

分散アンテナ型アクセスポイントによる無線 LAN 端末 2 次元位置推定

2D Position Estimation for Wireless LAN Terminals
by the Access Point using Distributed Antenna System細田 真道¹⁾坂本 寛²⁾村上 友規²⁾

Masamichi Hosoda Hiroshi Sakamoto Tomoki Murakami

毛利 忠¹⁾小川 智明²⁾宮本 勝¹⁾

Tadashi Mouri Tomoaki Ogawa Masaru Miyamoto

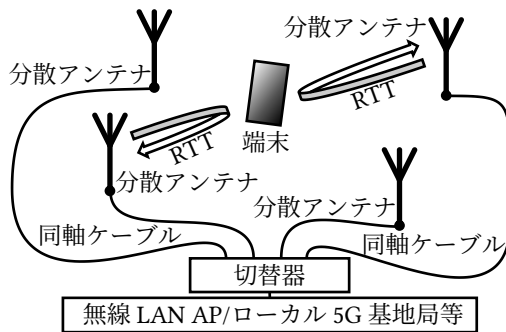


図 1 提案方式の構成

1 はじめに

近年 MaaS (Mobility as a Service) という考え方が注目されている。これは移動手段を従来のようにモノとしてではなくサービスとして提供するもの [1] であり、利用者は個々の具体的な移動手段にとらわれず、目的地まで最適な移動手段やルートを選択し利用できる。このようなサービス提供には利用者本人だけでなく周囲の人々の移動も把握し、最適な移動手段を判断する必要がある。

また、大規模イベント等では多数の人が集まるため混雑しスムーズに目的地まで移動できないこと、危険な状態が発生して事故につながる可能性がある。こうした課題の対策として混雑度予測システムの試験的導入 [2] 等が進められている。多数の人の流れ (以下、人流) を把握することで、誘導・交通規制変更等の対策が可能となり、混雑緩和や事故防止につなげることができる。

本稿では MaaS やイベント、施設等の運営者が人流把握を目的として来場者を測位する方法を提案する。我々はこの目的のため、広く普及し多くの人が所持する端末を対象とし、端末にアプリケーション等インストール不要、端末は分散アンテナ型アクセスポイント/基地局 (以下、AP) に帰属 (接続) するだけで AP 側から 1 次元測位できる方法を提案 [3] した (図 1)。本稿ではこれを 2 次元に拡張、より多くのアンテナや複数種の計測値を統合して位置推定計算する方法を提案し、有効性を確かめるための実験を行い、測位結果および評価を示す。最後に、フィールド実証として来場者が多数集まる展示会で動作させ、実フィールドでの有効性を確かめる。

- 1) 日本電信電話株式会社 NTT サービスエボリューション研究所, NTT Service Evolution Laboratories, NTT Corporation.
- 2) 日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所, NTT Access Network Service Systems Laboratories, NTT Corporation.

2 従来方式

2.1 衛星測位

GNSS (Global Navigation Satellite System, 衛星測位システム) 機能を搭載した端末が広く普及している。これは衛星から端末への電波の到着時刻 (Time of Arrival, 以下 ToA) で測位 [4] するものである。一例として GPS の測位精度は全世界平均で水平方向 9 m 以下、垂直方向 15 m 以下等と規定 [5] されているが、屋内やビルの谷間など衛星からの遮蔽が多い場所では測位困難である。

2.2 屋内測位

屋内外問わず利用できる測位方式には IMES (Indoor Messaging System, 精度 3 m~10 m) [6] や FTM (Fine Timing Measurement, 精度数 m 程度) [7][8] 等があるが、実装されている端末が少ないため人流計測には使いにくい。一方、多くの端末が搭載する Bluetooth や無線 LAN による方式 [9][10][11][12][13] もある。これらは受信電波強度 (Received Signal Strength Indicator, 以下 RSSI) を計測し位置推定する方式で、以下に詳細を述べる。

2.2.1 RSSI 計測

■ Bluetooth 環境に BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを複数設置し、それらが定期的に送信するビーコンを端末で受信し計測する [9][10]。

■ 無線 LAN 周囲の通信用 AP が送信するビーコンやプローブ応答フレーム等を端末で受信し RSSI を計測する [11]。無線 LAN ビーコン送信専用 AP を用いる方式 [12] や、逆方向 (端末が送信し AP が受信) の RSSI を併用する双方向の方式 [13] もある。

2.2.2 位置推定

計測した RSSI から位置推定する方法は、Scene Analysis (Fingerprint) 法 [9] と Triangulation 法 [10][11][12] に分類でき、双方を併用するもの [13] もある。

■ Scene Analysis (Fingerprint) あらかじめ測位範囲内の各地点において、受信可能な複数のビーコン/AP の RSSI を計測した Fingerprint を学習しておく。測位時には端末が計測した複数のビーコン/AP の RSSI と、学習した Fingerprint とを比較等することで位置推定する方法である。より細かく多数の地点で Fingerprint を学習することで精度向上できるが、それには大きな手間がかかる。また、学習時と測位時で周囲の環境条件や端末が変わると RSSI も変わってしまい、精度低下につながる。

■ Triangulation まず、距離によって電波が減衰するモデルを用い RSSI からビーコン/AP と端末間の距離を求める。モデルはいずれの文献でも類似しており、例えば文献 [11] では、以下の通りである。

$$\alpha_i = \alpha_0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(r_i/r_0) \quad (1)$$

このうち α_0 と n を定数として事前に決定してから計算している。 α_0 は送信電力やアンテナ利得、周波数の影響を受け、端末やビーコン/AP の組合せやチャンネルによって変化する。 n は距離による減衰量を表す指数で、環境 (空間) によって変化する。しかし、経験則に基づいた固定値を使う方法 [11] や、あらかじめ計測した値を使う方法 [10][12] が多く使われており、別の端末を使う等して条件が変わると精度低下につながる。

次に、距離から位置推定を行うが、距離には誤差が含まれており、そのままでは位置を求めることができない。そのため、加重平均による方法 [11] (精度 30 m~50 m) 等が用いられる。加重平均は距離で重みを付けてビーコン/AP の座標を平均するため、距離やビーコン/AP の座標に偏りがあると精度低下につながる。カメラを併用する方法 [10] (精度数 m) は追加の機器を要するため、コスト面等の課題が発生する。歩数計を併用する方法 [12] (精度数 m) は歩数計を搭載しない端末では利用できない。Fingerprint を併用する方法 [13] (精度数 m) では学習が必要となり手間を要する。

2.2.3 人流把握に適應する際の課題

ここまで述べた方式は双方向も含め、いずれも端末が計測動作する必要がある。端末にアプリケーション等のインストールを要する。つまり人流把握するには数多くの人々がアプリケーションをインストールする必要があることになり難しい。また、人流把握のためには複雑な交錯が発生する場合等で測位頻度を高くし動線追跡する必要がある。しかし、これらの方式の測位間隔はビーコン等の送信間隔に依存しており変更が難しい。BLE ビーコンは高頻度にするともバッテリー交換頻度も高くなってしまいう課題がある。また、無線 LAN では各 AP が異なるチャンネルで動作しており、チャンネルを順次切り替えながら計測を行うスキャン動作 [14] が必要となる。スキャンは時間を要する上、通信中はスキャンを中断するため、高頻度測位が難しいという課題がある。

3 提案方式

3.1 共通部

1次元測位 [3] と共通の部分について概要を述べる。

3.1.1 構成

構成は図 1 に示した。測位専用の機器は用意せず、インターネットなど通信サービス提供用の AP に測位機能を付加し、測位対象端末は AP に帰属しているものとする。AP には分散スマートアンテナシステム (D-SAS) [15][16] 技術の一部応用し、フレーム単位で送受信アンテナを切り替えることができる D-SAS 装置 (以下、切替器) を接続する。それぞれの分散アンテナを異なる場所へ設置し同軸ケーブルで切替器と接続し、AP-端末間の RTT (Round-Trip Time) を計測して位置推定計算 (以下、RTT 測位) する。これはフレームの到着時刻を使うため ToA 測位の一形態である。同時に AP は端末が送信したフレームの RSSI を得ることができ、これを用いた位置推定計算 (以下、RSSI 測位) や、RTT 測位と RSSI 測位の併用 (それぞれで端末座標を求める) ができる。

3.1.2 計測

RTT 計測シーケンスを述べる。AP が 1 つの分散アンテナを指定し、端末の MAC アドレス宛にマネジメントフレームを送信する (時刻 t_1)。端末はマネジメントフレームを受信する (時刻 t_2) と応答確認信号 (ACK) を送

信する (時刻 t_3)。そして AP が ACK を受信する (時刻 t_4)。この時の RTT を $t_4 - t_1$ によって求める。

端末はマネジメントフレームが届いたら ACK を返すだけである。これは IEEE 802.11 の基本的な動作として規定されており、すべての無線 LAN 端末がこの動作を行う。そのため AP に帰属していればどんな端末でも測位できる。また、AP はフレームを送信できるタイミングであればいつでも任意のタイミングで計測ができるため必要に応じて高頻度の計測を行うことができる。

RTT を計測するため BLE ビーコンのような一方通行の機器を用いることはできない。しかし、基地局が送信する何らかのフレームに対して端末が ACK を返すものであればよいので、無線 LAN だけでなく、今後普及が見込まれるローカル 5G 等でも測位可能と考えている。

3.1.3 統計処理

RTT は端末の状態等の影響を受けて揺らぎ、RSSI もフェージング等の影響を受けて揺らぐため、計測回数を増やし統計的に揺らぎを除く。AP は 1 つの分散アンテナで端末移動できないような十分短い時間に計測可能な回数だけ RTT および RSSI を計測し、次の分散アンテナに切り替える、という動作を繰り返す。こうして得られた多数の RTT/RSSI に対し分散アンテナ毎に、一定時間をスライドしながら外れ値を除いた移動平均を取る。この際、RSSI は事前に $P = 10^{(RSSI/10)}$ で mW 表記にする。

3.2 2次元測位

2次元測位する方法を提案する。

3.2.1 信頼性

1次元測位 [3] を単純に拡張して 2次元測位するには分散アンテナが 3 本あれば位置推定計算できる。しかし、精度の向上を図るにはより多くの分散アンテナを用いたり、RTT 測位と RSSI 測位を併用するだけでなく、RTT 計測値と RSSI 計測値の双方を使った位置推定計算 (以下、統合測位) が有効だと考えられる。このように未知数よりも計測値が多い場合は、いわば優決定系になるため座標が一意に定まらないことが発生する。そこで、各計測値を同等に扱うのではなく、信頼性の高い計測値を重視するよう重みづけした位置推定計算をする。そのために、統計処理した RTT 計測値および RSSI 計測値に対して信頼性を計算する。

信頼性は一定期間内の計測回数が多ければ高く、変動が多ければ低くなるようにする。また、RTT 計測値と RSSI 計測値の特性の違いや、各分散アンテナ設置場所の条件の違いによって補正できるようにする。具体的には移動平均区間内の外れ値を除いた計測回数 s と標準偏差 σ に対して、計測回数の補正率 a_{size} と補正オフセット b_{size} を設定、標準偏差の補正率 a_{sigma} と補正オフセット b_{sigma} を設定し、信頼性 w を以下のように計算する。

$$w = \frac{a_{size} \cdot s + b_{size}}{a_{sigma} \cdot \sigma + b_{sigma}} \quad (2)$$

3.2.2 計算の前提

座標の単位は m とする。分散アンテナ n 本の座標を (x_i, y_i) , ($i = 1, 2, \dots, n$) とする (既知)。統計処理した RTT を t_{rti} [s] とし、その信頼性を w_{rti} とする (既知)。統計処理した RSSI を $RSSI_i$ [dBm] とし、その信頼性を w_{ri} とする (既知)。端末座標を (x_s, y_s) とする (未知)。ここで、分散アンテナ i と任意の地点 (x, y) との距離を $d_i(x, y)$ と

すると以下のようになる。

$$d_i(x, y) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (3)$$

また、分散アンテナ i と端末との間の真の距離を l_i [m] とする。つまり $l_i = d_i(x_s, y_s)$ である。

3.2.3 RTT 評価関数

光速を c [m/s] とする。 t_{rti} は往復の時間だが、片道の距離相当を疑似距離 l_{pi} [m] として以下のように置く。

$$l_{pi} = \frac{ct_{rti}}{2} \quad (4)$$

l_{pi} と l_i の差分を l_d [m] とし $l_i = l_{pi} - l_d$ とする。 l_{pi} は計測値から計算できるため既知、 l_d は未知である。以上より RTT 測位の未知数は x_s, y_s, l_d であり、これらを探索して位置推定する。探索中の推定値をそれぞれ x, y, l とすると、推定座標と分散アンテナ i 間の距離は $d_i(x, y)$ となり、真の距離の推定値は $l_{pi} - l$ となり、すべての推定値が正しければ両者は一致する。そこで両者の差分を使い RTT 評価関数を以下のように定義する。

$$f_{ti}(x, y, l) = d_i(x, y) - (l_{pi} - l) \quad (5)$$

重みを使う際には w_{ti} を用いる。使用する定数は c のみで、どんな環境でも同一である。端末毎に変化する値 l_d を未知数としたため、端末にも依存しない。よって RTT 測位は従来方式と異なり、事前の計測や調整が不要、設置するだけで精度の良い不特定端末の測位が望める。

3.2.4 RSSI 評価関数

空間の伝搬損失係数を α とし、波長を λ [m] とする。端末を分散アンテナ直近に近づけ計測した RSSI を B [dBm] とし $RSSI_i$ が以下のようなモデルを採用する。

$$RSSI_i = B - 10\alpha \log_{10} \frac{4\pi l_i}{\lambda} \quad (6)$$

$RSSI_i, B$ を mW 表記にしたものを P_{RSSI_i}, P_B とし、

$$r_B = \frac{\lambda}{4\pi} P_B^{(1/\alpha)}, R_i = P_{RSSI_i}^{-(1/\alpha)}$$

と置き式 (6) を l_i について解くと $l_i = r_B R_i$ となる。 R_i は計測値から計算できるため既知、 r_B は未知である。以上より RSSI 測位の未知数は x_s, y_s, r_B であり、これらを探索して位置推定する。探索中の推定値をそれぞれ x, y, r とすると、推定座標と分散アンテナ i 間の距離は $d_i(x, y)$ となり、真の距離の推定値は $r R_i$ となり、すべての推定値が正しければ両者は一致する。そこで両者の差分を使い RSSI 評価関数を以下のように定義する。

$$f_{ri}(x, y, r) = d_i(x, y) - r R_i \quad (7)$$

重みを使う際には w_{ri} を用いる。使用する定数は α のみである。これは環境 (空間) 毎に異なり、何らかの方法で決定する必要があるが、端末によって変化する値 r_B は未知数なので、端末には依存しない。よって RSSI 測位は従来方式と異なり、設置場所毎に α を決定するだけで、精度の良い不特定端末の測位が望める。

3.2.5 範囲評価関数

推定値が端末の移動可能範囲を外れた場合、評価値にペナルティを与えるための範囲評価関数を定義する。推

定値が範囲内であれば 0、範囲から外れた場合は外れ度合いに応じて値が大きくなるようにする。このため、 x の範囲 $x_{\min} < x < x_{\max}$ に対して、

$$f_{Lx}(x) = \begin{cases} x_{\min} - x & (x < x_{\min}) \\ 0 & (x_{\min} < x < x_{\max}) \\ x - x_{\max} & (x > x_{\max}) \end{cases} \quad (8)$$

という f_{Lx} を定義し、同様に f_{Ly}, f_{Ll}, f_{Lr} も定義し、範囲評価関数を以下のように定義する。

$$f_L(x, y, l, r) = f_{Lx}(x) + f_{Ly}(y) + f_{Ll}(l) + f_{Lr}(r) \quad (9)$$

重みを使う際には、範囲内に収める力の強弱を重み w_L として、他の重みとの相対的な大小関係で設定する。

3.2.6 位置推定

各評価関数を組み合わせた連立方程式を解くことで位置推定できる。分散アンテナ 4 本で統合測位をする場合は以下のようになる。

$$\begin{cases} f_{t1}(x, y, l) = 0 \\ \vdots \\ f_{t4}(x, y, l) = 0 \\ f_{r1}(x, y, r) = 0 \\ \vdots \\ f_{r4}(x, y, r) = 0 \\ f_L(x, y, l, r) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

これを解析的に解くことは困難であるが、重み付き最小二乗法を用いたニュートン法で解を得ることができる。

また、各評価関数を誤差評価関数にまとめ、これが最小になる推定値を L-BFGS 法等で探索し位置推定することもできる。誤差評価関数は以下のように定義できる。

$$f_{\text{error}}(x, y, l, r) = \sum_{k=1}^n (w_{tk} f_{tk}(x, y, l))^2 + \sum_{k=1}^n (w_{rk} f_{rk}(x, y, r))^2 + (w_L f_L(x, y, l, r))^2 \quad (11)$$

いずれも、RSSI 計測値を無視した RTT 測位を行いたければ f_{ti} の項を外し、RTT 計測値を無視した RSSI 測位を行いたければ f_{ri} の項を外して計算すればよい。提案方式は、Fingerprint を用いないため事前学習不要、加重平均を用いないため精度の良い測位を望める。追加の機器等も不要で、多種多様な端末の測位ができる。

3.3 座標安定化

位置推定結果には外れ値が出ることがある。そこで、連続する 2 つの推定結果の間で移動速度が閾値を超えた場合は、後の推定結果を出力しないフィルタを掛ける。これにより外れ値を除いて安定した座標を出力できる。

4 実験

提案方式で 2 次元測位できるシステムを構築して測位し、評価する実験を行った。

4.1 設置および設定

1 次元測位 [3] のシステムを拡張して分散アンテナを 2 本から 4 本に増やし、すべて同一型番の平面アンテナ

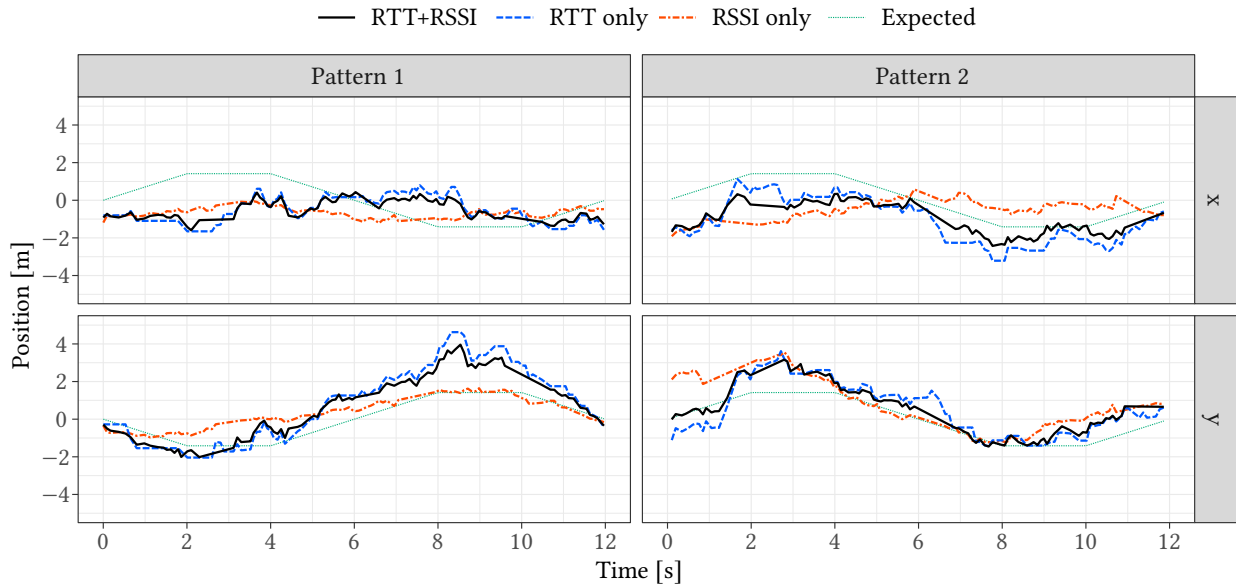


図3 2次元測位結果と端末の実際の位置 (パターン1, 2)

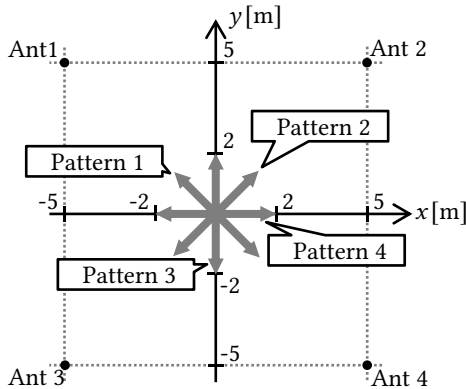


図2 配置と座標系

を同一型番で 12 m の同軸ケーブルで接続した。各分散アンテナは屋内の実験室内で 1 辺 10 m の正方形の頂点の位置になるよう配置し、向きは正方形中心方向とした。配置と座標系を図 2 に示す。周波数帯は 5 GHz 帯 W52 の 36 チャンネルを用い、端末はノート PC を用意し AP に帰属させた。このノート PC は通常に市販されているものを単に帰属させただけであり、特別な設定や特別なアプリケーション等は用いていない。

4.2 測位条件

予備実験として、分散アンテナ 1 から RTT および RSSI を 10 回計測、分散アンテナ 2 から同様に 10 回計測、という形で分散アンテナ 1, 2, 3, 4, 1, … の順番で繰り返し計測したところ、4 アンテナ合計で秒間 100 回程度の計測が可能であった。統計処理で用いる移動平均区間は RTT, RSSI ともに 5 秒とした。移動平均の影響により測位結果は常に約 2.5 秒遅れるが、この遅れを取り除く補正をして評価する。RSSI 測位における伝搬損失係数 α は自由空間と同じ 2 とした。

範囲評価関数の設定範囲は正方形の辺付近を除くため x, y ともに -4.5 m から 4.5 m とし、 l, r には範囲の制約を設けなかった。RTT の重み w_{rt} は計測回数・標準偏差とも補正率 1 補正オフセット 0 として補正しない設定とし

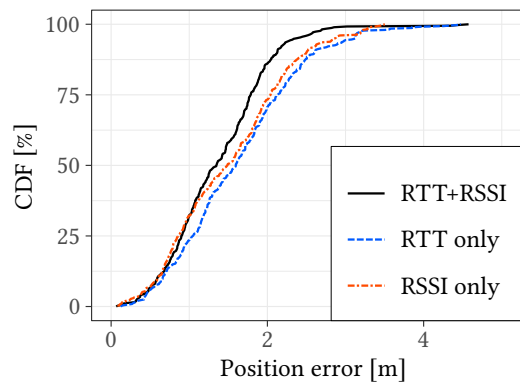


図5 2次元測位誤差の累積分布関数 (CDF)

た。予備実験では外れ値を除去した計測回数が 100 回前後、標準偏差が 60 前後だったため、 w_{rt} は 1~2 程度の値を見込む。RSSI の重み w_{ri} は、予備実験で RTT と同等の計測回数を得られたため、計測回数の補正率と補正オフセットを RTT と同じ補正しない設定とした。標準偏差は変動が少なく極めて小さかったため補正率を 0 として、重みが標準偏差の影響を受けないように設定した。また、1 次元測位 [3] の結果から RTT 測位の方が RSSI 測位より精度が高いと考えられるため、標準偏差の補正オフセットを 100 に設定して $w_{rt} > w_{ri}$ となるようにした。予備実験とこれらの設定により w_{rt} は 1 前後の値を見込む。範囲評価関数の重み w_L は 3 に設定し $w_L > w_{rt}$ となるようにした。座標安定化の閾値は秒速 10 m とした。

歩行者の通常移動を模し 4 種類の移動パターンを用意し評価した。図 2 に各パターンを示している。いずれも正方形中央の 4 m 直線を秒速 1 m で往復し、パターンによって直線方向が異なる。移動はいずれも中心からスタートし、2 m 進む、2 秒停止、4 m 戻る、2 秒停止、2 m 進む、という順番で中心に戻ってくるものである。

4.3 結果

統合測位 (RTT+RSSI)、RTT 測位 (RTT only)、RSSI 測位 (RSSI only) の結果と端末の実際の位置 (Expected) を

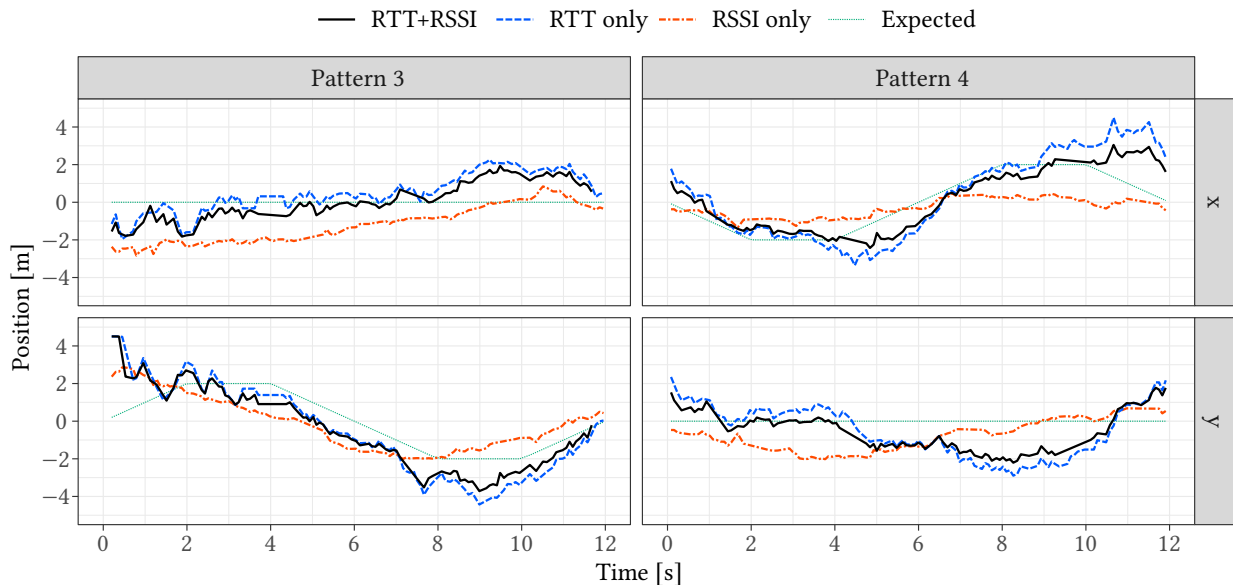


図 4 2次元測位結果と端末の実際の位置 (パターン 3, 4)

表 1 2次元測位結果の平均誤差および 50%, 90% 誤差と平均測位頻度

	RTT+RSSI	RTT only	RSSI only
平均誤差	1.37 m	1.63 m	1.50 m
50% 誤差	1.35 m	1.60 m	1.49 m
90% 誤差	2.13 m	2.61 m	2.50 m
平均測位頻度	8.10 回/s	9.23 回/s	8.48 回/s

表 2 1次元測位 [3] の平均誤差および 50%, 90% 誤差

	1次元 RTT	1次元 RSSI
平均誤差 (MAE)	1.26 m	2.39 m
50% 誤差	1.08 m	2.12 m
90% 誤差	2.55 m	4.58 m

図 3, 4 に示す。4 パターン合算した測位誤差 (距離) の累積分布関数 (CDF) を図 5 に示す。平均誤差および 50%, 90% 誤差と平均測位頻度を表 1 に示す。統合測位 (RTT+RSSI) が最も良い精度となり、平均および 50% 誤差が 1 m 強、90% 誤差が 2 m 強であった。測位頻度も秒間 8 回を超えており、十分に動線追跡できる。RTT 測位と RSSI 測位では RSSI 測位の方がわずかに精度が良かった。ただし、RSSI 測位は RTT 測位より位置推定で大きな外れ値を出す頻度が高く、座標安定化フィルタの効果により測位頻度は低くなった。

比較のため 1次元測位 [3] の平均誤差および 50%, 90% 誤差を表 2 に示す。本稿の 2次元測位は 3 種とも平均および 50% 誤差で 1次元 RTT 測位と 1次元 RSSI 測位の間の精度となっている。一方、90% 誤差については精度が同等もしくは良くなった。通常、2次元測位では 1次元よりも精度が悪くなると考えられる。しかし、比較対象の 1次元測位は分散アンテナ数が必要数と同じ 2 本だったのに対し、本稿の 2次元測位は必要数 3 本よりも 1 本多くなっていること、統合測位は RTT 計測値と RSSI 計測値を組み合わせていること、各計測値の信頼性を重みとして位置推定計算していること、等によって精度の向上を図ることができたと考えられる。また、通常の無線 LAN 端末を用いた従来型測位 [11] (精度 30 m~50 m)

と比較して、同様の通常端末を用い、アプリケーション不要、高頻度測位可能で歩行者動線を取得できる上、高精度測位 (精度 1 m~3 m) を実現できた。

5 フィールド実証

実験で構築したシステムを 2018 年 2 月に開催した展示会、つくばフォーラム 2018 [17] にて動態展示 [18] し、実際に測位しているところを多数の来場者にご覧いただくとともに、実フィールドでの有効性を確かめた。

5.1 環境

実験では 1 辺 10 m の正方形としたところを、展示スペースの都合で 1 辺 8 m の正方形に変更した。4 つの分散アンテナのうち 1 つ (ANT3) は、本展示ブース横に高さ 1 m 程度で設置した。その対角線反対側の分散アンテナ (ANT2) は他展示ブース同士の隙間となる展示エリア角に高さ 1 m 程度で設置した。残る 2 本の分散アンテナ (ANT1, 4) は他展示ブースの背後に設置しなければならなかったため、展示ブースよりも高くなるよう高さ 3 m 程度で設置した。分散アンテナの周囲約 1 m は来場者が近づけないようにしたが、各アンテナ間は両側に展示ブースが並ぶ展示エリアの通路であり、自由に横切ったり滞留したりできた。実験とは異なり、多数の来場者が横切る状態での測位となり、来場者が横切るたびに RSSI 計測値が大きく変動し、RSSI 測位や統合測位は影響を受けて誤差が大きくなるのが想定されたため、RTT 測位を測位結果として用いることとした。また、RTT 測位は展示員が静止していても細かく振動する傾向があるため、座標安定化として「あそび」となるスレッショルドを設け、測位座標がこれを超えて移動した場合のみ表示座標を移動させるようにした。展示員は測位対象のノート PC を入れたカバンと目印の旗を持ち徒歩で移動し、本展示の展示ブースに設置したディスプレイで、周辺平面図上に測位結果をリアルタイム表示した (図 6)。

5.2 結果

実験同様、移動平均等の影響で、測位結果をリアルタイム表示していても、展示員の動きから常に数秒遅れて表示された。また、展示中に各アンテナ間を見通せなく

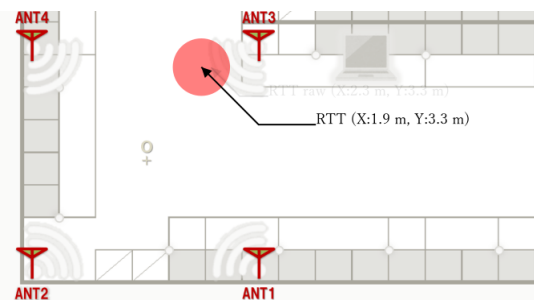


図6 測位結果表示イメージ

なるほど来場者があふれ混雑することもあったが、大きな影響を受けず誤差数 m 以内を維持できた。アプリケーション不要で誤差数 m という精度で動線が得られることについて、多くの来場者から有望な屋内測位方式であるとの高い評価を得た。

6 おわりに

本稿では MaaS やイベント、施設等の運営者が人流把握を目的として来場者を測位する方法を提案した。これは、広く普及し多くの人々が所持する無線 LAN 端末を対象とし、端末にアプリケーション等インストール不要で、端末は AP に帰属するだけで AP 側から 2 次元測位できるという特徴を持つ。また、端末の機種に依存することなく、多くのアンテナを使い、RTT 計測値と RSSI 計測値を統合して位置推定計算することによって、精度良く測位することができる。この提案方式の有効性を確かめるための実験を行い測位結果および評価を示した。その結果、平均および 50% 誤差が 1 m 強、90% 誤差が 2 m 強、測位頻度が秒間 8 回を超えており、十分に人流把握のための動線追跡ができるものとなった。これにより、通常の無線 LAN 端末を用いた従来型測位 [11] (精度 30 m~50 m) と比較して、同様の通常端末を用い、アプリケーション不要、歩行者動線取得、高精度測位 (精度 1 m~3 m) を実現した。最後に、フィールド実証として来場者が多数集まる展示会で動作させ、実フィールドでの有効性を確かめた。展示会には多数の来場者が訪れたが、RTT 測位は来場者で混雑しても大きな影響はなく、アプリケーション不要で誤差数 m という精度で動線が得られることについて、多くの来場者から有望な屋内測位方式であるとの高い評価を得ることができた。今後は、本稿では既知とした伝搬損失係数 α を統合測位の未知数として自動的に求め、事前の調整等を一切不要とする方法、複数の送受信レートやチャンネルを使ってフレームを送受信し、1 本のアンテナでより多種の計測値を得ることで、周囲の反射等による影響を低減するとともに、実質的なアンテナ数を増やしたかのような大統合測位で精度の向上を図る方法、非分散アンテナ型 AP を複数台用い、非帰属 AP から帰属 AP を模した計測フレームを送受信することで、分散アンテナを用いずに測位する方法等を検討したい。また、提案方式は容易に 3 次元測位方式へ拡張できると考えており、これを実装・構築し、評価や応用先の拡大を図ることや、今後普及が見込まれるローカル 5G 等にも応用する等したい。

参考文献

- [1] 牧村和彦. “MaaS とスマートシティ”, 都市計画, No. 335, pp. 42-45, 2018 年 11 月.

- [2] 日本経済新聞, “スマホ電波で混雑予測 警視庁、隅田川花火の警備で最新手法”, 2017 年 7 月 29 日, https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG28H5F_Z20C17A7CR0000/.
- [3] 細田真道, 坂本寛, 村上友規, 花籠靖, 梅内誠, 毛利忠, 小川智明, 宮本勝, “分散アンテナを用いたアクセスポイントによる無線 LAN 端末位置推定方式”, FIT2018 (第 17 回情報科学技術フォーラム), No. CM-007, pp. 59-64, 2018 年 9 月.
- [4] 福島壯之介, “理解するための GPS 測位計算プログラム入門”, https://www.enri.go.jp/~fks442/K_MUSEN/, 参照 2019 年 6 月 14 日.
- [5] U. S. Department of Defence, “Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 4th Edition”, Table 3.8-3. SPS Position / Time Accuracy Standards, pp. 34, Sep. 2008, <https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>.
- [6] 村田正秋, 瀬川爾朗, 鳥本秀幸, “IMES の技術動向: シームレス三次元測位・航法の新技術”, 電子情報通信学会誌, Vol. 95 No. 2, pp. 119-124, 2012 年 2 月.
- [7] IEEE Std 802.11-2016, 11.24.6 Fine timing measurement (FTM) procedure, pp. 1789-1800, Dec. 2016.
- [8] Leor Banin, Uri Schatzberg, Yuval Amizur, “WiFi FTM and Map Information Fusion for Accurate Positioning”, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Oct. 2016.
- [9] 山口修平, 荒井大輔, 大岸智彦, “BLE タグを用いた屋内位置測位における周波数識別効果の評価”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 115 No. 290, ASN2015-69, pp. 103-108, 2015 年 11 月.
- [10] 星尚志, 石塚宏紀, 小林垂令, 南川敦宣, “動的遮蔽物を考慮した BLE による屋内位置推定手法の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 1, pp. 48-57, 2019 年 1 月, <http://id.nii.ac.jp/1001/00193793/>.
- [11] 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫, “無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討”, 情報処理学会論文誌, Vol. 47 No. 12, pp. 3124-3136, 2006 年 12 月, <http://id.nii.ac.jp/1001/00010120/>.
- [12] Tran Xuan Duc, 宮崎和哉, 西尾 信彦, “無線 LAN 位置マーク方式測位への状況適用型測位手法”, DICOMO2012, pp. 1017-1026, 2012 年 7 月.
- [13] 鬼倉隆志, 高柳健司, 望月祐洋, 村尾和哉, 西尾信彦, “無線 LAN の端末側測位と基地局側測位を用いた測位精度改善手法”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-UBI-46, No. 3, pp. 1-8, 2015 年 5 月, <http://id.nii.ac.jp/1001/00141670/>.
- [14] 小西勇介, 中尾敏康, “WiFi 測位のためのアクセスポイントスキャン高速化方式”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-MBL-057, No. 3, 2011 年 3 月, <http://id.nii.ac.jp/1001/00073015/>.
- [15] 村上友規, 石原浩一, アベセカラヒランタ, 秋元守, 鷹取泰司, “無線 LAN に適した分散スマートアンテナシステムの提案”, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 117 No. 284, RCS2017-223, pp. 105-110, 2017 年 11 月.
- [16] K. Ishihara, T. Murakami, H. Abeysekera, M. Akimoto, Y. Takatori, “Distributed smart antenna system for high-density WLAN system”, Electronics Letters, Vol. 54, No. 6, pp. 336-338, Mar. 2018, <https://doi.org/10.1049/el.2017.4081>.
- [17] 野村智之, 古敷谷優介, 田所将志, 佐々木元晴, 猪狩垂紀子, “「つくばフォーラム 2018」開催報告”, NTT 技術ジャーナル, Vol. 31, No. 2, pp. 48-53, 2019 年 2 月, http://www.ntt.co.jp/journal/1902/JN20190248_h.html.
- [18] “アプリ不要! 無線 LAN だけでスマホの現在地がわかります。-電波到達時間 (ToA) による屋内測位技術-”, つくばフォーラム 2018, NTT 展示/スマートな保守運用, 2018 年 10 月.