

無線 LAN の電波強度分布類似度を用いた方向推定手法

伊藤 誠悟^{*1} 佐藤 弘和^{*1} 河口 信夫^{*1*2}

名古屋大学大学院情報科学研究科 名古屋大学情報連携基盤センター

Direction Estimation Method Using Divergence of Signal Strength Distribution

Seigo ITO^{*1} Hirokazu Satoh^{*1} Nobuo Kawaguchi^{*1*2}

^{*1}Graduate School of Information Science, Nagoya University

^{*2}Information Technology Center, Nagoya University

1. はじめに

近年多くの場所において、無線 LAN の利用が可能となってきた。大学や企業だけにとどまらず、自宅、駅、空港、アミューズメント施設やショッピングセンター等のあらゆる場所で無線 LAN の利用が可能である。このようにどこでも無線 LAN が利用可能となってきた状況で、我々はユーザが自身のノート PC や PDA を持ってさえいれば手軽に位置を推定し、位置依存情報サービスを利用することができる枠組みとして、ベイズ推定を用いたモデルベースの位置推定手法の提案とシステムの実装を行ってきた [1][2]。これに加え本論文では、無線 LAN の電波強度分布類似度を用いた方向推定手法の提案を行う。本方向推定手法においては、ユーザと無線 LAN アクセスポイントの方向関係により生じる受信電波強度分布の違いを検証することによりユーザの方向推定を行う。今回、無線 LAN による電波強度分布類似度を用いた方向推定手法に基づくシステムを新たに実装し、名古屋大学 I B 電子情報館において方向推定手法に関する評価実験を行い我々の方向推定手法の有用性の確認を行うことができたので報告する。

2. 方向情報を利用したサービス

本章では位置情報を考慮した location-based service に、方向情報を追加した directional location-based service について述べる。

2.1. Directional Location-Based Service

Directional location-based service とはユーザの現在の位置情報と方向情報を考慮したサービスである。Directional location-based service が可能となった場合に以下のような利用シナリオが考えられる。

1. 学会のポスターセッションにおいて、ユーザが現在立っている場所と向いている方向にあるポスターの付加情報をユーザへ提示する情報提示サービス。
2. 初めて訪れた大学や企業等の広大な敷地内において、現在いる場所から「どちらの方向へ？」進めばよいかを示すナビゲーションサービス。
3. インスタントメッセージ等のプレゼンスツールにおいて現在ユーザが場所と方向により、プレゼンス情報を変更するプレゼンス自動変更サービス。(例えばインスタントメッセージ名を「user@講義連絡掲示板見ってます」等に変更する)
4. サーバ室などのディスプレイが多数配置されている環境において、現在自分が向いている方向のサーバのディスプレイを転送する画像転送サービス。

このように位置情報だけではなく方向情報の取得が容易に可能となった場合に、「現在見ている物」とった細かなサービスの提供が可能となる。本論文では directional location-based service を提供するための基盤である無線 LAN を用いた方向推定手法について述べる。

3. 電波強度分布類似度を用いた方向推定手法

本章では電波強度分布類似度を用いた方向推定手法について述べる。

3.1. 無線 LAN を用いた方向推定手法の必要性

ユーザの現在位置により、ユーザへ情報支援を行う location-based service に関する研究[3]や無線 LAN を用いた位置推定に関する研究[4][5][6]は多くの研究グループにより行われている。これら無線 LAN による location-based service に加え我々は、ユーザが現在向いている方向を考慮した directional location-based service を提供したいと考えてきた。さらにユーザが手軽に directional location-based service を利用するためにはユーザに特殊なハードウェアを持たせないことが必要とされる。このため我々が現在までに開発してきた無線 LAN を用いた位置推定システム[1]に加え、ユーザが無線 LAN アダプタを保持するだけで方向推定を行うことができる方向推定手法に関する検討と評価を行った。

3.2. 受信電波強度の相違

ユーザが観測できるアクセスポイントからの受信電波強度分布は、ユーザとアクセスポイント間の方向関係によって大きく変化する。例えば図 1 はあるアクセスポイントからの受信電波強度分布を、ユーザがアクセスポイントの方向を向いている場合とアクセスポイントに背を向いている場合において一定時間観測した受信電波強度分布を表している。図 1 ではアクセスポイントのない方向を向いている場合は +53dbm ~ -43dbm の電波強度を観測できているのに対し、アクセスポイントのある方向を向いている場合は -43dbm ~ -30dbm の受信電波強度を観測している。このようにユーザとアクセスポイントの方向関係によって受信電波強度分布は明らかに異なる。

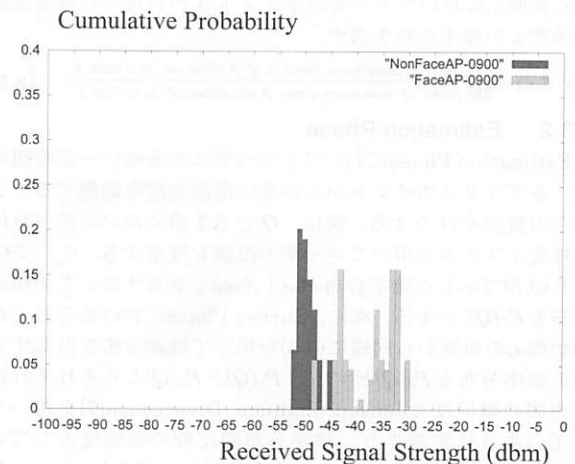


図 1. 方向の違いによる受信電波強度分布の相違

3.3. 方向推定手法

本手法においては受信電波強度分布の違いを検証することによりユーザの方向推定を行う。本手法における方向推定は次の2つのフェーズから構成される。

- Survey Phase

Survey Phase ではある状態においてそれぞれのアクセスポイントの受信電波強度の観測を行う。それぞれの状態において観測されたサーベイデータは事前モデルとして蓄積する。

- Estimation Phase

Estimation Phase では、方向推定を行いたい場所においてある短い一定時間の間、各アクセスポイントからの受信電波強度の観測を行う。この時点で観測した観測データと Survey Phase により観測されたデータと後述の方向推定アルゴリズムを用いて現在の方向推定を行う。

3.3.1. Survey Phase

Survey Phaseでは、端末はある状態において受信電波強度の事前観測を行い、それらの観測を事前モデルとしてデータベースに蓄積する。まず、はじめに状態の集合 S を定義する。 S は各状態 s_i より構成され、 s_i は端末が事前観測を行う際の状態である。

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_k\} \quad (3.1)$$

(3.1)に示した各状態 s_i は端末の方向 θ と座標 x, y より構成される。端末の座標 x, y は3.1節に示した我々の無線LANを用いた推定システムにより推定されており既知であるものとする (k は状態の数である)。

$$s_i = (\theta_i, x_i, y_i) \quad (3.2)$$

次に観測集合 O を定義する。 O はそれぞれの観測 o より構成される。ある状態 s_i において、端末はそれぞれのアクセスポイントの受信電波強度を観測する。それぞれの観測 o はアクセスポイントのMACアドレス β と受信電波強度の値 α より構成される (n はアクセスポイントの数、 m は観測回数である)。

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\} \quad (3.3)$$

$$o_i = \{(\beta_1, \alpha_{1,i}), (\beta_2, \alpha_{2,i}), (\beta_3, \alpha_{3,i}), \dots, (\beta_n, \alpha_{n,i})\} \quad (3.4)$$

(3.4)よりそれぞれのアクセスポイントに対してある状態 s_i における確率分布 $P(\alpha | \beta, s_i)$ を計算する。 $P(\alpha | \beta, s_i)$ は、ある状態 s_i においてアクセスポイント β から得られる受信電波強度 α の確率分布を表す。

$$P(\alpha | \beta, s_i) = \frac{\text{The count of how many times } \alpha \text{ of } \beta \text{ observed in a state } s_i}{\text{The count of how many times } \beta \text{ are observed in a state } s_i} \quad (3.5)$$

3.3.2. Estimation Phase

Estimation Phaseにおいて、ユーザはある短い一定時間の間、各アクセスポイントからの受信電波強度を観測する。これらの観測を O_i とする。次に、 O_i と3.1節において述べた位置推定システムを用いてユーザの位置を推定する。そして O_i より(3.5)で示した確率分布 $P(\alpha | \beta, s_i)$ を計算する。この確率分布を $P_1(Q)$ とする。次に、Survey Phaseにおけるそれぞれの状態 s_k の観測から同様に(3.5)を用いて確率分布を計算する。この確率分布を $P_2(Q)$ とする。 $P_1(Q)$ と $P_2(Q)$ よりそれぞれの分布間の類似度をJensen-Shannon Divergence[7]を用いて以下のように定義する。確率分布間比較の類似度としてのJensen-Shannon Divergenceの有効性は文献[8]において報告されている。

$$JSD(P_1(Q), P_2(Q)) = \frac{1}{2} [D(P_1(Q) \| \text{ave}_{P_1(Q), P_2(Q)}) + D(P_2(Q) \| \text{ave}_{P_1(Q), P_2(Q)})] \quad (3.6)$$

(3.6)において $\text{ave}_{P_1(Q), P_2(Q)}$ は $P_1(Q)$ と $P_2(Q)$ の平均である。 D はKullback-Leibler divergence[9]により(3.7)のように定義される。

$$D(P_1(Q) \| P_2(Q)) = \sum_{q \in Q} P_1(q) \log \frac{P_1(q)}{P_2(q)} \quad (3.7)$$

例えば、 $P_1(Q)$ と $P_2(Q)$ が同一の確率分布であった場合、 $JSD(P_1(Q), P_2(Q))$ は0となる。本手法では(3.6)と(3.7)を用いてそれぞれのアクセスポイントに対して JSD の値を計算する。そして計算された全てのアクセスポイントの JSD 値の和のある観測における受信電波強度分布類似度として計算する。最後に(3.8)を用いて、各状態 s_k 毎に現在の観測の類似度を計算する。最も(3.8)の値が低かった状態(すなわち類似度が最も高かった状態)を方向推定の結果とする。

$$\text{Divergence}(O_i | O_j) = \sum_{\beta=1}^n JSD(P_1(Q_\beta), P_2(Q_\beta)) \quad (3.8)$$

4. 評価

3章に示した方向推定手法に従い、我々はJava2 Platform Standard Edition 1.4.2上において方向推定システムを実装した。また方向推定手法の有効性を検証するため名古屋大学において評価実験を行った。名古屋大学内には既に約300以上のアクセスポイントが設置されており学内のいたるところにおいて無線LANの利用が可能である。現在我々が想定しているサービスアプリケーションにおいては高々4方向を取得できればよいため、本実験においては無線LANのみを用いた2方向(図2における $0^\circ, 180^\circ$ もしくは $90^\circ, 270^\circ$ の推定)・4方向推定(図2における $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ の推定)に関する検証を行った。

4.1. ハードウェア

本実験においては以下のハードウェアを利用した(Survey PhaseとEstimation Phase共に利用)。

- ノートPC : Toshiba DynaBook SS3500 DS/EP/2
 - 無線カード : PROXIM ORINOCO 11a/b/g Combo Card
- 本実験を行った建物に既に設置されているアクセスポイントは以下のアクセスポイントである。
- アクセスポイント : Colubris Networks CN-320

4.2. 実験環境全体図

図2に実験環境全体図を示す。図中の星印はアクセスポイント、丸印はSurvey Phaseを行ったポイントをそれぞれ表す。

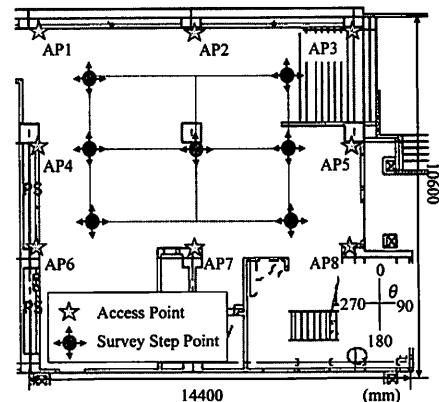


図2. 実験環境全体図

4.3. Survey Phase

Survey Phase では、図 2 中に示された各場所においてそれぞれ 4 方向の受信電波強度分布事前観測を行った。この時、無線 LAN 受信電波強度の指向性をより高めるために、ユーザは図 3 のように自身の真正面にノート PC を持ち電波強度の観測を行った。

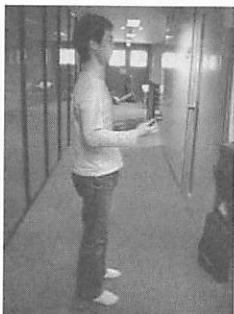


図 3. 評価実験時におけるノート PC の持ち方

4.4. Estimation Phase

Estimation Phase において、我々は次の 3 つの観点から方向推定精度に関する実験を行った。

- ・ リクエスト観測時間の違いによる方向推定精度の違い
- ・ アクセスポイントの配置による方向推定精度の違い
- ・ 他のユーザの影響による方向推定精度の違い

4.5. リクエスト観測時間の違いに関する実験

第 1 の実験として、Estimation Step における 1 リクエストの観測時間と方向推定精度の関係を検証する実験を行った。実験 1 では図 2 中の任意の場所と方向で Estimation Phase における 1 つのリクエスト観測時間を 2 秒、4 秒、6 秒、12 秒と分けそれぞれの観測時間による方向推定精度の違いについて検証した。さらに 2 方向 (図 2 における 0° , 180° もしくは 90° , 270° の推定)・4 方向推定 (図 2 における 0° , 90° , 180° , 270° の推定) のそれぞれに対して方向推定精度の比較を行った。実験 1 においては図 2 における AP2, AP4, AP5, AP7 のアクセスポイントの受信電波強度の情報を利用して実験を行った。

【実験結果】

図 4 は本手法を用いた場合の 1 リクエスト観測時間による方向推定精度の違いについての結果である。観測時間を 6 秒にした場合、2 方向推定では 95%、4 方向推定では 87% の方向推定精度を得た。次に、1 リクエストの観測時間を 12 秒とした場合、2 方向推定では 98%、4 方向推定では 95% の方向推定精度となった。これらの結果より、本方向推定手法の利用時には 1 リクエストの電波強度収集は 6 秒程度行えば十分であると考えられる。

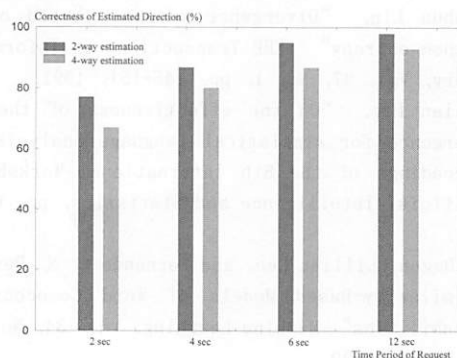


図 4. リクエスト収集時間による方向推定精度の違い

4.6. アクセスポイントの配置の違いに関する実験

第 2 の実験として、アクセスポイントの配置関係により方向推定精度がどのように変化するかの違いについて検証を行った。例えば、ある場所においてユーザは方向推定のために十分な数のアクセスポイントからの受信電波強度を観測でき、ある場所では方向推定のために十分な数のアクセスポイントからの受信電波強度分布を観測できないかもしれない。これらの違いを検証するため、アクセスポイントの位置関係が推定精度にどのような影響を及ぼすかについて、我々は図 5 のように 4 通りの配置でアクセスポイントを設置方向推定実験を行った。実験 2-1 においては実験環境を囲む 8 つのアクセスポイントからの受信電波強度の情報を利用して方向推定を行う。実験 2-2 においては実験環境に対して垂直方向と水平方向それぞれ 2 つずつのアクセスポイントからの受信電波強度情報を利用する。実験 2-3、実験 2-4 においては実験環境に対して垂直方向と水平方向の 2 つの受信電波強度情報を利用する。実験 2 における 1 リクエスト収集時間は実験 1 の結果より 6 秒とした。

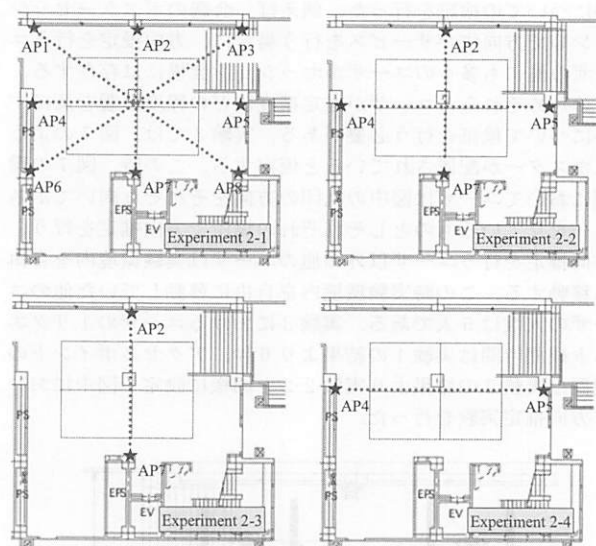


図 5. 異なる配置関係のアクセスポイント

【実験結果】

図 6 は本手法を用いた場合のアクセスポイントの配置関係による方向推定精度の違いについての結果である。実験 2-1 のように 8 個のアクセスポイントを実験環境の周囲に配置した場合は 2 方向推定については 100%、4 方向推定については 91% の位置推定精度が得られた。実験 2-2 のようにアクセスポイントを 4 箇所に減らした場合においても 2 方向推定については 95%、4 方向推定については 87% の推定精度が得られた。しかし実験 2-3 や実験 2-4 のアクセスポイントの配置の場合には 2 方向推定についてはどちらも 80% 以上の推定精度であるが、4 方向推定においては 60%~70% と方向推定精度が著しく低下した。4 方向の推定を行いたい場合にある直線上のアクセスポイント 2 つのみでは不十分であると考えられる。これらの結果より 4 方向推定を行い十分な推定精度を得たい場合には実験 2-1 や実験 2-2 のようなアクセスポイントの配置が求められる。

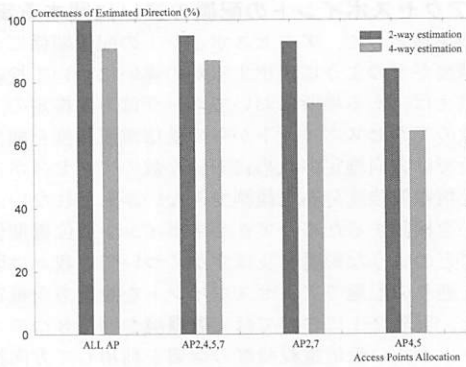


図 6. 各配置による方向推定精度の違い

4.7. 他のユーザの影響に関する実験

第3の実験として、方向推定を行うユーザー以外の他ユーザーが実験環境に存在した場合、他のユーザーが方向推定精度にどの程度影響を及ぼし、方向推定精度がどのように変化するかについての検証を行った。例えば、会議のポスターセッション等で方向依存サービスを行う場合に、方向推定を行うユーザーの他にも多くのユーザーがセッション会場には存在する。このためそれらのユーザーが推定精度にどの程度影響を及ぼすかについて検証を行う必要がある。実験3では、図7のようにポスターが配置されていると仮定する。この時、図7の環境においてユーザーは図中の丸印の方向をそれぞれ向いてポスターを見ているものとしそれぞれの場所で方向推定を行う。方向推定を行うユーザー以外の他のユーザーは実験環境内を自由に移動する。この時実験環境内を自由に移動していた他のユーザーの人数は5人である。実験3におけるユーザーの1リクエスト観測時間は実験1の結果より6秒、アクセスポイントの配置は実験2の結果より実験2-2と同様に設定し図中において方向推定実験を行った。

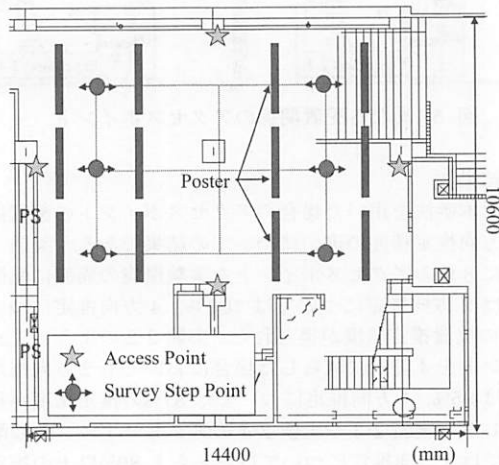


図 7. 実験3環境全体図

【実験結果】

実験3においてユーザーが現在どちらのポスター方向を向いているかを判定し、他のユーザーは実験環境を移動している環境での方向推定精度は86%であった。表1に同条件下で他ユーザーがいなかった場合の実験結果との比較を示す。実験1,2の精度と比較して多少推定精度が落ちているが推定精度8割を超えている。

表 1. 他ユーザの影響による推定精度の違い

	方向推定精度
他ユーザがない環境	96%
他ユーザがいる環境	86%

5. まとめ

本稿では無線LANの電波強度分布類似度を用いた方向推定手法の提案、3つの異なる観点からによる本手法の評価結果について述べた。本稿における実験結果より、われわれの方向推定手法は方向を用いた位置依存サービスに十分利用できると考えている。今後の予定としては、第1に、我々の方向推定手法を用いた方向依存サービスの提案と実装を行う。第2に、実際の会議等における大規模な環境での方向推定実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Seigo Ito, and Nobuo Kawaguchi, "Bayesian based Location Estimation System using Wireless LAN", IEEE Computer Society, Third IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom2005), pp. 273-278, 2005.
- [2] Hirokazu Satoh, Seigo Ito, and Nobuo Kawaguchi, "Position Estimation of Wireless Access Point using Directional Antenna", International Workshop on Location and Context-Awareness (LoCA 2005) in cooperation with Pervasive 2005 (Pervasive 2005), Lecture Notes in Computer Science (LNCS3479), pp. 144-156, 2005.
- [3] Location-and Context-Awareness, Lecture Notes in Computer Science (LNCS-3479), 2005.
- [4] Petri Kontkanen, Petri Myllymäki, Teemu Roos, Henry Tirri, Kimmo Valtonen and Hannes Wettig, Topics in Probabilistic Location Estimation in Wireless Networks, PIMRC, 2004.
- [5] Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild. Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffrey Hightower, Ian Smith, James Scott, Tim Sohn, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Pauline Powlledge, Gaetano Borriello and Bill Schilit, Pervasive 2005.
- [6] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System" IEEE Infocom 2000, pp. 775-784, 2000.
- [7] Jianhua Lin, "Divergence measures based on the Shannon entropy" IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 37, No. 1, pp. 145-151, 1991.
- [8] Lillian Lee, "On the effectiveness of the skew divergence for statistical language analysis" In Proceedings of the 8th International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics, pp. 65-72, 2001.
- [9] Ido Dagon, Lillian Lee, and Fernando C. N. Pereira, "Similarity-Based Models of Word Co-occurrence Probabilities" Machine Learning, Vol. 34, No. 1-3, pp. 43-69, 1999.