

屋外位置推定のための内積を用いた BLE 電波強度 テンプレートマッチング手法の検討

春日井 暁久¹ 毛利 元昭² 船瀬 新王¹ 内匠 逸¹ 打矢 隆弘¹

概要: 今日のスマートフォンにおけるアプリケーションでは、位置推定の情報を用いたサービスが多く展開されている。GPS は、スマートフォンなどの携帯型端末において標準搭載されている機能であり、最も実用されている位置推定手法である。しかし、都市部の高層ビルの谷間や天気が雨や曇りなど、GPS 衛星との通信間に電波と干渉する要因がある場合、位置推定の精度が下がってしまう。我々は Bluetooth の電波を一定の間隔で送信することができる BLE ビーコンを用いて屋外の位置推定を行った。BLE ビーコンを屋外に設置することにより電波と干渉する要因を減少させ、複数 BLE ビーコンを設置することによって Bluetooth の電波特性から位置推定を行った。位置推定手法にはテンプレートマッチング方式を採用し、テンプレートには RSSI の確率分布を用い、類似度計算において分布間の内積を用いた。本研究により、屋外においてテンプレートを用いた位置推定精度の向上を図ることができた。

1. はじめに

屋外で位置推定を行う際には、GPS (Global Positioning System) が用いられることが多い。しかし、ビルの谷間やショッピングモール、地下施設などでは、GPS を利用することが困難である。これは、位置推定において人工衛星から発信されている電波を端末で正確に受信することが必要なためである。今日の屋外位置推定において、ビルの谷間や狭い路地などでは人工衛星からの電波が届きにくいいため、一般的な GPS の位置推定精度と比べて極端に精度が減少することがある。そのため、無線 LAN[1] や複数のセンサーを GPS と一緒に用いたハイブリッド型 [2] の研究が多くなされている。しかし、GPS を用いるハイブリッド型では消費電力が GPS のみの場合と比べて高くなり、リソースが限られている携帯端末などには適さない。

そこで、GPS の電波が届きにくい場所での位置情報を求める位置推定手法の一つとして電波を受信した端末が観測する電波強度 RSSI (Received Signal Strength Indicator) を使ったものがある。位置推定に使用する電波は Wi-Fi, Bluetooth などが用いられるが、今回は近距離通信に特化した Bluetooth 通信に用いる BLE を用いて位置推定を行っていく。

BLE (Bluetooth Low Energy) は Bluetooth 通信技術における Bluetooth4.0 から導入された拡張機能である。ま

た BLE は、通常の Bluetooth 通信と比較してパケット長が短いため、送受信に必要な時間も短くなっている。これにより、送信側・受信側双方の電力消費が抑えられている。そのため、長時間位置推定を行いながら携帯端末を操作することが可能である。そして、BLE 送信機である BLE ビーコンは導入コストが無線 LAN などよりも比較的安く、設置場所も容易に変更可能である。

電波強度を用いた位置推定手法としては主に、近接法 [3], 三点測位法 [4], テンプレートマッチング [5] などがあるが、この中で高精度な位置推定に有効である手法としてテンプレートマッチングが用いられることが多い。

我々は、BLE ビーコンからの電波の受信強度とテンプレートマッチングを用いた位置推定手法を研究している。本研究の最終目標は、屋内および屋外において GPS と同等以上、誤差 1m 以内の位置推定手法を確立することである。我々の従来研究において、BLE ビーコンを用い屋内での位置推定として講義室の内外どちらかにいるかを明確に分けることが可能であることを示した [6]。しかし、屋外における位置推定については検討していなかった。また、テンプレートとの類似度計算のバリエーションや、電波の観測時間に対する推定精度の変化も調査されていなかった。

そこで、本研究では環境を屋外に移し、複数のビーコンにおける RSSI の確率分布と観測データの確率分布の相関を測ることができる内積に着目し、類似度が最も高い観測点を推定点としてテンプレートマッチングを行う。また、電波の観測時間に対する推定精度の変化を調査すること

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科 名古屋市昭和区御器所町

² 愛知大学経営学部経営学科 愛知県名古屋市中村区平池町 4-60-6



図 1 本研究で使用するビーコン

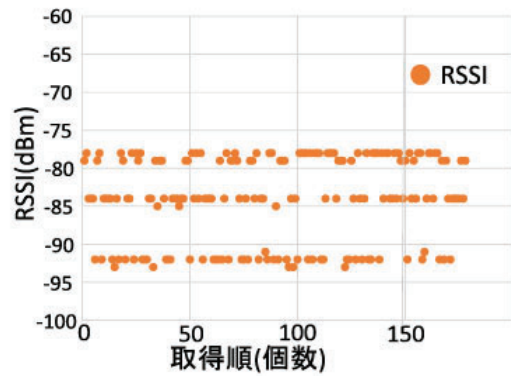


図 2 電波暗室での RSSI (取得順)

で、現在の精度の限界を明らかにする。

2. 提案手法

本研究では電波強度を用いた位置推定手法としてテンプレートマッチング方式に着目し、BLE ビーコンから送信された電波を端末で受信した電波強度を用いて屋外における位置推定を行う。

2.1 BLE ビーコン

今回本研究で用いた BLE ビーコン (ツーエス・テクノロジー社製, 型番:CT-201) を図 1 に示す。BLE ビーコンは 0.76ms ごとに一度 BLE の電波を送信しており, 単三電池で 5 年間動作する。3 チャンネルで周波数ホッピングを行い, BLE ビーコンが送信できるデータは UUID(Universally Unique Identifier), Major 値, Minor 値の三種類のみである。また, 壁などで電波の反射が起こらない電波暗室で取得した RSSI の値を取得した順に並べた図を図 2 に, 取得頻度を確率分布にした図を図 3 に示す。図 2, 3 から今回使用する BLE ビーコンが RSSI の確率分布において 3 つの峰を持つことが確認できる。BLE ビーコンは Wi-Fi でも利用される 2.4GHz 帯の周波数を送信に利用しており, Wi-Fi 機器や他の BLE ビーコンとの周波数の重複を避けるため, 周波数ホッピング方式も利用している。つまり, 受信する電波の強度は送受信チャンネルの周波数にも依存する。

2.2 テンプレート作成

テンプレートマッチング方式ではテンプレートデータ (以下, テンプレートとする) が推定精度に大きく影響を与える。そのため, RSSI の値をどのようなモデルでテンプレートとして作成するのが重要となる。チャンネルごとに RSSI の最頻値が異なる値を示すため, 複数の峰を持つ確率分布モデルに基づいてテンプレートを作成する。テンプレートは一定時間受信した電波強度のデータを GMM (Gaussian Mixture Model) として保持する。また, 実際に推定を行う際に観測されたデータ (以下, チャレンジデー

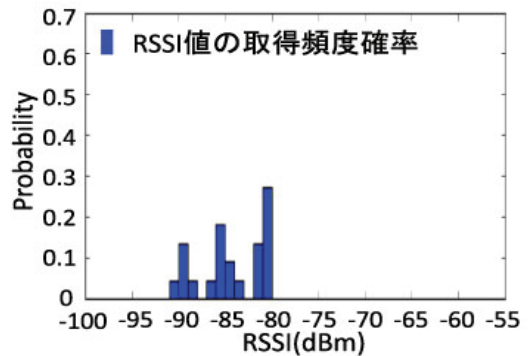


図 3 RSSI のヒストグラム

タとする) を確率分布として保持する。そこで本研究では RSSI の確率分布を GMM (Gaussian Mixture Model) を用いて曲線近似を行い, テンプレートとして保持することとする。また, 作成したガウスモデルをパラメータのみ保持することによって一つのテンプレートに保持するデータを削減することができる。

まず, テンプレート点において BLE の電波を観測し, ビーコンごとに RSSI の確率分布を作成する。続いて, 作成した確率分布をもとに EM アルゴリズムによって混合数 3 の GMM を作成する。この手順をすべての観測された BLE ビーコンについて行う。GMM 作成時, E ステップによって混合率を求め, M ステップによって得られた混合率からそれぞれの峰における平均, 分散を更新し, 更新した平均と分散から尤度関数を求める。この尤度関数が尤度関数が収束しない場合, 初期値を変更し E ステップと M ステップを繰り返す。50 回繰り返しても尤度関数が収束しない場合, 混合数を 1 つ下げ EM アルゴリズムを再度行う。算出した混合率, 平均, 分散をテンプレートとして保持する。テンプレート作成手順を表したフロー図を図 4 に示す。テンプレート点 P3 において, ビーコン番号 548 から 10 分間取得した RSSI を用いて作成した GMM を図 5 に示す。縦軸は RSSI の生起確率, 横軸は RSSI の値である。図 5 より混合数に応じた峰がある GMM に近似できていることがわかる。

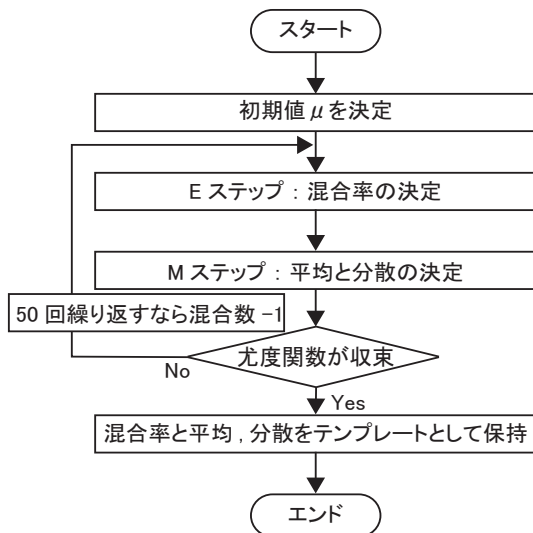


図 4 テンプレート作成手順 (すべての観測されたピーコンに行く)

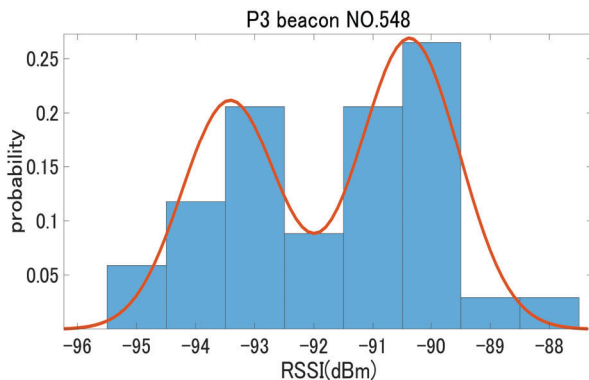


図 5 テンプレート点 P3 でのビーコン番号 548 から作成した GMM

2.2.1 EM アルゴリズム

混合率, 平均, 分散により GMM を作成することができる. そのパラメータを推定するアルゴリズムとして EM アルゴリズムを用いている.

3つのガウス分布を組み合わせた GMM を使って確率分布をモデル化する. 具体的には平均 μ_1, μ_2, μ_3 , 分散 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$, 混合確率 p, q, r のパラメータでモデルを決定する. 正規分布を $N(x|\mu, \sigma^2)$ とすると, 3 混合正規分布は以下の式で与えられる.

$$y = pN(x|\mu_1, \sigma_1^2) + qN(x|\mu_2, \sigma_2^2) + rN(x|\mu_3, \sigma_3^2) \quad (1)$$

$$p + q + r = 1 \quad (2)$$

例を以下に示す. ある観測点であるビーコンから得られた全ての電波強度の集合を $DATA$ とする.

E ステップ

$DATA$ から 1 つ取り出したものを x とし, $DATA$ の全ての値に対して以下の計算を行い, リスト $m_{r1}[], m_{r2}[]$ に格納する.

$$m_{r1}[] = \frac{pN(x|\mu_1, \sigma_1^2)}{pN(x|\mu_3, \sigma_1^2) + qN(x|\mu_2, \sigma_2^2) + rN(x|\mu_3, \sigma_3^2)} \quad (3)$$

$$m_{r2}[] = \frac{qN(x|\mu_2, \sigma_2^2)}{pN(x|\mu_3, \sigma_1^2) + qN(x|\mu_2, \sigma_2^2) + rN(x|\mu_3, \sigma_3^2)} \quad (4)$$

$DATA$ の中身の個数を N とすると, 得られた $m_{r1}[], m_{r2}[]$ から混合率 p, q, r が求まる.

$$p = \frac{\sum_{k=1}^N m_{r1}[k]}{N} \quad (5)$$

$$q = \frac{\sum_{k=1}^N m_{r2}[k]}{N} \quad (6)$$

$$r = 1 - p - q \quad (7)$$

M ステップ

得られた $m_{r1}[], m_{r2}[]$ から, それぞれの平均 μ_1, μ_2, μ_3 , 分散 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ の値を更新する.

$$\mu_1 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(m_{r1}[k]) \cdot DATA[k]\}}{\sum_{k=1}^N (m_{r1}[k])} \quad (8)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(m_{r1}[k]) \cdot (DATA[k] - \mu_1)\}}{\sum_{k=1}^N (m_{r1}[k])} \quad (9)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(m_{r2}[k]) \cdot DATA[k]\}}{\sum_{k=1}^N (m_{r2}[k])} \quad (10)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(m_{r2}[k]) \cdot (DATA[k] - \mu_2)\}}{\sum_{k=1}^N (m_{r2}[k])} \quad (11)$$

$$\mu_3 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(1 - m_{r1}[k] - m_{r2}[k]) \cdot DATA[k]\}}{\sum_{k=1}^N (1 - m_{r1}[k] - m_{r2}[k])} \quad (12)$$

$$\sigma_3^2 = \frac{\sum_{k=1}^N \{(1 - m_{r1}[k] - m_{r2}[k]) \cdot (DATA[k] - \mu_3)\}}{\sum_{k=1}^N (1 - m_{r1}[k] - m_{r2}[k])} \quad (13)$$

更新した平均値と分散の値を用いて尤度関数 L を求める.

$$L = \sum_{k=1}^N \log\{pN(x_k|\mu_1, \sigma_1^2) + qN(x_k|\mu_2, \sigma_2^2) + rN(x_k|\mu_3, \sigma_3^2)\} \quad (14)$$

尤度関数の値が収束するか, ある一定以上の値を得られるまで, E ステップと M ステップを繰り返す. 今回は E ステップと M ステップをそれぞれ 50 回繰り返し計算を行う. 初期値の混合率はランダムに作成し, 初期値の平均は任意の $DATA[x]$, 初期値の分散はすべての $DATA[x]$ の分散である.

2.3 類似度計算

テンプレートを事前に観測した点 (以下, テンプレート点とする) においてテンプレートマッチングを行い, 最も類似度の高いテンプレート点を推定点としている. 本研究ではテンプレートマッチングの類似度計算にテンプレートの確率分布とチャレンジデータの確率分布との内積を用いる. 分布同士が類似しているほど分布間に強い相関が

あり、内積も大きくなる．あるビーコン b におけるテンプレート T の確率分布を $P_b(i)$ ，チャレンジデータの確率分布を $Q_b(i)$ とすると，確率分布間の内積 s_{db} は式 (15) で表される．さらに複数のビーコンを考慮すると，複数のビーコン B における確率分布の内積 s_{db} の総和 S_D は式 (16) で表される． S_D をテンプレートマッチングの類似度の指標とする． i は RSSI の値， B はすべてのビーコンである ($B = b_1, b_2, \dots, b_n$)．RSSI の値はすべて小数点以下切り上げて観測される．そのため，内積の計算は離散値のみを用いて算出する．

$$s_{db} = \sum_{i=-120}^{-60} P_b(i) \cdot Q_b(i) \quad (15)$$

$$S_D = \sum_{b_1}^{b_n} s_{db} \quad (16)$$

すべてのビーコンを用いることで電波特性を考慮した解析を行っている．また，類似度計算に算出した S_D の中で最大の値を取るテンプレートを作成した点を位置推定点 P_f (式 (17)) としている． P はテンプレートの各点である ($P = P_1, P_2, \dots, P_9$)．

$$P_f = \arg \max_P S_D \quad (17)$$

3. 実験

本研究ではビルの谷間で GPS の精度が落ちる場所を想定して実験環境を整えた．実際にテンプレートを作り，テンプレートマッチングを行い，その精度を評価する．

3.1 実験環境

実験は名古屋工業大学 2 号館横の通路付近で行う．実験環境の概略図を図 6 に示す．図 6 において赤色の丸型は屋内の BLE ビーコン，青色の丸形は屋外の BLE ビーコンである．観測点 P1 から P9 の地点において，それぞれでテンプレートを作成する．それぞれ隣の観測点の間隔は 5m とする．実験に使用した端末は ASUS Nexus7 (Android4.4.2) であり，地上から 0.85m の位置に配置する (図 7)．台からビーコンまでの垂直距離は 1.95m である．天候は晴れ，気温は 15℃であった．また，テンプレートとビーコンの緯度経度情報を表 1 に示す．実際のテンプレートとビーコンの位置関係を図 8，テンプレート点とビーコンの直線距離と平面距離の例を図 9，それぞれのテンプレート点からそれぞれのビーコンに対しての実際の平面距離を表 2，直線距離を表 3 に示す．

3.2 実験内容

図 6 に示したテンプレート点 P1 から P9 までの各点において人が観測点にいない状態で 10 分間 RSSI を観測し，観

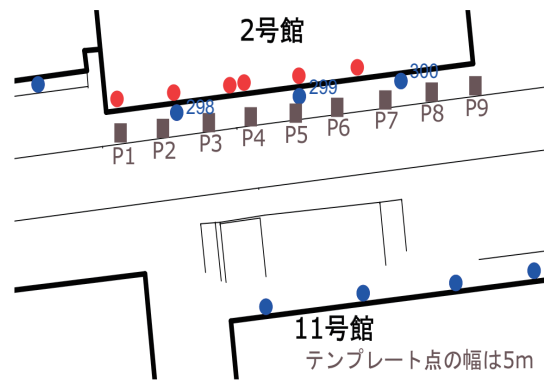


図 6 名古屋工業大学 2 号館横



図 7 使用した端末と観測状況

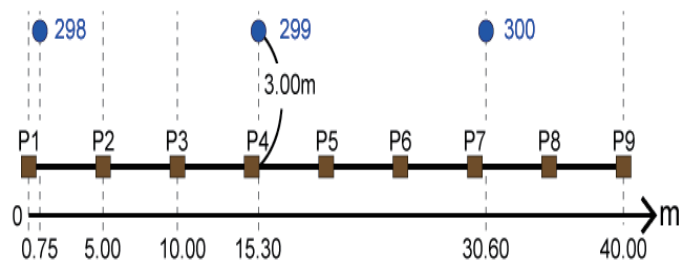


図 8 ビーコンとテンプレートの位置関係

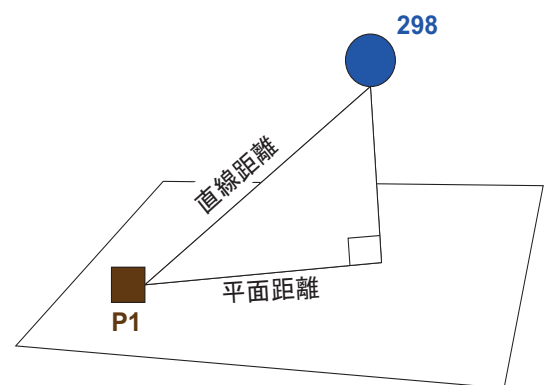


図 9 直線距離と平面距離

測されるすべてのビーコン B においてテンプレート $P_b(i)$ を作成，位置推定の際，RSSI を 20 秒間観測し，確率分布 $Q_b(i)$ を作成する．観測回数は 20 秒間を 1 セットとする．

表 1 ビーコンとテンプレートの緯度経度情報

	東経	北緯
298	136.924678	35.156319
299	136.9248408	35.15634115
300	136.9250037	35.1563633
P1	136.924620	35.1562840
P2	136.925705	35.1562914
P3	136.926248	35.1562987
P4	136.926790	35.1563061
P5	136.927333	35.1563134
P6	136.927875	35.1563208
P7	136.928418	35.1563281
P8	136.928960	35.1563355
P9	136.929503	35.1563428

表 2 テンプレートとビーコンの平面距離

	298	299	300
P1	3.09	15.59	30.75
P2	5.20	10.73	25.78
P3	9.72	6.09	20.82
P4	14.56	3.01	15.89
P5	19.48	5.58	11.02
P6	24.43	10.15	6.35
P7	29.40	15.00	3.06
P8	34.38	19.93	5.33
P9	39.36	24.88	9.87

表 3 テンプレートとビーコンの直線距離

	298	299	300
P1	3.66	15.71	30.81
P2	5.56	10.90	25.85
P3	9.92	6.39	20.91
P4	14.69	3.59	16.01
P5	19.58	5.91	11.19
P6	24.51	10.34	6.65
P7	29.47	15.13	3.63
P8	34.44	20.02	5.67
P9	39.41	24.96	10.06

確率分布 $P_b(i)$, $Q_b(i)$ から内積の総和 S_D を計算し、テンプレート点 P1 から P9 の中でも最も S_D が大きい点を位置推定点とする。

3.3 評価方法

点 P1 から P9 それぞれの観測点において 20 セットずつ RSSI を観測し、テンプレートマッチングを行う。また、平均二乗誤差, KL ダイバージェンスを用いた場合の結果と比較する。また位置推定時の観測時間を 20 秒から 10 秒まで 1 秒ずつ減少させて、同様の実験を行うことで推定成功回数から推定精度を評価する。

3.4 結果

図 10, 11, 12 に P3 で観測したデータを用いた際の各手

表 4 テンプレートマッチング成功回数

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
内積	20	20	20	20	11	17	20	20	20
平均二乗誤差	20	20	19	12	4	20	18	13	20
KL	3	12	10	17	16	13	14	12	5

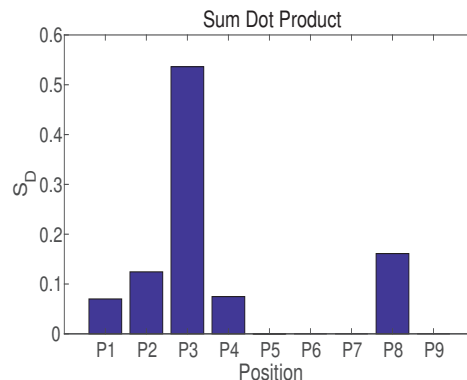


図 10 P3 において確率分布の内積を用いたテンプレートマッチング

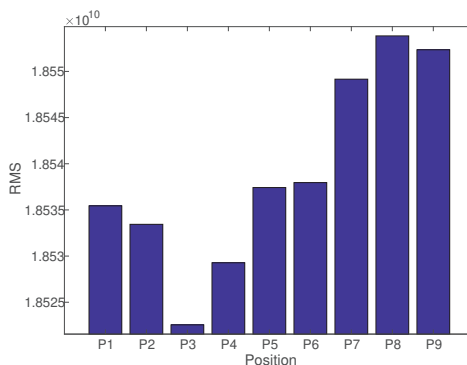


図 11 P3 において平均二乗誤差を用いたテンプレートマッチング

法によるテンプレートマッチングが成功した結果を示す。図 10 より観測点で算出された P3 の S_D が最大値を取っている。表 4 にそれぞれの観測点で 20 セット中テンプレートマッチングが成功した回数を示す。表 4 から内積を用いた場合の合計成功回数は 168 回、平均二乗誤差は 146 回、KL ダイバージェンスは 102 回であった。P5 においては内積を用いた場合と平均二乗誤差を用いた場合、成功回数が他の観測点と比べて少なくなった。

さらに、データを減少させることによって精度はどのように変化していくかをそれぞれの手法で見えていく。各手法において 1 セットの観測時間を 20 秒から 10 秒まで 1 秒ずつ減少させた場合の推定成功回数を表 5, 6, 7 に示す。

表 5 より P5 で行った推定結果を除くと、平均して 13, 14 秒あれば 90% の推定成功回数を得られることがわかる。10 秒間の観測値を推定に利用した場合、隣接する観測点が 1 つである P1, P9 については推定成功回数が他と比較して多かった。

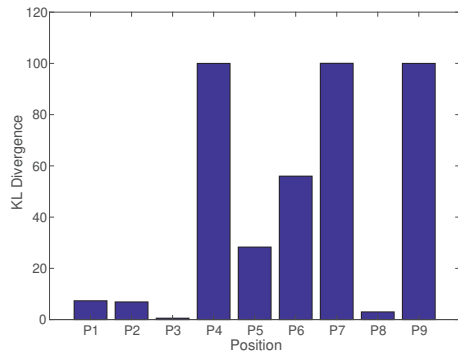


図 12 P3において KL ダイバージェンスを用いたテンプレートマッチング

表 5 内積を用いた場合の推定成功回数 (最大 20 回)

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
20 秒	20	20	20	20	11	17	20	20	20
19 秒	18	20	19	20	8	17	20	19	20
18 秒	18	20	20	20	12	17	20	17	19
17 秒	18	20	20	20	9	17	18	18	19
16 秒	18	19	19	19	6	18	16	18	20
15 秒	18	16	19	19	9	17	18	18	20
14 秒	18	19	19	20	7	19	17	15	20
13 秒	17	19	19	17	8	15	13	14	19
12 秒	16	15	14	20	5	16	14	10	18
11 秒	17	13	14	17	4	11	13	12	16
10 秒	15	13	15	11	2	13	9	9	16

表 6 二乗平均誤差を用いた場合の推定成功回数 (最大 20 回)

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
20 秒	20	20	19	12	4	20	18	13	20
19 秒	20	20	19	18	5	20	19	18	20
18 秒	20	18	19	15	4	20	18	17	20
17 秒	20	19	17	14	3	20	15	15	19
16 秒	20	19	17	13	2	18	17	18	20
15 秒	20	17	17	11	4	18	17	16	19
14 秒	20	19	19	14	7	18	16	15	20
13 秒	19	19	14	12	4	17	17	18	20
12 秒	19	18	12	14	6	16	16	14	20
11 秒	20	18	18	14	4	16	17	16	20
10 秒	19	19	13	11	5	16	14	13	18

4. 考察

4.1 内積を用いた場合の精度

表 4 の合計推定成功回数より直線上のテンプレートマッチングであれば 5m 間隔の観測点の精度で位置推定は可能であると考えられる。他手法と比べて内積を用いた場合の精度は合計推定成功回数から高いといえる。GMM に近似することによって電波強度のゆらぎを考慮することができ、内積を用いることによってチャレンジデータで観測さ

表 7 KL ダイバージェンスを用いた場合の推定成功回数 (最大 20 回)

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
20 秒	3	12	10	17	16	13	14	12	5
19 秒	3	13	11	14	18	15	15	13	6
18 秒	2	8	11	15	16	14	12	7	7
17 秒	5	11	11	14	13	12	12	11	7
16 秒	2	7	11	16	17	15	13	6	5
15 秒	6	13	12	11	16	17	16	11	5
14 秒	3	12	15	15	11	12	13	5	5
13 秒	5	13	17	8	12	12	8	9	5
12 秒	3	7	13	10	10	12	6	9	9
11 秒	4	11	13	10	9	7	12	9	7
10 秒	8	11	13	4	7	11	6	7	10

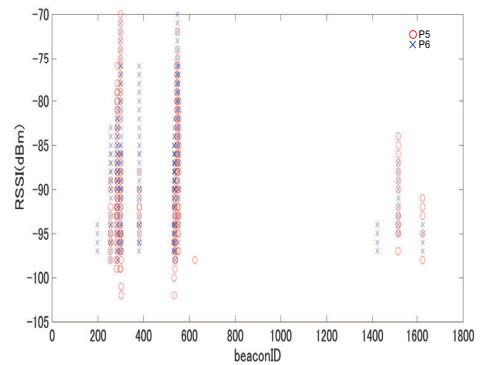


図 13 P5, P6 で事前に観測された RSSI

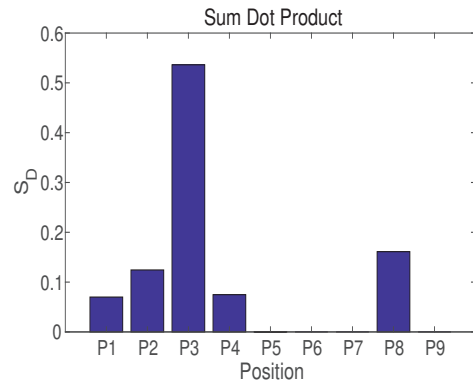


図 14 P5において確率分布の内積を用いたテンプレートマッチング

れなかった電波強度の値も考慮することができたからであると考えられる。

また、図 14 に P5 で観測した RSSI を用いて行ったテンプレートマッチングの結果を示す。図 14 において S_D の値が P5, P6 で他の観測点 P と比べて近い値を示している。P5 と P6 で事前に観測された RSSI をビーコンごとに出した図を図 13 に示す。図 13 から P5 で観測される RSSI は P6 で観測される RSSI と類似していることが考えられる。このことから、観測される RSSI が類似している場合 S_D を用いて推定位置を判別することが難しいと考えられる。

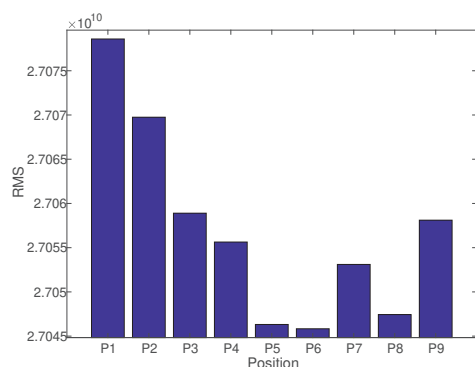


図 15 P5 において平均二乗誤差を用いたテンプレートマッチング

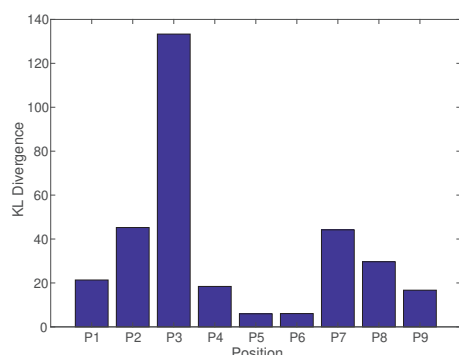


図 16 P5 において KL ダイバージェンスを用いたテンプレートマッチング

4.2 観測時間による精度の変化

表 5 の P3 における 13 秒から 12 秒にかけての推定成功回数の変化 (19 回から 14 回) はほかの部分よりも大きく変化している。これは、テンプレートマッチングの精度が低くなっていることを表していると考えられる。一方で、それぞれの推定成功回数の変化から、推定成功回数が減少した場合でも、観測時間をさらに減少させた場合において推定成功回数が上昇する場合がある (P2 において 15 秒, 14 秒, 13 秒の変化)。これは同じビーコンから受信された RSSI の取得回数が少ない場合、類似度を比較する分布が作成できないことに原因があると考えられる。このことから、データの観測タイミングによっても精度に影響を及ぼすと考えられる。

5. まとめ

BLE ビーコンを用いた屋外位置推定においてテンプレートマッチングを行い、その精度を他手法と比べ検証することを本研究の目的とし、特にテンプレートマッチング時、観測時間を短くしてもどの程度精度を維持できるかに着目した。

その結果、本研究では次の 3 つの結果が得られた。1) テンプレートマッチングにおいて他手法と比べ内積を用いた場合の精度が高い、2) 観測される RSSI が他の観測点で類

似している場合、位置推定を判別することが内積では難しい、3) 13 秒あれば、90%程度の精度は担保できる。これらの結果より、確率分布の内積を用いることで 13 秒観測された RSSI からは 90%の精度で 5m 間隔のテンプレートマッチングは可能であることが示唆される。また、観測される RSSI が類似している場合には、他の方法で判別する必要があると考えられる。

本研究の結果より、BLE ビーコンを用いた屋外における位置推定の精度と現在の限界を検証することができた。今後は、精度の向上を図るために RSSI の値だけでなく、取得回数にも着目していく。また、今回は直線上におけるテンプレートマッチングを行ったが、平面状にテンプレートを配置することで精度にどのような変化が見られるかを検討していく予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費 16H06538 の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] 伊藤 誠悟, 吉田 廣志, 河口 信夫, "無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討", 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, p3124-3136, 2006.
- [2] Qinglin Tian, Zorab Salcic, Kevin I-Kai Wang, Yun Pan, "A Multi-Mode Dead Reckoning System for Pedestrian Tracking Using Smartphones", IEEE Sensors Journal, Vol16, No.7, p2079-2093, 2016.
- [3] Krumm, J. and Hinckley, "The NearMe Wireless Proximity Server", Proc.6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004), pp.283-300, 2004.
- [4] F.Izquierdo, M.Ciurana, F.Barcelo and J.paradells, "Performance evaluation of a TOA-based trilateration method to locate terminals in WLAN", 2006 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing, 2006.
- [5] J. Kwon, B. Dunder, P. Varaiya, "Hybrid algorithm for indoor positioning using wireless LAN", IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004.
- [6] Shinsuke Kajioka, Tomoya Mori, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, "Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon", GCCE, 2014.