

## 電子トリアージシステムにおける モバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式

山田 純 弥<sup>†1</sup> 竹中 友 哉<sup>†2</sup>  
峰野 博 史<sup>†1</sup> 水野 忠 則<sup>†2</sup>

大規模災害が発生した際に、傷病者の位置や病状変化をモニタリングする電子トリアージシステムの開発が進められている。電子トリアージシステムでは傷病者にセンサを装着し、センシング情報を収集することで傷病者の位置や病状をモニタリングする。このシステムでは屋内外を問わず、傷病者数やその位置を確実に把握することが求められるため、GPS に頼ることのない位置推定技術が要求される。本研究では、電子トリアージシステムを想定した位置推定方式として、モバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式を提案し、シミュレーションおよび実環境実験においてその性能を評価した。

### RSSI Localization using Mobile Node in Electronic Triage System

JUNYA YAMADA,<sup>†1</sup> TOMOYA TAKENAKA,<sup>†2</sup>  
HIROSHI MINENO<sup>†1</sup> and TADANORI MIZUNO<sup>†2</sup>

The electronic triage system that monitors the patient position and condition change when the wide-scale disaster occurs has been developed. In electronic triage system, patient's position and condition are monitored by installing the sensor in patients, and collecting sensing information. In this system, localization technology that might not rely on GPS is demanded because the number of patient and the position are requested to be estimated surely regardless of indoor or outdoor environments. In this study, we propose RSSI localization using mobile node in the electronic triage system and we evaluate it by using a simulation and conducting an experiment.

### 1. はじめに

近年、ユビキタス社会の実現に向け、センサノードがアドホックネットワーク機能を用いて自律的にネットワークを構築するセンサネットワークの研究が盛んに行われている。センサノードには温度や湿度、照度などを収集しモニタリングすることが可能であり、省エネ、医療現場、災害現場、交通など様々な場面で応用が可能である。センサネットワークアプリケーションでは、センサノードの位置情報が重要となることが多く、センサノードの位置推定技術の研究が注目を集めている。一般的に位置情報を取得するためには全地球測位システム (GPS:Global Positioning System) が有効であるが、屋内では使えない点や、ノードにハードウェアコストを強いることなどからすべてのノードに搭載することは現実的ではない。そのため、GPS を用いずにネットワーク内のノードの位置推定を行う必要がある。

本研究では電子トリアージシステムを想定した位置推定方式について述べる<sup>\*1</sup>。トリアージとは大規模な事故・災害において多数の傷病者が発生した際に、それぞれの傷病者に対する治療や搬送の優先順位を効果的に決めることである。しかし、現状のトリアージでは傷病者の位置や状態の変化を知ることができず、優先順位の高い傷病者を探し出すのに時間がかかるという欠点がある。そこで、傷病者にセンサを装着し、センシング情報を迅速に収集することで傷病者の位置や病状をリアルタイムで監視する電子トリアージシステムの研究開発が進められている<sup>1)</sup>。

本論文では、電子トリアージシステムにおいて傷病者の位置を特定するために、モバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式を提案し、シミュレーションおよび実環境実験で評価を行った結果について述べる。提案方式では RSSI を利用したマルチホップ測距で発生する誤差を減少させ、位置推定精度を向上させることが可能である。

以下、第 2 章で関連研究、第 3 章で提案方式、第 4 章でシミュレーション評価、第 5 章で実環境実験、第 6 章でまとめと今後の課題について述べる。

<sup>†1</sup> 静岡大学情報学部

Faculty of Informatics, Shizuoka University

<sup>†2</sup> 静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

\*1 本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) による支援を受けて実施している。

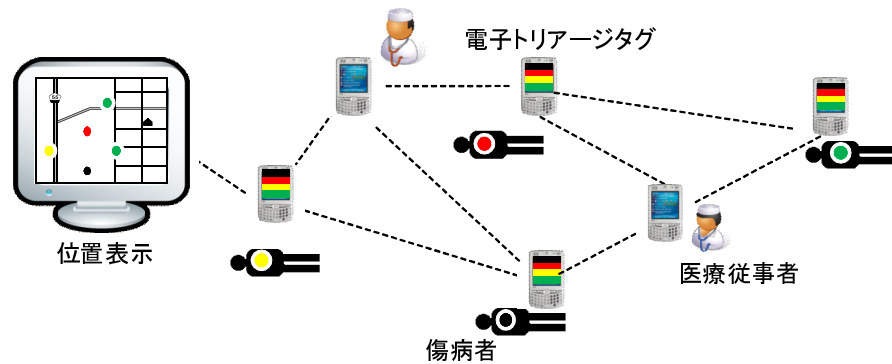


図 1 電子トリアージシステムにおける位置把握例

## 2. 関連研究

### 2.1 災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム<sup>1)</sup>

列車事故やテロ、ビル災害など数百人以上の傷病者が短時間に発生するような大規模災害が発生した際に傷病者の重傷性と緊急性によって搬送・治療の優先度を決定するトリアージが注目されている。トリアージでは傷病者の優先度を把握しやすいようトリアージタグが利用されているが、傷病者の病状の変化や緊急に処置が必要な高優先度の傷病者の位置を把握しにくいという欠点がある。そこで、脈拍センサや血中酸素濃度センサなどを備えた電子トリアージタグを傷病者に装着し、センサノードからのセンシング情報を収集すると共に、災害現場で臨時にアドホックネットワークを構築することで、傷病者の位置や病状変化を監視し、初期に救命活動を行う消防関係者や医療チームにその情報を図的に提示する電子トリアージシステムの構築が進められている<sup>1)</sup>。図 1 に電子トリアージシステムにおける位置把握例を示す。このシステムでは屋内外を問わず、事故・災害発生現場において傷病者数やその位置を確実に把握することが求められるため、GPS のみに頼ることなく、アドホックに構築された無線ネットワークインフラストラクチャを利用した位置推定技術が要求される。本論文では、電子トリアージシステムへの搭載を想定した位置推定方式を提案し、最終的におおよそ 2m 程度の位置推定精度を達成させることを目標としている。

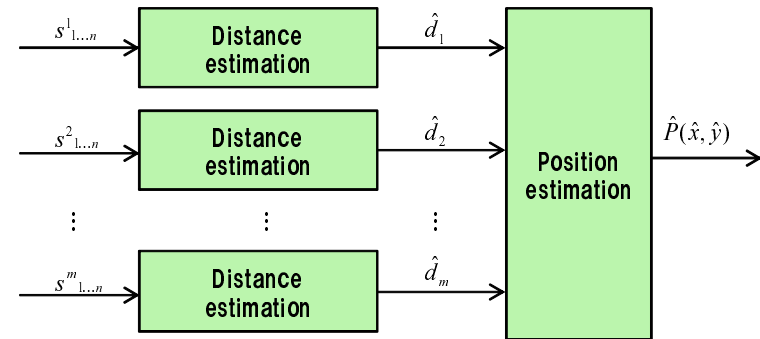


図 2 位置推定手法の原理的なブロック図

## 2.2 位置推定手法

### 2.2.1 測 距

位置推定手法の原理的なブロック図を図 2 に示す。位置推定手法は測距フェーズと測位フェーズから構成される。二次元平面上でノード  $P(X, Y)$  の位置座標を求めたい場合、測距フェーズでは  $m$  個 ( $m \geq 3$ ) のセンサが収集した  $n$  個のサンプルデータ  $s^i_j (i = 1 \dots m, j = 1 \dots n)$  から推定距離  $\hat{d}_i$  を求める。それらのデータを利用することで、測位フェーズで  $P(X, Y)$  の位置座標を推定することが可能となる。

ノード間の距離を推定する方法として電波の到来時間を利用した Time of Arrival (TOA) 方式、電波の到着時間差を利用した Time Difference of Arrival (TDOA) 方式、到来方向を利用した Angle of Arrival (AOA) 方式、受信電界強度を利用した Received Signal Strength Indicator (RSSI) 方式などが利用されている。TOA 方式や TDOA 方式、AOA 方式は専用のハードウェアを必要とするため、大規模な位置推定システムに導入した場合にコストがかかるという欠点がある。そのため、本研究ではノードの小型化、低コスト化の実現に向け、既存の無線通信機能をそのまま利用可能な RSSI 方式の測距を利用した位置推定手法について注目する。

RSSI は IEEE 802.15.4 などの無線通信機能を備えたデバイスにおいて測定可能である<sup>2)</sup>。RSSI は一般的に距離に依存して減衰するため、ノード間の通信時に得られる RSSI から距離を求める。しかし、RSSI は測定する環境によって減衰の仕方が変化する。受信ノードにおける受信電界強度  $P[dBm]$  の減衰モデルは以下のように表せる<sup>3)</sup>。

表 1 環境ごとの伝搬損失係数

環境	伝搬損失係数 ( $n$ )
フリースペース	2
見通し外の都市部	3~5
見通し内の屋内	1.6~1.8
障害物のある屋内	4~6

$$P = P_0 - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

ここで、 $P_0[dBm]$  は距離  $d_0[m]$  における受信電界強度である。 $X_\sigma[dB]$  は電波の揺らぎであり、平均 0、分散  $\sigma^2$  のガウス分布  $N(0, \sigma^2)$  でモデル化される。 $n$  は伝送経路の品質を表す伝播損失係数である。環境ごとの伝搬損失係数を表 1 に示す。伝搬損失係数は、障害物がない屋外のフリースペースの場合は 2 に近づき、障害物のある屋内では 4~6 になる。RSSI 方式の測距では受信ノードが受信した  $P$  を式 (1) に代入することで距離  $d[m]$  を推定する。RSSI の伝播損失係数は環境に依存するため、事前に距離測定を行う必要がある。自動的に伝播損失係数を補正する技術も研究されているが<sup>(4)5)</sup>、 $\sigma$  が大きい環境では同じ空間内であってもノード間で大きく異なった RSSI を受信することがある。

### 2.2.2 測 位

測位フェーズでは、測距フェーズで推定した距離を利用して位置推定を行う。位置推定アルゴリズムには三辺測量<sup>6)</sup> や多次元尺度構成法 (MDS: Multi Dimensional Scaling)<sup>7)</sup> などがある。三辺測量は、3 つのあらかじめ位置が既知のノード (既知ノード) から位置が未知のノード (未知ノード) の位置座標を推定するアルゴリズムで、DV-hop<sup>8)</sup> などで利用される。MDS は既知ノードを必要とせず、相対的な距離からノードの相対位置を算出可能なアルゴリズムである。測位の精度は測距の精度に依存するため、RSSI を利用した測距方式で推定した距離を利用した場合、高精度な位置推定は難しいという欠点がある。RSSI 利用型位置推定方式においてモバイルノードを対象とした高精度な位置推定手法の研究が多くされているが<sup>(9)10)</sup>、センサネットワークにおいて位置推定の対象となることが多い固定ノードに対しては適応できないことや、移動する既知ノードが必要という欠点がある。

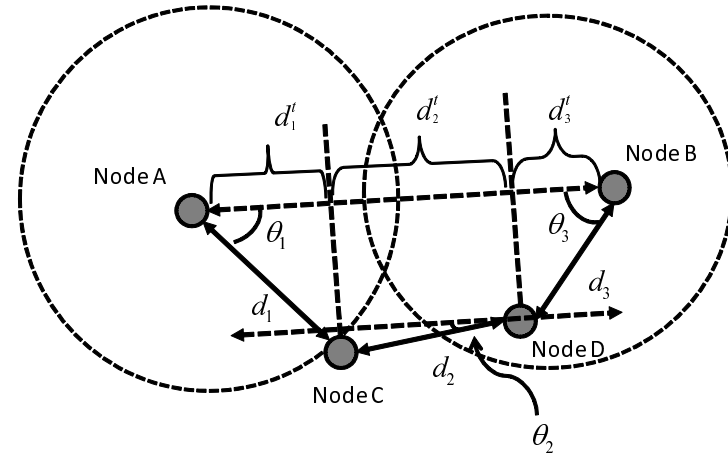


図 3 既存のマルチホップ距離推定

## 3. 提案方式

### 3.1 モバイルノード利用型位置推定

本研究では電子トリアージシステムを想定し、軽傷の傷病者や医療従事者をモバイルノードとして利用した位置推定手法を提案する。提案方式ではマルチホップ通信によって生じる距離測定の誤差を減らすことが可能である。固定ノードが密度を十分に確保できない環境では、直接通信ができない区間が存在する。直接通信できないノード間はマルチホップ通信を利用して測距を行う。マルチホップされた経路が多ければ測距で生じる誤差も大きくなる。そこで、ホップ数を低減することが位置推定の精度向上に影響を与えると考えられる。図 3 に既存のマルチホップ通信による測距の概念図を示す。Node A, Node B 間の距離を求める際に、Node A と Node B が直接通信できる範囲内に存在しない場合、マルチホップしたノードの距離を加算して距離を求める。 $i$  番目のホップで求めた距離を  $d_i$ 、Node A, Node B 間の直線経路を  $i$  番目のホップ通信の送信ノードおよび受信ノードからの垂線で区切った距離を  $d'_i$  とする。ホップ数の総数を  $n$  回とした時、Node A, Node B 間の距離の真値を  $d'_{AB}$ 、推定距離を  $\hat{d}_{AB}$  とした時、それぞれ以下のように表せる。

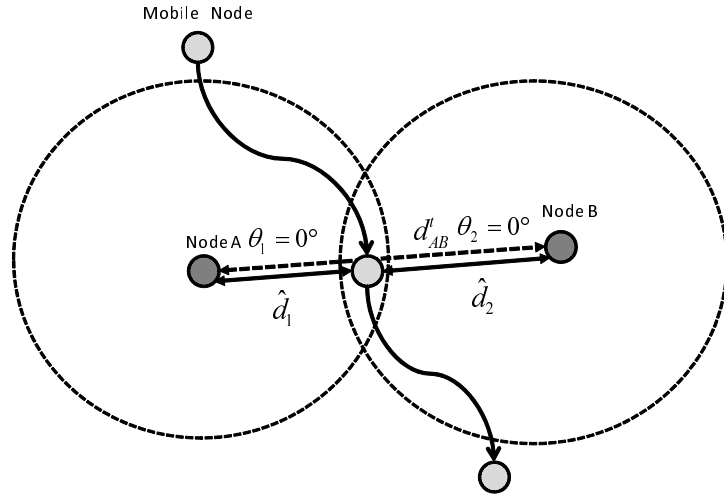


図4 提案するマルチホップ測距

$$d_{AB}^t = \sum_{i=1}^n d_i^t \quad (2)$$

$$\hat{d}_{AB} = \sum_{i=1}^n d_i \quad (3)$$

また, *Node A*, *Node B* 間の直線経路と *i* ホップ目の直線経路を交差させてなす角を  $\theta_i$  とすると  $d_i$  との関係は以下のように表せる.

$$d_i^t = d_i \cos \theta_i \quad (4)$$

*Node A*, *Node B* 間の誤差  $d_{AB}^e$  は推定距離 (3) から距離の真値 (2) を減算することで求められるので, 以下のように表す.

$$d_{AB}^e = \sum_{i=1}^n d_i - \sum_{i=1}^n d_i \cos \theta_i \quad (5)$$

式 (5) はマルチホップ測距における誤差の要因を示す. 誤差をなくす, すなわち  $d_{AB}^e = 0$  を実現するには  $\theta$  を 0 にする必要がある. マルチホップ通信において測距の誤差が生じる原因は仲介するノードが距離を測定するノード間の直線上に存在しない時だとわかる. そこで, 提案方式ではモバイルノードを, 距離を測定するノード間の直線上に配置させることで誤差を低減する.

図4に提案するマルチホップ測距の概念図を示す. *Node A*, *Node B* 間が通信範囲外と仮定し, 測距する場合を考える. モバイルノードは定期的に周囲のノードからデータを受信する. モバイルノードが *Node A*, *Node B* と同時に通信ができた時, モバイルノードとの推定距離をそれぞれ  $\hat{d}_1$ ,  $\hat{d}_2$  とし, それらを加算した  $\hat{d}_{AB}$  を距離として利用する. モバイルノードが新たに  $\hat{d}_1$ ,  $\hat{d}_2$  を更新した場合, 以下の条件式が成立すれば  $\hat{d}_{AB}$  を更新し, 不成立ならば更新を行わない.

$$\hat{d}_{AB} > \hat{d}_1 + \hat{d}_2 \quad (6)$$

過去の  $\hat{d}_{AB}$  の中で最小の値を利用した時, 最も  $\theta$  が 0 に近づいたと判断する. 提案方式では, モバイルノードおよび固定ノードの位置を把握しておく必要はなく, モバイルノードを移動させるだけで位置推定精度の改善が可能であると考えられる.

電子トリアージシステムでは重傷で身動きが取れない傷病者を固定ノード, 軽傷の傷病者や医療従事者をモバイルノードとして提案方式を利用することを想定する.

### 3.2 電波の揺らぎに対応した RSSI 分割測距方式

RSSI 利用型位置推定方式では, 事前調査などによって RSSI の減衰モデルが特定されていても雑音の影響で取得するノード間で値が大きく異なることがあるため, 雑音を低減する必要がある. 本研究では, 簡易的に雑音を低減する方式を提案する. 提案方式では, 受信電界強度をいくつかの区間に分割することで雑音による影響を低減することを目的とする. 図5に RSSI 分割の概念図を示す. ノード間の最大通信距離での受信電界強度を  $P_{min}[dBm]$ , ノード間の最小通信距離での受信電界強度を  $P_{max}[dBm]$  とする. 減衰モデルの分割数を  $div$  とした場合,  $P_{min}$  から  $P_{max}$  を  $div$  個の区間に分ける. 提案手法を用いた距離推定では取得した受信電界強度  $P[dBm]$  が属する区間  $i$  ( $i = 1 \dots div$ ) を調べる. 区間  $i$  の中の最小値である  $i(P_{min} - P_{max})/div$  を取得したものとし, 減衰モデルで推定距離を算出する. 例えば  $P_{min} = -95$ ,  $P_{max} = -65$ ,  $div = 3$  とした時, (1)  $-65 \sim -75[dBm]$ , (2)  $-76 \sim -85[dBm]$ , (3)  $-86 \sim -95[dBm]$  の3つの区間に分割する. 受信電界強度  $P$  が  $-80[dBm]$

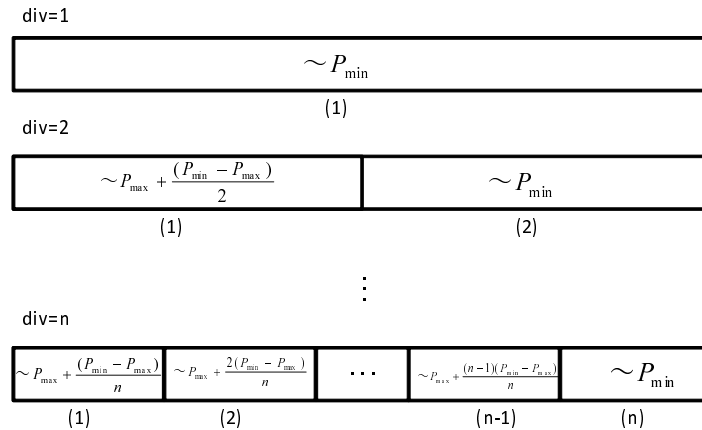


図 5 RSSI 分割の概念図

の場合、 $i = 2$  となるため、 $-85[dBm]$  を受信したもとして推定距離を算出する。また、 $div = 1$  の場合、電界強度を取得できればすべて最大通信距離として変換される。提案方式を利用すれば、雑音の影響で RSSI が異なったとしても区間内で同じ距離と判断することが可能となり、相対的な距離誤差を減らすことが可能だと考える。

#### 4. シミュレーション評価

提案手法の有効性を確認するためにシミュレーションによって性能を評価した。距離測定には RSSI を利用することを想定し、減衰モデルは式 (1) を利用し、 $n$  を 5、 $d_0$  を  $1[m]$ 、 $P_0$  を  $-35[dB]$ 、 $\sigma^2$  を  $5[dBm]$  とし、受信感度を  $-95[dBm]$  とした。本シミュレーションでのパラメータを表 2 に示す。位置推定アルゴリズムには距離情報から相対的な位置座標を設定可能な MDS を利用した。 $N$  個のノードの推定された位置座標に対して、 $(X_i, Y_i) i = 1 \dots N$  を推定された位置座標、 $(X_i^t, Y_i^t) i = 1 \dots N$  を位置座標の真値とし、RMSE (Root Mean Square Error) を以下のように定義し、位置推定精度の評価に利用した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{(X_i - X_i^t)^2 + (Y_i - Y_i^t)^2\}} \quad (7)$$

表 2 シミュレーションのパラメータ

パラメータ	値
$n$	5
$d_0$	$1[m]$
$P_0$	$-35.0[dBm]$
$\sigma^2$	$5.0[dB]$
受信感度	$-95[dBm]$

本シミュレーションの目的はモバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式において測位誤差の削減効果を確認することである。 $30 \times 30[m]$  のマップ上に固定ノード (A ~ H) を図 6 のように  $8m$  間隔の格子状に配置し、モバイルノードは  $M(-10, -10)$  の位置から矢印の方向に  $1$  秒間に  $0.5m$  移動させる。各ノード間は  $1$  秒間に  $1$  回の通信を行い RSSI を取得し、それを利用して位置推定を行い RMSE を算出する。比較する方式として減衰モデルをそのまま適用する既存方式と提案方式 ( $div = 1 \dots 5$ ) を用いた。シミュレーションをそれぞれ  $20$  回を行い、初期誤差と  $80$  秒後の RMSE をそれぞれ平均化した。

提案方式 ( $div = 4$ ) における  $80$  秒後の位置推定表示結果を図 7、RMSE の推移を図 8 に示す。モバイルノードが格子状内に到達した  $10$  秒後あたりから RMSE に変化が起こったことがわかる。雑音の影響で一時的に RMSE が増えるが、 $20$  秒後から急激に RMSE が減少していることがわかる。これはモバイルノードが、ノード D とノード E、ノード B とノード G などの通信ができないノード間の通信を仲介することでマルチホップ通信で生じる誤差を抑えることができたからだと考えられる。全ての方式についてのシミュレーション結果を図 9 に示す。全ての方式において、モバイルノードを利用することで RMSE を抑えることができた。特に、提案方式 ( $div = 4$ ) ではモバイルノードを利用することで RMSE を初期誤差の約  $65\%$  削減することができた。また、RSSI 分割測距方式では既存方式と比べて大きな改善は見られなかったが、 $div$  が  $3$  以上の時は既存方式よりも RMSE を削減することができた。

#### 5. 実環境実験

##### 5.1 測距の実験方法

提案方式が実環境で有効か評価するための実験を行った。実験条件を表 3 に示す。実験は静岡大学浜松キャンパスの体育館で行った。使用機器は、サン・マイクロシステムズが開発した、IEEE 802.15.4 に準拠した無線センサネットワークデバイスである Sun SPOT<sup>11)</sup>

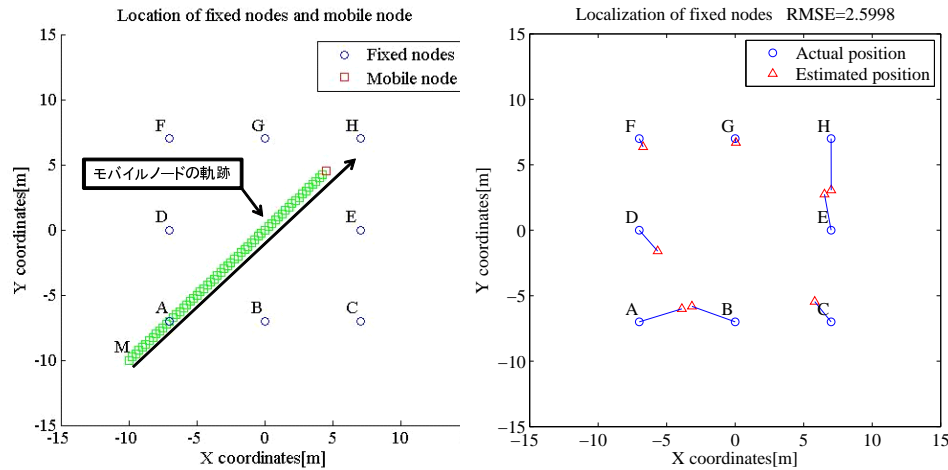


図 6 ノードの配置  
(○ : 固定ノード □ : モバイルノード)

図 7 提案方式 (div=4) の位置推定結果  
(○ : 真値 △ : 推定位置)

表 3 実験条件

場所	静岡大学浜松キャンパス体育館
使用機器	Sun SPOT(2007年リリース版) デモセンサボード 9台 ベースステーション 1台
電波周波数帯	2.40-2.4835[GHz]
格子状配置の間隔	8[m]
送信電力	0[dBm]
データサンプル数	1,000

を利用した。すべての Sun SPOT の送信電力を 0[dBm] に設定した。電子トリアージタグをつけた傷病者がベッドで寝ていることを想定し、同じ程度の高さにするためにノードを椅子の上に配置した。実験では RSSI の減衰モデルを調べるために距離測定 (図 10 (a)) を行った。測距では 2 台のデモセンサボードを利用し、1m ~ 10m まで 1m 間隔で各 500 回のサンプルを収集した。

### 5.2 位置推定のためのデータ収集の実験方法

位置推定のためのデータ収集 (図 10 (b)) では 9 台のデモセンサボードを固定ノード

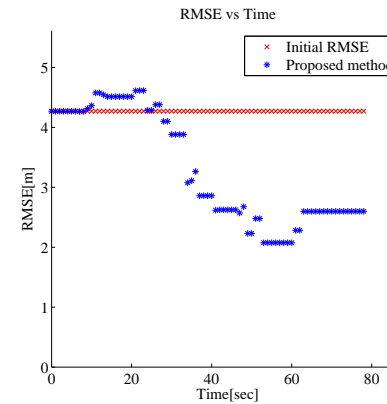


図 8 提案方式 (div=4) の RMSE の推移  
(× : 初期誤差 \* : 時系列誤差)

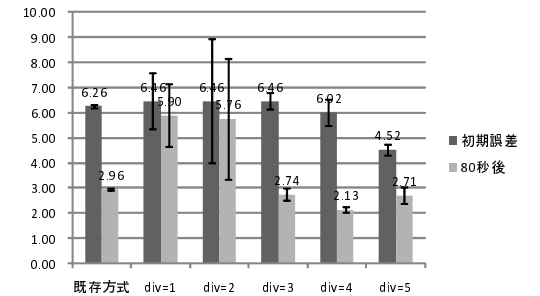


図 9 シミュレーション結果

(A ~ I) とし、図 11 のように 8m 間隔の格子状に配置した。各ノードは近隣ノードに対し、自身の固有 ID を付与したデータを送信する。データを受信したノードは RSSI を取得し、 $\langle$ 送信ノード固有 ID, 受信ノード固有 ID, RSSI  $\rangle$  をベースステーションへ送信する。マルチホップ通信による誤差を検証するために、ノード I がある状態とない状態で実験を行った。各実験では、ベースステーションがデータを 1,000 回受信するまで行った。

### 5.3 測距の実験結果

RSSI 測定の結果を図 12 に示す。なお、10m ではサンプルが十分に取得できなかったため送信可能範囲外とした。受信電界強度が 4m で大幅に減衰したが、全体的には距離に依存して減衰することがわかる。今回は求めたデータを線形近似した式を減衰モデルとして使用する。どのような近似モデルが良いかは今後の課題とする。受信電界強度  $P[dBm]$  から推定距離  $\hat{d}[m]$  を算出する場合は以下の式を利用する。

$$\hat{d} = \frac{P + 67.527}{-2.181} \quad (8)$$

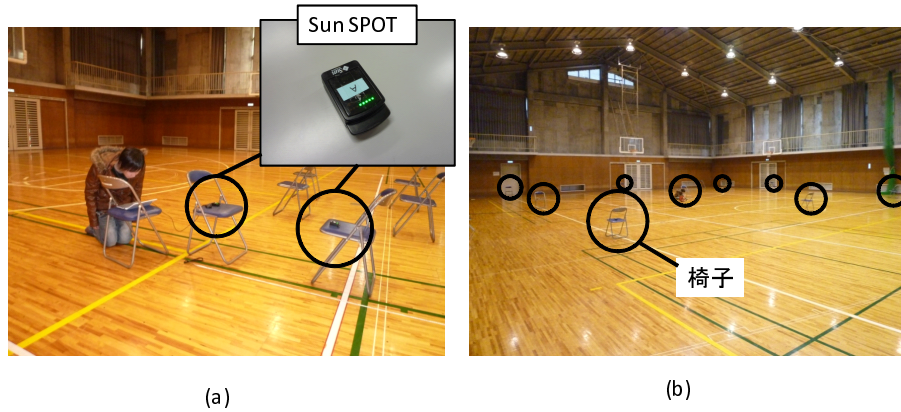


図 10 実験の様子 (静岡大学浜松キャンパス体育館)  
(a):距離測定 (b):位置推定のためのデータ収集

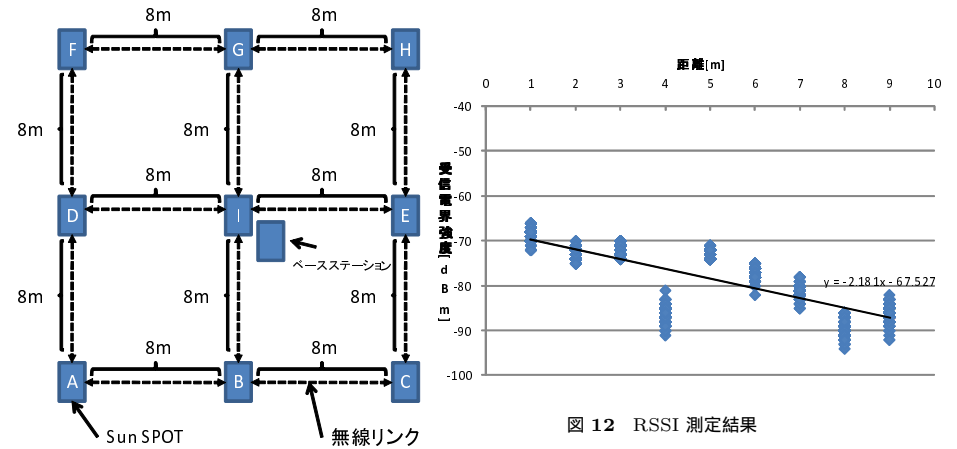


図 11 実環境実験配置図

図 12 RSSI 測定結果

#### 5.4 位置推定の実験結果

位置推定のために収集したデータを利用して位置推定を行った。収集したデータから電界強度が取得できたノード間は RSSI を平均化し、平均値から推定距離を算出し位置推定に利用する。RSSI が取得できなかったノード間に関してはダイクストラ法を利用し、最短経路を求めて推定距離を算出する。求めた推定距離行列に MDS を適応して位置推定を行った。実環境データでの位置推定もシミュレーションと同様、既存方式と提案方式 ( $div = 1 \dots 5$ ) で比較した。

実環境実験での結果を図 13 に示す。実環境でも中間にノードを配置することでマルチホップ通信によって生じる誤差を削減することができた。また、既存の距離推定方式での RMSE が 6.4[m] 前後に対して、提案方式 ( $div = 2$ ) でノード I を入れた場合、約 64% 削減でき 2.28[m] まで RMSE を抑えることができた。既存方式での位置推定結果を図 14(a) で示す。今回の実験ではノードを等間隔に置いたにもかかわらず、ノード間で取得した RSSI の平均値が大きく異なっている箇所があった。そのため、そのまま式 (8) で求めた距離関数を適用しても高精度な位置推定精度が得られなかったと考える。提案方式 ( $div = 2$ ) における位置推定結果を図 14(b) と図 14(c) に示す。今回の実験のように同じ距離で大きく異なる電界強度を受信しても、閾値を与えることで閾値内の推定距離に丸めることができるため大きな誤差が発生しなかったものとする。提案方式 ( $div = 1$ ) における位置推定結果

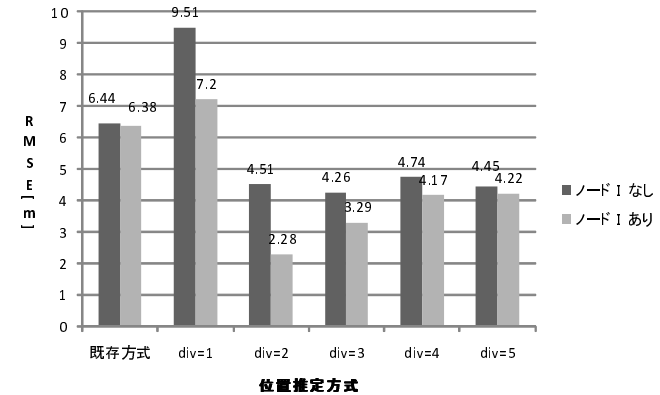


図 13 位置推定結果

を 図 14(d) に示す。RMSE は既存方式より上回ってしまったが、位置推定結果を見ると既存方式よりも形が整っている。提案方式 ( $div = 1$ ) の場合、通信が可能ならばすべて同じ距離として推定される。そのため、ノードを等間隔においた場合は各々の推定距離に大きな誤差が発生するが、相対的な位置の出力には適していると考えられる。

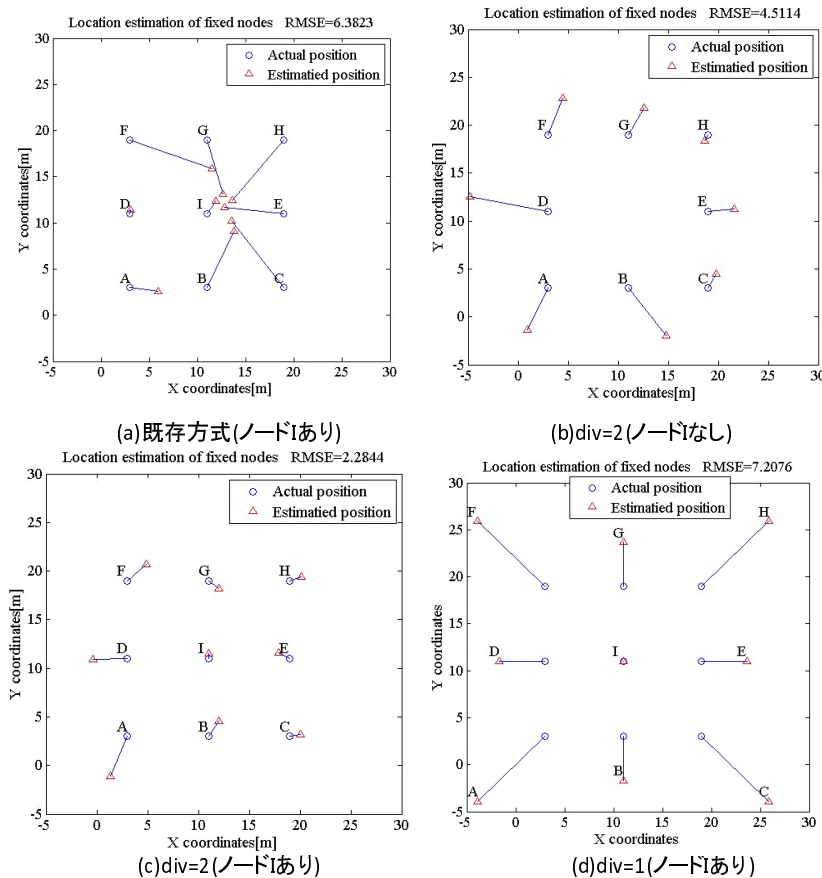


図 14 実環境での位置推定結果 (○: 真値 △: 推定値)

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、電子トリアージシステムを想定したモバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式を提案し、シミュレーションおよび実環境実験でその有効性の評価を行った。シミュレーションでは、モバイルノードを利用することでマルチホップ通信によって生じる距離推定の

誤差を約 65%削減できることを示した。実環境実験では通信範囲外のノード間に仲介ノードを配置することで、シミュレーション同様に誤差を削減できることを確認でき、RSSI 分割方式を利用することで RMSE を最大 64%削減することができた。

RSSI 分割測距方式では簡易的に閾値を等間隔に分割したが、RSSI は一般的に距離が近いほど急激に減衰し、遠くなれば減衰が緩やかになることから閾値の設定を工夫をすることで更に高精度な位置推定が可能だと考える。今後は、区間の中のどの値を利用するのが最適なのかも検証する。また、電子トリアージシステムを想定した環境では、傷病者が等間隔に存在するとは限らない。傷病者や医療従事者がどのような場所にノードを取り付けるか、モバイルノードの数やどのように動くかによっても位置推定精度に影響を与えられらる。今後は、電子トリアージシステムの環境をより忠実に再現した環境で位置推定精度を検証する予定である。

## 参考文献

- 1) 東野 輝夫, “ 災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム, ” 戦略的創造研究推進事業 CREST, 平成 19 年度研究実施報告書, [http://www.sen.jst.go.jp/result/result\\_h19/higashino/higashino001.pdf](http://www.sen.jst.go.jp/result/result_h19/higashino/higashino001.pdf).
- 2) M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, “ Localization Estimation System Using Measurement of RSSI Based on Zigbee Standard, ” Electronics'08, pp. 45-50 (2008).
- 3) T. S. Rappaport, “ Wireless Communications: Principles and Practice, ” Prentice Hall (2001).
- 4) P. Barsocchi, S. Lenzi, S. Chessa, “ Virtual Calibrating for RSSI-based Indoor Localization with IEEE 802.15.4, ” Proc. of ACM IEEE ICC (2009).
- 5) 立石 和也, 井家上 哲史, “ RSSI 方式における減衰定数の位置推定時決定手法, ” 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 1509-1515 (2008).
- 6) 坂井文泰, GPS 技術入門, 東京電機大学出版局.
- 7) J. B. Kruskal, M. Wish, “ Multidimensional Scaling, ” Sage Publications (1978).
- 8) D. Niculescu, B. Nath, “ DV Based Positioning in Ad Hoc Networks, ” Telecommunication Systems, vol.22, pp. 267-280 (2003).
- 9) M. M. Olama, S. M. Djouadi, I. G. Papageorgiou, C. D. Charalambous, “ Position and Velocity Tracking in Mobile Networks Using Particle and Kalman Filtering With Comparison, ” IEEE Trans. on Vehicular Technology (2008).
- 10) L. Hu, D. Evans, “ Localization for Mobile Sensor Networks, ” Proc. of ACM MobiCom 2004, pp.45-57(2004).
- 11) Sun SPOT, <http://jp.sun.com/products/software/sunspot/>.