

# 近接情報伝播機構に基づくアドホックな Web 同期機構とその応用

渡邊 正人<sup>†,a</sup> 大冪 忠親<sup>†,b</sup> 新谷 虎松<sup>†,c</sup>

<sup>†</sup> 名古屋工業大学大学院創成シミュレーション工学専攻 <sup>††</sup> 名古屋工業大学大学院情報工学専攻

a) [masatow@toralab.org](mailto:masatow@toralab.org) b) [ozono@toralab.org](mailto:ozono@toralab.org) c) [tora@toralab.org](mailto:tora@toralab.org)

**概要** 本研究では、位置情報を利用して、協調型の Web アプリケーションの同期範囲を制御する Web 同期技術を開発している。Web アプリケーションの同期範囲を Bluetooth ビーコンによって制御することで、屋内での運用も可能である。屋内における位置情報を利用した同期範囲の制御は、従来のジオフェンスを利用した手法では困難である。本稿では、屋内における同期範囲の制御の困難さを克服するための手法として近接情報伝播機構に基づく Web 同期機構を提案する。近接情報伝播機構によって位置情報を伝播することで、同期範囲の制御の困難さを克服する。センサデバイスを用いて屋内の位置情報を取得する場合、ネイティブアプリケーションの開発技術が必要である。位置情報を利用した協調型の Web アプリケーションを、Web 技術のみでの開発を可能にすることにより、開発コストの軽減を目指す。本稿では、Web 同期機構の実装方法について述べ、評価実験により、有用性を確かめる。

**キーワード** Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Indoor Positioning System, Web 同期

## 1 はじめに

位置情報を利用した Web サービスが盛んである。本研究では、位置情報を利用した協調型の Web アプリケーションの開発における課題を解決するための、Web アプリケーション開発支援技術を開発している。特に、Bluetooth の発信機 (Bluetooth ビーコンと呼ぶ) の周辺に位置するユーザ間での協調作業を支援するためのリアルタイム Web 同期技術を開発している。ここでは、数メートル程度の狭い範囲に同期範囲を限定することで、部屋の中で複数のグループが、異なる作業を行うことを支援するための Web 同期を考えている。

数メートル程度の狭い範囲に同期範囲を限定するためには Bluetooth が有効であるが、遮蔽物を考慮すると適切な閾値の決定が困難になる。Bluetooth ビーコンから受信した信号の受信強度により、Bluetooth ビーコンと受信機間の距離が推定可能である。例えば、信号強度が閾値以上の発信機を同期対象とすることが考えられる。しかし、遮蔽物 (例えば人体) による信号の減衰のため、同期対象となる距離に存在する受信機であるにも関わらず、閾値以下の信号強度となり同期範囲から除外されてしまう。閾値を緩和すると他のグループとの混信が懸念されるため、閾値の設定は容易ではない。

本稿では、Web 同期の範囲を位置情報で限定する場合の、同期の範囲の制御の困難さを克服するための手法として近接情報伝播機構に基づく Web 同期機構を提案する。ここでは、Bluetooth ビーコンからの信号を受信機間で伝搬させることで、この問題を解決した。本稿では、Web 同期機構の実装方法について述べ、評価実験により有用性を明らかにする。

位置情報を利用した Web 同期技術は、位置情報を利用した協調型の Web アプリケーションの開発を容易にすることが期待される。従来では、各 OS に対応したネイティブアプリケーションの開発が必要であり、開発コストが高いといえる。Web 技術のみでの開発を可能にすることにより、開発コストの軽減や、プロトタイプ開発の迅速化が期待される。

本稿では、提案 Web 同期機構の設計および提案 Web 同期機構を用いたアプリケーション開発例を示す。2 章では、位置情報を用いた Web アプリケーションの開発における課題を示す。3 章では、提案 Web 同期機構の設計と、モバイルデバイスに位置 ID を割り当てるための近接情報伝播機構について述べる。4 章では、提案 Web 同期機構がモバイルデバイスに正しく位置 ID を割り当てられるかどうかを示す実験と考察を述べる。5 章では、提案 Web 同期機構を用いたアプリケーション開発例を示す。6 章で関連研究を示し、7 章でまとめる。

## 2 位置情報に基づく Web アプリケーション開発支援

本研究では、位置情報を利用した協調型の Web アプリケーションの開発における課題を解決する。位置情報を利用した協調型の Web アプリケーションの開発では、位置情報取得のためのセンサデバイスの導入コスト、同期範囲の制御の困難さ、開発コストの高さが問題となる。

本研究ではセンサデバイスとして Bluetooth ビーコン (以下ビーコン) を用いることで、導入コストおよび運用コストを軽減する。ビーコンとは、定期的に発信される Bluetooth の信号を指す。ビーコンの受信信号強度 (RSSI) によって、ビーコン発信機と受信機の相対距離を

推定することができる。ビーコンに、位置を表すラベルを紐付け、ビーコン発信機と受信機の相対距離によって、ラベルを付与するか決める規則を設けることで、ビーコン受信機の位置情報を取得することができる。モバイルデバイスを、ビーコン受信機として動作させることで、モバイルデバイスの位置情報を取得できる。ビーコン発信機と受信機の相対距離は、iBeacon[1] によって得られる評価値 (Immediate, Near, Far, Unknown) を採用した。

協調型の Web アプリケーションの同期範囲を、iBeacon によるジオフェンスによって制御する方法が考えられる。ジオフェンスとは、地理上に仮想的に設けた境界線である。人やオブジェクトの位置情報が、境界線で区切られた領域内かどうかを判定する際に用いられる。He ら [2] の提案システムが、iBeacon をジオフェンスとして利用する典型であり、ジオフェンス内に侵入したユーザは、美術館内のナビゲーションや、展示物の解説を受けることができる。ジオフェンス内に複数のスマートフォンおよびタブレットデバイス（まとめてデバイスと呼ぶ）が存在するときに、デバイス同士が 2.4GHz 帯の信号を減衰させる課題がある。過去に我々は、減衰の影響を減らすための手法を開発し、この課題を解決した [3]。2.4GHz 帯の信号は、金属によって遮蔽される性質がある。デバイス本体が金属の板のような役割をしてしまうため、ジオフェンス内に存在するデバイスが検知できない場合があった。

さらに、2.4GHz 帯の信号には、人体に吸収され減衰する特性がある。ジオフェンス内に、信号の受信機を持った人が侵入したかどうかを判別したい場合、人体による信号強度の減衰を考慮しなければならない。人体による信号の減衰を考慮して、信号強度を高めると、ジオフェンスがカバーする領域が広がる。そのため、開発者の想定外の位置でジオフェンス内に侵入したと誤判別してしまう場合がある。正しい位置情報を取得するためのジオフェンスの調整は困難であり、屋内における位置情報に基づくアプリの開発コストを上昇させる。本研究では、ジオフェンスの調整を必要とせずに、デバイスの位置情報を取得可能な機構の開発を目指す。

モバイルデバイスに内蔵されたセンサを用いるためには、ネイティブアプリケーション（ネイティブアプリ）の開発技術が必要になる。ネイティブアプリの開発には、既存の Web アプリケーション（Web アプリ）の開発技術が応用できず、新しく開発技術を学習するコストが必要になる。本研究では、位置情報の取得部分をネイティブアプリとして実装し、Web アプリから API を呼び出して位置情報を取得可能な機構の開発を目指す。これによって、アプリケーションの開発者は、Web 技術のみ

での開発が可能になり、開発コストの軽減や、プロトタイプ開発の迅速化が期待される。

### 3 近接情報伝播機構に基づくアドホックな Web 同期機構

モバイルデバイス（以下デバイス）の位置情報によって同期対象を決定する、アドホックな Web 同期機構を試作した。デバイスの位置情報は、位置 ID で表す。位置 ID は、デバイスの位置情報を識別する識別子であり、座標情報は保持しない。同じ位置 ID を持つデバイスは、同じ位置にあるとみなす。本機構は、Web アプリに位置 ID を渡す API を持ち、Web アプリと組み合わせることで一つのネイティブアプリとして動作する。位置情報に基づく Web アプリの開発者は、Web アプリの実装技術および本機構の API を用いることで、位置情報に基づく Web アプリを開発することができる。

#### 3.1 提案 Web 同期機構の構成

本機構の構成図を図 1 に示す。近接情報伝播機構については、3.2 節で説明する。本機構は、近接情報伝播機構、位置 ID 生成機および同期メッセージ中継機から構成される。近接情報伝播機構は、位置 ID をデバイスに割り当てるために用いる。位置 ID 生成機は、近接情報伝播機構から受け取ったビーコン情報をもとに、位置 ID を生成する。ビーコン情報とは、ビーコンの UUID および 2 種類の整数値（16bit 符号なし）からなる。UUID および 2 種類の整数値の組み合わせによって位置 ID を生成し、提案 Web 同期機構に渡す。同期メッセージ中継機は、提案 Web 同期機構が他のデバイスに送信する同期メッセージを受け取り、位置 ID を参照して、同じ位置 ID を持つデバイスに同期メッセージをプッシュ配信する。同期メッセージには任意の連想配列を付与することができる。同期メッセージ中継機単体で、Web アプリ開発におけるクライアント間の同期機能を実装することができる。近接情報伝播機構、位置 ID 生成機および同期メッセージ中継機を組み合わせることで、位置情報に基づく Web アプリを開発することができる。

位置 ID のみを用いて、Web アプリケーション開発者が、独自に Web 同期機構を実装することもできる。Web アプリケーションの実装コストは上がるが、開発者独自に同期のためのルールを決定することができる。本機構は、位置 ID を Web アプリケーションに渡す API を備えており、独自に Web 同期機構を実装する場合に利用できる。位置 ID の更新があった場合および、Web アプリケーション側から位置 ID 取得命令が呼ばれた場合に、本機構から Web アプリケーションに位置 ID が渡される。

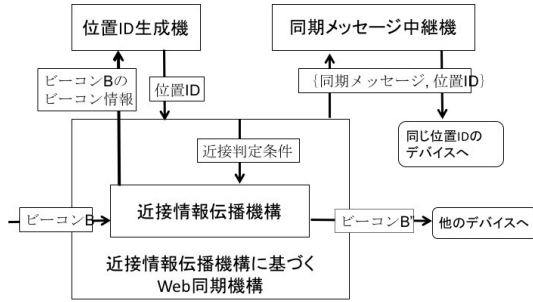


図1 近接情報伝播機構に基づく Web 同期機構の構成図

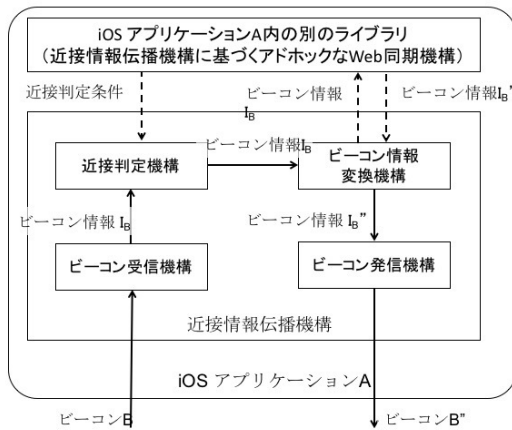


図2 近接情報伝播機構の構成図

### 3.2 近接情報伝播機構

位置 ID をデバイスに割り当てるための、近接情報伝播機構を開発した。近接情報伝播機構は、ビーコンの発信および受信機能をもっており、ビーコンの発信元からの相対距離を推定できる。推定した相対距離が、閾値よりも低い場合、ビーコンの発信元と近接していると判定し、受信したビーコンから位置 ID を生成する。閾値には iBeacon におけるビーコンの発信および受信機能の相対距離の評価値 Near を設定した。開発者が閾値を変更することもできる。相対距離の評価値と、RSSI を閾値として設定できる。

図2に本機構の構成図を示す。本機構は、ネイティブアプリに組み込むライブラリとして実装した。本機構が、ビーコン B を受信してからビーコン B'' を発信するまでの流れを、実線の矢印で表している。破線の矢印は、本機構が組み込まれた iOS アプリ内の別のライブラリとの情報の受け渡しを示している。別のライブラリは、本論文では提案 Web 同期機構が該当する。本機構は、ビーコンの受信を契機に動作する。ビーコン受信機構がビーコン B を受信すると、受信したビーコン B からビーコン情報  $I_B$  を抽出し、近接判定機構に入力する。近接判定機構では、入力された  $I_B$  の Proximity が、近接判



位置ビーコンの遮蔽なし



位置ビーコンが遮蔽される可能性あり

図3 実験環境

表1 実験の種類

実験名	遮蔽物	近接情報伝播	位置ビーコン
実験1	なし	なし	テーブル中央
実験2	あり	なし	前列テーブル中央
実験3	あり	あり	前列テーブル中央

定条件を満たすかどうかを判定する。近接判定条件は、 $I_B.proximity \leq Immediate$ ,  $I_B.proximity \leq Near$  および  $I_B.proximity \leq Far$  から一つ選択して設定する。 $I_B.proximity \leq Immediate$  は、 $I_B$  の Proximity が Immediate 以上に近い評価値であると言うことを表している。本機構は、本機構が組み込まれた iOS アプリ内の別のライブラリから近接判定条件を変更することができる。近接判定条件を満たす場合、 $I_B$  をビーコン情報変換機構に入力する。ビーコン情報変換機構では、機構 O に  $I_B$  を入力し、他の機構 O からビーコン情報  $I'_B$  を取得する。その後、 $I'_B$  をビーコン情報  $I''_B$  に代入し、 $I''_B$  をビーコン発信機構に入力する。機構 O と連携しない場合は、 $I_B$  を  $I''_B$  に代入し、 $I''_B$  をビーコン発信機構に入力する。ビーコン発信機構は、 $I''_B$  をもとにビーコン B'' を生成し、発信する。

### 4 実験と考察

ビーコンが人の体によって減衰することを確認するとともに、ビーコンの伝播によってすべてのデバイスに位置 ID を割り当てることが可能かどうか検証する実験を

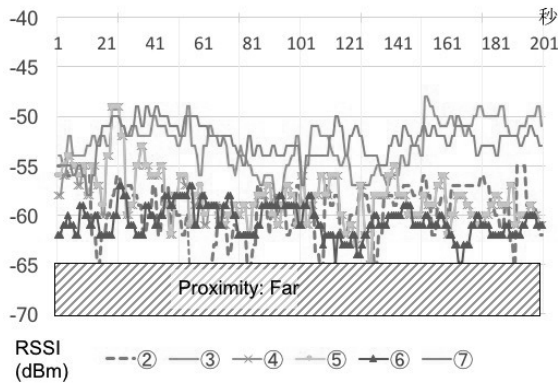


図4 実験1の結果

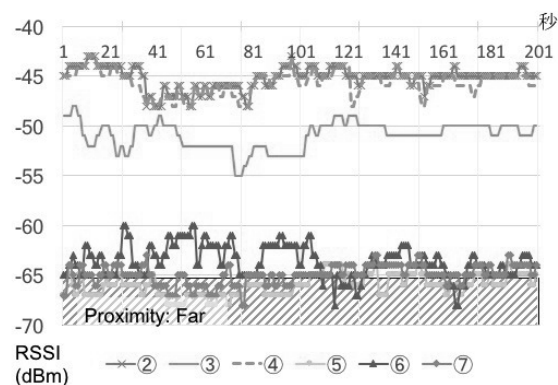


図5 実験2の結果

行った。iPad Air 7台を用い、1台を位置ビーコンとして使い、6台を実験協力者の手に持たせた。位置ビーコンには①を、6台のiPadには②～⑦の番号を割り当てた。割り当てた数字は、実験結果の説明に用いる。実験協力者の位置を2パターン用意し、位置ビーコンが発信した信号のRSSIを、近接情報伝播する場合としない場合と比較した。各iPadは実験の間ビーコンの発信および受信をしており、1秒に1回、受信したすべてのビーコンのRSSIを記録する。記録は200秒間行った。実験協力者には、席に座って両手でデバイスを保持することを指示した。姿勢の変化や、デバイスの持ち直しは許容した。

実験の様子を図3に示した。表2の通り、遮蔽物の有無、近接情報伝播を行うかどうかおよび位置ビーコンの位置によって三種類の実験を行った。図3の左図が実験1の様子を、図3の右図が実験2および実験3の様子を示している。

実験1における、②～⑦が受信した、①のビーコンのRSSIを、図4に示す。おおむね-50dBm～-63dBmの間を推移しており、Proximityの値はImmediateかNearのどちらかを示した。よって、①のビーコンのProximityがNearであるデバイスに位置IDを割り振れば、すべ

てのデバイスに位置IDを割り振ることができる。

③および⑤が度々-65dBmを下回っている(55～64秒までなど)。実験協力者がiPadを持ち直し、ビーコンの受信アンテナに干渉するように持ってしまったことが原因だと考えられる。ビーコンの受信アンテナは、目視できないため、図4程度の誤差やRSSIのゆらぎは許容しなければならない。

実験2における、②～⑦が受信した、①のビーコンのRSSIを、図5に示す。図5は、近接情報伝播をさせない場合の位置ビーコンのRSSIを表している。前列に位置していた②、③および④は高いRSSIを記録した。②および③についてはProximityがImmediateになることもあった。この時、②と④は①との距離が40cm程度だった。この状況において、ProximityがImmediateなデバイスに位置IDを割り当ててもよいと考えられる。後列に位置していた⑤、⑥および⑦は、軒並み低いRSSIを記録した。-65dBm前後を推移し、ProximityはNearとFarを同程度の割合で記録した。単純にProximityがNearおよびImmediateなデバイスに位置IDを割り当てようとする、実験2のような状況では、位置IDの割り当てが失敗する可能性があると考えられる。

実験3で近接情報伝播なしに位置ビーコンを受信させた時、RSSIが低かった⑤、⑥および⑦について考える。各デバイスに近接情報伝播をさせた場合に⑤、⑥および⑦が受信した、位置ビーコンのRSSIを、図6に示す。⑤、⑥および⑦のどれもが、目の前の席にあるデバイス(例えば⑤の場合は②)のRSSIが低い値を記録した。②と⑤の例で言うと、②を手に持った実験協力者の体が、真後ろにある⑤に対して障害物になり、②が発信したビーコンを減衰させたと考えられる。

目の前の席ではなく斜め前の席にあるデバイスのビーコンのRSSIを見ると、-60dBm前後で推移している。⑤が受信した③のビーコンのRSSI、⑦が受信した②のビーコンのRSSIおよび、⑥が受信した②および④のビーコンのRSSIが、-60dBm前後で推移している。RSSIが-60dBm前後のビーコンはProximityがNearで安定する。Immediateになる場合はあるが、Farになることは経験的にない。すなわち、実験3のような状況では、ProximityがNearかあるいはImmediateなビーコンを近接判定条件とすれば、①のビーコンを伝播させ、位置IDを割り当てることができる。

⑦が受信したビーコンのうち、③のビーコンのRSSIが、低い値で推移した。実験開始からの経過時間が51秒から54秒まで間、ProximityがFarとなった。③から⑦にビーコンが伝播されない可能性を示唆しているが、ビーコンの伝播により、位置IDは正しく割り振られる

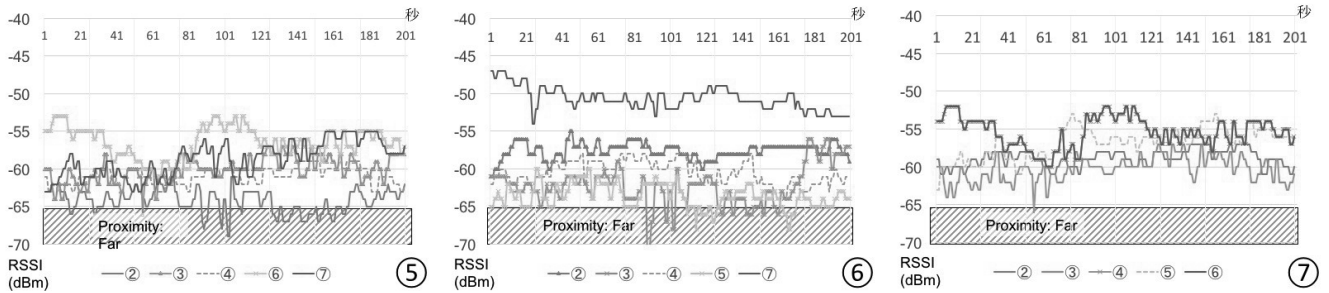


図6 実験3の結果. ⑤(左), ⑥(中央)および⑦(右)が受信したビーコンのRSSI.



図7 コンテンツの例

と考えられる。⑦が受信したビーコンのうち、③のビーコンのRSSIが、低い値で推移した代わりに、⑤が受信した③のビーコンのRSSIが-60dBm前後で安定した。この⑤と⑦の差は、③を保持した実験協力者の姿勢と持ち方が影響して発生したと考えられる。仮にこの差によって、③から⑦にビーコンが伝播されなかった場合、③から⑤にビーコンが伝播されている可能性が高いと考えられる。加えて、⑤、⑥および⑦について、隣のデバイスのビーコンのRSSIは、すべて-60dBm以上の値を記録した。よって、②から⑤に、⑤から⑥に、⑥から⑦にビーコンが伝播し、位置IDが正しく割り振られると考えられる。

## 5 近接情報伝播機構を基づく Web 同期機構の応用例

近接情報伝播機構を用いた Web 同期機構を組み込んだアプリケーションの一つとして、アドホックな協調作業のためのコンテンツ共有システムを試作した。アドホックな協調作業とは、グループメンバーがアドホックに決まる協調作業である。コンテンツとは、図7のような、テキスト、画像、URLおよびコンテンツのIDによって構成されるカード上のオブジェクトである。本システムは、グループメンバーが保持する情報をコンテンツにまとめ、共有することで、協調作業を支援する。デバイスのグループ化をのために、近接情報伝播機構を用いて位置IDをデバイスに割り当てる。同じ位置IDを持つデバイス間でコンテンツを共有することで、アドホックな協調作業を支援する。

図に示した本システムの構成図を用いて、ネイティブ

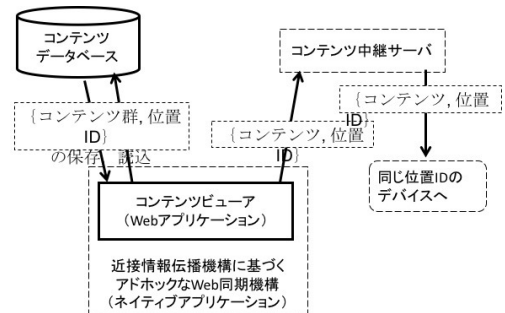


図8 コンテンツ共有システム構成図. 太い実線部分が新たに実装した部分.

アプリの開発技術をもっていない開発者でも、位置情報に基づくアプリケーションが開発可能であることを示す。本システムのために新たに実装した部分を太線の図形で示した。点線の図形で示した部分は、提案 Web 同期機構を利用して実装した部分である。ユーザインタフェース、同期のためのメッセージの内容、および位置IDの割り当て規則を、Web アプリ側に実装し、同期する情報(本システムにおけるコンテンツ)を蓄積するデータベースを新たに実装した。新たに実装した部分は、Web アプリの開発技術で十分実装可能である。ネイティブアプリの開発技術が関わる、位置IDの取得部分は、提案 Web 同期機構によって実装済みであり、Web アプリ開発者が開発する必要はない。同期のためのメッセージの内容および位置IDの割り当て規則を定めるため、提案 Web 同期機構の API を知る必要があるが、JavaScript から該当の API を呼び出すことができるため、ネイティブアプリの開発技術は必要ない。

提案 Web 同期機構の API は位置IDの更新および破棄に紐付いた4つのイベントを発行する。表2にイベント一覧を示す。これらのイベントのイベントハンドラは Web アプリ開発者が自由に設計することができる。イベントハンドラは位置IDを引数としてうけとる。位置IDを排他的に処理するのか、複数の位置IDを同時に保持するのかなど、Web アプリの開発者が、作成する Web アプリの仕様に合わせて設計することができる。

表2 提案 Web 同期機構の API が発行するイベント一覧  
イベント一覧 | 説明

イベント一覧	説明
willEnter	位置 ID が更新される直前に発行されるイベント
didEnter	位置 ID の割り当てが完了したときに発行されるイベント
willExit	位置 ID が破棄される直前に発行されるイベント
didExit	位置 ID の破棄が完了したときに発行されるイベント

## 6 関連研究

屋内でも適応可能な測位技術として、小河原らは、GPS および Dead Reckoning 技術によって測位する手法を開発した [6]。GPS の受信環境の変化に頑健な、モバイルデバイスの絶対座標の測位手法である。屋内外を行き来するような状況でのナビゲーションに有効である。一方、測位の開始時に GPS 信号の誤差が大きい場合にどう修正するか、検討する必要がある。常に屋内や GPS 信号の受信環境が悪い場所でモバイルデバイスを用いる場合には不向きである。

谷内らは、Wi-Fi 信号強度およびモバイルデバイスから得られたセンサデータによって測位する手法を提案した [7]。スマートフォンから得られたセンサデータによって歩行移動軌跡を推定し、推定結果と Wi-Fi 信号強度を元に、屋内におけるモバイルデバイスの測位を行っている。Wi-Fi 信号強度のフィンガープリントによって測位を行っており、予め設置した Bluetooth ビーコン発信機に接近した際に Wi-Fi 信号強度のフィンガープリントを更新することで、電波環境の変化に頑健な測位を実現している。フィンガープリント更新用の Bluetooth ビーコン発信機の設置には、測位対象がある程度の頻度で歩行移動軌跡に含まれるような位置を予測する必要がある。また、Bluetooth ビーコン発信機に、複数の歩行者が同時に接近した場合、ビーコンが減衰し、フィンガープリントが更新されない可能性がある。電波環境の変化の頻度および歩行者が Bluetooth ビーコン発信機に接近する頻度の予測が必要であり、測位環境の構築に習熟度が必要であると考えられる。

杉野らは、Bluetooth の信号が人体に吸収され、減衰する特徴を利用した、デバイスフリーな人感センサを開発した [5]。屋内外にかかわらず、Bluetooth の発信機と受信機の間人がいるかないかを検知できる。検知対象がデバイスを持たなくてもいい利点を活かし、介護における服薬支援に応用している。検知中の場所に、誰がいるのかや、何人いるのかを検知することが困難であるため、検知した人と、検知した人がもつデバイスを紐付けることができず、ユーザが何らかのサービスを受けるようなアプリケーションを構築することが難しい。

## 7 おわりに

屋内におけるモバイルデバイスの位置情報を用いた、アドホックな Web 同期機構を開発した。モバイルデバイスの位置情報を位置 ID で表現し、同じ位置 ID を持つデバイスを同期対象とする。本 Web 同期機構は、位置 ID をデバイスに割り振るために Bluetooth ビーコンを用いる。Bluetooth ビーコンは 2.4GHz 帯の信号であり、金属および人体によって信号強度が減衰する。人体による信号の減衰によって、正しく位置 ID が割り振られないことを防ぐため、近接情報伝播機構を用いた。近接情報伝播機構によって位置 ID が、同期対象としたいデバイスすべてに割り振られることを、実験によって確認した。本 Web 同期機構を用いたアプリケーションを試作した。本 Web 同期機構を利用して実装した部分と、Web アプリケーション部分と明確にし、ネイティブアプリケーションの開発技術なしに、位置情報を用いたアプリケーションが開発可能であることを示した。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15K00422, JP16K00420 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] iBeacon for Developers - Apple Developer <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- [2] Zhiqiang He, Binyue Cui, Wei Zhou, and Shigeki Yokoi: A proposal of interaction system between visitor and collection in museum hall by iBeacon, The 10th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), IEEE, pp.427-430, 2015.
- [3] Masato Watanabe, Yuya Sakaguchi, Tadachika Ozono, Toramatsu Shintani: A Proximity Information Propagation Mechanism Using Bluetooth Beacons for Grouping Devices, The 2nd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), pp.31-42, 2016.
- [4] MyBeacon MB004, <http://www.aplix.co.jp/product/mybeacon/mb004ac/>
- [5] 杉野恭兵, 丹羽佑輔, 白松俊, 大園忠親, 新谷虎松, “Bluetooth に基づく人感センサを利用した遠隔介護支援システムの試作”, 電気学会論文誌 C, Vol.136, No.2, pp.218-225, 2016.
- [6] 小河原亮, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 伊藤篤, 渡辺裕: GPS 測位情報とセンサ情報に基づく位置推定システムに関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1, pp.2-12, 2015.
- [7] 谷内大祐, 前川卓也: 位置フィンガープリントの自動更新を用いた電波環境変化に頑健な屋内位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.280-288, 2014.