

# ナビゲーション向け AR マーカを利用した位置推定支援

## Localization support using AR marker for navigation

堀江 大輔<sup>1</sup> 勝間 亮<sup>1</sup>  
Daisuke Horie Ryo Katsuma

### 概要

近年、スマートフォン端末などの位置情報を利用して屋内でのナビゲーションを行う方法が注目されている。そのための位置推定手法として様々な手法が検討されているが、電波通信による受信信号強度情報 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を利用した位置推定手法は、能動的な行動をすることなく位置推定を行えるが、アクセスポイントからの距離を正確に測定することが難しく、位置推定の精度が低くなるという欠点がある。一方、AR (Augmented Reality) マーカを読みとることでユーザーの位置を推定する方法は、RSSI を使う方法よりも精度はいい場合が多いが、スマートフォンなどのカメラをマーカに向ける必要があり、利便性の点で問題があり、全員がマーカを読み取る動作を行うには無理がある。そこで本研究では、あるユーザが AR マーカを読み取ることによって得た推定精度の高い位置情報とその場所での RSSI 値の情報を近隣の端末間で共有し、それをもとに RSSI 値と距離の関係式を調整することで、マーカを読み取っていない端末の電波通信における位置推定の精度を向上させる方法を提案する。

### 1. はじめに

現在スマートフォンには GPS 機能が標準搭載され、SNS などの様々なアプリケーションで位置情報が利用されている。しかし、GPS 衛星からの電波が届きにくい屋内では、電波の干渉や減衰により正確な位置推定を行えない場合がある。そのため、ユーザの位置に応じて適切なサービスを提供するナビゲーションなどのシステムでは、屋内で使える位置推定の手法が求められている。

屋内での位置推定手法として、電波通信による受信信号強度情報 (RSSI) を利用した位置推定手法がある。電波通信にはあらかじめ位置情報をインプットした無線アクセスポイントなどが用いられる [1]。自由空間では電波は距離の二乗に反比例して減衰していくことが知られており、計測した RSSI 値からノード間距離を求めることができる。このとき、対象空間における 1 m での RSSI 値 (以降、単位 RSSI 値と記す) をあらかじめ計測してお

く必要がある。位置が既知であるノード (以降、アンカノードと記す) との距離を計算することで、端末位置の絞り込みを行う。しかし、単位 RSSI 値は電波の不安定性などにより、位置推定の精度が悪化することが問題視されている。そこで、単位 RSSI 値を用いずに RSSI 値同士の比較によって位置推定を行う Finger Printing という方法がある (2.1 節で説明) が、正確な位置推定を行うためにはあらかじめ多くの地点で RSSI を測定する必要がある。

RSSI を用いない位置推定手法として、AR (Augmented Reality) マーカとよばれる付加情報を表示するためのパターン画像を用いた位置推定手法がある。この方法では、印刷されたマーカを建物内に複数設置してそれらをカメラで読み取って得られた情報をもとに位置推定を行う。マーカはスマートフォンなどのポータブル機器に付属している単眼カメラで 2 次元コードと同様に容易に読み取ることができる。ユーザーが端末のカメラでマーカを読み取るとマーカの情報がサーバに送られる。サーバは建物内に配置したすべてのマーカの位置情報を管理しており、ユーザーがマーカを読み取ると、端末はマーカのスナップショット画像をサーバに送信し、サーバは送られてきたマーカの情報とサーバ内のマーカのパターンファイルと照合する。一致するパターンファイルが見つかった場合、サーバはマーカの位置情報をユーザに送信する [2]。一般的に、AR 技術を用いたナビゲーションシステムは、図 1 に示すように、重要な場所をカメラ映像上に表示する。この AR マーカを用いた屋内位置推定手法は近年特に研究されており、実用化もされている [3][4][5]。AR マーカを用いた位置推定手法は、RSSI を利用した位置推定手法とは異なり、電波の干渉や減衰が位置推定精度に影響を及ぼさないという利点がある。しかしその一方で、カメラの位置と角度によっては、マーカの読み取りを高確率で失敗してしまう問題がある。また、位置推定を行う全ての地点でマーカにカメラを向けなければいけないという利便性の問題がある。

本研究では、AR マーカを読み取ることによって得られた位置情報とその位置で得られた RSSI の情報をノード間で共有し、それをもとに単位 RSSI 値を求めることで、電波通信における位置推定の精度を向上させる方法

<sup>1</sup> 大阪府立大学, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

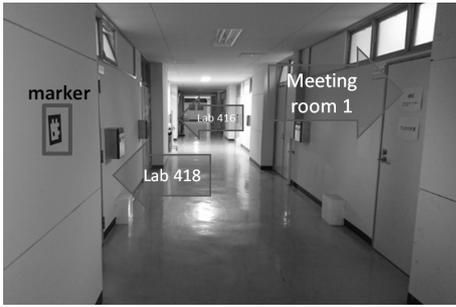


図 1: AR マーカを用いたナビゲーションの例

を提案する。本研究で提案する位置推定手法の利点は以下のとおりである。

- 事前に単位 RSSI 値を計測しておく必要がなく、またいくつかの地点における RSSI 値を端末間で共有することによって、電波強度を利用した位置推定の誤差を小さくすることができる。
- 位置推定を行う全ての地点で AR マーカを読み取る必要がなく、読み取る場合においても斜め遠方から読み取り可能な AR マーカを用いることで、ナビゲーションの利便性を損なわない。

AR マーカおよび RSSI による位置推定方式の詳細は第 2 章で説明する。第 3 章では、RSSI とマーカを併用した提案手法について説明する。第 4 章では、提案手法の精度を検証するために行った実験の方法と結果について説明する。実験の結果、AR マーカと RSSI を併用することにより高精度な位置推定が可能になることが確認できた。

## 2. 関連研究

### 2.1 RSSI を用いた位置推定手法

多くの場合、無線通信機器は RSSI 出力機能を有する [6]。RSSI とは、送信側ノードから送出された電波が、受信側ノードではどの程度の電力の大きさになっているかを 1 mW を基準として対数で表すものである。RSSI の単位は dBm であり、ほとんどの場合において受信電力は 1 mW を下回るので RSSI は負の値となる。ノードから送出された電波は距離に伴い減衰するため、RSSI は距離と負の相関関係がある。式 (1) を用いると、RSSI から距離を算出出来ることが知られている。

$$D = 10^{-\frac{RSSI - A}{20}} \quad (1)$$

$D$ : 距離 (m)

$RSSI$ : 計測した RSSI 値 (dBm)

$A$ : 1 m の距離における RSSI 値 (dBm)

アンカノードからの距離を三つ以上計測出来れば、三点測位により自ノードの位置を特定出来る。三つのアンカノードからの電波を受信し、それぞれの RSSI 値より求めた距離を  $r_1, r_2, r_3$  とするとき、推定座標  $s$  は、一般的には  $s$  から各アンカノードまでの距離と RSSI 値により求めた距離  $r_1, r_2, r_3$  との平均二乗誤差が最小となるように決定する。

しかし、RSSI 値はマルチパスや外来電波の干渉、障害物による電波の減衰による影響を大きく受けて容易に変動する。ノードから放出された電波は、建物内では壁や床、天井で反射し互いに干渉するため、電波の強くなる地点と弱くなる地点が発生する。特に、通路の分かれ道や部屋の入り口付近では他の電波との干渉が起こりやすい。また、電波を受信するためのアンテナの指向性によっても RSSI 値は変動する。そのため、式 (1) において単位 RSSI 値を一定の値とすると、正確な距離が推定できない。

そこで、障害物による電波減衰の問題については、4 つ以上のアンカノードの RSSI を計測したノードにおいて、障害物の影響を補正して位置推定を行う残差重み付け手法が提案されている [7]。計測した RSSI のデータから、3 つ以上のアンカノードの RSSI 計測値からなるデータセットを複数構成し、そのデータセットのそれぞれについて推定位置を計算する。推定結果でのアンカノードとの距離と RSSI 計測値でのアンカノードとの距離の誤差を計算することで各データセットの信頼度を求め、各データセットの推定位置を平均して最終的な結果を得る際に信頼度により重み付けする。障害物が存在する場合において精度が向上すると報告されている。また、Finger Printing という方法では、単位 RSSI 値を用いずに RSSI 値同士の比較によって位置推定を行う [8]。この手法では、事前に対象空間のいくつかの地点について RSSI を計測し、それを基にデータベースを作成しておく。そして実測した RSSI 値とデータベースの値を比較し、どのデータセットの値と最も似ているかを比較することで位置推定を行う手法である。一般的にデータベースを作成する際にはアンカノードの RSSI 値を用いることが多いが、少数のアンカノードで広範囲に正確な位置推定を行うためには、あらかじめ多くの地点で RSSI 値を計測しデータベースを作成する必要がある。

### 2.2 AR マーカを用いた位置推定手法

カメラ映像の解析を基に情報提示を行う AR は画像認識型 AR と呼ばれ、リアルタイムでカメラの位置および姿勢計算を行い映像画面に三次元 CG を表示する。画像

認識型 AR は主に四角形のパターン画像を利用するマーカ型と現実にあるものをそのまま利用するマーカレス型に分類される。マーカレス型は景観を損なわないため商業向けイベントなどには適しているが、空間認識や特徴点抽出の計算量が大きく高度な画像処理システムが要求されるほか、座標軸の設定が困難などのデメリットがある。よってナビゲーションなどのシステムには、位置情報を扱うため処理が高速でユーザーの意識が向かいやすいマーカ型の方が適しているといえる。マーカ型ビジョンベースド AR のライブラリは奈良先端科学技術大学院大学の加藤教授らの研究グループによって ARToolKit[9] が提供されている。

AR マーカによる位置推定では、マーカの ID 番号とマーカの位置情報をサーバに保管しておくことで、マーカを読み取ったユーザーがそのマーカの付近にいることがわかる。それに加えて、通路などではユーザの進行方向が直線的に限定されているため、読み取ったマーカの画像からカメラの正確な位置を推定することが可能である。通路を歩行するユーザーが壁に設置したマーカを読み取る様子をモデル化したものを図 2 に示す。マーカはカメラと同じ高さにあるものとする。各変数はそれぞれ以下のものを表している。

- $d_{long}$  はマーカの長辺の長さ
- $d_{short}$  はマーカの短辺の長さ
- $y_{long}$  はカメラ映像上のマーカの長辺の長さ
- $y_{short}$  はカメラ映像上のマーカの短辺の長さ
- $x_1, x_2$  はカメラとマーカの進行方向に平行な距離
- $r$  はカメラとマーカの進行方向に垂直な距離
- $\varepsilon$  はカメラの焦点距離

カメラから見て手前側の  $d_{short}$  の像を  $y_{short1}$ 、奥側の  $d_{short}$  の像を  $y_{short2}$  とする。  $y_{long}, y_{short1}, y_{short2}$  のカメラ映像上の位置関係を図 3 に示す。図 2 より、  $y_{long}, y_{short1}, y_{short2}$  は式 (2), (3), (4)

$$y_{long} = \frac{rd_{long}\varepsilon}{x_1(x_1 + d_{long})} \quad (2)$$

$$y_{short1} = \frac{d_{short}\varepsilon}{x_1} \quad (3)$$

$$y_{short2} = \frac{d_{short}\varepsilon}{(x_1 + d_{long})} \quad (4)$$

で表される。  $\varepsilon$  を消去すると式 (5), (6)

$$x_1 = \frac{y_{short2}d_{long}}{y_{short1} - y_{short2}} \quad (5)$$

$$r = \frac{y_{long}d_{short}}{y_{short1} - y_{short2}} \quad (6)$$

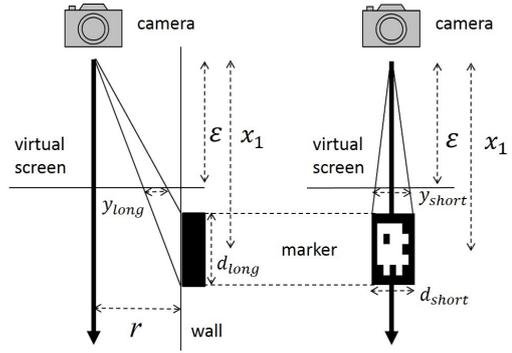


図 2: 通路を歩行するユーザーが壁に設置したマーカを読み取る様子

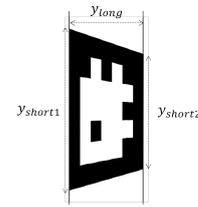


図 3:  $y_{long}, y_{short1}, y_{short2}$  のカメラ映像上の位置関係

が得られる。式 (5), (6) より、マーカの大きさ  $d_{long}, d_{short}$  と、カメラ映像より得られる  $y_{long}, y_{short1}, y_{short2}$  からカメラ位置  $(x_1, r)$  を計算できる。

また、AR マーカには通常正方形型が用いられるが、正面からは読み取りやすい一方、斜め方向からは読み取りに失敗することが多い。そのため、通路など狭い環境でナビゲーションを行う場合、通路の壁に設置した AR マーカを遠方から読み取るのは困難なことが多く、狭く限られた範囲でしか位置情報を取得することができない。そこで、提案手法では正方形型の代わりに長方形型のマーカを用いる。長方形型のマーカは同じ面積の正方形型マーカと比較して、斜めからでも安定して遠くから読み取れるということがわかっている [10]。また ARToolKit などのマーカ認識ソフトウェアは、マーカの四隅が全て直角であるならば AR の表示を行うことが可能である [11]。そのため、図 4, 5 に示すように、長方形型マーカを用いることで、通路を歩行するユーザーは位置情報を効率的に収集することが可能である。しかし、場所によってはマーカを読み取れない、位置推定を行う全ての端末でマーカを読み取らなければならないという利便性の面での欠点は残る。

### 2.3 AR マーカと RSSI を併用した位置推定手法

AR マーカを用いた位置推定では直感的なナビゲーションを行うことができる一方、RSSI を用いた位置推定で

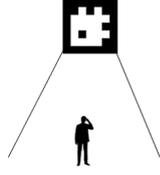


図 4: 正方形型 AR マーカを読み取る場合

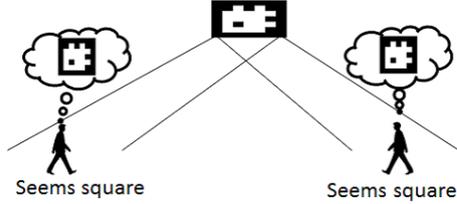


図 5: 長方形型 AR マーカを読み取る場合

はカメラを向けるなどの能動的な動作を必要としないという利点がある。そこで本研究では、どちらの方法においても位置推定を行えるように、AR マーカと RSSI を併用した方法を提案する。提案手法では、ナビゲーションなどの際に端末のカメラで AR マーカを読み取ることによって得た精度の高い位置情報と、その地点で計測した RSSI 値をデータベース化し端末間で共有する。RSSI を用いて位置推定を行う場合、計測した RSSI 値と最も近い値をとるデータベースの RSSI 値から単位 RSSI 値を計算し、その単位 RSSI 値を用いてアンカノードとの距離を計算することで高精度な位置推定を行う。提案手法では Finger Printing に代表される RSSI 値の事前計測の必要性がなく、また、端末の位置によって単位 RSSI 値を調整することでより広範囲に正確な位置推定を行うことが可能である。

### 3. 提案手法

#### 3.1 問題設定

提案手法では、位置推定を行う必要のあるノード（以降位置推定ノードと記す） $s$  の 2 次元位置座標  $(x_s, y_s)$  を推定する。提案手法が用いる情報は以下の通りである。

- $s$  と直接通信可能な位置に存在する各アンカノード  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) の設置座標
- $s$  から読み取り可能な位置に存在する各マーカ  $M_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) の設置座標
- $s$  により計測される、各アンカノードより到来する電波の RSSI 値  $RSSI_{si}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
- $s$  により計算される、 $s$  の各マーカに対する相対座標

表 1: ノード座標と RSSI 値によって構成された表の例

$(x_s, y_s)$	$RSSI_{s1}$	$RSSI_{s2}$	$RSSI_{s3}$	...
(2.8, 3.4)	-65 dBm	NA	-85 dBm	...
(13.0, 11.0)	-88 dBm	-88 dBm	-56 dBm	...
⋮	⋮	⋮	⋮	

#### 3.2 提案手法

提案手法では、AR マーカによる位置推定手法と RSSI による位置推定手法をそれぞれ「AR マーカによる位置推定フェーズ」、「RSSI による位置推定フェーズ」として統合する。

##### 3.2.1 AR マーカによる位置推定フェーズ

AR マーカを用いた位置推定では障害物などによる電波減衰の影響を受けないため、RSSI を用いた位置推定と比較して高精度な推定が可能である。そのため位置推定ノードが AR マーカを読み取った場合、AR マーカによる推定結果をそのまま位置推定ノード  $s$  の 2 次元座標  $(x_s, y_s)$  とする。推定の手順は以下の通りである。

1. 読み取ったマーカ  $M_j$  の ID 情報に対応した  $M_j$  の設置座標  $(x_j, y_j)$  をサーバから受けとる。
2. カメラ映像上のマーカ画像から、式 (5), (6) を用いて  $s$  の  $M_j$  に対する相対座標  $(x_{sj}, y_{sj})$  を求める。
3.  $x_s = x_{sj} + x_j, y_s = y_{sj} + y_j$  とする。
4.  $s$  で受信可能な各アンカノード  $a_i$  との RSSI 値  $RSSI_{si}$  を計測する。
5. ステップ (3)(4) で求めたノード座標  $(x_s, y_s)$  と  $RSSI_{si}$  をもとに表を作成する。例を表 1 に示す。 $(x_s, y_s)$  に近い値をもつノード座標がすでに登録されている場合その値を上書きし、そうでない場合はノード座標  $(x_s, y_s)$  と  $RSSI_{si}$  を新たに追加する。なお、この表のデータは全てのノード間で共有する。

##### 3.2.2 RSSI による位置推定フェーズ

RSSI のみを用いて位置推定を行う場合、推定の手順は以下の通りである。

1.  $s$  で受信可能な各アンカノード  $a_i$  との RSSI 値  $RSSI_{si}$  を計測する。

2. 3.2.1 節で作成した表のノード座標  $(x_k, y_k)$  と  $RSSI_{ki}$  から単位 RSSI 値  $A_{ki}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) を求める。このとき、式 (1) を変形した式 (7) を用いる。ただし、 $s$  の  $a_i$  に対する相対座標を  $(x_{ki}, y_{ki})$  とする。

$$A_{ki} = RSSI_{ki} + 20 \log_{10} \sqrt{x_{ki}^2 + y_{ki}^2} \quad (7)$$

3.  $s$  の位置推定に用いる単位 RSSI 値  $A_{si}$  を  $k$  近傍法を用いて決定する。RSSI 値の残差平方和  $X_{sk}$  を式 (8)

$$X_{sk} = \sum_{i=1}^n (RSSI_{si} - RSSI_{ki})^2 \quad (8)$$

で表すと、 $A_{si}$  は式 (9) によって決定される。

$$A_{si} = A_{ki} |_{k=\arg \min_{1 \leq k \leq N} X_{sk}} \quad (9)$$

4.  $s$  により計測した  $RSSI_{si}$  と  $A_{si}$  から、式 (1) を用いて各アンカノードとの距離  $r_{si}$  を求める。なお、 $RSSI_{si}$  または  $A_{si}$  に欠損値がある場合、その組み合わせは無視する。
5. 任意の  $r_{si}$  を三つ選択し  $r_{sp}, r_{sq}, r_{sr}$  とする。各アンカノード  $a_i$  との距離の平均二乗誤差が最小となる位置  $(x_{spqr}, y_{spqr})$  は式 (10) により求められる。

$$\arg \min_{(x,y)} \sum_{i=p,q,r} (\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - r_{si})^2 \quad (10)$$

解の探索には以下のアルゴリズムを用いる。ただし、探索する範囲を  $x_{min} < x < x_{max}, y_{min} < y < y_{max}$  とし、位置推定の精度を  $e$  とする。

- $m = 1, x = x_{min}, y = y_{min}$  とする。
- $(x, y)$  における各アンカノード  $a_i$  との距離の平均二乗誤差を求める。
- $x = x + m, y = y + m$  とし、 $x = x_{max}, y = y_{max}$  となるまでステップ (b) を繰り返す。
- 平均二乗誤差が最小となる  $(x, y)$  を求め、 $x_{result} = x, y_{result} = y$  とする。 $m = 0.1m, x = x_{result} - m, x_{max} = x_{result} + m, y_{min} = y_{result} - m, y_{max} = y_{result} + m$  とし、ステップ (b) に戻る。 $m < e$  となれば  $x_{spqr} = x_{result}, y_{spqr} = y_{result}$  としアルゴリズム終了。

6. 障害物などによる RSSI 値への影響を考慮するため、ノード座標  $(x_k, y_k)$  における各アンカノードの信頼度  $w_{ki}$  を式 (11) を用いて表す。

$$w_{ki} = \frac{1}{(A_{ki} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ki})^2} \quad (11)$$

表 2: 実験環境および実験に用いた機器の仕様

フィールドサイズ	2 m x 10 m (屋内通路)
アンカノード数	4
位置推定ノード数	20
ビーコン送信用端末	HTC Nexus 9 (4 台)
ビーコン受信信用端末	Huawei nova lite 2 (1 台)
ビーコンプロトコル	iBeacon
ビーコン発信/受信アプリ	Beacon Simulator v1.4.1
ビーコン発信周期 (平均値)	10 Hz
RSSI 計測周期 (平均値)	1 Hz
無線通信規格	Bluetooth 4.1 Class1
単位 RSSI 値 (固定値)	-73.4 dBm
マーカ認識アプリ	ARToolKit [12]
マーカ認識用カメラ	Logicool HD Webcam C525
カメラ画像処理像度	1280 x 720 px
正方形型マーカのサイズ	17.6 cm x 17.6 cm
長方形型マーカのサイズ	27.9 cm x 11.2 cm

$(x_{spqr}, y_{spqr})$  の加重平均を式 (12), (13) を用いて計算し、その結果を  $s$  の 2 次元座標  $(x_s, y_s)$  とする。

$$x_s = \frac{\sum_{p=1}^n \sum_{q=p+1}^n \sum_{r=q+1}^n w_{sp} w_{sq} w_{sr} x_{spqr}}{\sum_{p=1}^n \sum_{q=p+1}^n \sum_{r=q+1}^n w_{sp} w_{sq} w_{sr}} \quad (12)$$

$$y_s = \frac{\sum_{p=1}^n \sum_{q=p+1}^n \sum_{r=q+1}^n w_{sp} w_{sq} w_{sr} y_{spqr}}{\sum_{p=1}^n \sum_{q=p+1}^n \sum_{r=q+1}^n w_{sp} w_{sq} w_{sr}} \quad (13)$$

## 4. 精度検証実験

提案手法の精度を検証するため実機実験を行った。実験環境および実験に用いた機器の仕様を表 2 に示す。

### 4.1 実験手順

#### 4.1.1 AR マーカによる位置推定フェーズ

マーカを用いて位置推定を行うノード  $s_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 18$ ) の位置は図 6 の通りである。各ノード位置において長方形型および正方形型マーカの読み取りを行い、3.2.1 節に記載した方法で  $s_k$  の位置推定を行った。また、各位置推定ノード  $s_k$  では各アンカノード  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) から発信されたビーコン信号の RSSI 値  $RSSI_{ki}$  を計測した。アンカノード  $a_i$  の配置は図 7 の通りである。RSSI 計測は各  $s_k$  で 20 回ずつ行った。外来電波やノイズの混入による RSSI 値への影響を除去するため、値の大きさが 6 番目から 15 番目までの平均値をとった。また、障害物に対する頑健性の評価のため、 $a_1$  の周囲に高さ 1m ほどの金属プレートを設置し同様の測定を行なった。

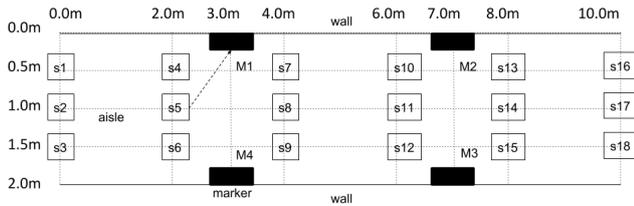


図 6: マーカによる位置推定ノード  $s_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 18$ ) の配置

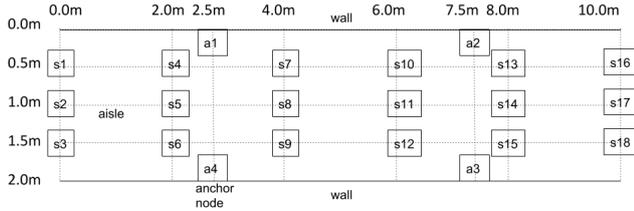


図 7: アンカノード  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) の配置

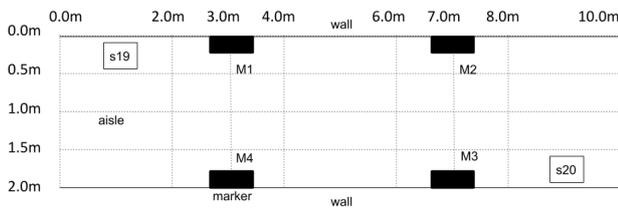


図 8: RSSI による位置推定ノード  $s_k$  ( $k = 19, 20$ ) の配置

#### 4.1.2 RSSI による位置推定フェーズ

RSSI を用いて位置推定を行うノード  $s_k$  ( $k = 19, 20$ ) の位置は図 8 の通りである。4.1.1 節と同様にして、障害物が存在する場合と存在しない場合で RSSI 値  $RSSI_{ki}$  の計測を行った。その後 3.2.2 節に記載した方法で  $s_k$  の位置推定を行った。位置推定精度を検証するため、あらかじめ決められた単位 RSSI 値を用いて、各アンカノードからの距離の平均二乗誤差が最小となる位置の相加平均をとる方法（従来手法）と、k 近傍法を用いて単位 RSSI 値を決定し、各アンカノードからの距離の平均二乗誤差が最小となる位置の加重平均をとる方法（提案手法）のそれぞれについて誤差の比較を行った。なお、従来手法で用いる単位 RSSI 値は予備実験より求めた値である  $-73.4$  dBm を用いた。

#### 4.1.3 実験結果

正方形型マーカを用いた場合、位置推定ノード  $s_1, s_2, s_3, s_{16}, s_{17}, s_{18}$  からはマーカを読み取ることができな

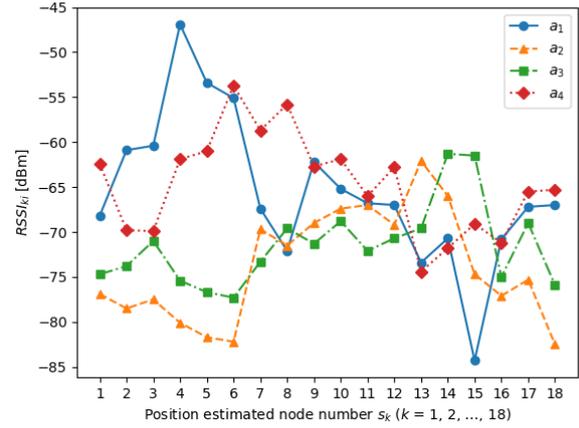


図 9:  $s_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 18$ ) で計測した RSSI 値  $RSSI_{ki}$  (障害物なし)

表 3: 従来手法により推定したノード位置 (障害物なし)

	推定座標 [m]	実際の座標 [m]	推定誤差 [m]
$s_{19}$	(0.65, 4.18)	(0.25, 1.00)	3.20
$s_{20}$	(0.63, 4.93)	(1.75, 9.00)	4.23
平均誤差			3.71

表 4: 提案手法により推定したノード位置 (障害物なし)

	推定座標 [m]	実際の座標 [m]	推定誤差 [m]
$s_{19}$	(0.51, 0.00)	(0.25, 1.00)	1.03
$s_{20}$	(0.14, 8.72)	(1.75, 9.00)	1.63
平均誤差			1.33

かったが、同じ面積の長方形型マーカを用いた場合、全てのノードから一つ以上のマーカを読み取ることができ、また最大誤差が  $0.3$  m という高い精度でノード位置を推定できた。また、障害物が存在しない場合と存在する場合それぞれにおいて各位置推定ノード  $s_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 18$ ) で計測した RSSI 値  $RSSI_{ki}$  を図 9, 図 10 に示す。障害物を配置したアンカノード  $a_1$  で電波の減衰が起こっていることが確認できる。また、従来手法および提案手法を用いた場合の  $s_k$  ( $k = 19, 20$ ) の位置推定誤差を表 3, 表 4, 表 5, 表 6 に示す。障害物が存在しない場合と存在する場合それぞれにおける位置推定の平均誤差は、従来手法ではそれぞれ  $3.71$  m,  $2.85$  m, 提案手法では  $1.33$  m,  $1.29$  m となった。提案手法では従来手法と比較して平均誤差を  $59.4\%$  低減することができた。

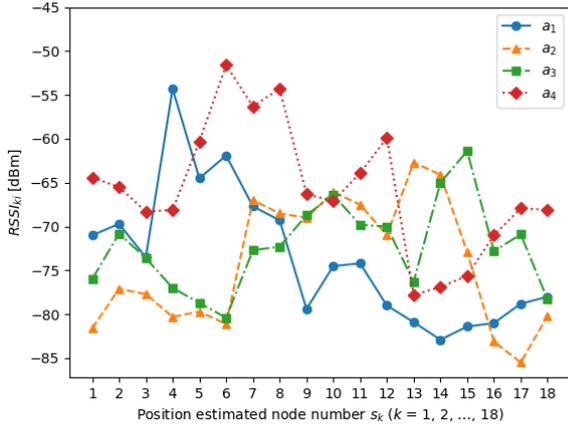


図 10:  $s_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 18$ ) で計測した RSSI 値  $RSSI_{ki}$  (障害物あり)

表 5: 従来手法により推定したノード位置 (障害物あり)

	推定座標 [m]	実際の座標 [m]	推定誤差 [m]
$s_{19}$	(0.90, 2.75)	(0.25, 1.00)	1.87
$s_{20}$	(1.25, 5.20)	(1.75, 9.00)	3.83
平均誤差			2.85

表 6: 提案手法により推定したノード位置 (障害物あり)

	推定座標 [m]	実際の座標 [m]	推定誤差 [m]
$s_{19}$	(1.01, 1.98)	(0.25, 1.00)	1.24
$s_{20}$	(0.69, 9.81)	(1.75, 9.00)	1.34
平均誤差			1.29

## 5. まとめ

本研究では、AR マーカを読み取ることによって得られた位置情報をノード間で共有し、それをもとに RSSI のみを用いた位置推定を行うノードの単位 RSSI 値をより正確に求めることで、電波通信における位置推定の精度を向上させる方法を提案した。評価実験の結果、提案手法はその場の RSSI 情報だけを用いる従来手法よりも高精度な位置推定が可能になることが確認できた。

## 参考文献

[1] Wakana Nakai, Yu Kawahama, Ryo Katsuma: "Reducing Error of Positioning Based on Unstable RSSI of Short Range Communication" *Proc. of IEEE Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2018.

[2] Honda, S. Takahashi, I. Yoshida, K.: "Proposal of shopping navigaiton system for low vision,"

*Proc. of IPSJ SIG Technical Report*, Vol. 2012-IS-119, No. 6, pp. 1–7, (2012).

[3] Rencheng Sun, Yi Sui, Ran Li, and Fengjing Shao: "The Design of a New Marker in Augmented Reality," *Proc. of International Conference on Economics and Finance Research*, pp. 129–132, (2011).

[4] M. Kalkusch, T. Lidy, N. Knapp, G. Reitmayr, H. Kaufmann, and D. Schmalstieg: "Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding," *Proc. of The First IEEE International Workshop on Augmented Reality Toolkit*, pp. 1–8, (2002).

[5] Megha Shetty, Vineet Lasrado, and Riyaz Mohammed: "Marker Based Application in Augmented Reality Using Android,"

[6] Yu Kawahama, Ryo Katsuma: "High-Accuracy Localization via Measurements of RSSIs and LED Light Angles for Low-Cost WMSNs" *Proc. of IEEE Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2017.

[7] Li Cong, Weihua Zhuang: "A non-line-of-sight error mitigation algorithm in location estimation", *Wireless Communications and Networking Conference, 1999. WCNC. 1999 IEEE*, pp.316–320, 1999.

[8] Ramsey Faragher, Robert Herle: "Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons". *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, pp.2418-2428, (2015).

[9] H. Kato and M. Billinghurst: "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System," *Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR '99)*, pp. 85–94, (1999).

[10] Daisuke Horie, Ryo Katsuma: "Recognizing AR Markers using Optical Illusion Markers and a Low-cost Camera" *Proc. of IEEE Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2017.

- [11] ARToolKit: Coordinate Systems, <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/cs.htm>>
- [12] ARToolKit, <<https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>> .