。

また、実験に利用した Android 端末は富士通製 F-01J が 3 台、P10、P10 lite が各 1 台である。

図 16 に示すとおり、徒歩用（半径 500m）フェンス 8 個、自転車用（半径 2km）フェンス 4 個を経路上に配置し、徒歩は片道（5 台 × 8 フェンス = 計 40 点）、自転車は往復（5 台 × 4 フェンス × 2 往復 = 40 点）でそれぞれ測定した。

多摩川河川敷エリアでの自転車、徒歩でのチェックイン率を図 17 に示す。

図 17 に示すとおり、Android 端末の場合でも徒歩（半径 500m）、自転車（半径 2km）のいずれの場合も、80%以上のチェックイン率を達成することが分かった。

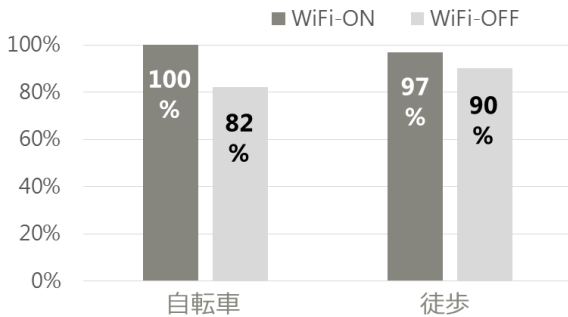


図 18 都市部における iOS 端末の Wi-Fi ON/OFF によるチェックイン率の違い

Fig. 18 Difference in check-in rate by Wi-Fi ON/OFF of iOS terminal in urban area.

5.5 Wi-Fi とチェックイン率との相関調査

最後に、iOS 端末を用いて多摩川河川敷実験での Wi-Fi ON/OFF によるチェックイン率の変化を調査した。結果を図 18 に示す。

図 18 に示すとおり、今回の実験では Wi-Fi ON と OFF とでは明確に挙動が異なり、チェックイン率を平均すると、明らかに ON の方が良い (Wi-Fi ON : 98%, 同 OFF : 83%)。特に 4km 間隔でフェンスを設置した場合 (自転車 2km, 徒歩 500m 離散), Wi-Fi ON だと 100% の確率でチェックインしていることが確認できた。一方で、Android 端末の場合は図 16 に示すとおり、Wi-Fi OFF の方が高いチェックイン率を示している。この結果を先の飯山の実験等と総合すると、以下のように解釈できる。

Wi-Fi を利用した測位は省電力で動作可能なため、iOS の場合、GPS よりも高い頻度で Wi-Fi による測位を行う。その結果、Wi-Fi ON の方がチェックインイベントを検出する確率が高くなる。ただし、これには Wi-Fi による測位の精度が高いことが前提となる。

都市部では一般に AP 数も多く、位置情報と AP の紐付け情報も多く収集されているため、この前提に適合し、高い精度で位置情報を推定することができる。

一方、SEA TO SUMMIT が行われた飯山市の河川や山間部等、AP が少ない環境では、位置情報と AP の紐付けがなされていない、周囲に AP が存在しない等の理由で、十分に Wi-Fi 測位が成立しないと考えられる。その場合、GPS 単独での低頻度の測位となり、チェックイン率が Wi-Fi OFF と変わらない結果となる。また、Android 端末の場合、Wi-Fi を ON にした場合でも測位頻度や精度に目立った向上は見られなかった。以上の結果をまとめると、Wi-Fi を活用した測位については OS に依存する部分も多く、Wi-Fi を ON にした場合でも、測位精度が向上しないケースが多かった。

5.6 考察

一連の追加評価によって、ジオフェンスの検知には以下

のパラメータが影響することが分かった。まず、図 12 で示したとおり、15 分間隔のポーリング処理が行われている。そのことは、図 15、図 17 から読み取れ、フェンス内に 15 分以上とどまることでチェックインを 80% 以上の確率で検知できることが分かった。また、Wi-Fi AP を活用した測位も影響を与えている。ただし、これは周囲の AP 数と、位置情報と AP の紐付け情報に依存する。そのため、地域や OS によってはチェックイン率が Wi-Fi OFF と変わらない結果となる。最後に、ユーザによる端末操作も影響すると思われる。データは取得していないが、スリープからの復帰直後にチェックインする事象が多く観測された。

6. おわりに

6.1 まとめ

iOS の領域観測を用いて、適応的にフェンスを制御し、観光地での現場実証を行った。フェンスの選択アルゴリズムは 100% の精度で動作していることを確認した。また、消費電力を測定し、10 時間利用した時のバッテリー消費量が 32% 程度と想定され、観光での利用時にも問題ないレベルに抑えられていることを確認した。iOS の挙動調査によって、チェックイン・チェックアウトのイベントは即座には起こらないことが分かった。都市部での追加評価により、80% 以上の検出率を確保するには、Wi-Fi OFF の場合、フェンス内に 15 分程度とどまることを想定したフェンスサイズにすることが必要だと分かった。この値は、iOS 端末を利用し、Wi-Fi ON にした場合には改善され、都市部で実験した範囲ではチェックイン率が 100% となることが確認できている。ただし、Wi-Fi の精度は OS や地域に依存するため、Wi-Fi OFF の状況でも動作するようパラメータを決めることが重要である。

6.2 今後の課題

Android の詳細な評価は喫緊の課題である。Wi-Fi ON の iOS 端末の場合、地域によってログ検出の精度が異なるという結果が出ているため、Android も箱根や飯山のようなモデル地域を選出し、そこで実証する必要がある。また、Android のジオフェンス制御には 5.4 節で述べたように、いくつかパラメータが設定可能なため、それを変化させた検証を行う必要がある。これらによって、OS や地域にかかわらずチェックイン率を確保できるよう検証する必要がある。Wi-Fi AP についても、OS ごとのより詳細な測定が必要である。本実験に影響を及ぼす主要パラメータのうち、Wi-Fi AP と基地局の密度については、より詳細な測定が必要である。そのため、キャリアの提供するエリアマップを参照して選出を始めているが、Wi-Fi AP 密度は現地で測定するまで分からない等、デバッグに時間と体力が必要なのも課題といえる。テストユーザを募る等、対策を考えたい。

また、旅行という利用シーンでは、ユーザの行動を先読みし、事前にデータを端末内に保存しておくといった処理も検討課題としてあげておきたい。

今回の結果をふまえ、アプリに搭載することも今後の重点課題である。アプリが普及すれば十分なデータが集まると期待されるため、早期にリリースし、十分なデータをもとに安定的に行動ログを取得できるようパラメータの調整を行っていききたい。

謝辞 本実証実験を行うにあたり、飯山市経済部広域観光推進室、一般社団法人信州いいやま観光局（広域観光部門）にご支援いただいた。謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 日本版 DMO 候補法人登録一覧（平成 29 年 11 月 28 日現在）、入手先 <http://www.mlit.go.jp/common/001212054.pdf>（参照 2017-12-20）。
- [2] 日本版 DMO とは？、入手先 <https://support.office.com/ja-jp/>（参照 2017-12-20）。
- [3] 観光地域づくりにおける DMO の役割、入手先 http://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_chousa/backnumber/2015pdf/20151201052.pdf（参照 2017-12-20）。
- [4] ローカルな場での端末・機器間の情報交換サービスを迅速に構築できる基盤技術を開発、入手先 <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/04/15.html>（参照 2017-12-22）。
- [5] 篠原雅貴：災害時に適応した行動を可能にするジオフェンスチェックラリアアプリケーションの開発，情報処理学会第 78 回全国大会，pp.4-999-1000 (2016)。
- [6] Malang Historical Tourism Guide Mobile Application Based on Geolocation, *ICSCA '17, Proc. 6th International Conference on Software and Computer Application*, pp.98-101 (2017)。
- [7] 安田明夫：GPS 技術の展望，電子情報通信学会論文誌 B, Vol.84, No.12, pp.2082-2091 (2001)。
- [8] 長尾光悦：GPS ログからの周遊型観光行動情報の抽出，信学技報，IEICE Technical Report AI2005-11 (2005)。
- [9] バックグラウンド位置情報の制限，入手先 <https://developer.android.com/about/versions/oreo/background-location-limits.html?hl=ja>（参照 2017-12-20）。
- [10] 位置情報とマッププログラミングガイド，入手先 https://developer.apple.com/jp/documentation/UserExperience/Conceptual/LocationAwarenessPG/CoreLocation/CoreLocation.html#//apple_ref/doc/uid/TP40009497-CH2-SW1（参照 2017-12-20）。
- [11] さわやか信州旅.net，入手先 <http://www.nagano-tabi.net/>（参照 2018-2-27）。
- [12] OpenStreetMap, available from <https://www.openstreetmap.org/#map=13/40.8649/119.7829> (accessed 2017-12-22)。
- [13] GPS ロガーアプリ：ZweiteGPS, SENSYUSYA, 入手先 <https://itunes.apple.com/jp/app/zweitegps/id635080232?mt=8>（参照 2017-12-20）。
- [14] 千曲川・高社山 SEA TO SUMMIT 2017, 入手先 <http://www.seatosummit.jp/menu117/contents557>（参照 2017-12-20）。
- [15] Geolib ライブラリ，入手先 <https://github.com/manuelbieh/Geolib>（参照 2017-12-20）。
- [16] iOS8 以降のプライバシーと位置情報サービスについて，入手先 <https://support.apple.com/ja-jp/HT203033>（参

照 2017-12-20）。

- [17] Google Play サービス 8.3 の新機能，入手先 <https://developers-jp.googleblog.com/2015/12/google-play-83.html>（参照 2017-12-22）。
- [18] 松原 剛，金杉 洋，熊谷 潤ほか：無線 LAN の端末側測位と基地局側測位を用いた測位精度改善手法，情報処理学会研究報告，UBI, Vol.2015-UBI-46, No.3, pp.1-8 (2015)。
- [19] NTT docomo サービスエリア，入手先 <https://www.nttdocomo.co.jp/support/area/>（参照 2018-02-27）。



板崎 輝（正会員）

2004 年神戸大学大学院博士前期課程修了。同年富士通株式会社入社，富士通研究所勤務。スマートフォン用アプリケーション基盤を利用したソリューションの研究開発に従事。



渡邊 悠太

2016 年公立ほこだて未来大学大学院修士課程修了。同年富士通株式会社入社，富士通研究所勤務。IoT サービス・プラットフォームの研究開発に従事。



楠嶺 生宏

2012 年静岡大学創造科学技術大学院システム工学専攻修士課程修了。同年富士通株式会社入社，富士通研究所勤務。地域産業エコシステムを用いたソリューションの研究開発に従事。



宇式 一雅

1991 年静岡大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年富士通株式会社入社，富士通研究所勤務。情報通信サービス制御アーキテクチャ等の研究開発に従事。



藤井 彰

1991 年名古屋大学工学部電子機械工学科卒業。同年富士通株式会社入社，富士通研究所勤務。スマートフォン用アプリケーション基盤を利用したソリューションの研究開発に従事。



三宅 正史 (正会員)

1988 年弘前大学人文学部人文学科卒業。同年富士通株式会社入社。社内業務設計，サービス商品化，拡販，事業管理，アウトソーシングサービスの提供等を経験した後，デジタルサイネージ，スマートフォン用アプリケーション基盤を活用したビジネスの企画・販売・構築・運用等の事業化に従事。