

過去の推定結果を用いた無線 LAN 端末位置推定手法の検討

A study on Recursive Estimation of WLAN Client's Location

間瀬 貴彦¹
Takahiko Mase平野 靖²
Yasushi Hirano梶田 将司²
Shoji Kajita間瀬 健二²
Kenji Mase

1. はじめに

ユビキタスコンピューティング環境において、端末の物理的位置は非常に重要な情報である。例えば、体験記録のようなユビキタス体験メディア[1]においてユーザの物理的位置が有用であることは明確である。従来は端末の物理的位置の取得には GPS が使われてきたが、近年では無線 LAN の普及を背景に無線 LAN による端末の位置推定技術に注目が集まっている。あらかじめ無線 LAN 基地局 (AP) のマップを用意しておけば、ユーザは無線 LAN による位置推定を手軽に利用することができる。また、AP さえあれば屋内・屋外を問わず利用できるという利点もある。しかし、常に十分な数の AP が観測できるわけではなく、AP の少ない地点では推定精度が低下するという問題がある。そこで、位置推定の際に現在の無線 LAN 電波情報に加えて過去の推定位置を利用することで推定精度の向上を目指した。

本研究では、過去の推定結果を用いた無線 LAN 端末位置推定手法としてカルマンフィルタを利用する手法 (Kalman) と、過去の推定結果を観測された AP と同様に扱う手法 (WR²DWC) の 2 つを試作した。過去の推定結果を用いない手法と試作した 2 つの手法を用いて比較実験を行った結果、Kalman 手法では精度の向上は見られなかったが、WR²DWC 手法を用いることで平均して約 10% の精度向上を実現した。

2. 関連研究

無線 LAN を用いた位置推定については様々な手法が研究されている[2][3]。しかし、そのほとんどが AP の位置と電波強度のみを手がかりとしているため、AP が少ない地点では位置推定のための手がかりが少なくなってしまう。過去の推定結果を用いることで AP の少ない地点での位置推定のための手がかりを増やすというのが本研究の基本的な考え方である。

離散的な観測から、時間とともに変化する量を推定するための代表的な手法としてカルマンフィルタ (Kalman Filter)[4] がある。カルマンフィルタはモデル中に正規分布ノイズ項を含んでいるため、ノイズを考慮しない手法よりも精度よく推定を行うことができるが、系の時間変化モデルと観測モデルが方程式として記述できる必要がある。モデルが適切ではない場合、カルマンフィルタは十分に働かないこともあるので、どのようにモデル化するかは非常に重要である。

3. 端末位置推定手法

本研究では RSSI Density Weighted Centroid (RDWC) 手法 [5] を基にして、過去の推定位置を用いた端末の位置推定手法を 2 つ試作した。

(1) RSSI Density Weighted Centroid (RDWC) [5]

RDWC 手法では、電波が観測された全ての AP の重み付き重心を端末の推定位置とする。重み w_i ($i=1, \dots, k_n$) は受信電波強度と AP の密度から求められる。 n 番目の観測点の推定位置 $[lat, lon]_n^T$ は以下の式で与えられる。

$$[lat, lon]_n^T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{k_n} w_i} \sum_{i=1}^{k_n} w_i [x_i, y_i]_n^T, \quad w_i = \frac{10^{(rssi_{mi} + a)/b}}{c_i},$$

ここで、 k_n は n 番目の観測点で観測された AP の数、 $[x_i, y_i]_n^T$ 、 $rssi_{mi}$ はそれぞれ n 番目の観測点で観測された i 番目の AP の位置 (緯度・経度) と受信電波強度である。 c_i は i 番目の AP から 10m 以内にある AP の数である。 $[\]^T$ は行列の転置を表す。 a と b は受信電波強度と距離の関係を表す定数であり、本研究では $a=35.47$, $b=24.42$ とした。

(2) RDWC with Kalman Filter (Kalman)

Kalman 手法では、RDWC 手法の推定位置を観測値としてカルマンフィルタを適用する。カルマンフィルタを適用するためには、時間変化モデルと観測モデルを作成する必要がある。本研究では以下のようにモデル化した。

時間変化モデル

$$\mathbf{x}_n = \mathbf{A}_n \mathbf{x}_{n-1} + \mathbf{w}$$

$$\mathbf{x}_n = \begin{bmatrix} lat \\ lon \\ \dot{lat} \\ \dot{lon} \end{bmatrix}_n, \quad \mathbf{A}_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$p(\mathbf{w}) \sim N(0, \mathbf{Q}), \quad \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q^2 \end{bmatrix}$$

観測モデル

$$\mathbf{z}_n = \mathbf{H}_n \mathbf{x}_n + \mathbf{v}$$

$$\mathbf{z}_n = \begin{bmatrix} lat^{RDWC} \\ lon^{RDWC} \end{bmatrix}_n, \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$p(\mathbf{v}) \sim N(0, \mathbf{R}), \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} r^2 & 0 \\ 0 & r^2 \end{bmatrix}$$

時間変化モデルにおいて、制御入力を使用することもできるが本モデルでは制御入力は使用しない。ここで、 \mathbf{x}_n は n 番目の観測点における真の状態であり、 lat, lon は緯度・経度、 \dot{lat}, \dot{lon} はそれぞれ緯度方向・経度方向の速度である。 \mathbf{A}_n は時間変化の係数であり、 $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ である。

¹名古屋大学大学院情報科学研究科,
Graduate School of Information Science, Nagoya University

²名古屋大学情報連携基盤センター,
Information Technology Center, Nagoya University

t_n は n 番目の観測点での時刻である。 \mathbf{w} は時間変化についてのノイズであり、本モデルでは速度の変化度合いを表す。 \mathbf{z}_n は観測値であり、本モデルでは RDWC 手法による推定結果を観測値とした。 lat^{RDWC}, lon^{RDWC} はそれぞれ RDWC 手法で得られた推定位置の緯度・経度である。 \mathbf{H} は真の状態 \mathbf{x}_n と観測値 \mathbf{z}_n の関係を表す係数である。 \mathbf{v} は観測誤差であり、本モデルでは RDWC 手法による推定誤差を表す。本モデルでは時間変化ノイズと推定誤差は変化しないとしたため q, r は定数である。

(3) Weighted Recursive RDWC (WR²DWC)

WR²DWC 手法では、直前の推定位置を観測された AP と同様に扱う。具体的には RDWC 手法で重み付き重心を求める際に、直前の推定位置を加えて重心を計算する。観測された i 番目の AP のための重み w_i は RDWC 手法と同じである。直前の推定位置のための重み d^{-1}_n は直前の推定位置からの予測移動距離から求められる。

$$[lat, lon]_n^T = \frac{1}{d^{-1}_n + \sum w_i} \left(d^{-1}_n [lat, lon]_{n-1}^T + \sum_{i=1}^{k_n} w_i [x_i, y_i]_n^T \right)$$

$$d^{-1}_n = \frac{1}{v(t_n - t_{n-1})k_n}$$

ここで、 v はユーザの移動速度である。本研究では定数とし、人間の平均歩行速度である $v=1.34[m/s]$ を用いた。

4. 実験結果

実験を行うために無線 LAN の観測情報を収集した。観測情報は観測点の緯度・経度、観測の時刻、観測された全ての AP の MAC アドレスと受信電波強度で構成されている。観測情報の収集にはラップトップ PC Panasonic CF-T1 と、PC に内蔵されている無線 LAN カード Wireless Embedded Card Model 0504 を使用した。また、観測点の緯度・経度を取得するために GPS 受信機 Sony GU-BT1 (測位精度 5m) を使用した。名古屋大学構内を移動して観測情報を収集した結果、8,414 個の観測情報が得られた。そのうち 5,442 個を用いて AP マップを作成し、残り 2,972 個を用いて端末の位置推定を行った。

上記の 3 つの手法を用いて端末の位置推定を行い、GPS で取得した位置との距離を推定誤差とした。AP 数毎の平均誤差と全体の平均誤差を表 1 に、位置推定で得られた経路の一部を図 1 に示す。表 1 より、RDWC 手法と Kalman 手法との間には有意差がないことがわかる。次に WR²DWC 手法に注目すると、AP の数が 1~3 個、4~9 個のときはともに RDWC 手法との間に有意水準 1% で有意差があるが、AP 数が 10 個以上になると有意差がなくなっている。このことより WR²DWC 手法は AP が少ない地点では精度向上のために有効であり、AP が多い地点でも RDWC 手法と同程度の有効性があることが確認できる。

Kalman 手法で精度が向上しなかった原因を考える。本研究では時間変化をモデル化する際に緯度・経度だけではなく緯度方向・経度方向の速度も状態として持つよう

表 1 端末位置推定の平均誤差[m]

推定手法	観測された AP 数[個]			全観測点
	1~3	4~9	10~	
(1) RDWC	41.27	36.35	35.31	37.85
(2) Kalman	41.21	36.31	35.30	37.80
(3) WR ² DWC	33.75*	32.01*	34.23	33.15*
観測点数[個]	1051	1214	707	2972

表中の*は RDWC に対して 1%水準で有意差あり(両側 t 検定)

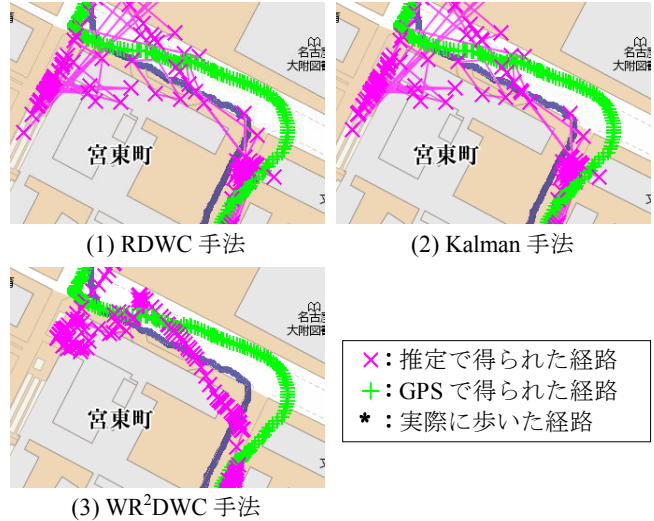


図 1 推定で得られた経路の一部

にモデル化した。これは緯度・経度だけを状態としたのでは推定位置の時間変化が式で表現できないためである。本研究で用いた機材ではユーザの速度を取得することができないため、無線 LAN による推定位置の変化から速度を推測している。しかし、図 1 (1)からもわかるように無線 LAN による推定位置は滑らかに並ばないため、速度のベクトルが常に変化し一定ではなくなる。そのため、カルマンゲインがほとんど変化しなくなり、結果的に観測値と同じような値が推定値として出力されてしまうと考えられる。図 1 の(1)と(2)からも RDWC 手法と Kalman 手法がほぼ同じ推定結果になっていることが確認できる。原因としては RDWC 手法の推定位置から得られる速度の変化が正規分布であると仮定した点に問題があったと考えられる。これを解決するためには、ユーザの速度を取得するためのセンサを機材に追加するか、時間変化モデルを再検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では AP の少ない地点での無線 LAN による端末位置推定の精度向上を目指し、過去の推定結果を用いた推定手法を 2 つ試作した。比較実験を行ったところ Kalman 手法では精度の向上は見られなかったが、WR²DWC 手法を用いることで精度が向上することを確認した。

今後の課題としては、カルマンフィルタを適用するための適切なモデルの作成とパラメータの推定、WR²DWC 手法の改良などが挙げられる。また、体験記録や行動支援など無線 LAN による端末位置推定技術を利用したアプリケーションの開発も行っていきたいと考えている。

参考文献

[1] K. Mase et al., "Ubiquitous Experience Media," IEEE Multimedia, vol. Oct-Dec, pp.20-29, Oct. 2006.
 [2] A. LaMarca et al., "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild," Pervasive 2005, LNCS 3468, pp. 116-133, 2005.
 [3] 暦本純一, "PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤", インターネットコンファレンス 2006, pp.95-104, 2006.
 [4] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter," Technical Report TR 95-041, UNC-Chapel Hill, 2006.
 [5] K. Matsuzawa et al., "Experience Map Creation by Virtual WLAN Location Estimation," ISWC2006, pp.117-118, 2006.