

被災者捜索のための実用的な携帯端末位置推定法

†丸山泰志 ‡穴澤和也 †宮崎敏明

†会津大学コンピュータ理工学部 ‡会津大学大学院コンピュータ理工学研究科

1. はじめに

災害現場において、被災者をいち早く発見することは重要である。本稿では、近年、多くの人スマートフォンなどの携帯端末を常時携帯していることに着目し、携帯端末の発する Wi-Fi 電波を頼りに、当該携帯端末の位置推定を行い、倒壊した建物の下にいる人を発見することを考える。これまでに電波を用いた様々な位置推定手法が提案されているが、その多くは、災害現場のような環境には適さない。ここでは、災害現場での利用を念頭に置いた位置推定手法を提案すると共に、実機における実験結果を示す。

2. 提案手法

これまでに、電波を用いた様々な位置推定手法が提案されてきた。無線センサネットワーク (WSN) における最尤推定を利用したセンサの位置推定手法 [1] では、電波の受信信号強度 (RSSI) と距離の関係から、センサの位置を確率的に推定している。当該手法では、我々の想定する災害現場環境において、電波の反射やフェージング等の電波伝搬を正確にモデル化することは難しい。また、予め実測することにより伝播パラメータを推定するのは非現実的であり、我々の用途には適していない。 [2] では、対数正規シャドウイングモデルを用いて電波伝播をモデル化し、実測した RSSI 値から、環境に依存する伝播パラメータとともに少ない演算量で対象携帯端末の位置を推定している。対数正規シャドウイングモデルはその簡潔性と現実性の高さから、RSSI 値を利用した位置推定手法で広く用いられているモデルである。本稿においても本モデルを基本として、携帯端末の位置を推定する。

2.1 対数正規シャドウイングモデル

対数正規シャドウイングモデルでは、携帯端末の位置 (\hat{x}, \hat{y}) に対し、距離が d_i 離れた各地点 (x_i, y_i) で観測する電波の RSSI 値 P_i は、以下のように表される。

$$P_i = P_{d_0} - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (1)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - \hat{x})^2 + (y_i - \hat{y})^2} \quad (2)$$

ここで、各パラメータは以下の通りである。

- d_0 … 単位距離。1m を表す。
- P_{d_0} … 理想空間において、単位距離 d_0 で観測

される RSSI 値を表す。

- n … 伝播損失係数。周囲の環境に依存し、理想空間では 2 であるが、フェージングやマルチパス伝播などの影響を大きく受ける環境下においては 4 に近づく。

従来の対数正規シャドウイングを用いた位置推定手法では、各観測値 P_i と式 (1) から求まる理論値 \hat{P}_i の最小二乗誤差を、対象携帯端末の位置 (\hat{x}, \hat{y}) と伝播パラメータ \hat{n} 及び \hat{P}_{d_0} に対して求める。具体的には以下の最小二乗法問題を解く。

$$\min_{\theta} \sum_i (P_i - \hat{P}_i)^2 \quad (3)$$

$$\text{Subject to: } \theta = \{(\hat{x}, \hat{y}), \hat{P}_{d_0}, \hat{n}\}; \quad (4)$$

2.2 重み付き最小二乗法

ここでは、最小二乗法の計算を行う際、各項をそのまま加算せずに、取得した RSSI 値の信頼度に応じた重み付けを行うことでより信憑性の高い推定を試みる。電波には距離が遠くなるほどその RSSI 値の変動が大きくなることと、距離が同じ場合でも携帯端末の向きによって値が変動する特徴がある。ここでは、RSSI 値の大きいものほど信憑性が高くなることを考慮し、以下の重み付き最小二乗法を解き、携帯端末の位置を推定する。

$$\min_{\theta} \sum_i \frac{P_i}{P_{max}} (P_i - \hat{P}_i)^2 \quad (5)$$

$$\text{Subject to: } 2 \leq \hat{n} \leq 4; \quad (6)$$

$$-48 < \hat{P}_{d_0} < -50; \quad (7)$$

$$\theta = \{(\hat{x}, \hat{y}), \hat{P}_{d_0}, \hat{n}\}; \quad (8)$$

ここで、 P_{max} は観測した RSSI 値のうち最大のものである。RSSI 値が弱いものに対しては重みを小さくし、強いものに対しては重みを大きくする。また、最小二乗法を解く際に、推定すべきパラメータの実行可能解の範囲が大きくなると推定誤差に影響が出てしまうため、各パラメータに現実を考慮した制約を与え、推定誤差を抑えることを考える。制約式 (6) は、伝播損失係数 n が一般的に 2 から 4 の間を取ることを表しており、制約式 (7) は、我々の想定する環境下において、単位距離 d_0 だけ離れた位置で観測される RSSI 値が約 -48 から -50 の間を取ることを表している。この重み付き最小二乗法をもとに、携帯端末の位置を精度良く伝播パラメータとともに推定する。

Practical Localization Method for Seeking Victim's Mobile Terminal

†Yasuyuki Maruyama, ‡Kazuya Anazawa, †Toshiaki Miyazaki

†‡School and Graduate School of Computer Science and Engineering, the University of Aizu

	観測地点の位置	MACアドレス	RSSI	取得時間
[001]	N: 37.525375 - E: 139.937880	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -67	Time: Sun Nov 6 16:12:49 2016
[002]	N: 37.525375 - E: 139.937880	MAC address: 9A:DD:01:14:C1:D0	RSSI: -59	Time: Sun Nov 6 16:12:49 2016
[003]	N: 37.525375 - E: 139.937880	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -71	Time: Sun Nov 6 16:12:51 2016
[004]	N: 37.525375 - E: 139.937880	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -69	Time: Sun Nov 6 16:12:51 2016
[005]	N: 37.525375 - E: 139.937880	MAC address: C2:92:23:C6:69:59	RSSI: -63	Time: Sun Nov 6 16:12:53 2016
[006]	N: 37.525377 - E: 139.937892	MAC address: 6A:11:79:6B:D9:3D	RSSI: -59	Time: Sun Nov 6 16:12:57 2016
[007]	N: 37.525377 - E: 139.937892	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -61	Time: Sun Nov 6 16:12:59 2016
[008]	N: 37.525377 - E: 139.937892	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -59	Time: Sun Nov 6 16:12:59 2016
[009]	N: 37.525377 - E: 139.937893	MAC address: A4:B8:05:90:FC:D8	RSSI: -63	Time: Sun Nov 6 16:13:01 2016
[010]	N: 37.525378 - E: 139.937895	MAC address: B4:CE:F6:09:A4:41	RSSI: -69	Time: Sun Nov 6 16:13:01 2016

図1. 自作スニファにより取得したRSSI値・MACアドレス等の情報

3. 実験

C言語及びそのパケット解析用ライブラリであるlibpcapを用いてWi-Fi電波を取得・解析するためのスニファ機能を市販ラップトップと自作ソフトウェアを用いて実現し、これを用いて評価実験を行った。本スニファは、携帯端末がWi-Fi接続を試みようとするアクセスポイント(AP)へ定期的に発するプローブ要求を利用し、携帯端末のMACアドレス・RSSI値及び、取得時間を取得する。さらに、GPSレシーバをラップトップに外付けして用いることにより、電波をキャプチャした位置の取得も可能である。実際に取得したデータの一部を図1に示す。図中、各行は、一回に取得したデータを示す。推定プログラムの実装にはPython言語及び高水準の科学技術計算を可能にするScipyパッケージ[3]を用いた。

表1. 使用したデバイス類

探索対象携帯端末	Nexus 9 Tablet
ラップトップ	ASUS VivoBook E200H
GPSレシーバ	Globalsat BU-353S4
NIC	WLI-UC-GNME

評価実験は、屋外で行った。使用したデバイス類を表1に示す。我々は、被災現場での電波の反射やフェージング等の影響が大きい環境を想定している。そのため、実験では、探索対象携帯端末を地面に置き、障害物で覆った。

実験結果の一例を図2に示す。図中、★は携帯端末の実座標、●は推定座標、・は、ラップトップ

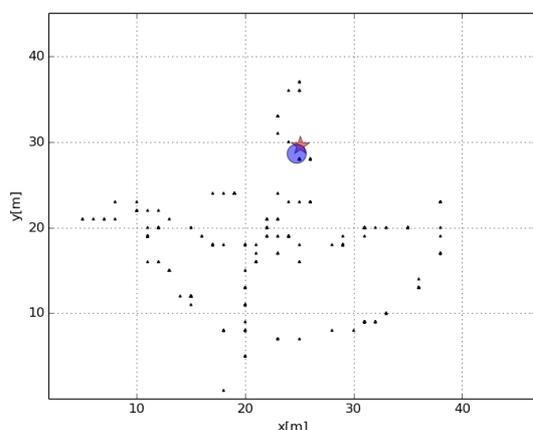


図2. 提案手法による実験結果

(スニファ)を移動しながら携帯端末の電波を観測した実座標を示している。本実験を携帯端末の位置やラップトップの移動パターンを変え、7回行った。結果を表2に示す。平均推定誤差は、7.6mであり、標準偏差を考慮しても、災害現場において、推定位置から半径13m程度を探索すれば、携帯端末が発見できる可能性を示唆している。また、表2に示すように、重みや制約を与えず、すべての観測値を用いる従来法[2]に比べ、本稿提案手法では、平均誤差の著しい改善がみられる。これは、本提案手法が、データの重み付けにより、他の観測値と大きく異なる観測値は、位置推定から実質的に除外している効果が大きいためである。

表2. 提案手法と従来手法の平均誤差比較(単位: m)

	平均誤差	標準偏差
提案手法	7.6	5.0
従来手法[2]	36.1	41.6

4. おわりに

本稿では、災害現場での被災者捜索を目的とする携帯端末の位置推定手法を提案した。我々の想定する環境下では、電波の反射やフェージングの影響を大きく受けることから、観測データに重みを付け、RSSI値の大きなデータをより位置推定に用いている。本工夫により、すべての観測データを用いる従来手法に比べ、著しい推定誤差の改善がみられることを、実機実験により確認した。

今後は、本提案手法を応用し、消防関係者等が実使用できるシステムの開発を進めていく。

謝辞 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人: JST)によって実施した。

参考文献

- [1] 高島雅弘, 趙大鵬, 柳原健太郎, 福井潔, 福永茂, 原晋, 北山研一, “センサネットワークにおける受信電力とゆう法を用いた位置推定,” 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J89-B, No.5, pp.742-750 (2006).
- [2] B.J. Dil and P. J. M. Havinga, “RSS-based Self-Adaptive Localization in Dynamic Environments,” Int. Conf. Internet of Things, pp. 5562, Oct. 2012.
- [3] “SciPy: Open source scientific tools for Python.” <http://www.scipy.org/> [Online; accessed 2016-12-19].