

近距離無線電波強度とグループ行動知識モデルを用いた 測位手法の提案

伊藤 翼^{†1} 八木 佑侑季^{†2} 斉藤 裕樹^{†3} 狐崎 直文^{†2} 戸辺 義人^{†2}

PCや携帯端末の小型化と高機能化により、スマートフォンのようなセンサを内蔵した携帯端末の普及が進んでいる。これらの携帯端末を用いたサービスの利用形態として、位置情報サービスの発展が著しい。本研究では、近距離無線通信を用いて屋内での端末の位置を測定する手法を提案する。提案手法は、近距離無線通信でのRSSIを計測する手法に、利用者の特定のグループ活動を想定した行動知識を加えることにより、位置推定精度を向上させるものである。特定のグループ行動において、グループ内でのユーザの行動は、周囲のユーザとの位置関係や位置を時系列とした移動に関係があることが考えられる。このような知識を定式化し行動知識として適用することで精度を上げることを狙いとする。評価実験では、フットサルを対象とした測位を行い、RSSIのみを用いる手法に比べ精度が向上することを確認した。

Enhancement of Near-Field-Wireless-Based Indoor Localization by Using Information about Users' Behavior

TSUBASA ITO^{†1} YUKI YAGI^{†2} HIROKI SAITO^{†3}
NAOFUMI KITSUNEZAKI^{†2} YOSHITO TOBE^{†2}

1. はじめに

近年、半導体技術の進歩による情報機器や無線デバイスの小型化にともない、PCや携帯端末の小型化、高機能化が進んでいる。特に、AndroidやiPhoneなどのスマートフォンは、センサや通信デバイスを有するとともにPCとしての性質も備えており利用者は増加しつつある。スマートフォンには、GPS(Global Position System)機能が備わり、端末の位置を特定でき、Google Maps、NavitimeといったLBS(Location-Based System)と連携させることが可能となっている。さらに、SNS(Social Networking Services)の利用時に、位置情報をジオタグなどのメタ情報として付与するといったことも広まっており、位置情報利用は拡大の一途をたどっている。

GPSに代表されるGNSS(Global Navigation Satellite System)は、衛星電波受信を基本原理としていることから、

測位衛星からの電波の到達しない屋内での位置情報の取得は難しい。屋内の計測においては、無線LAN、UWB(Ultra-Wide Band)、超音波などを用いた屋内測位システムの開発が進んでいる。しかしながら、計測のために機器を環境中に設置しなければならない手法では広い範囲を対象とするには設置コストが高い、計測精度が基準となるノード(アンカーノード)に依存するためアンカーノードの密度や位置関係によっては満足な精度が得られない、といった問題があり、屋内測位システムの決定的な解はない状況にある。

本研究では、屋内測位における上記の問題を解決するため、実測により得られる値に加え、特定の活動を想定した行動知識を用いることで、低コストで精度が高い室内測定方式を提案する。提案手法は距離を計測する専用インフラ設備を必要とせず、アンカーノードに対する依存性が低い、すなわち精度を上げるためにアンカーノードを増やす必要性が低いという特長を有する。具体的方針としては、上記の特長を満たすためBluetoothを用いた屋内での位置情報の計測に加えて、1人のユーザの絶対位置の精度を追求するのではなく、時系列に記録された複数のユーザ間の相対位置関係を分析することにより簡便に計測することを目指す。本研究で開発するシステムをRelLocAと名付ける。以上により複数ユーザのグループ行動を把握することが期待できる。

3 ユーザ間以上の相対位置は距離で表現できる。この距

†1 青山学院大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Aoyama Gakuin
University, Kanagawa, Japan.

†2 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科
Department of Integrated Information Technology, School of
Science and Technology, Aoyama Gakuin University,
Kanagawa, Japan.

†3 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, School of Interdisci-
plinary Mathematical Sciences, Meiji University, Tokyo, Japan.

離を求める手法には、ビーコンの RSSI (Received Signal Strength Indication) から近似して求める手法があるが、同一距離に対する RSSI は諸条件によりばらつき、RSSI から距離を直接求めることは困難である。そこで、RelLocA では、特定のグループ活動を対象としユーザの行動に関する知識による推定を行うことで、距離の推定精度を向上させることを目的とする。

本論文の構成は以下のとおりである。まず、第 1 章に引き続き、第 2 章では屋内測位の従来手法について述べ、第 3 章では RelLocA の構成について述べる。また、第 4 章では提案手法の評価を行い、まとめとして最後に第 5 章で結論を述べる。

2. 従来手法

位置測定にはレンジベース(Range-based)方式とレンジフリー(Range-free)方式がある。いずれの手法も各デバイス間の距離を何らかの方法で測定し、デバイスの位置を決定していく方式であるが、レンジベース方式は専用の機材を必要とし、レンジフリー方式はレンジベース方式とは違なり専用の機材が不要である。以下で各方式について述べ、本研究の方針との比較も示す。

レンジベース方式は、位置推定処理に TDOA (Time Difference Of Arrival)や TOA (Time Of Arrival)の計測が可能な距離測定デバイスを利用し、各デバイス間の距離を測定する方式である。

ActiveBat[1]は超音波を利用した測定方法である。超音波パルスを放出してその時間差で測定する。精度は 1cm 程度である。ActiveBat では超音波パルスを送出する ActiveBat タグと超音波受信機を用いる。高精度な測位が可能なものの専用のインフラセンサを必要とするという欠点がある。Cricket[2]も、超音波を利用した測定方法である。天井などに超音波パルスを送出する基準デバイスを取り付け、測定対象者は受信機を持つ。超音波を利用するため、Active Bat の長所と短所が共通する。RADAR[3]は無線ベースステーションを設置し、そのビーコンを使用した測定手法である。70ヶ所 4 方向での無線強度のパターンを測定する。他のレンジベース法よりコストが低いが、RSSI を用いるため、精度が低いのが欠点である。また、精度を上げようとするとベースステーションを増やす必要があり、コストが増す。RFID 方式は床に RIID を設置する手法[4]である。対象物の存在を圧力で検出する。RFID 方式はユーザ(測定対象者)の左右の足に IC タグ (RFID タグ) を取り付ける。検出精度は設置したセンサの数に依存し、遮蔽物に強いこと、個人の特定が可能なこと、両足のタグによりユーザが向いている方向がわかることが特徴としてあげられる。しかし、測定に専用の機材が必要なことと、精度が設置したセンサ

の数に依存し、精度を高めようとするとコストがかさむことが欠点である。

以上から、レンジベース方式は高精度な位置測定が可能である。しかし、いずれも専用の機材を必要とするため、本研究の方針とは異なる。

一方、レンジフリー方式はレンジベース方式とは違なり専用の機材が不要な方式である。以下では個々の技術・研究について挙げる。

Centroid 測定[5]ではあらかじめ位置が分かっているランドマーク (アンカーノード) が、定期的に自らの位置情報を含んだビーコンを近隣ノードに送信する。ノードの位置は受信した複数のアンカーノード間の重心で計算する。測定される位置は重心であるため、実際の位置とは異なっている場合がある。また、高精度な位置測定をするにはアンカーノードを多数配置する必要がある。DV-Hop 測定[6]では、ランドマークからのホップ数と 1 ホップの平均距離の情報から、各ノードがランドマークまでの距離を見積もる。これを利用し 3 台以上のランドマークとの距離から多角測量する。しかし、高精度な結果を得るにはランドマークが多数必要になる。APIT (Approximate Point-In-Triangulation Test)測定[7]ではあらかじめ位置が分かっているランドマークが、定期的に自らの位置情報を含んだビーコンを近隣ノードに送信する。各ノードは受信したビーコンから 3 台のランドマークの組み合わせで作成可能なすべての三角形を導き出し、自身が三角形の内側にいるか外側にいるか判定し、位置を絞り込んでいく。このため、精度を高めようとすると三角形を描くためのランドマークが多数必要となる。

以上より、従来手法では精度とコストはトレードオフの関係にあり、高精度な測位を目指すといずれの手法でもコスト高となるのが分かる。RelLocA では精度とコストの両立を目指す。

3. RelLocA システム

本章では RelLocA の位置推定について述べる。3.1 節では前提となる RSSI と距離の関係を述べ、3.2 節以降で RelLocA での測位手法について述べる。

3.1 RSSI と距離の関係

RelLocA ではビーコンの RSSI (Received Signal Strength Indication) を利用して距離を算出する。RSSI は一般に距離に応じて減衰するが、同一 RSSI から推定される距離のばらつきが大きく、直接距離を求めるのは困難である。提案に先立ち、我々は距離と RSSI の相関を調査する予備実験を行った。図 1 は、2 ノード間の距離を変えて RSSI を計測する実験を複数行った際に、RSSI -65dBm の計測値が得ら

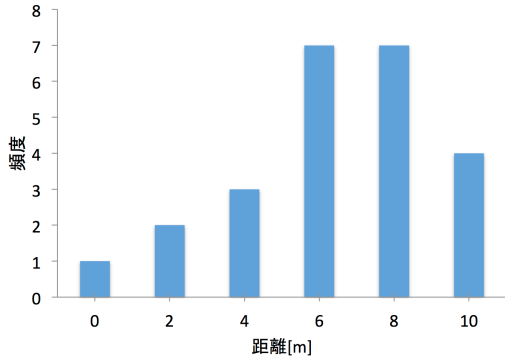


図1 RSSI-65dBm に対する距離の分布

れた際の実際の距離の分布である。この図より、同一 RSSI が計測された場合であっても、実際の距離のばらつきが大きいことが分かる。したがって RSSI のみから距離を求めることは困難であると考えられる。

3.2 距離推定

RSSI のみによる距離推定の精度不足を補うため、RelLocA では特定のグループ行動における測位を対象とし行動知識を適用することで高精度な測位を目指す。特定のグループ行動において、グループ内でのユーザの行動は、周囲のユーザとの位置関係や位置を時系列とした移動に関係があることが考えられる。例えば、複数人で攻守を行うスポーツ競技を想定すると、敵や見方の位置関係や選手同士の動きには一定の傾向があることが予想される。このようなパターンを定式化し行動知識として適用することで精度を上げることが可能と考えられる。

本研究では、測位対象とする行動に単純マルコフ連鎖を適用することを検討する。マルコフ連鎖とは、確率過程の一種であるマルコフ過程のうち、とりうる状態が離散的(有限または可算)なもの(離散状態マルコフ過程)をいう。マルコフ連鎖は、未来の挙動が現在の値だけで決定され、過去の挙動と無関係である。時系列による一連の確率変数 $X = \langle X_0, X_1, X_2, \dots, X_n \rangle$ が与えられたとき、現在の状態が決まっていれば、過去および未来の状態は独立であるものである。形式的には、式(1)で示される。

$$P(X_n = x_n | X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_{n-1} = x_{n-1}) = P(X_n = x_n | X_{n-1} = x_{n-1}) \quad (1)$$

次に、過去の観測結果に基づき、2 ノード間で計測された RSSI から距離を確率的に求める手法について述べる。ベイズ推定を用いると RSSI の計測値 r のもとで距離が x である確率 $P(x | r)$ は以下の式で与えられる。

$$P(x | r) = \frac{P(r | x) P(x)}{P(r)} \quad (2)$$

ここで、 $P(r | x)$ は距離 x において r が計測される確率 (尤

度)、 $P(x)$ は距離 x の元々の確からしさ (事前確率)、 $P(r)$ は正規化項を示す。実際には、RSSI は時系列で得られるため、以下では時刻 t に得られる RSSI の計測値を r_t 、距離を x_t とする。上述のとおり、時刻 t での計測値 r_t は過去の状態には依存せず、現在の距離 x_t のみに依存するとする。このとき、距離が x_t である確率は、距離 x_t における計測値 r_t の確率と、時刻 $t-1$ まで観測された距離が x である事前確率の積で得られる。

$$P(x_t | r_t) = \frac{P(r_t | x_t) P(x_t | r_0, r_1, \dots, r_{n-1})}{P(r_t)} \quad (3)$$

一方、グループ活動でのユーザ間の位置関係についても同様に考え、ユーザ間の相対位置の時系列 $D_n = \langle d_0, d_1, \dots, d_n \rangle$ が与えられたときの距離 x_t の確率を求める。

$$P(x_t | d_t) = P(d_t | x_t) P(x_t | D_{k-1}) \quad (4)$$

提案手法では、全体としての距離 x の確率は式(3)と式(4)の積として以下のように求める。

$$P(x_t) = P(x_t | r_t) P(x_t | d_t) \quad (5)$$

式(5)の計算を行い、最大の値をとる x_t を推定結果として採用する。

3.3 座標の計算手法

次に、2 点間距離の組み合わせから各ノードの相対座標を求める。本研究では、3 ノード間のそれぞれの距離から、単純に三角関数の余弦定理を用いて三角形の各一辺の長さを求める。各ノードを A, B, C、各座標を (x_a, y_a) , (x_b, y_b) , (x_c, y_c) としたとき、各座標は辺の長さをを用いて以下のように計算できる。

$$x_a = 0 \quad (6)$$

$$y_a = 0 \quad (7)$$

$$x_b = \overline{AB} \quad (8)$$

$$y_b = 0 \quad (9)$$

$$x_c = \overline{AC} \cos \theta = \frac{\overline{AC}^2 + \overline{AB}^2 - \overline{BC}^2}{2 \overline{AB}} \quad (10)$$

$$y_c = \frac{\sqrt{4 \overline{AC}^2 \overline{AB}^2 - (\overline{AC}^2 + \overline{AB}^2 - \overline{BC}^2)^2}}{2 \overline{AB}} \quad (11)$$

4. 実験・評価

本章では、RelLocA の評価結果について述べる。評価をするに当たり、その予備段階として、グループ行動のログを取得し、評価実験に用いることとした。

4.1 予備実験

予備実験では、2 者間の行動から $p(X=x | R=r)$ を取得した。2 者間の距離の実測から、距離に対応する RSSI 値のばらつきを求め、図 4 に結果をまとめた。図 4 に示されるように、

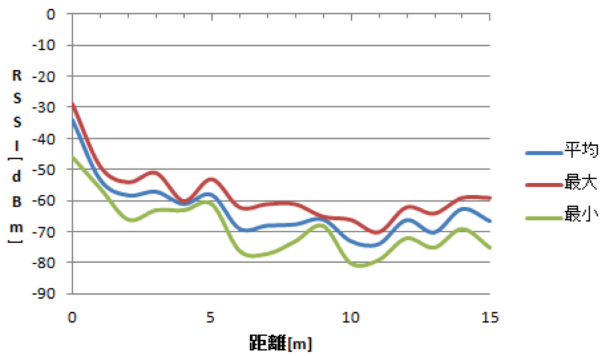


図4 各距離に対するRSSIの値

表1 各次数における平均二乗誤差

	2	3	4
RSSIのみ	4.4	3.8	3.3
行動知識のみ	3.85	3.2	2.7
RSSI+行動知識	3.6	2.5	2.35

同一のRSSIに対する距離の広がりも大きい。

4.2 評価実験

RelLocAを評価するために、4名のユーザの相対位置を計測する実験を行った。

- ・ 行動：5分間のフットサルの動作
- ・ グループ：2対2(計4人)
- ・ フィールド：10m 四方
- ・ 開始時の座標：m 単位の2次元で表現したときに、(6,0),(4,0),(6,9),(4,9)
- ・ ゴール：座標(6,0),(4,0)間の直線および座標(6,9),(4,9)間の直線。
- ・ 計測間隔：3s

座標を分かるようにマーキングし、マーキングから得られた位置を正確な位置とし、RelLocAで求まる距離と正確な位置から導かれる距離との差の絶対値を誤差とする。ここでは、行動知識のみを用いて得られる値、RSSIから推測される値、両方組み合わせて推測される値の3通りについて誤差を比較する。今、推定に用いるユーザの数を次数とし、次数と平均二乗誤差をまとめたものが表1となる。表1から次数を上げることで誤差が小さくなることが読み取れる。また、RSSIのみ、行動知識のみの場合よりも、両者を組み合わせたときが最も誤差が小さくなることがわかる。

5. まとめ

本稿では屋内測位システム RelLocA を提案した。ユーザ数が大きければ精度が上げられることと、行動知識とRSSIを組み合わせて精度を向上させることができることが分かる。今後の予定として、学習アルゴリズムの精緻化が挙げられる。これにより、予測されていなかった行動からパターンを抽出することが期待できる。また、行動知識とRSSIの比重について検討することにより、より高精度な測位が期待できる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 24700075 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Harter, A., Hopper, A., Ward, A., and Webster, P.: The anatomy of a context-aware mobile applications, MOBICOM 1999 (1999).
- 2) Priyantha, N., Miu, A., Balakrishnan, H., and Teller, S.: The cricket compass for context-aware mobile applications, MOBICOM2001 (2001).
- 3) Bahl, P. and Padmanabhan, V. N.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, IEEE InfoCom 2000, Vol.2, pp. 775-784 (2000).
- 4) 黒川 高弘,高橋 甲介,中西 英之: 床面 RFID センサ「インテリマット」の開発, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン 6_32-6_41 (2008.6).
- 5) Bulusu, N., Heidemann, J., and Estrin, D.: GPS-less low cost outdoor localization for very small devices, IEEE Personal Communications Magazine (2000).
- 6) Niculescu, D. S. and Nath, B.: DV-based positioning in ad hoc networks, Telecommun. Syst, Vol. 22, pp. 267-280 (2003).
- 7) He, T., Huang, C., Blum, B. M., Stankovic, J. A, and Abdelzaher, T.: Range-free localization and its impact on large scale sensor networks, ACM Trans. on Embedded Computing Systems (TECS), Vol. 4 No. 4, pp. 877-906 (2005).