

移動アンカノードを利用した 無線センサネットワーク向け位置推定手法における アンカ点群選択アルゴリズム

岩倉 有佑[†] 宮路 祐一[†] 上原 秀幸[†]

[†] 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

E-mail: †iwakura@comm.ee.tut.ac.jp, †miyaji@ee.tut.ac.jp, †uehara@tut.jp

あらまし 移動アンカノードを利用した無線センサネットワーク向け位置推定方式がある。この方式では、推定したいセンサノードの通信範囲を円に、円を通過する移動アンカノードの経路を弦と見立て、二つの弦の垂直二等分線の交点が円の中心となる性質を利用してセンサノード位置を推定する。弦は、移動アンカノードがビーコンをブロードキャストする位置であるアンカ点の集合（アンカ点群）で形成される。アンカ点群は、センサノードの通信範囲を移動アンカノードが1回通過した時に同直線上で連続して得られるアンカ点の集合と定義される。弦の性質を利用するため、エリア端やシャドウイングにより分断されたアンカ点群を使用すると推定誤差が増加する。また、二つのアンカ点群を取得できた経路間の成す角度が小さなアンカ点群を使用すると位置推定誤差が増加する。加えて、最初に取得できた二つのアンカ点群を推定に使用するため、推定誤差の増加要因となるアンカ点群の使用を避けることができない。そこで本稿では、センサノードが取得できた複数のアンカ点群の中から、アンカ点数と経路間の成す角度の情報を使用して分断と経路間の成す角度が小さなアンカ点群を避け、位置推定誤差を抑制するアンカ点群選択アルゴリズムを提案する。シミュレーション評価により、提案アルゴリズムを使用しない手法に比べ、エリア端やシャドウイングの影響を軽減し、平均位置推定誤差や位置推定誤差の標準偏差を抑制できることを示す。

キーワード 無線センサネットワーク, 位置推定, 移動アンカノード, シャドウイング

Selection Algorithm of Anchor Point Group for Localization Using Mobile Anchor Node in Wireless Sensor Networks

Yusuke IWAKURA[†], Yuichi MIYAJI[†], and Hideyuki UEHARA[†]

[†] Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering, Toyohashi University of Technology

Hibarigaoka 1-1, Tempaku-cho, Toyohashi-shi, Aichi, 441-8580 Japan

E-mail: †iwakura@comm.ee.tut.ac.jp, †miyaji@ee.tut.ac.jp, †uehara@tut.jp

Abstract This report describes a localization method using a mobile anchor node in wireless sensor networks. This method localizes the positions of sensor nodes by using the nature of a perpendicular bisector of chord passing through the center of a circle. We consider that the communication range of a sensor node is a circle and the center of a circle indicates the position of the sensor node. The point where the mobile anchor node broadcasts beacon is called an anchor point. The chord is composed of an anchor-point group. This method localizes the position by using two anchor-point groups that the sensor node can acquire for the first time. Therefore, localization error will increase if this method localizing the sensor node with a group affected by shadowing or area boundaries. In this study, we propose a selection algorithm of two anchor-point groups to suppress the localization error. Simulation results show that the proposed method can suppress both the localization error and its standard deviation.

Key words Wireless sensor networks, Localization, Mobile anchor node, Shadowing

1. はじめに

必要な情報を、必要なときに、必要な場所から収集するユビキタスネットワークの1つとして、無線センサネットワーク (Wireless Sensor Networks: WSNs) がある。WSNs は、ノードを配置するだけで自動的にネットワークを構築できるため、環境モニタリング、海洋調査、生息地域監視などさまざまな用途で用いられている [1], [2]。WSNs においてセンシングする情報は、用途によりさまざまに変化するが、データ発生源の位置情報と組み合わせることで初めて有益な情報となる。膨大なセンサノードを配置する WSNs では、位置情報とセンシング情報を人間の手により紐づけることは大きな手間となり、ノードを置くだけでネットワークを構築できる利点が損なわれる。そのため WSNs では、配置されたセンサノードの位置を推定する手法が必要となる [3]~[5]。

WSNs 向けの位置推定手法として、自身の位置を把握することができる移動アンカノードを利用したもの [6]~[9] がある。これらの手法では、推定したいセンサノードの通信範囲を円に、円を通過する移動アンカノードの経路を弦と見立て、二つの弦の垂直二等分線の交点が円の中心となる性質を利用してセンサノード位置を推定する。弦は、移動アンカノードがビーコンをブロードキャストする位置であるアンカ点の集合 (アンカ点群) で形成される。図 1 に円の弦の性質を利用した位置推定方法を示す。図 1 のように、アンカ点群で構成される弦の垂直二等分線が円の中心を通過する性質を利用して位置を推定する。そのため、エリア端やシャドウイングにより分断されたアンカ点群を使用すると推定誤差が増加する。また、二つのアンカ点群を取得できた経路間の成す角度が小さなアンカ点群を使用すると位置推定誤差が増加する。加えて、最初に取得できた二つのアンカ点群を推定に使用するため、推定誤差の増加要因となるアンカ点群の使用を避けることができない。

そこで本稿では、センサノードが取得できた複数のアンカ点群の中から、分断と経路間の成す角度の小さなアンカ点群を避け、エリア端やシャドウイングの影響を軽減することができるアンカ点群選択アルゴリズムを提案する。

2. 円の弦の性質を利用した位置推定方式

本章では、円の弦の性質を利用した方式の前提と位置推定方法について述べる。図 1 に円の弦の性質を利用した位置推定方法を示す。前提として、移動アンカノードは自身の位置を正確に把握することができるものとする。また、ネットワーク上を Random Direction Mobility Model に従い移動しながら、自身の位置情報を含むビーコンを定期的にブロードキャストする。ブロードキャストした点をアンカ点と呼ぶ。図 1 の経路 L_1 に示すように、センサノードの通信範囲を移動アンカノードが 1 回通過した時に、同直線上で連続して得られるアンカ点の集合をアンカ点群と定義する。このアンカ点群は、移動アンカノードがセンサノードの通信範囲内を通過するたびに取得できる。センサノードは、二つのアンカ点群が得られた場合、それぞれのアンカ点群が取得できた経路においてセンサノードに最も近

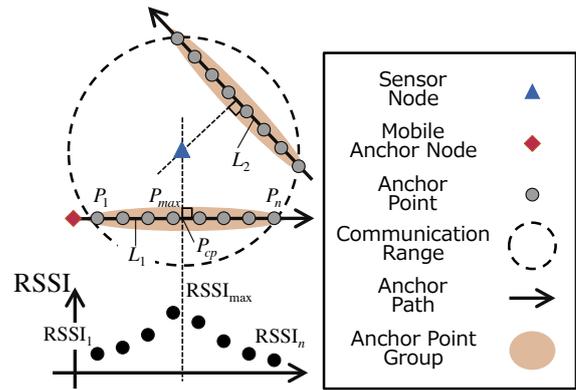
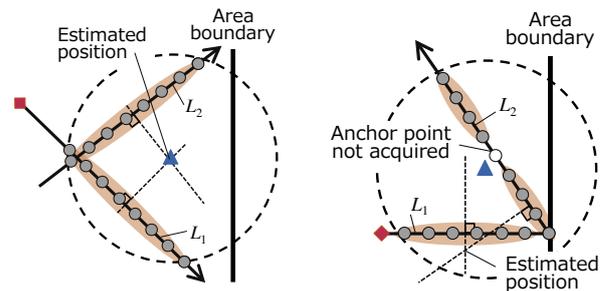


図 1 円の弦の性質を利用した位置推定方法



(a) 誤差が発生しない場合

(b) 誤差が発生する場合

図 2 シャドウイングとエリア端によるアンカ点群の分断の影響

い点 (Closest Point: CP) を推定する。アンカ経路における CP が正しく推定されていた場合、CP から経路の垂線を引くとセンサノード上を通過する。そのため、二つのアンカ経路の CP から垂線を引くと、その交点がセンサノード位置となる。

3. 提案手法

本章では、推定に使用する二つのアンカ点群におけるアンカ点数とアンカ点群を取得できた経路間の成す角度に着目し、位置推定誤差の増加要因について述べる。その後、その位置推定誤差要因を抑制するためのアンカ点群選択アルゴリズムを提案する。

3.1 位置推定誤差を増加させるアンカ点群の特徴

3.1.1 アンカ点数

本項では、位置推定誤差を増加させるアンカ点群の特徴をアンカ点数に着目して述べる。移動アンカノードを利用した位置推定手法では、アンカ点群で構成される弦の垂直二等分線が円の中心を通過する性質を利用して位置を推定する。そのため、シャドウイングやエリア端によりアンカ点群が分断されると位置推定誤差が増加する場合がある。図 2 にシャドウイングとエリア端によるアンカ点群の分断の影響を示す。図 2(a) に示すようにアンカ点群を取得できた場合はアンカ点群が分断されていないため誤差が発生しない。一方、図 2(b) では、センサノードの通信範囲内で移動アンカノードがエリア端に達し、移動方向を変更している。そのため、図 2(b) の経路 L_1 で取得できるアンカ点群を推定に使用した場合、弦の垂直二等分線はセンサ

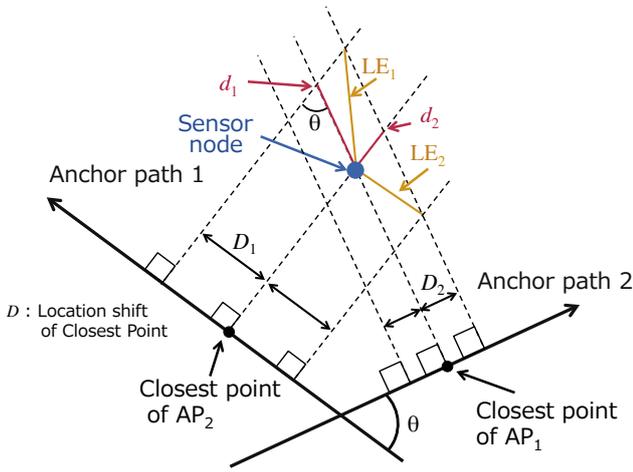


図3 位置推定誤差が最大となる位置

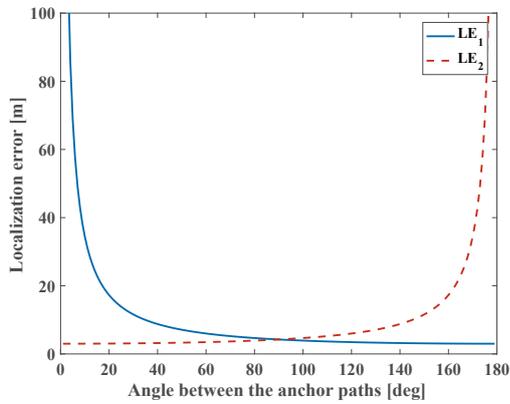


図4 経路間の成す角度を変化させた場合の位置推定誤差特性 ($D_1, D_2 = 3$)

ノード上を通過しない。また、図2(b)の経路 L_2 では、シャドウイングによりアンカ点が欠落している。アンカ点が不連続となった場合、アンカ点群が分断され、推定誤差が増加する。これらの理由からアンカ点数の少ないアンカ点群を推定に使用すると位置推定誤差が増加することがわかる。

3.1.2 アンカ点群を取得できた経路間の成す角度

本項では、位置推定誤差を増加させるアンカ点群の特徴を経路間の成す角度に着目して述べる。図3に位置推定誤差が最大となる位置の図を示す。図3では、エリアにおいて二つのアンカ経路と位置を推定される一つのセンサノードが存在する。推定誤差が0となる場合は、二つの経路のCPがそれぞれ正確に求められている場合となる。つまり、図3において各アンカ経路のCPの位置ずれ D_1, D_2 が0となった場合であり、その位置誤差は0となる。また、推定されたCPが各傾向においてそれぞれ D_1, D_2 ずれた場合は θ の角度により場合分けすることで式(1)と式(2)のように最大位置誤差を求めることができる。式(1)は $\theta < 90$ 度の場合、式(2)は $\theta > 90$ 度の場合である。また、 $\theta = 90$ 度の場合は式(1)と式(2)は同じ値となる。

$$LE_1 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(180 - \theta)} \quad (1)$$

$$LE_2 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos \theta} \quad (2)$$

Algorithm 1 Selection algorithm of anchor point group

```

1: calculate sum of anchor points (at time t)  $n_t \leftarrow 0$ 
2: angle between paths (at time t)  $\theta_t \leftarrow 0$ 
3: number of anchor point group  $N \leftarrow 0$ 
4: minimum threshold angle between paths  $\theta_T \leftarrow 80$ 
5: set of anchor point group IDs  $\mathbf{A}$ 
6: if get new anchor point group then
7:    $N \leftarrow N + 1$ 
8:   if  $N \geq 2$  then
9:     calculate sum of anchor points and angle between paths
       of all combination of two paths
10:    for  $i = 1$  to  $N$  do
11:      for  $j = 1$  to  $N$  do
12:        if  $\theta_t < \theta_T$  then
13:          if  $n_t < n(j, i) \cap \theta_t < \theta(j, i)$  then
14:             $n_t \leftarrow n(j, i)$ 
15:             $\theta_t \leftarrow \theta(j, i)$ 
16:             $\mathbf{A} \leftarrow i$  and  $j$ 
17:          end if
18:        else
19:          if  $n_t < n(j, i)$  then
20:             $n_t \leftarrow n(j, i)$ 
21:             $\theta_t \leftarrow \theta(j, i)$ 
22:             $\mathbf{A} \leftarrow i$  and  $j$ 
23:          end if
24:        end if
25:      end for
26:    end for
27:  end if
28: end if

```

ここで、 d_1, d_2 はそれぞれ式(3)、式(4)により求めることができる。

$$d_1 = \frac{D_1}{\sin \theta} \quad (3)$$

$$d_2 = \frac{D_2}{\sin \theta} \quad (4)$$

図4に式(1)と式(2)において D_1, D_2 を3とし、経路間の成す角度を0~180度まで変化させた場合の最大位置誤差特性を示す。図4より、経路間の成す角度が0度または180度に近づくとき位置推定誤差が大幅に増加することがわかる。これはつまり、二つの経路のなす角において鋭角となる角度が0度に近づくことと同じである。今後の評価では、90度を中心に特性を折り返し経路間の成す角度(鋭角)0~90度として表現する。

3.2 アンカ点群選択アルゴリズム

本稿では、センサノードが取得できた複数のアンカ点群の中から、アンカ点数と経路間の成す角度の情報を用いて、位置推定誤差を抑制できるアンカ点群選択アルゴリズムを提案する。Algorithm 1に提案アルゴリズムの擬似コードを示す。本稿における提案アルゴリズムでは、経路間の成す角度の最適化を緩め、アンカ点数の増加を促すことを目的とし、経路間の成す角度のしきい値 θ_T を設定した。これは、アンカ点数に比べ経路間の成す角度が最適化されやすいために、アンカ点数が増加せず、経路間の成す角度ばかり90度に近づく問題が発生したた

めである。経路間の成す角度のしきい値 θ_T を超えるアンカ点群の組み合わせであれば、アンカ点数のみに着目し推定に使用するアンカ点群を選択する。

各手法における最適な経路間の成す角度のしきい値 θ_T はシミュレーションにより決定される。本稿では、経路間の成す角度のしきい値 θ_T を 10 度から 90 度まで 10 度刻みで変化させ、シャドウイングによる RSSI の標準偏差 $\sigma = 2 \sim 14$ dB と 2 dB 刻みで変化させたときに、平均位置推定誤差が最も小さくなる角度とした。最適なしきい値 θ_T は手法によらず 80 度となった。

4. シミュレーション評価

提案手法の有効性を評価するため、シミュレーション評価を行う。シミュレーションでは、シャドウイングにより取得可能なアンカ点が増える環境で評価した。評価指標は位置推定誤差と位置推定誤差の標準偏差 σ_{LE} を用いる。位置推定誤差は、真のセンサノード位置と推定されたセンサノード位置の距離である。位置推定誤差の標準偏差 σ_{LE} は、エリアに存在するノードの位置推定誤差がどれだけばらついているかを表す。

4.1 提案アルゴリズムの適用手法と比較手法

提案アルゴリズムは、弦の性質を利用した三手法に対して適用される。一つ目は Guo et al. により提案された手法である CPE MAX (Closest Point Estimation of using Max) [8]、二つ目は Ssu et al. により提案された手法である CPE CENTER (Closest Point Estimation of using CENTER) [9]、三つ目は Wang et al. により提案された手法である WCL (Weighted Centroid Localization) [5] を CP 推定手法に適用した手法である CPE WC (Closest Point Estimation of using WC) である。手法間の違いは CP の推定方法によるため、本節後半では CP の推定方法のみに着目して説明する。比較手法は、最初に取得できた二つのアンカ点群を使用して位置を推定する場合の CPE WC、CPE MAX、CPE CENTER とする。加えて、WCL [5] との比較も行う。WCL は取得したすべてのアンカ点を使用する手法で、多くのアンカ点を推定に使用することからシャドウイングに強い手法である。以下でそれぞれの手法について述べる。

4.1.1 Closest Point Estimation of using Max

Guo et al. により提案された手法である CPE MAX [8] は、RSSI が送受信間距離に対応し変化する特性を利用した手法である。アンカ点群において最も RSSI が大きいアンカ点 $RSSI_{max}$ を取得した位置 P_{max} を、CP 位置 P_{cp} とする。

4.1.2 Closest Point Estimation of using CENTER

Ssu et al. により提案された手法である CPE CENTER [9] は、円における弦の性質を利用した手法である。アンカ点群において最初に取得したアンカ点 P_1 と最後に取得したアンカ点 P_n の中間の位置を、CP 位置 P_{cp} とする。ここで、 n はアンカ点群のアンカ点数である。

4.1.3 Closest Point Estimation of using WC

CPE WC は、Wang et al. により提案された手法である WCL [5] を CP 推定に適用した手法である。アンカ点群におけるアンカ点の位置に対して RSSI の値を重みとした位置重心に

表 1 シミュレーション諸元

Parameters	Values
Number of trials	10
Execution time: t	5000 s
Side length of network area	30 × 30 m
Receiver sensitivity	-72.06 dBm
Channel model	Log normal shadowing
Wave length: λ	0.125 m
Path loss exponent	2.5
Standard deviation: σ	2~14 dB
Number of nodes: N	961
Position of nodes	Grid (Interval = 1 m)
Mobility model of anchor node	RDM
Broadcast interval of anchor node	1 s
Start position of anchor node	$(x, y) = (0, 0)$
Transmission power of anchor node	3 dBm

より、CP 位置 P_{cp} を推定する。 P_{cp} は式 (5) により計算される。ここで、 n はアンカ点群のアンカ点数であり、 $RSSI_{min}$ は式 (6) により計算される値で、 $RSSI_{threshold}$ は最小受信しきい値、 $RSSI_{offset}$ は、RSSI の重みが非負となるように設定するものとする。

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{(RSSI_i - RSSI_{min})P_i}{(RSSI_i - RSSI_{min})} \quad (5)$$

$$RSSI_{min} = RSSI_{threshold} - RSSI_{offset} \quad (6)$$

4.1.4 Weighted Centroid Localization

WCL [5] は、取得できたすべてのアンカ点位置に対して RSSI の値を重みとして付加した重み付き位置重心により位置を推定する手法である。CPE WC と同様に式 (5) を利用して位置を推定する。ただし、WCL では、アンカ点群で取得できたアンカ点に対して式 (5) を適用せず、取得できたすべてのアンカ点の位置に対して適用する。つまり、式 (5) における n が取得できたすべてのアンカ点数となる。多くのアンカ点を推定に使用するため、シャドウイングによる RSSI のばらつきがある環境でも位置推定誤差が小さい特長がある。

4.2 シミュレーション諸元

シミュレーション諸元を表 1 に示す。30m × 30m の正方形のエリアにセンサノードを 1m 間隔の格子状に配置する。このとき全てのセンサノードは固定ノードとする。移動アンカノードは、(0,0) から移動を開始し、移動モデルは Random direction mobility model (RDM) に従う。また、想定環境の電波伝搬モデルは、対数正規シャドウイングモデルとする。移動アンカノードから距離 d [m] 離れたセンサノードでの受信電力 $RSSI(d)$ は式 (7) で表される。ここで、 η は経路損失指数で、 d_0 は基準距離、シャドウイングによる RSSI のランダムなばらつきは $X_\sigma = N(0, \sigma^2)$ としてモデル化され、 σ は標準偏差である。

$$RSSI(d) = P_T - P_L(d_0) - 10\eta \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (7)$$

また、 $P_L(d_0)$ は基準経路損失と呼ばれ、基準距離 d_0 [m] における自由空間経路損失であり、式 (8) で表される。ここで、 λ

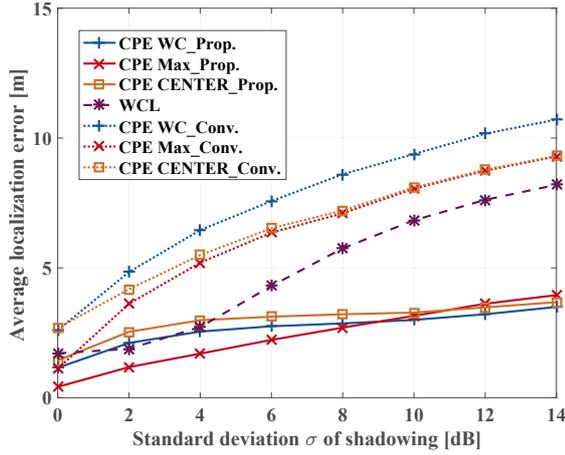


図5 σ を変化させた場合の平均位置推定誤差特性

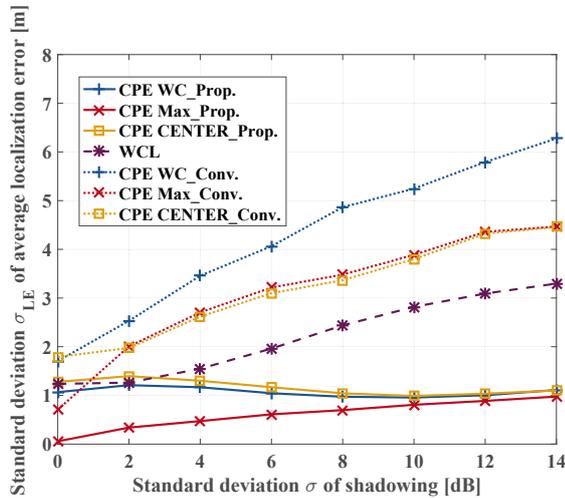


図6 σ を変化させた場合の位置推定誤差の標準偏差特性

は波長を表す。

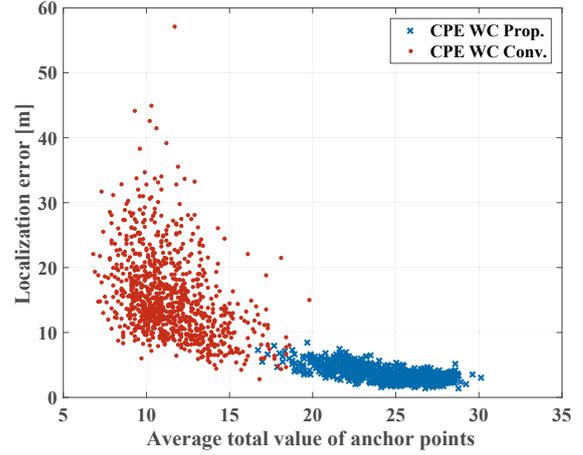
$$P_L(d_0) = \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \quad (8)$$

4.3 シミュレーション結果

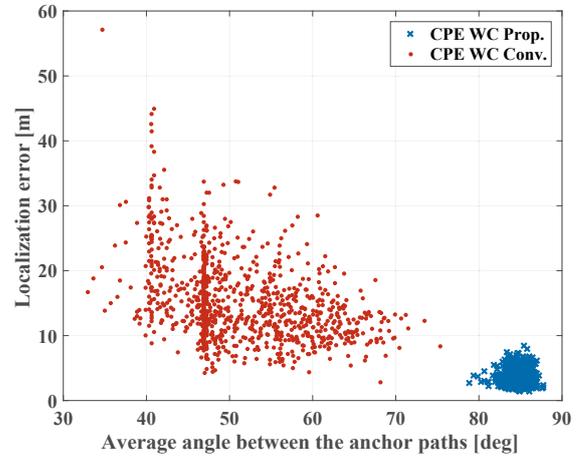
図5に、シャドウイングによるRSSIの標準偏差 σ を0~14dBまで2dB間隔で変化させた場合の位置推定誤差特性を示す。また、図6に σ を0~14dBまで2dB間隔で変化させた場合の位置推定誤差の標準偏差特性を示す。凡例において、提案アルゴリズムを使用した手法にはProp.と、最初に取得できた二つのアンカ点群を使用して位置を推定する従来手法にはConv.と記載している。WCLにはアンカ点群選択アルゴリズムを適用していない。4.3.1項では提案アルゴリズムの有無による特性の比較を行い、4.3.2項ではすべてのアンカ点を使用する手法との比較を行う。

4.3.1 提案アルゴリズムの有無による特性の比較

図5より、推定手法や σ によらず、提案アルゴリズムを使用した場合に位置推定誤差が小さいことがわかる。各手法における平均位置推定誤差は、提案アルゴリズムを使用しない場合、



(a) アンカ点数と位置推定誤差特性



(b) 経路間の成す角度と位置推定誤差特性

図7 提案アルゴリズム有無による

CPE WCにおける特性の違い ($\sigma = 14\text{dB}$)

CPE WCで平均約7.54m, CPE MAXで平均約6.18m, CPE CENTERで平均約6.53mである。提案アルゴリズムを使用した場合は、CPE WCで平均約2.64m, CPE MAXで平均約2.37m, CPE CENTERで平均約2.97mとなった。そのため、各手法における平均位置推定誤差の改善率は、CPE WCで約65.0%, CPE MAXで約61.7%, CPE CENTERで約54.6%となる。これらの結果より、提案アルゴリズムを使用することで、平均位置推定誤差を大幅に抑制できることがわかる。

ここで、 $\sigma = 0\text{dB}$ における、エリア端に位置するセンサノードが取得したアンカ点数とその位置推定誤差に着目する。CPE WCにおいて提案アルゴリズムを使用しない場合のエリア端における平均アンカ点数は24.1点であり平均位置推定誤差は約3.74m, 提案アルゴリズムを使用する場合のエリア端における平均アンカ点数は33.1点であり平均位置推定誤差は約1.85mとなった。これらの結果から、エリア端でもアンカ点数を増加させることで位置推定誤差を抑制していることがわかる。

図6より、推定手法や σ によらず、提案アルゴリズムを使用

した場合に位置推定誤差の標準偏差 σ_{LE} が小さいことがわかる。各手法における位置推定誤差の標準偏差 σ_{LE} は、提案アルゴリズムを使用しない場合、CPE WC で平均約 4.24m, CPE MAX で平均約 3.10m, CPE CENTER で平均約 3.18m である。提案アルゴリズムを使用した場合は、CPE WC で平均約 1.07m, CPE MAX で平均約 0.61m, CPE CENTER で平均約 1.16m となった。そのため、各手法における平均位置推定誤差の改善率は、CPE WC で約 74.9 %, CPE MAX で約 80.5 %, CPE CENTER で約 63.4 % となる。これらの結果より、提案アルゴリズムを使用することで、位置推定誤差の標準偏差 σ_{LE} を大幅に抑制できることがわかる。

図 7 に、 $\sigma = 14\text{dB}$ の場合の提案アルゴリズムの有無による CPE WC における特性の違いを示す。図 7(a) は、アンカ点数と位置推定誤差特性を、図 7(b) は、経路間の成す角度と位置推定誤差特性を示している。図 7(a) において、提案アルゴリズムを使用しない場合は、アンカ点数の合計値が約 6.8~19.8 点で分布しており、その平均値は約 11.4 点である。提案アルゴリズムを使用した場合は、アンカ点数の合計値が 16.7~30.1 点で分布しており、その平均値は約 24.8 点である。アンカ点数の平均値は、提案アルゴリズムを使用しない場合に比べ約 2.18 倍多いことがわかる。図 7(b) において、提案アルゴリズムを使用しない場合は、経路間の成す角度が約 33.0~75.4 度で分布しており、その平均値は約 51.4 度である。提案アルゴリズムを使用した場合は、経路間の成す角度が 78.8~87.7 度で分布しており、その平均値は約 84.7 度である。経路間の成す角度平均値は、提案アルゴリズムを使用しない場合、最適値の 90 度から約 38.6 度離れているが、提案アルゴリズムを使用した場合、最適値の 90 度から約 5.3 度しか離れていないことがわかる。これらの結果より、提案アルゴリズムを使用しない場合に比べ使用する場合では、推定に使用するアンカ点群のアンカ点数が増加し、経路間の成す角度が 90 度に近づくことがわかる。

4.3.2 すべてのアンカ点を使用する手法との比較

図 5 より、シャドウイングのある環境では、提案アルゴリズムを使用しない場合、手法によらず WCL に比べて位置推定誤差が大きい。そのため、提案アルゴリズムを使用しない場合、シャドウイングのある環境でもっとも位置推定誤差が小さい手法は WCL となる。一方、提案アルゴリズムを使用する場合、CPE WC は $\sigma=4\sim 14\text{dB}$ において、CPE MAX は σ によらず、CPE CENTER は $\sigma=6\sim 14\text{dB}$ において、WCL に比べ位置推定誤差が小さい。 σ が 2dB から 14dB へと変化すると位置推定誤差は、提案アルゴリズムを使用する手法の場合、CPE WC では約 2.11m から約 3.50m へ約 1.39m 増加、CPE MAX では約 1.18m から約 3.95m へ約 2.77m 増加、CPE CENTER では約 2.54m から約 3.68m へ約 1.14m 増加している。一方、WCL は約 1.88m から約 8.20m へ約 6.32m 増加しており、提案アルゴリズムを使用する手法の増加量の平均約 1.76m に比べ約 3.57 倍大きい。 σ が増加した際に、WCL の位置推定誤差が大幅に増加する理由を考察する。WCL は、取得できたすべてのアンカ点位置の重心を RSSI の重みにより補正し位置を推定する。そのため、シャドウイングのない環境においても、エ

リアの端など取得するアンカ点が空間的に偏っている場合推定誤差が増加する。 σ が増加することで、本来の通信範囲から離れた領域でもアンカ点を取得できるようになることで、センサノード周辺のアンカ点が空間的に偏りやすくなることが推定誤差の増加原因である。一方、提案アルゴリズムでは、シャドウイングの影響を受けアンカ点が欠落することによりアンカ点数の減少したアンカ点群を使用しない。提案アルゴリズムを使用することで、シャドウイングの影響の少ないアンカ点群を推定に使用することができるため、 σ が増加しても位置推定誤差の増加を抑えることができる。これらの結果から、WCL に比べ提案アルゴリズムを使用する手法は、シャドウイングに強い手法であると言える。

5. おわりに

本稿では、移動アンカノードを利用した無線センサネットワーク向け位置推定手法において、位置推定誤差を抑制するアンカ点群選択アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムでは、アンカ点数の多いアンカ点群を使用することでアンカ点群の分断を、経路間の成す角度が 90 度となる経路を使用することで位置推定誤差を抑制することができる。シミュレーション評価により、提案アルゴリズムを使用しない手法に比べ、エリア端やシャドウイングの影響を軽減し、平均位置推定誤差や位置推定誤差の標準偏差を抑制できることを示した。

文 献

- [1] N. A. Pantazis, S. A. Nikolidakis, and D. D. Vergados, "Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey," *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 551–591, July 2012.
- [2] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, "Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey," *Computer Networks*, vol. 67, no. 4, pp. 104–122, July 2014.
- [3] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57–66, Aug. 2001.
- [4] C. Laurendeau, and M. Barbeau, "Centroid localization of uncooperative nodes in wireless networks using a relative span weighting method," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Sept. 2010.
- [5] J. Wang, P. Urriza, Y. Han, and D. Cabric, "Weighted Centroid Localization Algorithm: Theoretical Analysis and Distributed Implementation," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 10, pp. 3403–3413, Oct. 2011.
- [6] M. L. Sichitiu, and V. Ramadurai, "Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon," *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, pp. 174–183, North Carolina State Univ., July 2004.
- [7] Y. L. Shen, Y. Zhang, Y. P. Hu and J. Zhang, "A Single Chord Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Grid and Distributed Computing*, vol. 8, no.1, pp.1–10, Aug. 2015.
- [8] Z. Guo, Y. Guo, F. Hong, Z. Jin, Y. He, Y. Feng, and Y. Liu, "Perpendicular Intersection: Locating Wireless Sensors With Mobile Beacon," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Vo. 59, no. 7, pp. 3501–3509, Apr. 2010.
- [9] K. F. Ssu, C. H. Ou, and H. C. Jiau, "Localization With Mobile Anchor Points in Wireless Sensor Networks," *Vehicular Technology*, vol. 54, no. 3, pp. 1187–1197, May 2005.