

WLAN の伝搬損失特性に基づく信頼性を考慮したエリア推定方式

Reliable Area Estimation based on Propagation Loss Characteristics of WLAN

山田 直治†
Naoharu Yamada

磯田 佳徳†
Yoshinori Isoda

1. はじめに

近年、決まった席を持たず、業務内容などに応じて席を選択するフリーアドレス・オフィスを導入する企業が増えている。このようなオフィスでは、ユーザの居場所や状況の把握が難しく、ユーザ間のコミュニケーションが円滑に行えないことから業務効率の低下が懸念されるという課題があった。この課題を解決する方法として、人の位置や状況を示すプレゼンス情報をユーザ間で共有・利用することが考えられる。他のユーザのプレゼンスを確認するサービス、プレゼンスに応じてメールや電話といった連絡手段を提供するサービス、さらにはあるユーザが自席に戻ったことを別のユーザに通知するリマインダサービスなどのプレゼンスサービスによりオフィス内におけるコミュニケーション・業務の効率化を図ることが可能となる。オフィスでは、“会議室＝会議中”、“自席＝デスクワーク中”のようにユーザが存在するエリアと状況との関係が特に固定的であることから、ユーザのエリアを特定することでプレゼンスを推定することができる。

ユーザのプレゼンスを推定するためのエリア推定の要求条件として、高信頼度、低コストが挙げられる。高信頼度については、従来の測位方式では、XY 座標の推定精度の向上に主眼がおかれていた。しかしオフィスでのプレゼンスサービスでは必ずしも XY 座標の推定は必要ではなく、会議室やユーザの自席などエリア単位での推定ができれば良い。ただしプレゼンスサービスでは推定の信頼度が高い必要がある。要求される信頼度の具体的な数値はサービスに依存する。例えば上記のリマインダサービスでは、サービス提供条件を満たせば自動的にサービスが提供される。そのためエリア単位の推定信頼度が低ければ、推定エリアの変動に応じて度々リマインド情報が通知されるという問題が生じることから 100%に近い信頼度が要求される。一方、上記のプレゼンス確認サービスでは、他のユーザの存在エリアを確認したユーザにプレゼンスの判定が委ねられているため、エリア単位の推定信頼度が多少低下してもユーザが誤推定の可能性を考慮してプレゼンスを判定できる。低コストである要求条件に関しては、従来の RFID や超音波センサなどを利用する測位方式では、環境内への多数の測位専用機器配置、専用ネットワーク構築、ユーザへの専用機器装着が必要となりハードウェアコストが高くなる。また機器の正確な位置決めが必要となり事前設定コストが高くなる。一方無線 LAN (以降、WLAN) は PC や一部の携帯電話に搭載され、オフィス内では WLAN 環境も構築されていることから、WLAN を利用することでハードウェアコストを低減することが可能である。そこで本稿では WLAN を利用し、ハードウェア・設定コストを低減させた上で、信頼度を考慮したエリア推定方式を提案する。

† (株) NTT ドコモ サービス&ソリューション開発部

2. 関連研究

WLAN による従来の測位方式として、複数の WLAN AP から送信された Beacon 信号の RSSI を移動端末で取得し、統計モデルを作成・利用することにより測位を行う方式[2]や、移動端末から複数 WLAN AP への信号の到達時間差から三辺測量により測位を行う方式[1]が提案されている。しかし、統計モデルを用いる方式は、統計モデル作成のために事前に多数の位置で RSSI を取得し、学習を行う必要があり設定コストが高くなる。三辺測量方式は到達時間差を測定するために専用のアクセスポイントを使用する必要があり、ハードウェアコストが高くなる。さらに考慮すべき点として、一般的にアンテナ指向性やユーザの向きにより伝搬環境が変化し RSSI も変化する。移動端末はユーザの体に密着しているため、特にユーザの向きによる影響が大きい。事前実験では、移動端末を胸ポケットに入れたユーザが 1m 離れた WLAN アダプタと正対している場合と反対を向いている場合で RSSI が 10dBm 程度変化した。また人や什器の移動により RSSI は時間的に変動する。上述した測位方式では、数メートルから十数メートル離れた AP と移動端末間での伝搬損失特性や到達時間差を用いるため、これらの変動を受けやすい。その結果、推定した位置座標が時間的に変動し、移動端末の携帯方法や向き、距離によっては推定結果の信頼性が低下する可能性があった。

3. 信頼性を考慮したエリア推定方式

本稿では推定結果を位置座標ではなくエリアとする。エリアとは人によって意味付けられた空間であり、エリアの例として山田席、会議室 B などがある。本稿では、エリア推定の信頼性を向上するために、送受信端末間距離の短縮と RSSI 伝搬損失特性に基づくエリア推定方式を提案する。

3.1 送受信端末間距離の短縮

WLAN の伝搬損失特性[3]において、送信端末と受信端末との距離が短い場合には RSSI の距離分解能が高いことに着目する(図 1)。オフィス内には各座席に固定的な業務用 PC (固定端末) が存在することが多いため、これらに搭載もしくは装着された WLAN アダプタを利用する。

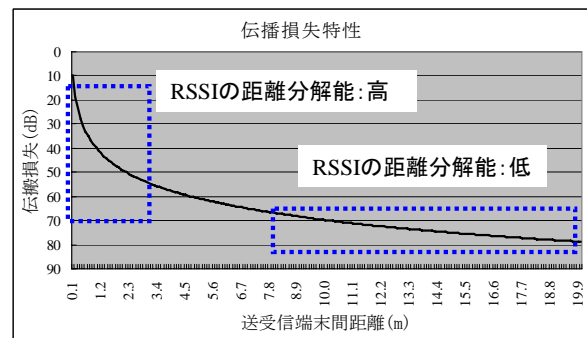


図 1 WLAN の伝搬損失特性

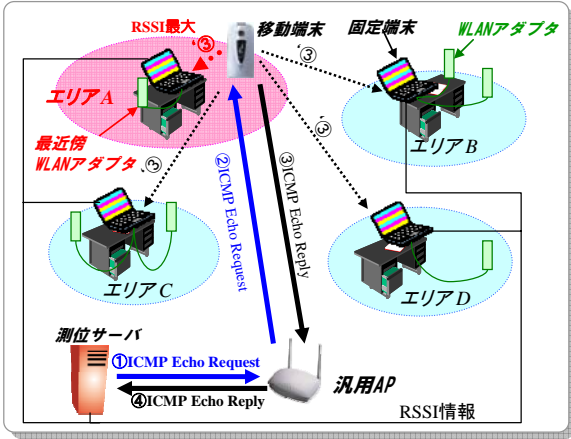


図2 送受信端末間距離の短縮方式

図2に概要を示す。事前にエリア名と空間的範囲を登録し、エリア名とWLANアダプタを対応付ける。ここで送受信端末間距離を短くすることから、エリアが広い場合には複数のWLANアダプタを対応付けることが望ましい。そして測位サーバから移動端末にICMP Echo Request パケットを定期的を送信し、それに対する移動端末からの Echo Reply パケットをWLANアダプタでキャプチャしてRSSIを取得する(図2の③)。固定端末は取得したRSSI情報を測位サーバに送信する。これにより移動端末と最近傍WLANアダプタ間の距離を短くことができ、RSSIの距離分解能を高めることができる。

3.2. RSSI 伝搬損失特性に基づくエリア推定方式

送受信端末間距離の短縮方式により、移動端末の最近傍WLANアダプタが他のWLANアダプタより明らかに高いRSSIを取得できれば移動端末の存在エリアを高信頼度に特定可能である。しかし上述したRSSIの時間変動により最近傍WLANアダプタのRSSIが一時的もしくは恒常的に低下し、他の近傍WLANアダプタのRSSIを下回った場合には誤推定となる。そこで近傍のWLANアダプタ間でRSSIに差がない場合には、RSSIが最大となるエリアだけでなく、同等のRSSIを持つエリアを推定結果とする。例えば図2では移動端末はエリアAに存在するが、エリアAのWLANアダプタのRSSIが低下し、エリアBのWLANアダプタのRSSIと同等となった場合にはエリアAとエリアBの両方のエリアを推定結果とする。これにより精度は低下するものの、信頼度を高めることが可能となる。以下

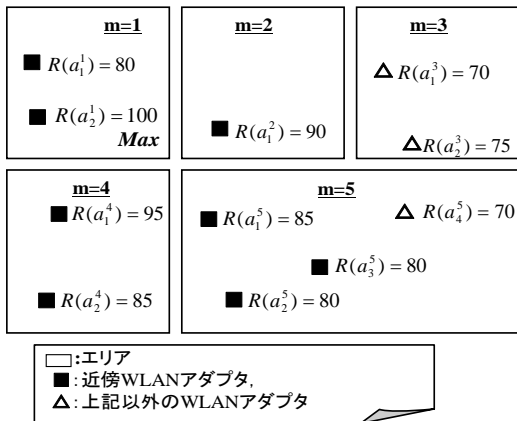


図3 近傍WLANアダプタ群の特定例 (Rc=20)

では、例を使って推定方式の処理手順について述べる。

手順1) 近傍WLANアダプタ群の特定

まず移動端末の近傍WLANアダプタ群を特定する。伝搬環境の変化に伴うRSSIの変動に対応するため、本稿ではRSSIが最大および最大値以下一定範囲内のRSSIを取得したWLANアダプタ群を移動端末の近傍に存在するWLANアダプタとみなす。エリア m に存在する j 個目のWLANアダプタを a_j^m 、そのRSSIを $R(a_j^m)$ 、全WLANアダプタにおけるRSSIの最大値を R_{max} とすると、近傍WLANアダプタ群の集合 N は式(1)により表される。

$$N = \{a_j^m | R(a_j^m) \geq R_{max} - R_c\} \quad \dots (1)$$

R_c は近傍WLANアダプタ群を特定するための閾値を表す。図3の例では $R_c=20$ の場合の例を示している。

手順2) 近傍エリアの代表WLANアダプタの特定

次に近傍WLANアダプタ群に対応付けられた近傍エリア群について、各近傍エリアに複数の近傍WLANアダプタが存在する場合には代表WLANアダプタを特定する。近傍エリアを m' とすると、各 m' においてRSSI最大のWLANアダプタが移動端末の最近傍である可能性が最も高いことから、各 m' においてRSSI最大のWLANアダプタを代表WLANアダプタ $ha^{m'}$ とする。図4に代表WLANアダプタの例を示す。本エリア推定方式では、 R_{max} およびそれと同等のRSSIを取得したWLANアダプタに対応付けられたエリアを特定したいため、同一エリア内に複数の近傍WLANアダプタがあった場合でも、当該エリア内でRSSI最大のWLANアダプタのみを考慮すれば十分である。

手順3) RSSI 相対比による各近傍エリアの信頼度算出

次に各近傍エリア m' について、移動端末が存在する信頼度

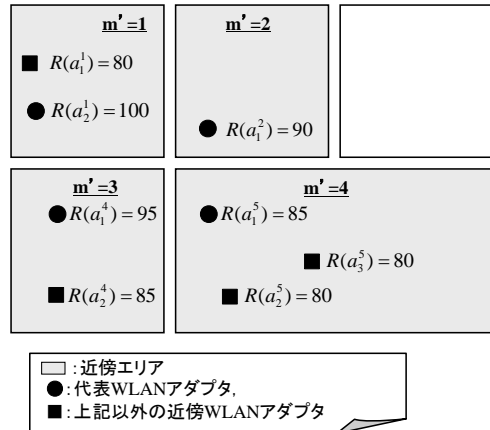


図4 代表WLANアダプタ群の特定例

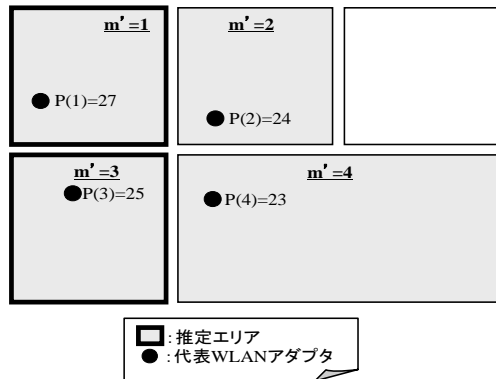


図5 複数エリアの推定例 (Pc=50)

$P(m')$ を特定するために、近傍エリア群に対する $R(ha^{m'})$ の相対的な高さを算出する。複数のエリアの信頼度を単一エリアの信頼度から容易に算出できるようにするために、本稿では相対比を採用する。なお相対比により算出された信頼度は、エリア推定の信頼度そのものを表すものではなく、他のエリアと比較して相対的にどの程度高い精度を有しているかを表している。 $P(m')$ は式(2)により算出する。ただし K は近傍エリア数を表す。

$$P(m') = \frac{R(ha^{m'})}{\sum_{k=1}^K R(ha^k)} \times 100 \dots (2)$$

最後に、 $P(m')$ を降順にソートし、閾値 P_c 以上となる最小近傍エリア群を特定する。図5の例では、 $P_c=50$ の場合の例を示しており、この場合推定結果は $m'=1, 3$ となる。

提案方式では WLAN アダプタを環境内に多数配置するものの、既存の業務用 PC があるエリアではソフトウェアを搭載するだけで良く、業務用 PC が無いエリアでも市販の USB 型 WLAN アダプタと別エリアの業務用 PC を USB 延長ケーブルで接続することで対処可能であり、測位にかかるハードウェアコストを低減することができる。また推定結果がエリア単位であるため WLAN アダプタの正確な位置決めが不要であり、設定コストを軽減させることができる。さらにサービスが要求する信頼度に応じて R_c , P_c を決定することにより、その信頼度を満たすエリア群を特定することができる。例えばリマインダサービスでは高信頼度が要求されることから、 R_c , P_c を高い値にする。提案方式では、他の WLAN アダプタと比較して最近傍の WLAN アダプタの RSSI が明らかに高ければ、単一エリアで P_c 以上となり、高精度な測位が可能である。一方、伝搬環境の変化により一時的に最近傍の WLAN アダプタの RSSI が低下したとしても図5のように P_c 以上となる最小近傍エリアが複数になることで、精度は低下するものの信頼性を維

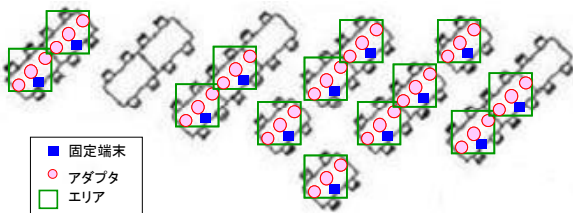


図6 評価実験環境 (実際のオフィスを利用)

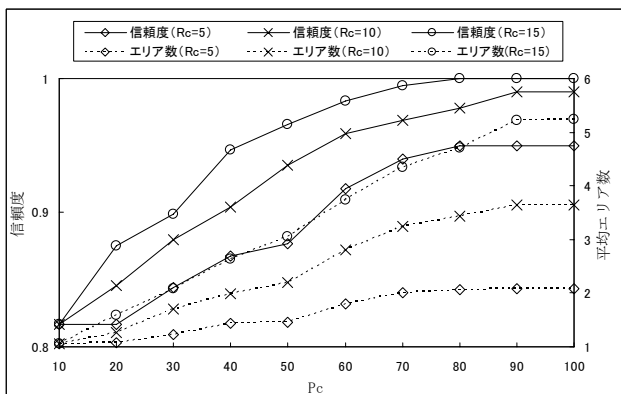


図7 推定信頼度と推定結果エリア数

持できる。

4. 評価実験

実環境における人や仕物の移動に基づく RSSI の変動を考慮するため、実際のオフィスにおいて提案方式の信頼性と精度に関する評価実験を実施した。図3において被験者は N900iL 1台を胸ポケットに携帯し、各エリアで対角線上に2座席ずつ、計26カ所について2分間着席した。1つのエリアは3m四方であり、着席時の最近傍 WLAN アダプタとの距離は約1mである。また各エリアには3つの WLAN アダプタが存在する。N900iL に対しては1秒毎に ICMP Echo Request を送信した。その上で1秒毎にエリア推定を実施し、 $R_c=5, 10, 15$, $P_c=10 \sim 100$ について信頼度及び精度を算出した。信頼度は推定結果に正解エリアが含まれていれば正解とし、推定数における正解数の割合で算出した。また精度として推定結果の平均エリア数を算出した。

実験結果を図6に示す。信頼度が最も高いのは $R_c=15$, $P_c=80$ の場合で信頼度は100%、平均エリア数は4.7となった。また $R_c=5$, $P_c=80$ の場合、信頼度は95%、平均エリア数は2.1であった。なお $R_c=0$ の場合、すなわち RSSI が最大の WLAN アダプタに対応づけられたエリアを推定結果とする場合、信頼度は82%、平均エリア数は1であった。

R_c が大きい ($R_c=15$) 場合には、近傍 WLAN アダプタ群に正解エリアの WLAN アダプタを含むことができるため、 P_c を上げることにより信頼度が上がるが、他の近傍エリアの WLAN アダプタも多く含まれるため平均エリア数が多い。一方 R_c が小さい ($R_c=5$) 場合には、一部で正解エリアを取りこぼすケースが存在するが、周辺エリアの WLAN アダプタがほとんど含まれないため平均エリア数を少なくすることができた。つまり信頼度を高くするためには R_c を大きくすれば良く、精度を高くするためには R_c を小さくすれば良い。また、 P_c を上げることにより、信頼度および平均エリア数も上昇するが、 $P_c=80$ 以降は信頼度が上昇せず、平均エリア数のみ上昇した。つまり P_c を80程度に設定することにより、近傍エリアのうち正解エリア以外のエリアのみを効果的に除外し、エリア数増による精度低下を抑止できていると言える。

5. おわりに

本稿では信頼性を考慮したエリア推定方式として、送受信端末間距離の短縮と、WLAN アダプタで取得した RSSI に基づく複数エリア推定方式を提案した。パラメータ R_c , P_c を適切に選択することにより、サービスが要求する信頼度、精度に応じてエリア推定を行うことが可能である。実環境における評価実験では、高信頼度なエリア推定が可能であることを確認し、さらにサービスが要求する信頼度に応じて R_c を適切に設定することで信頼度と精度を調節できることを確認した。

参考文献

- [1] AirLocation™: <http://www.hitachi.co.jp/Prod/vims/solutions/ssup/airlocation/>
- [2] Ekahau: <http://www.ekahau.com/>
- [3] ITU-R P1238-4: Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and radio local area networks in the frequency range 900MHz to 100GHz, ITU-R Recommendations, P series, Mar. 2005.