

ビーコン情報のマルチホップによる歩行者の位置精度向上

Positioning Accuracy Improvement for Pedestrian by Using Multi-hop of Beacon Information

岩見 泰周[†]

Taishu Iwami

佐藤 健哉[†]

Kenya Sato

1. はじめに

近年、駅やショッピングモール等での屋内構造が複雑化してきている。そのため、こういった場所に初めて訪れる時、目的地までの経路や自分の現在地を把握するのは容易ではなく、電車の利用者やショッピングモールの訪問客で迷子になる人が少なからずいる [1]。こういった問題は屋内だけで発生する問題ではなく、屋外でも起こりうる問題である。これらの問題を解決するための方法として位置測位システムが存在する。しかし、既存の位置測位システムには利用できる場面が限られている、位置精度が悪い等といった様々な問題点を抱えている [2]。本研究では新たな位置測位システムを提案し、位置測位システムが抱えていた複数の問題点を解決・改善していく。そこで、本研究における位置推定と位置精度は以下のように定義する。

- 位置推定

位置測位システムを利用してユーザの位置情報を取得すること。取得した位置情報が実際の位置と一致しているかどうかは問わない。

- 位置精度

位置推定の結果と実際の位置との誤差を意味し、位置精度を向上するとは誤差を小さくすることである。屋内で利用される位置測位システムにおいて、誤差が 1m 以上ある場合、位置精度が悪い位置測位システムだと判断する [3]。

2. 既存の位置測位システム

2.1 GPS

位置測位システムとして有名なシステムの一つである。GPS の特徴は、地球外の衛星からの電波を利用するため、広範囲で位置推定をすることが可能であり、見晴らしの良い場所や電波を遮る建物が周辺にない場所では位置推定の誤差が 10m 以下になることもある。しかし一方で、屋内や周辺に建物が隣接している場所では正確な位置推定の結果を得ることが難しく、こういった場所での位置推定には向いていない。

2.2 無線 LAN アクセスポイント利用方式

ここ最近では駅構内やショッピングモール内に無線 LAN アクセスポイント（以下、Wi-Fi アクセスポイント）を複数設置している場所が増えてきており、駅やショッピングモールにいる間は、設置されている Wi-Fi アクセスポイントのどれかから常に電波を受信できる環境になってきている。無線 LAN（以下、Wi-Fi）による位置推定では Wi-Fi アクセスポイントからの電波を受信することが必要になるため、GPS と比較すると位置推定ができる範囲は狭くなる。しかし、Wi-Fi アクセスポイントは屋内に設置されることが多いことから、GPS の欠点となっていた屋内での位置推定に向いている。実際に Wi-Fi を利用した位置測位システムが複数登場しており、Locky.jp[4] や PlaceEngine[5] などがある。Wi-Fi による位置推定の大きな欠点は、位置精度が悪いということである。その理由として、Wi-Fi による位置推定は電波情報が重要となってくるが、Wi-Fi アクセスポイントからの電波は人体や壁によって減衰するため、人が多い場所では電波情報がその時その時で大きく変化する可能性があるからである。正確な電波情報を取得するためには Wi-Fi アクセスポイントとの距離が近いことが必要だが、Wi-Fi アクセスポイントを設置するにはコストがかかるため、Wi-Fi アクセスポイントの設置数の増加による位置精度向上の解決方法は容易にできない。

2.3 Bluetooth Low Energy(BLE) 利用方式

BLE は一般的な Bluetooth とは異なった性質を持っている Bluetooth4.0 規格の一部である [6]。BLE による通信を行うとき、Bluetooth の特徴でもあるペアリングを事前に行っておく必要がないため位置推定に応用しやすい。BLE に対応したスマートフォンやタブレットであれば利用可能であり、3 個以上の BLE 発信源（ビーコン）から電波を受信できれば位置推定を行うことができる。BLE を利用した位置測位システムは既に出てきており、病院などでも利用されている [7]。ビーコン自体は小さく、屋内屋外問わず容易に設置することが可能である。そのため、ビーコンが複数設置されている場所であれば屋内でも屋外でも位置推定を行うことができる。しかし、Wi-Fi による位置推定と同様で、人が多い場所での位置精度が悪いという問題点がある。Wi-Fi アクセスポイントと比較すると安価であるが、ビーコンの個数を

[†] 同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻, Graduate School of Science and Engineering Information Engineering Doshisha University

増やすことはコストがかかるため、位置精度向上のための良い解決方法とは言えない。

3. 提案システム

3.1 概要

本研究では、位置推定を行う場所が屋内であろうと屋外であろうと位置推定を行うことができ、さらに既存の位置測位システムよりも位置精度を向上させる位置測位システムを提案する。位置推定を行うときにはスマートフォンやタブレットといったモバイル端末を利用し、GPS の衛星や Wi-Fi アクセスポイント、ビーコンといった複数の電波発信源からの電波を用いることで利用場所を制限しない位置推定を実現する。位置精度を向上させるための方法として、電波発信源を動的に増やす。GPS の衛星や Wi-Fi アクセスポイント、ビーコンといった電波発信源を増やすのではなく、周辺にいる人が所有しているモバイル端末が特定の環境下においては電波発信源の代わりとなる。モバイル端末を所有している人が多くなったことから [8]、電波発信源を増やすことは容易である。電波発信源が増えることによって位置推定に利用される情報量が増えるため、位置精度が向上する。また、電波発信源となっているモバイル端末は電波の発信と受信の両方を可能しており、位置推定を行いたい時に電波発信源になっているため位置推定を行えないという問題を無くす。本研究におけるビーコンには設置されているビーコン（設置ビーコン）と電波発信源となっているモバイル端末の両方が含まれており、モバイル端末が電波発信源となることをアクティブビーコン化と呼ぶ。

3.2 利用技術

GPS と BLE を利用する。屋外では GPS と BLE の両方を利用し、屋内では BLE のみを利用する。BLE において、ビーコンから発信される電波からビーコン ID と電波強度の二つのビーコン情報を取得することが可能である。ビーコン ID を利用することでどのビーコンからの電波なのかを識別することができ、電波強度を利用することでビーコンとの距離を推定することができる。また、電波強度の強さに応じてビーコンとの近接度、例えば「近い」「遠い」等を推定することができる。この近接度推定結果によって動作を切り替えるシステムが存在しており [9]、本研究でもこの近接度推定を活用する。

3.3 電波発信源の動的増加

モバイル端末がアクティブビーコン化するかどうかの条件としてビーコンとの近接度推定結果を利用し、特定の近接度推定結果である時にだけモバイル端末はアクティブビーコン化し、その他の時には電波を受信するだけの通常通りとなる。こうすることで電波発信源が動的

に生成される。また、電波発信源が追加される時、新たな機器を設置するのではなく、誰かが所有しているモバイル端末が一時的に電波発信源となるためコストがかからない。設置されているビーコンだけからビーコン情報を取得できるようにするのではなく、電波発信源になっているモバイル端末からも取得できるようにすることで BLE 電波の範囲を拡大することが可能となる。言い換えると、ビーコン情報をマルチホップすることで電波発信源の数を増やして BLE 電波の範囲を広げることにつながり、結果的に位置精度向上につながる。

3.4 システム構成

今回の提案システムはモバイル端末とサーバ、設置ビーコンで構成されている。

- モバイル端末

スマートフォンやタブレットのことを指し、位置推定を行おうとするユーザや、ユーザ周辺にいる人が所有している前提とする。モバイル端末には端末固有の端末 ID が割り振られており、端末 ID を利用することでどのモバイル端末からの電波なのかを識別可能となる。本研究では GPS と BLE の両方を利用するため、インターネット通信と BLE 通信の機能があり、常に位置情報機能と Bluetooth 機能を ON にしておく。また、本研究用に作成した位置推定用アプリケーションがインストールされている。

- サーバ

ユーザから位置情報を要求された時に、モバイル端末から送信されてきた GPS と BLE による複数の情報を利用して位置情報を計算する役割を持っており、計算を可能とするために全ての設置ビーコンのビーコン ID と位置情報のセットをデータベースに事前に登録している。モバイル端末がアクティブビーコン化した時には端末 ID が追加の情報として送信されるので、通常通り位置情報を計算した後、データベースに端末 ID と計算した位置情報のセットを新たなビーコンとして追加する。そして、アクティブビーコン化している間は端末 ID をサーバに 1 秒ごとに送信し続けるので、1 秒間隔でデータベースに登録されている位置情報を更新していく。アクティブビーコン化していたモバイル端末が通常通りのモバイル端末に戻る時にはサーバに端末 ID を送信しないので、サーバ側で端末 ID が送信されなくなった時にデータベースからそのモバイル端末に相当するビーコン情報を削除する。

- 設置ビーコン

BLE を利用して常時ビーコン ID を送信しており、

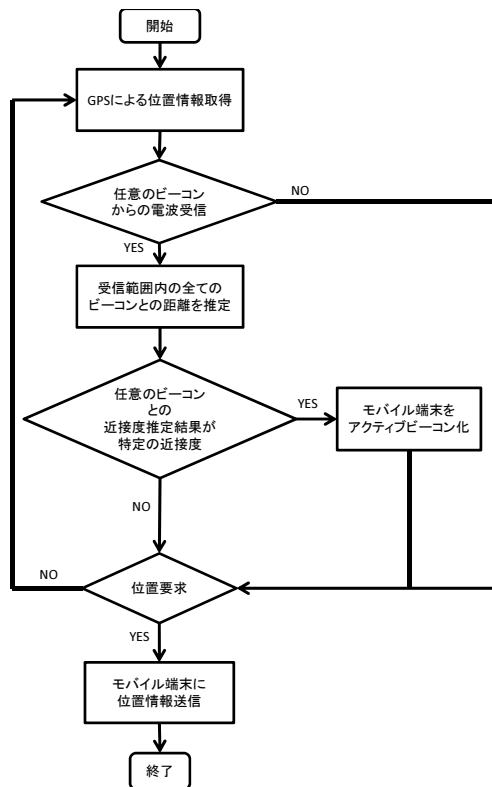


図 1: 屋外での位置推定の流れ

モバイル端末側では BLE 電波の発信範囲内であればビーコン ID と電波強度を受信することが可能である。設置ビーコンとアクティブビーコン化したモバイル端末の大きな違いはサーバとの通信の有無であり、モバイル端末とサーバが直接通信することはない。

3.5 位置推定の流れ

屋外と屋内とで流れが変わるため、それぞれの場合の位置推定の流れを図 1, 図 2, 図 3 と併せて説明していく。

● 屋外の場合

1. モバイル端末は専用のアプリケーションを起動する。
2. モバイル端末は GPS を利用して自分の現在地の情報を取得する。
3. モバイル端末が任意のビーコンの電波発信範囲内に入った場合、そのビーコンとの近接度を推定する。
4. 近接度推定結果が特定の近接度である場合、モバイル端末はアクティブビーコン化し、サーバはモバイル端末から送信される GPS の情報と BLE の情報を用いて位置情報を計算してデー

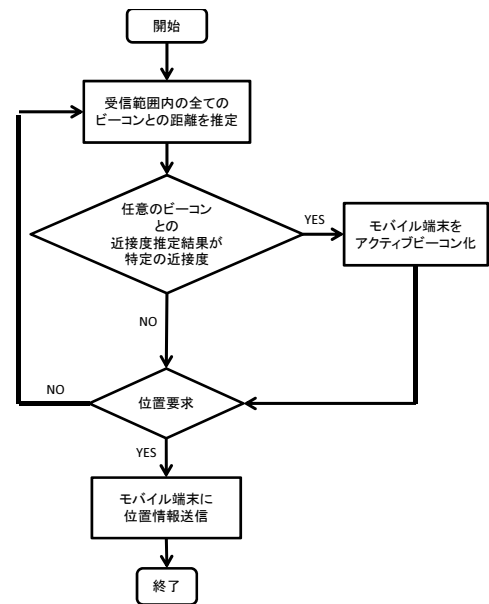


図 2: 屋内での位置推定の流れ

タベースに新たなビーコンとして情報を追加する。

5. ユーザはアプリケーションを通じて位置情報要求をサーバに送信する。
6. サーバはユーザの位置情報を計算する。(モバイル端末がアクティブビーコン化の時は既に計算済み)
7. サーバは求めた位置情報をアプリケーションに送信する。

● 屋内の場合

1. モバイル端末は専用のアプリケーションを起動する。
2. モバイル端末が任意のビーコンの電波発信範囲内に入る。
3. アプリケーションはビーコンとの近接度推定を開始する。
4. 近接度推定結果が特定の近接度である場合、モバイル端末はアクティブビーコン化し、サーバはモバイル端末の位置情報を計算してデータベースに新たなビーコンとして情報を追加する。
5. ユーザはアプリケーションを通じて位置情報要求をサーバに送信する。
6. サーバはユーザの位置情報を計算する。(モバイル端末がアクティブビーコン化の時は既に計算済み)

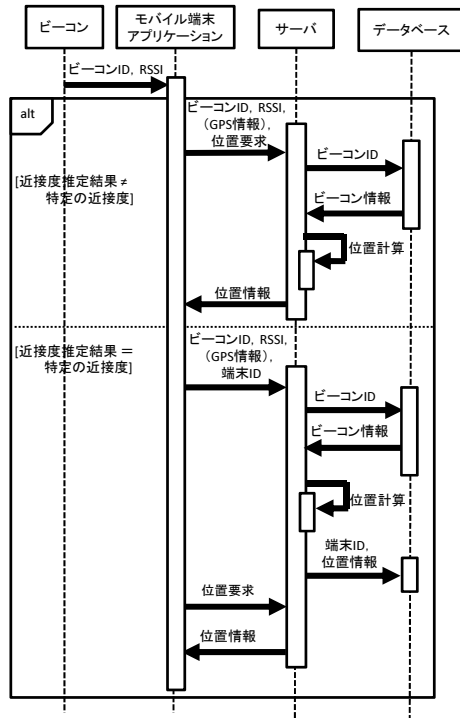


図 3: 位置測位システムの構成

表 1: 実装の詳細内容

	バージョン
iOS	10.2
MySQL	5.5.44
Apache	2.2
PHP	5.4.45
OS	Red hat4.1.2

7. サーバは求めた位置情報をアプリケーションに送信する。

4. 実装

本研究では、BLEによる通信としてiBeacon[10]を利用した。iBeaconによる近接度推定結果では、近い順からImmediate, Near, Farとなっており、推定できない時がUnknownとなる、四パターンの推定結果がある。今回の提案システムでは、近接度推定結果がNearになった時だけモバイル端末をアクティブビーコン化する。モバイル端末にはiPhone6sを、設置ビーコンにはAplix社のMyBeaconを利用した。実装の詳細内容は表1のようになっている、作成したアプリケーションはiOS用アプリケーションとWebアプリケーションの二種類あり、それぞれのプログラミング言語は表2のようになっている。

表 2: プログラム言語

アプリケーション	プログラミング言語
iOS 用アプリケーション	Objective-C
Web アプリケーション	PHP JavaScript

表 3: システムの違い

	電波発信源
提案システム	(GPS と) 設置ビーコンとモバイル端末
既存システム 1	(GPS と) 設置ビーコン
既存システム 2	GPS

5. 評価実験

5.1 内容

既存システムと提案システムのそれぞれによる位置推定の精度を比較するため、屋外と屋内の二つの実験環境で各システムによる位置推定を複数回行い、それぞれの誤差の平均と標準偏差を求めた。既存システムとして二つのシステムを用意し、その二つのシステムと提案システムの違いは表3のようになる。屋外で位置推定を行う時には提案システム、既存システム1、既存システム2を使用し、屋内での位置推定を行う時には提案システム、既存システム1を使用した。また屋外における移動手段として、徒歩の他にも車や自転車、シニアカーも存在するので、屋外環境での実験では移動手段の違いによる誤差の平均と標準偏差も求めた。

評価の場所は、屋外では図4のように京都市内の見通しの悪い交差点周辺[11]で行い、屋内では図5のように空間が330cm×270cmの部屋で行った。屋外の評価場所では、12個の設置ビーコンを、図4に示す黒丸の配置で、地面から約1mの高さで位置壁や電信柱に設置した。また、提案システムで位置推定を行うときには、交差点付近にモバイル端末を所有した3人に立ってもらった。屋内の評価場所では、4個の設置ビーコンを、地面から約1mの高さで部屋の四隅に設置した。また、提案システムで位置推定を行うときには、部屋内にモバイル端末を所有した2人に立ってもらった。

5.2 結果

屋外環境で位置推定を行った結果が図6となり、屋内環境で位置推定を行った結果が図7となった。屋外環境での位置推定の誤差の平均は表4となり、標準偏差は表5となった。屋内環境での位置推定の誤差の平均と標準偏差は表6となった。

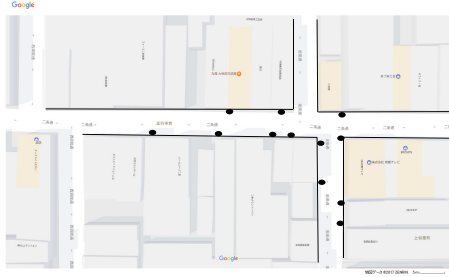


図 4: 屋外での評価場所

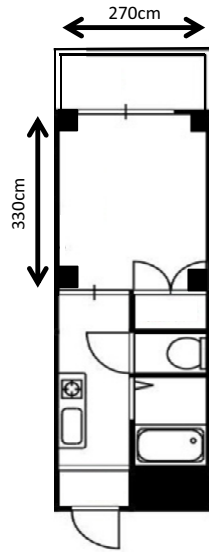


図 5: 屋内での評価場所

6. 考察

図 6 と図 7 からわかるように、位置推定を行う環境が屋外・屋内関係なく、既存システムと比較すると、提案システムによる位置推定の位置精度は向上した。屋外において、既存システム 2 は GPS による情報だけなのに対し、提案システムと既存システム 1 は GPS の情報に加えて BLE の情報が利用される。そして、提案システムにおいて特定の条件を満たすモバイル端末が存在する場合、既存システム 1 より提案システムの方がより多くの BLE の情報が利用される。屋内においても同様に、提案システムと既存システム 1 を比較すると、提案システムの方が BLE の情報が多い、あるいは等しくなる。以

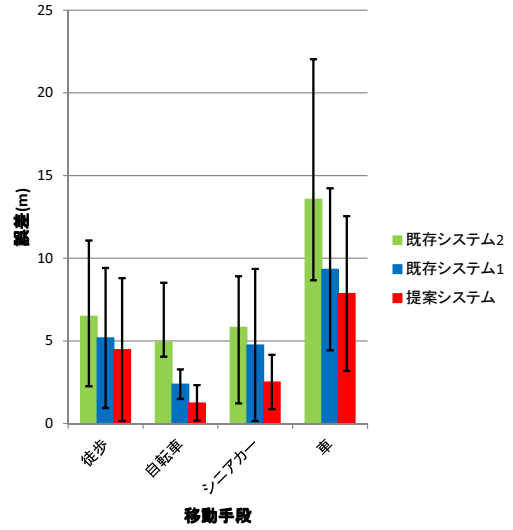


図 6: 屋外の評価結果

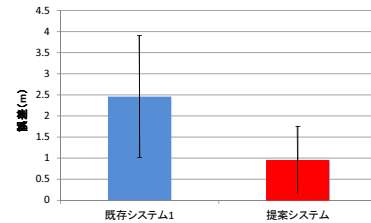


図 7: 屋内の評価結果

上から、提案システムによる位置推定の精度が良くなった理由は、位置推定に利用される情報量が増大したからだと言える。

提案システムで位置推定に必要な機器は、既存システム 1 で必要な機器に加えて、周辺にいる人がモバイル端末を所有しているという条件が必要になってくるが、近年ではモバイル端末を所有している人が増えていることを考慮すると難しい条件ではない。また、提案システムにかかるコストが既存システム 1 と同じになるため、コストの面においても有効である。

屋外における実験の結果から、見通しの悪い信号機のない交差点付近に複数台の設置ビーコンを配置しておき、交差点付近にいる歩行者や自転車、シニアカー、車それぞれに乗っている人のモバイル端末が特定の条件下でア

表 4: 屋外環境での位置推定の誤差の平均 [m]

	徒歩	自転車	シニアカー	車
提案システム	4.47	1.25	2.51	7.87
既存システム 1	5.18	2.38	4.75	9.33
既存システム 2	6.49	4.94	5.82	13.56

表 5: 屋外環境での位置推定の誤差の標準偏差 [m]

	徒歩	自転車	シニアカー	車
提案システム	4.32	1.07	1.64	4.68
既存システム 1	4.23	0.90	4.60	4.90
既存システム 2	4.57	3.58	3.09	8.47

表 6: 屋内での位置推定の誤差の平均と標準偏差

	平均 [m]	標準偏差 [m]
提案システム	0.95	0.80
既存システム 1	2.46	1.45

クティブビーコン化することで、GPS よりも正確な位置情報を取得できるため、人が近づいたことを音で知らせるアラーム機能を追加すれば衝突事故を軽減することが可能になる。

7. まとめ

近年、駅構内やショッピングモール等の屋内構造が複雑化した影響で屋内向けの位置測位システムの需要が高まってきている。しかし、既存の位置測位システムでは屋内で利用できなかったり、利用できたとしても位置精度が悪かったりする問題があった。また屋外においても、GPS による位置推定の精度が向上したとはいえ、建物が隣接する場所や見通しの悪い交差点付近では位置精度が悪く、こういった環境でも高精度な位置推定を実現できるシステムが望ましい。そこで本研究では GPS と BLE の両方を利用し、さらに最近では多くの人が所有しているモバイル端末を位置推定の時に利用される一つの情報源としての役割を持たせることで、屋内と屋外の両方で利用でき、さらに既存の位置測位システムよりも位置精度を向上させるシステムを提案した。そして提案システムを実装して、屋内と屋外の両方の実環境で複数のシステムによる位置推定を行い、比較評価を行った。評価結果より、位置推定を行う環境問わず、提案システムが一番良かったことを確認できた。また屋外において、移動手段が何であっても提案システムが一番良かったことを確認できた。提案システムは屋内屋外関係なく利用するため、幅広く利用できると同時に、位置精度向上のために利用されるのが周辺にいる人が所有しているモバイル端末であるためコストを抑えることができ、コストの面においても容易に利用できる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16H02814 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 「大人の迷子」に関する調査レポート。大人になってから迷子になった人は 4 割以上！迷子になりやすいのは「あの場所」だった。 , <http://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000001.00012737.html>, 参照 2017-6-29.

- [2] 吉澤 菜津子, 遠藤 貴裕, 永見 健一, 屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの開発について, Intec Technical Journal, Vol. 13, pp. 44-51, 2013.
- [3] 大槻 和明, 位置推定技術, 信学技報, pp. 1-5, 2009.
- [4] 河口 信夫, Locky.jp:無線 LAN を用いた位置推定とその応用, 信学技報, ITS2007-16, 2017.
- [5] 暦本 純一, 塩野 崎敦, 末吉 隆彦, 味八木 崇, PlaceEngine:実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス 2006, pp. 95-104, 2006.
- [6] Vibhu Varshney, Rajat Kant Goel, Mohammed Abdul Qadeer, Indoor Positioning System Using Wi-Fi & Bluetooth Low Energy Technology, 2016 Thirteenth International Conference on. IEEE, pp. 1-6, 2016.
- [7] Jingjing Yang, Zhihui Wang, Xiao Zhang, An iBeacon-based Indoor Positioning Systems for Hospitals, Vol. 9, No. 7, pp. 161-168, 2015.
- [8] 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc372110.html>, 参照 2017-07-19.
- [9] 鬼木 明日香, 木村 真乃介, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 利用者の歩行動作と位置情報を用いた自動個人認証, 第 13 回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 4, pp. 237-238, 2014.
- [10] 中尾 浩一, 屋内測位技術の動向について, OGI Technical Reports, Vol. 22, pp. 47-52, 2014.
- [11] GoogleMap, <https://www.google.co.jp/maps/@35.0135452,135.7555717,21z>, 参照 2017-01-20