

## Bluetooth の電波強度を用いたユーザの位置推定手法

田岡 康裕<sup>†,‡</sup> 納谷 太<sup>‡</sup> 野間 春生<sup>‡</sup> 小暮 潔<sup>‡</sup> 李 周浩<sup>†,‡</sup>

<sup>†</sup> 立命館大学理工学研究科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

<sup>‡</sup> ATR 知識科学研究所 〒619-0288 京都府「けいはんな学研都市」光台 2-2-2

E-mail: <sup>†</sup> rs020036@se.ritsumei.ac.jp, leejooho@is.ritsumei.ac.jp, <sup>‡</sup> {naya, noma, kogure}@atr.jp

あらまし 本稿では Bluetooth による受信信号強度を用いたユーザの位置推定手法を提案する。本手法は医療事故の発生要因の分析などにおいて重要となる、看護師のインタラクション情報を得るためのものである。本手法ではユーザに装着した移動局が複数の固定局から一定時間で得られる受信信号強度の平均値、最大値、最小値、中央値を特徴量として用いて位置推定を行う。本手法の有効性を評価するために、2 床のベッドを配置した模擬的な病室環境での実験を行い、ベッド際のどの位置にいるかおよびそれ以外にいるかという識別については 80% 以上、どちらのベッドの患者に対するインタラクションかの識別においては 90% 以上の識別率が得られることがわかった。

キーワード Bluetooth, 近接センサ, インタラクション, 位置推定, 受信信号強度

## User's Location Estimation Method based on Received Signal Strength Indicator between Bluetooth devices

Yasuhiro TAOKA<sup>†,‡</sup> Futoshi NAYA<sup>‡</sup> Haruo NOMA<sup>‡</sup> Kiyoshi KOGURE<sup>‡</sup> and Joo-Ho LEE<sup>†,‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu-shi, Shiga, 525-8577 Japan

<sup>‡</sup> ATR Knowledge Science Laboratories 2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: <sup>†</sup> rs020036@se.ritsumei.ac.jp, leejooho@is.ritsumei.ac.jp, <sup>‡</sup> {naya, noma, kogure}@atr.jp

**Abstract** This paper proposes a method for estimating a user's location with RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) of Bluetooth in order to obtain information about the user's interactions. The method uses average, maximal, minimum and median values of RSSI that the mobile station attached to the user obtains from some fixed stations in a sliding window. This method has been evaluated experimentally in simulated ward environment with two beds. The method obtains more than 90% accuracy for identifying the patient that the user interacts.

**Keyword** Bluetooth, Proximity Sensor, Interaction, Location Estimation, Received Signal Strength Indicator

### 1. はじめに

近年、情報機器の小型化、ネットワーク化、高性能化に伴い多くのものにセンサが取り付けられ、人間や環境に関する様々な情報を収集できるようになり、コンテキストウェアサービスに関する研究が進められている。このコンテキストウェアサービスの例としては、産業や医療・看護といった多くの現場で、作業の効率化を図るための人員管理や、現場で発生する作業ミスの抑止といった安全管理を自動化することなどが考えられる。特に医療・看護の現場における医療事故が注目されている昨今、医療・看護の現場における作業ミスの抑止は特に重要かつ早急に対処すべき対象である。そこで我々は、医療・看護の現場における医療事故などの削減や看護師の業務負担の軽減のための支援などのために、看護師の行動を観測・理解する技術の研究開発を進めている[1]-[3]。この医療・看護

の現場での看護業務において、看護師が「いつ」、「どの患者」に対する処置を行ったかという近接情報を計測し、記録することは看護師の行動理解において重要である。

従来の近接情報を計測するための手法はユーザの位置情報を取得した後、間接的にユーザ間やユーザーモノ間の近接情報を計測しており、そのための位置計測技術としては赤外線、超音波、RFID などを用いた手法や無線通信の受信信号強度 (RSSI : Received Signal Strength Indicator) を用いた手法としては RADAR[4] が提案されてきた。しかしこれらの手法では位置情報を用いるため、位置情報を計測するためのインフラが設置できない環境では近接情報を計測できない、ベッドなどの近接情報検出の対象物の環境中における位置情報が必要などといった問題が生じる。また医療・看護の現場での応用も考えると医療機器への影響を最

小限に抑える必要がある。そこで我々は医療・看護の現場での応用も考慮し、低消費電力、低コストを特徴とする近距離無線規格 Bluetooth を用いて、近接情報が計測できる小型の Bluetooth デバイスを開発した。具体的には Bluetooth デバイスを人や物に設置し、Bluetooth デバイスが通信リンク接続前に行う近接デバイスの検出処理におけるパケットの RSSI からデバイス間の近接距離情報を推定する[2]。またこれまで、本手法を用いて人に装着した移動局と環境に装着した固定局間の近接距離の推定を行ってきたが[5]、本稿では本手法を用いた適用例として、2 床のベッドを配置した模擬的な病室環境でのユーザの位置推定実験を行い、本手法の効果を示す。本手法は環境中に設置した固定局を用いて空間における位置情報や近接情報を推定するのではなく、ベッドなどの近接情報検出の対象物に設置した固定局との相対的な位置関係を推定するため、近接情報検出の対象物の室内における位置情報を必要としない。

本稿の構成は以下になる。2 章では Bluetooth の RSSI を用いた近接情報推定の手法について述べる。3 章では環境が RSSI 計測に与える影響を抑える手法としてアルミ板および磁性シートを用いた際の効果を確かめる実験について、4 章では本手法の適用例として、2 床のベッドを配置した模擬的な病室環境で病室内を移動しながらベッドで寝ている患者に対して血圧測定を模倣した動作を行った際の位置推定実験を行い、本手法の効果を示す。最後に 5 章では本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. RSSI を用いたユーザの位置推定手法

様々な活動現場でユーザの行動分析を行う際、人や物の近接情報は重要な指針の一つとなる。我々は Bluetooth デバイスが通信リンク接続前に行う近接デバイスの検出処理におけるパケットの RSSI からデバイス間の近接距離情報を推定する手法を提案してきた[2]。しかし障害物や壁による電波の反射やその反射による干渉といった環境による影響で、たとえデバイス間の距離が一定であったとしても計測される RSSI にはばらつきが生じやすい。そこで本稿では近接情報の識別率を向上させるために、電磁波ノイズ対策で用いられる導体を用いる手法として、磁性シート（ニッタ株式会社、RFN1）およびアルミ板を用いて、環境による影響を抑えて RSSI を計測する手法[5]を用いる。

本稿では Bluetooth デバイスを移動局として人体の腹部および腰部に装着、磁性シートおよびアルミ板を用いた固定局を環境中に設置し、移動局が固定局から得る RSSI を学習サンプルとし、模擬的な病院環境における被験者の位置を推定する。固定局は前面以外

をアルミ板および磁性シートで覆うことにより、前方方向からの問い合わせに対してのみ応答を行うことでマルチパス等の環境の影響を抑える。学習サンプルは一定の問い合わせ時間内で得られる RSSI の平均値、最大値、最小値、中央値を特徴量とし、識別器には k-NN (k-Nearest Neighbor) 法を用いて被験者の位置推定を行う。本研究は患者への血圧測定といった業務中における様々な対人・対物の近接情報を推定することが目的であるため、本稿における位置推定とは病室内における被験者の座標を求めるのではなく、どのベッドの患者へのインタラクションかを識別するためにカテゴリ分けされた位置に対する識別である。また本手法は、単に移動局と環境に設置した固定局との相対的な位置関係の推定のみでなく、[5][6]のように様々な移動体に移動局を装着することで移動体間の近接情報も同時に推定が可能であるため、それぞれの推定において別種のセンサを用いる必要がない。

## 3. 被験者が静止した状態での位置推定実験

前節で述べたように、本手法で用いる RSSI はマルチパス等の環境による影響で電波が干渉し正確な RSSI が計測できない可能性があり推定誤差が生じやすい。そこで本稿では環境による影響を抑え RSSI を計測する手法として、磁性シートおよびアルミ板を用いた手法[5]を用いる。またこれまで[5]では人に装着した移動局と環境に設置した固定局間の近接距離の推定を行ってきたが、本節では提案手法の適用例として 2 床のベッドを配置した模擬的な病室環境で静止した状態での被験者の位置推定実験を行い、磁性シートおよびアルミ板を用いた本手法の効果を示す。

### 3.1 実験内容

本実験では図 1 の Bluetooth デバイス (38x39x10mm, 17g) を移動局として被験者の腹部および腰部に装着し (図 2)、移動局と同じ Bluetooth デバイスを固定局として磁性シートおよびアルミ板で覆い環境中に設置した。固定局は電波の飛びを抑えるために、1mm 厚のアルミ板および 250  $\mu$ m 厚の磁性シートで覆い (図 3)、図 4 のようにベッド毎に頭方向および足方向のパイプに 1 台ずつの 2 台設置し、また固定局を装着する位置はパイプの真ん中もしくは、各ベッドに装着した固定局間の距離が離れるようパイプの一番端の 2 通りの位置に設置した。図 5 に固定局をパイプの端に設置した場合の実験環境を示す。配置するベッドは縦が 2100mm、幅が 900mm、高さ 600mm で、固定局を装着する高さは、頭方向のパイプに装着する場合は 970mm、足方向のパイプに装着する場合は 820mm である。2 床のベッド間の距離は 1300mm で、各ベッドに装着した固定局間の距離は、固定局をパイプの真ん

中に設置した場合は 2200mm, 固定局をパイプの端に設置した場合は 2700mm であり, また被験者に装着する移動局の高さは 1000mm である。

図 5 中の丸印はベッド際に立つ被験者の位置を表していて, 被験者は Position1 から Position4 の 4 カテゴリで, 各 Position において矢印の方向を向いた状態で静止し RSSI を計測する。そして得られた RSSI から学習サンプルを作成し, NN 法を用いて Position1 から Position4 の 4 カテゴリへの識別を行い, 10分割交差検定法を用いて評価した。被験者の腹部および腰部に装着した移動局が, 一定の間い合わせ時間で各固定局からそれぞれ得られる RSSI について 4 種類の特徴量を算出しているため, 学習サンプルは 32 次元の特徴量を持っている。

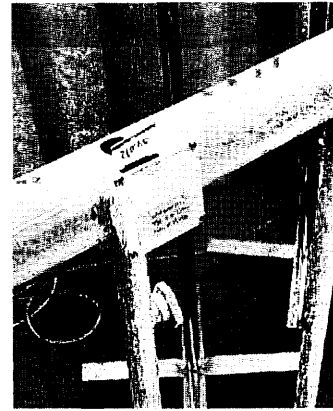


図 4. ベッドに装着したデバイス

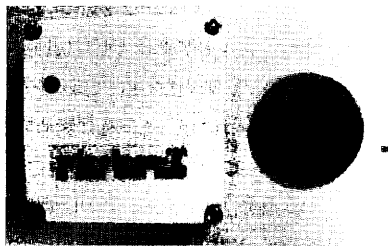


図 1. Bluetooth デバイス

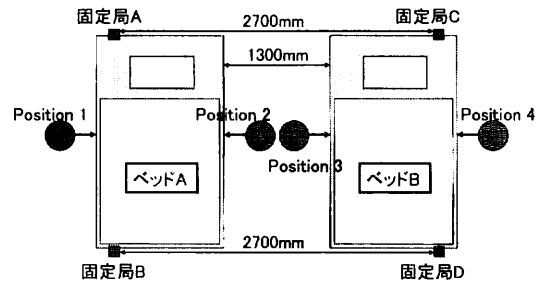


図 5. ベッド 2 床の模擬的な実験環境



図 2. 被験者に装着した移動局

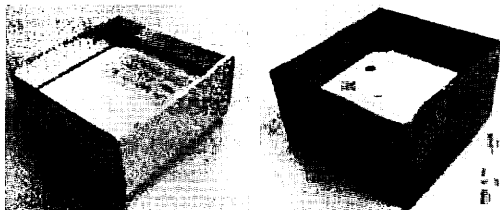


図 3. アルミ板で覆ったデバイス(左)と  
磁性シートで覆ったデバイス(右)

### 3. 2 実験結果

各 Position で静止し 3 分間の RSSI 計測を 3 回ずつ行い, Position 毎に 105 サンプルずつ, 各状態において計 420 サンプルずつ得られた。図 6 に各計測状態での Position 毎の識別率を示す。横軸は計測時の状態を, 縦軸は 4 カテゴリへの識別率を表す。図 6 中の計測時の状態は左から順に, 固定局をベッドのパイプの真ん中に設置し, 固定局にはアルミ板もしくは磁性シートを用いなかった場合, アルミ板を用いた場合, 磁性シートを用いた場合, 固定局をパイプの端に設置し, 固定局にアルミ板を用いた場合, 磁性シートを用いた場合をそれぞれ表している。図 6 より, 固定局にアルミ板や磁性シートを用いた場合は, 固定局に何も用いなかった場合と比較して全体的に高い識別率が得られることがわかった。

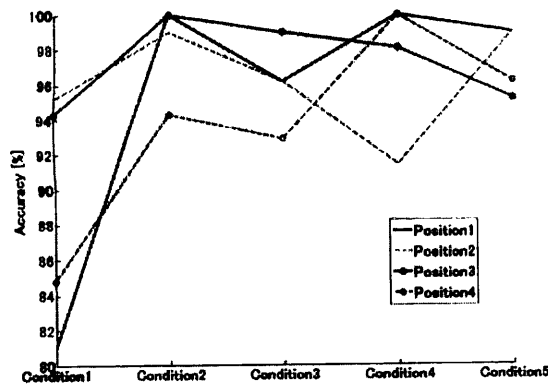


図6. 計測状態毎の識別率

次に表1および表2に、各ベッドのパイプの真ん中にアルミ板もしくは磁性シートで覆った固定局を設置した際の被験者の位置推定時の Confusion Matrix を示す。全体の識別率はどちらも大きな差異はないが、間違っただサンプルがどのカテゴリと間違えたかを見ると、固定局をアルミ板で覆った場合は識別を間違っただサンプルの内4サンプルが異なるベッドと間違っているが、固定局を磁性シートで覆った場合では識別を間違っただサンプルの内15サンプルが異なるベッドと間違っている。このことから固定局を磁性シートで覆った場合は、アルミ板で覆った場合と比較して異なるベッドとの識別間違いが多いことがわかった。つまりどのベッドへのインタラクションかを識別するのであれば、本実験においてはアルミ板を用いる方が良いと考えられる。

#### 4. 被験者が移動している状態での位置推定実験

前節では、2床のベッドを配置した模擬的な病室環境において、被験者がベッド際の決められた位置に静止した状態で計測されたRSSIを用いて位置推定を行った。本節では、被験者はベッド際の決められた位置に何もせず静止するのではなく、病室内を移動しながらベッドで寝ている患者に対して血圧測定を模倣した動作を行いながらRSSIを計測し、得られたRSSIを用いて被験者の位置推定実験を行い、移動状態での本手法の効果を示す。

##### 4.1 実験内容

本実験は前節と同様の実験環境を用いて、各ベッドの患者にベッドの両側から血圧測定を模倣した動作を行いながらRSSIの計測を行う。本実験は静止状態のみでRSSIを計測するのではなく、数十分間の作業を通してRSSIの計測し続けるため、歩いている状態も含まれる。移動局は前節同様、被験者の腹部および腰部に

表1. アルミ板で覆った固定局を用いた際の Confusion Matrix

	Pos1	Pos2	Pos3	Pos4	Accuracy
Pos1	105	0	0	0	100%
Pos2	1	104	0	0	99.0%
Pos3	0	0	105	0	100%
Pos4	4	0	2	99	94.3%

表2. 磁性シートで覆った固定局を用いた際の Confusion Matrix

	Pos1	Pos2	Pos3	Pos4	Accuracy
Pos1	101	0	1	3	96.2%
Pos2	0	101	0	4	96.2%
Pos3	0	0	104	1	99.0%
Pos4	1	6	0	98	93.3%

1台ずつ装着し、固定局は図5のように各ベッドの頭方向および脚方向のパイプの端に固定局間の距離が離れるよう1台ずつを設置する。また固定局は電波の飛びを抑えるために、1mm厚のアルミ板で囲ったものを用いる。実験を計2回行い1回目で計測されたデータから学習サンプルを作成、2回目に計測されたデータからテストデータを作成し、k-NN法を用いて識別を行う。また学習サンプルとテストデータを入れ替えても同様に識別を行う。学習サンプルは前節と同様で計32次元の特徴量を持っている。位置の識別は、前節でのPosition1からPosition4の位置4カテゴリおよび、歩いている状態やベッド際以外の位置を含めたOtherの計5カテゴリへの識別とする。またPosition1からPosition4では被験者は必ず静止して作業を行っており、ベッド際で歩いている場合はOtherに含まれる。ただし本実験でのk-NNを用いた識別において、学習サンプル内にOtherのサンプルは用意しておらず、テストデータを識別する際、k-NN法によって推定されたサンプルとの特徴量空間距離がある閾値を超えるものはOtherとし、閾値を超えないものはk-NN法で推定されたサンプルを推定結果とする手法を用いる。

##### 4.2 実験結果

図7に本実験で被験者の腹部に装着した移動局が実際に計測したRSSIの一部を示す。横軸は時間を、縦軸はRSSI [dBm]を表す。図7より、Position1からPosition4で静止して作業を行っている際、被験者の腹部に装着している移動局は被験者が向いている方向のベッドに装着されている固定局のRSSIを強く計測していることがわかる。

本実験では計2回の実験でそれぞれ約15分間の簡単な業務を通してRSSIを計測し、それぞれ184サンプル、216サンプル得られた。しかし移動中は計測できるRSSIの数が減少し特徴量の欠損値が増加したため、以下のような手法で欠損値を補った。

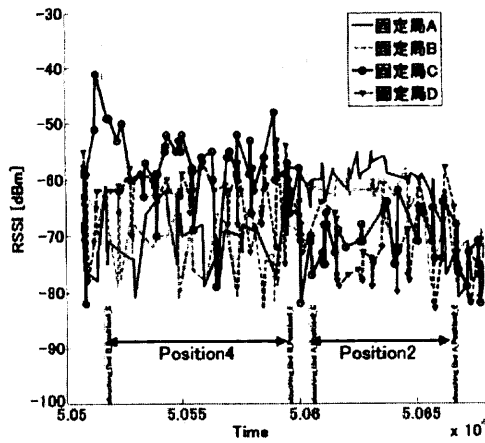


図 7. 腹部の移動局が計測した RSSI

学習サンプルにおける欠損値は学習サンプル全体の特徴軸毎の平均値で補填し、テストデータの欠損値についても同様に学習サンプルの平均値を補填した。

識別は Position1 から Position4 の 4 カテゴリおよび、静止していない状態やベッド際以外の位置を含めた計 5 カテゴリへの識別とし、1 回目の計測データを学習サンプル、2 回目のデータをテストデータとして識別を行うと  $k=9$  のときに最大識別率 79.3% が得られ、2 回目の計測データを学習サンプル、1 回目のデータをテストデータとして識別を行うと  $k=7$  のときに最大識別率 67.5% が得られた。図 8 に  $k$ -NN 法の  $k$  の値を変更した際の識別率の変化を示す。横軸は  $k$  の値を、縦軸は識別率を表しており、図中の丸印が最大識別率を示す。図中の trial1 は 1 回目の計測データを学習サンプル、2 回目のデータをテストデータとして識別を行った際の識別率の変化を、trial2 はデータを入れ替えて識別を行った際の識別率の変化を示す。

表 3 に 1 回目の計測データを学習サンプル、2 回目のデータをテストデータとして 5 カテゴリへの識別を行った際の Confusion Matrix を示す。図 9 に 1 回目の計測データを学習サンプルとし、2 回目の計測データをテストデータとして与えて識別を行った際の結果を時系列で表したものを示す。横軸は時間を、縦軸は識別を行うカテゴリを表しており、図中の太線は正しい識別結果を、十字印は  $k=9$  での  $k$ -NN 法による識別結果を示しており、つまり丸印と十字印の重なっていない点が識別を間違えたサンプルである。表 3 および図 9 より静止してベッド際で作業を行っている Position1 から Position4 と Other との識別誤差が多いことがわかる。

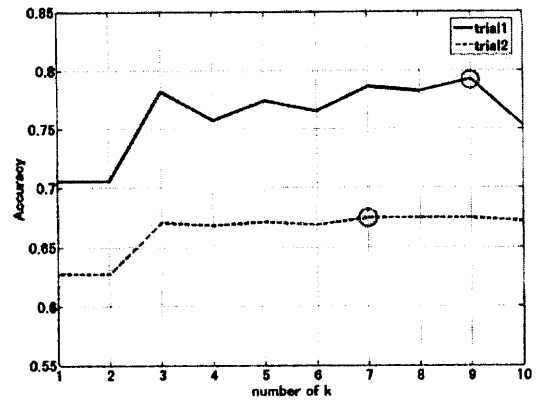


図 8.  $k$  の値による識別率の変化

表 3. 静止していない状態を含めた 5 カテゴリへの識別における Confusion Matrix

	Pos1	Pos2	Pos3	Pos4	Other	Accuracy
Pos1	28	1	0	0	2	90.3%
Pos2	1	13	0	1	8	56.5%
Pos3	0	0	25	2	5	78.1%
Pos4	0	0	2	29	2	87.9%
Other	6	2	5	3	81	83.5%

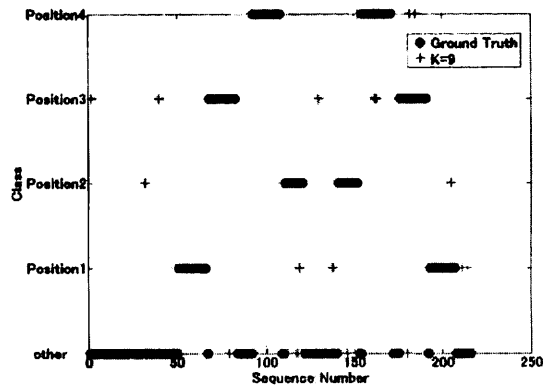


図 9. 時系列での識別結果

表 4. 静止していない状態を省いた 4 カテゴリへの識別における Confusion Matrix

	Pos1	Pos2	Pos3	Pos4	Accuracy
Pos1	27	4	0	0	87.1%
Pos2	2	20	1	0	87.0%
Pos3	1	0	28	3	87.5%
Pos4	1	0	4	28	84.8%

そこで次に Other を省き、Position1 から Position4 の 4 カテゴリのみ識別を行った際の Confusion Matrix を表 4 に示す。Position1 から Position4 の 4 カテゴリへの識別では、1 回目の計測データでは 127 サンプル、2 回目の計測データでは 119 サンプルである。表 4 も表 3 同様、1 回目の計測データを学習サンプル、2 回目のデータをテストデータとして識別を行った際の結果である。

表 3 および表 4 より、Other を省き静止状態のみでの識別を行うことにより識別率が向上することがわかった。よって今後歩いているか静止しているかの識別を行い、静止状態での識別を行うことで、より正確な近接情報の検出を行うことができると考えられる。また識別の間違いは Position1 を Position2 と間違えるような同じベッドでの識別間違いが大半を占めており、どちらのベッドに対するインタラクションか、という識別においては 97.5% の識別率が得られた。そして、被験者が瞬間的に Position1 から Position2 へ移動することなどは考えにくいので、サンプル毎の識別のみでなく時系列による推定を加えることで、より近接情報の検出を行いやすくなると考えられる。

また表 1 および表 4 はともに、固定局はアルミ板で覆ったものを用いて静止状態での Position1 から Position4 の 4 カテゴリへの識別を行っているが、表 4 では全体的に識別率が低くなっている。これは表 1 では何もせず決められた位置・方向で静止していたが、表 4 では血圧測定を模倣した動作を行っており、また静止した際の位置も一定ではないためこのような識別率の差異が発生したと考えられる。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では RSSI を用いたユーザの位置推定において、電波の反射など環境が RSSI 計測に与える影響を抑えて位置推定を行う手法としてアルミ板および磁性シートを用いる手法を提案し、模擬的な病室環境において実験を行い、アルミ板を用いた際に高い識別率が得られ、大きな識別間違いが少なくなることを確認した。そして、病室内を移動しながらベッドで寝ている患者に対して血圧測定を模倣した動作を行いながらの RSSI 計測実験においては、被験者が静止した状態か否かを判定できれば識別率が向上することがわかった。またその際の識別間違いは同じベッドでの識別間違いが多く、どのベッドの患者とのインタラクションかを識別することに関しては 90% 以上の識別精度が得られた。

今後、ユーザが歩いているか静止しているかの推定を組み合わせ、静止しているときに位置推定を行うことでより正確な近接情報の

推定が行うことができると考えられる。また、時系列による推定も組み合わせることで更なる効果が期待できる。そして、本手法では一定の問い合わせ時間内で得られる RSSI から平均値、最大値、最小値、中央値の特徴量を用いて学習サンプルを作成しているが、問い合わせ時間を長くすることで得られる RSSI が増え、特徴量の欠損値が減り、また多種の特徴量を用いることにより識別率の向上が望める。

## 謝辞

本研究は情報通信研究機構(NICT)の研究委託により実施したものである。

## 参考文献

- [1] 桑原教彰, 野間春生, 鉄谷信二, 萩田紀博, 小暮潔, 伊関洋: “ウェアラブルセンサによる看護業務の自動行動計測手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2638-2648, 2003.11.
- [2] 納谷太, 野間春生, 大村廉, 小暮潔: “Bluetoothのデバイス検出機構を用いた近接位置計測法”, 情報処理学会研究報告.ICS, [知能と複雑系], Vol.2005, No.78, pp.5-10, 2005.8.
- [3] Haruo Noma, Ren Ohmura, Futoshi Naya and Kiyoshi Kogure: “Sensor Network Management for Understanding Everyday Activities”, Proc. of the Workshop on Knowledge Sharing for Everyday Life, Vol.11, No.8, pp.17-24, 2006.
- [4] P.Bahl and V.N.Padmanabhan: “RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System”, In Proceeding of The 19th Conference of the IEEE Communications Society (Infocom2000), pp.775-784, 2000.
- [5] 田岡康裕, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, 李周浩: “Bluetoothの受信信号強度を用いた移動体の近接距離推定法”, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.1292-1293, 2007.12.
- [6] 田岡康裕, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, 李周浩: “小型Bluetoothデバイスを用いた移動体の近接距離推定法”, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.768-769, 2006.12.
- [7] バンダーラウダーナ, 長谷川幹雄, 井上真杉, 森川博之, 青山友紀: “Bluetoothを用いた室内位置検出システムの設計と実装”, 情報処理学会研究報告.UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol.2004, No.4, pp.9-16, 2004.1.
- [8] 岩崎哲, 田中砂与子, 廣田輝直, 安藤英幸, 榎本昌一, 佐々木裕一: “近距離無線による造船所内位置計測方法の研究”, 日本船舶海洋工学会論文集, No.1, pp.55-61, 2005.