

劣悪な通信環境における受信信号強度の階差を探索の打ち切りに用いた 発信者への駆けつけの研究

A study on running to the transmitter by a truncated search using a difference of RSSI in the challenged communication environment

石井 和行[†]
Kazuyuki Ishii

佐藤 直[†]
Naoshi Sato

1. まえがき

近年、アドホック通信が注目されている。アドホック通信は無線端末に無指向性アンテナを使用することで、場所を選ばず周囲のどの方向からでも端末同士を通信可能にする技術である。ゆえに、災害時の代替通信手段として検討され、アドホック通信を利用し要救助者からの救助要請を受けることが想定されている [1, 2]。しかし、要救助者の無線端末が GPS 未装備等で位置情報が不足する場合、救助へ駆けつけることは困難である。そこで、無線通信時に得られる受信信号強度を利用することで、受信信号の測定地点による強度の違いが要救助者へ接近、もしくは離反の判定に利用できることに着目した。理論上、受信信号強度は通信距離の 2 乗に反比例する [3] ため、受信信号強度の大小関係が信号発信源と受信者間の通信距離に関する尺度として意味をもつためである。このことを利用して、救助要請を受信した端末 (駆けつけ端末, mobile node) から要救助者 (目標端末, target node) へ駆けつけることを検討する。

ただし、受信信号強度は場所や環境によって変動するため [4]、単純に測定地点による強度の違いから接近もしくは離反の判定を正確に行うのは難しい。また、無指向性アンテナを使用している無線端末は電波到来方向の推定は難しいといった問題がある [5]。

本稿では上述の問題点を踏まえ、受信信号強度の変動に対して接近もしくは離反の誤判定を抑制し、効率的に駆けつける手法の確立を目的とする。

提案手法は、幅広い環境に対して適用可能とするため受信信号強度の校正 [6, 7] やフィルタリング [8, 9] なしに測定地点による受信信号強度の連続変化をカウントし、カウント値が閾値に達した場合に接近もしくは離反の判定することとする。つまり、判定条件に保護を設け、探索を打ち切ることとなる。この閾値を保護段数とする。そこで、保護段数を設計するに当たり、次のような仮説が立てられる。

- 劣悪な通信環境では同じ事象が連続して多く見られたほうがその事象の可能性が高い。

そこで、測定地点間の受信信号強度の差 (以下、階差) を保護段数に用いることを検討する。この階差は通信環境に応じて動的な値になり、劣悪な通信環境では保護段数は大きな値となる。それゆえ、判定精度が高くなると考える。その検討方針として、まず保護段数の有効性を確認するために検証が簡単に行える静的な保護段数 (以下、静的保護段数) を用いて行うこととする。

また、離反の判定がされた場合には駆けつけ端末の移動方向を変更して、目標端末への遭遇する確率が最大にするような経路をとるようにする。

以降、まず 2. で受信信号強度を基に目標端末へ駆けつけることに関連した従来手法について述べる。その後、3. で、提案手法を説明をする。4. で、提案手法の評価を計算機シミュレーションで行い、その結果を考察する。最後に、5. で本稿のまとめを述べる。

2. 従来手法

従来手法として、三辺測量による距離推定、電波到来方向推定、測定地点による受信信号強度の違いを基にした駆けつけの 3 つに分類して本検討と関連する従来手法を述べる。

2.1 三辺測量による位置推定

受信信号強度は通信距離の 2 乗に反比例する [3] ことを利用して、通信距離を推定し、得られた通信距離から三辺測量を基に位置推定 [10, 11] を行う手法である。位置推定結果より、駆けつけが可能となるが、以下のような問題がある。すなわち、正確に位置推定を行うには、電波伝搬パラメータ (例えば、[3] の電波伝搬モデルのパラメータ) を決定する必要があり [6, 7]、電波伝搬パラメータの調査には多くの手間を要する問題点がある。さらに、三辺測量では 3 つ以上の無線端末を必要となる。

2.2 電波到来方向推定

電波到来方向推定手法は、指向性アンテナもしくは無指向性アンテナをいずれかを用いるかによって 2 つに分類される。

2.2.1 指向性アンテナの場合

指向性アンテナを利用すれば、電波到来方向を推定することができる。しかし、一般的に無線端末には無指向性が必要であること、さらに指向性アンテナを装備するにはコストが掛かることなどから普及していない。

2.2.2 無指向性アンテナの場合

無指向性アンテナのノート PC を利用し、受信信号強度がノート PC の向きによって強度が異なることに着目した方向推定手法 [13] が提案されている。この手法は、事前測定した受信信号強度分布のデータと、ユーザがその時点で測定した受信信号強度分布のデータの類似度から電波到来方向を推定する手法である。しかし、事前測定と本測定では、(1) 必ずしも同一ハードウェアでは行われない、(2) 両測定の環境が必ずしも一致しない、ことから、推定精度にもぶれが生じると考えられる。

[†]情報セキュリティ大学院大学, Institute of Information Security

2.3 測定地点による受信信号強度の違いを基にした駆けつけ

DREAMS (Deterministic dynamic bEAcon Mobility Scheduling) アルゴリズム [14] が提案されている。この手法は、探索ロボット (R) がある地点より目標端末 (S) に向けて、各測定地点毎の受信信号強度から推定した通信距離を比較しながら移動をする。探索ロボットは、初期位置で受信信号強度の測定値から通信距離を推定して、ランダム方向に移動を開始する。その際の移動距離は、推定した通信距離の半分としている。移動後の通信距離が、初期位置での通信距離より目標端末に接近していると判断すれば、移動方向を垂直に変更する。逆に、離反していると判断すれば、移動方向を反転して移動してきた2倍の距離を移動する。このような動作を4回繰り返し、5回の測定値を一組として、初期位置からの接近・離反を判断する。接近と判断したら、ここを初期位置として同じ動作を繰り返す。離反と判断したら、元の初期位置まで戻り、同じ動作を繰り返す。ただし、3回目の測定で通信許容範囲外と判断される場合は、元の初期位置まで戻り、同じ動作を繰り返す。この手法では、受信信号強度を基に距離を推定するため、2.1で述べたような問題がある。また、受信信号強度をフィルタリングして距離を推定するため、多くの時間を費やされ、駆けつけが遅れる欠点がある。

3. 提案手法

3.1 概要

受信信号強度が変動する環境において測定地点による強度の違いから、受信信号強度の校正やフィルタリングなしに発信者へ接近および離反の判定を重ねることで探索を打ち切ることは十分検討されていない。そこで、等間隔に移動しながら測定地点毎に強度が異なる受信信号強度が連続して増加あるいは減少する回数をそれぞれのリセット計数器 [16] (以下、計数器) を用いてカウントし、接近あるいは離反を判定することとする。具体的には、同一直線上を等間隔毎に移動しながら測定した受信信号強度と基準値 (比較基準値) で比較を行う。計数器は、増加をカウントする計数器と減少をカウントする計数器の2つとする。測定した受信信号強度が比較基準値と比べて、増加 (接近)、もしくは減少 (離反) となる度にどちらかの計数器のカウント値を1つを増加させて、1ステップ進む。増加もしくは減少のカウント値が設定した保護段数に達した場合に、接近もしくは離反の判定を下すこととする。ここで、比較基準値は、どちらかの計数器がカウントを開始してから保護段数に達するまでを1つの計測区間とし、直前の計測区間で最小の受信信号強度とする。そして、離反判定が下された場合は、移動方向を変更させる。このことは、受信信号強度の変動によって接近・離反の誤判定を防ぎ、誤った方向への移動を抑制させるためである。例えば、図1に示すように、駆けつけ端末が地点 (a) から地点 (c) の方向へ直線上を移動しているとす。受信信号強度の変化から最初に離反と判定した地点 (b) を過ぎた地点でなく、これまでの移動方向の延長線上に保護段数分進んだ地点 (b') で移動方向を変更させる。逆に、接近の場合では比較基準

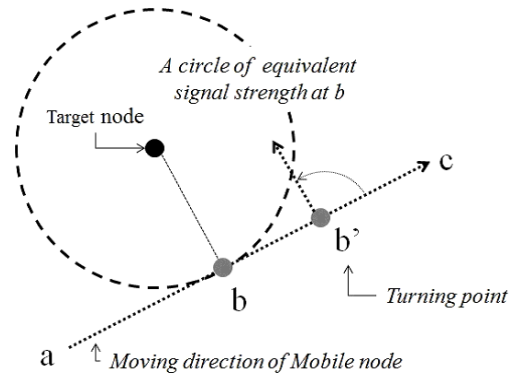


図1 接近・離反判定のモデル

値を更新のみ行い、目標端末へ接近しているとみなし移動方向は変更しない。以上のように、駆けつけ端末の移動にあたり、保護を設けた接近・離反判定を利用しながら目標端末へ駆けつける。

3.2 検討の前提

3.2.1 駆けつけエリア

駆けつけエリアは2次元格子状の直交座標系である xy 平面とする。駆けつけ端末が格子間隔毎に移動し、各格子点上で受信信号強度を測定することとする。

3.2.2 駆けつけ端末

駆けつけ端末は、

- 無線 LAN (IEEE 802.11b) を装備した無線端末
- アドホック通信に対応
- アンテナは無指向性のアンテナ

であることを前提とする。そして、次の機能を有することとする。

- 受信信号強度の測定ができる
- 移動した距離の計測ができる
- 移動方向を変更ができる

3.2.3 目標端末

目標端末は、駆けつけ端末同様の機能を持つ無線端末であることを前提とし、ビーコン等の電波を定期的に発信ができることとする。そして、目標端末は静止しているものとする。

3.3 移動方向制御

文献 [15] より、 xy 平面上で目標端末の位置が原点になるようにすると、

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\sigma: \text{軸方向の誤差}) \quad (1)$$

の確率密度関数で表される。目標端末の存在する確率が最大になるようにすると、駆けつけ端末が螺旋を描くような経路で目標端末へ駆けつけることになる。そして、

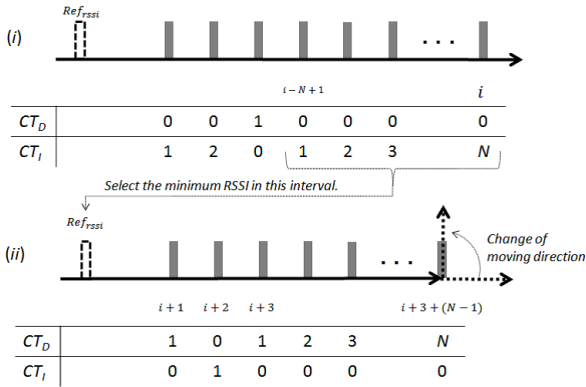


図2 保護を設けた駆けつけ

運動しやすいうように経路を近似することで、移動方向を変更する際の角度は90度とする。ゆえに、本稿では駆けつけ端末が螺旋を描くような移動軌跡にするため、 $mangle$ は目標端末へ接近している場合は $0 [rad]$ と離反している場合は $\pi/2 [rad]$ とする。

3.4 駆けつけ手法のアルゴリズム

提案する駆けつけ手法のアルゴリズムを疑似コード **Algorithm 1** に示す。そして、使用するパラメータ一覧を表1に示す。図2は、ステップ毎に受信信号強度を Ref_{RSSI} と比較を行いながら両カウンタ値 (CT_D , CT_I) の変化を示している。

図2の(i)で Ref_{RSSI} と各ステップで比較を行いながら移動して、最終的に CT_I が N に達した。接近していると判定したため、同一方向へ駆けつけを継続する((ii)へ続く)。そして、直前の計測区間より新たな Ref_{RSSI} を設定し、比較しながら移動する。そして、 CT_D が N に達したため、離反と判定する。よって、移動方向に対して垂直方向に変更して駆けつけを再開する。 Ref_{RSSI} は、接近もしくは離反判定で更新することとする。

途中、 P_i が通信許容範囲 $lirange$ 外になった場合も移動方向に対して垂直方向に変更して移動を再開する(3.3参照)。**Target_Derection()** で駆けつけ端末が目標端末を目視で確認出来る距離 $limen$ 内に近づけたか確認する。そして、1回の試行でステップ回数がステップ最大回数 $limax$ を超えた場合、この試行は失敗とする。

4. 評価

本章では、提案手法を計算機シミュレーションで評価した結果について述べる。計算機シミュレーションでは4.1, 4.2で条件を与え、駆けつけ端末の動作をシミュレーションする。

4.1 検討条件

4.1.1 駆けつけエリア

駆けつけエリアは2次元格子状の直角座標系である xy 平面で表す。格子間隔は、受信信号強度を比較するのに十分小さい値である $0.5 [m]$ とする。そして、駆けつけ端末と目標端末は平面上に配置され、両端末間には移動を妨げる障害物はないものとする。

Algorithm 1 Procedure of running to TN in MN

Input: TN , Target Node; dir , direction of 1st step;

Output: Approach TN within $limen$;

```

1:  $i \leftarrow 1$ 
2:  $pos_i =$  current position of  $MN$  at  $i$ ;
3:  $P_i(pos_i) \leftarrow$  RSSI value at  $pos_i$ 
4:  $Ref_{RSSI} \leftarrow P_i(pos_i)$ 
5: move a distance of  $sw$  in  $dir$ ;
6: while  $limax - 1 \geq i$  do
7:    $i \leftarrow i+1$ 
8:    $P_i(pos_i) \leftarrow$  RSSI value at  $pos_i$ 
9:   if  $P_i(pos_i) < lirange$  then
10:     $dir =$  a direction perpendicular to  $dir$ ;
11:     $CT_I, CT_D \leftarrow 0$ 
12:    go to 37
13:   end if
14:    $N \leftarrow$  DEFINE_N;
15:   if  $P_i(pos_i) > Ref_{RSSI}$  then
16:     $CT_D \leftarrow 0, CT_I \leftarrow CT_I + 1$ 
17:    if  $CT_I \geq N$  then
18:      $Ref_{RSSI} \leftarrow \min(P_{i-N+1}, \dots, P_i)$ 
19:      $dir =$  a same direction of  $dir$ ;
20:      $CT_I, CT_D \leftarrow 0$ 
21:    else
22:      $dir =$  a same direction of  $dir$ ;
23:    end if
24:   else if  $P_i(pos_i) < Ref_{RSSI}$  then
25:     $CT_D \leftarrow CT_D + 1, CT_I \leftarrow 0$ 
26:    if  $CT_D \geq N$  then
27:      $Ref_{RSSI} \leftarrow \min(P_{i-N+1}, \dots, P_i)$ 
28:      $dir =$  a direction perpendicular to  $dir$ ;
29:      $CT_I, CT_D \leftarrow 0$ 
30:    else
31:      $dir =$  a same direction of  $dir$ ;
32:    end if
33:   else
34:     $dir =$  a same direction of  $dir$ ;
35:     $CT_I, CT_D \leftarrow 0$ 
36:   end if
37:   move a distance of  $sw$  in  $dir$ ;
38:   TARGET_DETECTION( $pos_i$ );
39: end while
40: function TARGET_DETECTION( $a$ )
41:    $cur\_dis(a) =$  current distance of  $MN$  from  $TN$ ;
42:   if  $limen \geq cur\_dis(a)$  then
43:    return Stop;
44:   else
45:    return Continue;
46:   end if
47: end function

```

4.1.2 駆けつけ端末

駆けつけ端末は格子状の平面である駆けつけエリアを直線上に上下左右の隣接する1つの格子点を一定速度で

表1 駆けつけで用いるパラメータ一覧

パラメータ	記号	概要
ステップ幅	sw	1ステップの移動距離 [m]
ステップ最大回数	$limax$	1回のシミュレーションでステップできる最大回数
i ステップ目の受信信号強度	P_i	i ステップ目で測定した受信信号強度 [dBm]
比較基準値	Ref_{rssi}	受信信号強度と比較するための値
移動方向制御量	$mangle$	移動方向を変更する変更量(角度) [rad]
閾値距離	$limen$	目標端末へ駆けつけられたか否かを判定するための目標端末から一定の距離 [m]
通信許容範囲	$lirange$	目標端末と通信できる距離の受信信号強度 [dBm]
減少カウンタ値	CT_D	減少する回数を計るカウンタ値 ($CT_D = 0, 1, 2, 3, \dots$)
増加カウンタ値	CT_I	増加する回数を計るカウンタ値 ($CT_I = 0, 1, 2, 3, \dots$)
保護段数	N	接近, 離反, もしくは通信許容範囲外の判定を保護する役割と持つ値 ($N \geq 1$)

表2 式(2)と(3)のパラメータ

	記号	値
基準距離に対する受信信号強度	P_0	-30.05 [dBm]
基準距離	d_0	1 [m]
距離減衰定数	γ	2
測定誤差	σ^2	$3^2, 6^2, 9^2, 12^2$ [dB]

移動をする。

4.1.3 目標端末

目標端末は駆けつけエリアの xy 平面の原点で静止していることとする。

4.1.4 電波伝搬モデル

受信信号強度 P [dBm] の電波伝搬モデルには, 受信信号強度の変動が対数正規分布に従う一般的なモデルを用いる。同モデルは以下のように表される [4, 18]。

$$P[\text{dBm}] \sim \mathcal{N}(\bar{P}[\text{dBm}], \sigma^2) \quad (2)$$

$$\bar{P}[\text{dBm}] = P_0[\text{dBm}] - 10 \cdot \gamma \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3)$$

ここで, $\bar{P}[\text{dBm}]$ はデシベル表記の平均受信信号強度, $\sigma^2[\text{dB}]$ は測定値の誤差を表す分散値 (以下, 測定誤差) であり, $\mathcal{N}(\bar{P}_i[\text{dBm}], \sigma_i^2)$ は \bar{P}_i, σ_i^2 の正規分布に従うことを意味する。 $P_0[\text{dBm}]$ は基準距離 $d_0[\text{m}]$ に対する受信信号強度であり, 本稿では $d_0 = 1[\text{m}]$ [4] として与えることとし, 既知の電波伝搬モデルである自由空間モデル [3] から P_0 は -30.05 [dBm] (周波数: 2.4 [GHz], 送信出力: 10 [mW])[17], 送受信アンテナ利得: 1[18]) である。そして, $d[\text{m}]$ は通信距離, γ は距離減衰定数を表す。ただし, γ と d は駆けつけ端末および目標端末で未知数とする。

式 (2), (3) のパラメータは, 多くの研究者に認知され, 電波伝搬や電波干渉などを考慮されて実際に近い環境で提供されている $n_s - 2$ [18] のデフォルト値を本稿で使用する。それらの値を表2に示す。

4.1.5 駆けつけ終了のための閾値距離

駆けつけ端末は目標端末に近づくと, 目視等により目標端末を確認できるものとし, 駆けつけ端末が目標端末から所定の $limen$ 以内に達した場合に, 駆けつけを終了とする。

4.1.6 通信許容範囲

実際の通信環境を考慮して, 駆けつけ端末が目標端末と通信できる通信許容範囲を設定する。通信許容範囲外では, 目標端末からの電波を受信できない, もしくは通信が不安定な状態であることを想定する。

通信許容範囲外を観測した場合, 移動方向はその方向と直角をなす方向に変更する。そして, 増加・減少の両カウンタを0にリセットして, 駆けつけを再開する。

4.2 計算機シミュレーション共通設定

● 共通のシミュレーションパラメータ

駆けつけ端末のシミュレーション開始時の xy 平面座標 (以下, 駆けつけ開始地点) は以下の9つの地点を設定する。駆けつけエリアの xy 平面で, $\{x, y\} = \{100, 100\}, \{90, 90\}, \{80, 80\}, \{70, 70\}, \{60, 60\}, \{50, 50\}, \{40, 40\}, \{30, 30\}, \{20, 20\}$ とする。そして, 目標端末は, $\{x, y\} = \{0, 0\}$ とする。

● 共通のシミュレーション条件

シミュレーションは各駆けつけ開始地点で式 (2) の測定誤差別に 100 回行う。1回の試行でステップ回数が $limax$ を超えた場合は, その試行は失敗とする。

4.2.1 計算機シミュレーション条件の設定

計算機シミュレーション諸元を表3に示す。閾値距離は目視等で確認可能な距離を設定する。通信許容範囲には無線端末が受信信号強度を測定できうる最小値を設定する。

4.3 静的な保護段数の設計

駆けつけ端末が各測定地点で接近もしくは離反の判定確率を g ($0 < g < 1$) とし, 接近もしくは離反と決断できる回数を N ($N \geq 1$) と確率は次のようになる。本来

表3 計算機シミュレーション諸元

ステップ幅 (sw)	0.5 [m]
ステップ最大回数 ($limax$)	20000 [回]
移動方向制御量 ($mangle$)	0 もしくは $\pi/2$ [rad]
閾値距離 ($limen$)	5 [m]
通信許容範囲 ($lirange$)	-100 [dBm]

は各測定地点は固有の判定確率 g_i ($0 < g_i < 1$) をもつが, $g_i = g$ とし近似値として設計する.

$$g \cdot \prod_{i=0}^{N-1} (1-g) \quad (< 1) \quad (4)$$

ここで, 統計的な危険率 α を用いて, エラーが発生するという仮説を棄却することを考える. この α は, 目標端末が接近もしくは離反を見逃す確率である. この α を十分に小さくすることにより, 見逃す確率を抑制できる. つまり, N はこれを満たす非負の整数となる.

$$N > \frac{\log_{10}\left(\frac{\alpha}{g}\right)}{\log_{10}(1-g)} + 1 \quad (5)$$

α には危険率に十分小さい値の 0.05 を設定する. g は接近もしくは離反の 2 通りのため, 0.5 とする. ゆえに, N は 5 と得られる. Algorithm 1 の Define_N を以下の様にする.

Function: Define static N

Input: $\alpha = 0.05, g = 0.5$;

Output: Static N ;

```

1: function DEFINE_N
2:    $N > \log_{10}(\alpha/g)/\log_{10}(1-g) + 1$ 
3:   return  $N$ ;
4: end function

```

4.3.1 静的な保護の設定有無の駆けつけシミュレーション

ここでは式 (5) の静的な保護を設けたを駆けつけと設けない駆けつけ ($N_1=1$ に相当) の比較検討を行う. 後者では, 接近・離反判定を行うのに現地点 (i ステップ目と仮定) の受信信号強度 P_i と 1 ステップ前の受信信号強度 P_{i-1} を比較して行う. 本来は接近しているにも関わらず, 離反と判定されてしまうことを離反誤判定とし, 両者の離反誤判定率 (Error detection rate) を比較する.

4.3.2 静的な保護の設定有無の駆けつけシミュレーション結果

図 3, 4 は離反誤判定率を縦軸にとり, 式 (2) の測定誤差別に駆けつけ開始地点 (Direct distance between start point and target node) と

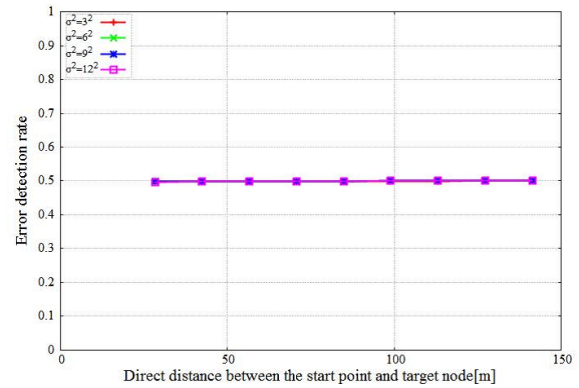


図3 保護を設けてない駆けつけの離反誤判定率

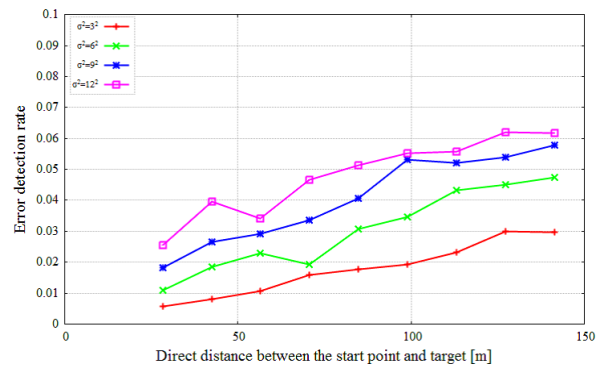


図4 静的な保護を設けた駆けつけの離反誤判定率

の関係を示す. 次式でこの離反誤判定率を求めた.

$$\text{離反誤判定率} = \frac{\text{離反誤判定の回数}}{\text{保護段数 (} N \text{)} \times \text{離反判定回数}} \quad (6)$$

ここでは, 保護を設けてない駆けつけでは N を 1 とし, 離反誤判定率を計算する. 図 3 は保護を設けてない駆けつけの離反誤判定率に間して, 離反誤判定率は測定誤差によらずおよそ 0.5 であることが確認できる. そして, 図 4 の保護を設けた駆けつけの離反誤判定率に間して, 離反誤判定率は危険率 $\alpha (= 0.05)$ より下回っていることが確認できる. なお, 全ての試行で駆けつけは成功している.

4.3.3 静的な保護を設けた駆けつけに関する考察

保護を設けてない場合の離反誤判定率は図 3 よりおよそ 0.5 である. つまり接近か離反をランダムに判定していると言える. そして, 図 4 より静的な保護を設けた駆けつけの離反誤判定率と比べると, 保護を設けることで離反誤判定を抑えられていることを示している. また, 式 (2) の測定誤差が $9^2, 12^2$ では離反誤判定率が α より上回っている. これは, 受信信号強度の変動が大きく, カウンタ値が保護段数に達する前にリセットさせることが多くなり離反判定回数が減少しているため, 測定誤差が大きくなることで離反誤判定率が大きくなってしまふ. そして, 保護段数の設計には式 (5) より $g_i = g$ としたた

め、保護段数は平均値として設計されているためでもある。しかし、保護を設けることで離反誤判定を抑えられたといえ、保護段数の有効性が確認できた。

4.4 受信信号強度の階差で保護を設けた駆けつけ

ここでは、受信信号強度の階差の保護を設けた駆けつけの検討を行う。受信信号強度の階差の保護段数は先の静的保護段数と異なり動的な値になることから、ここでの保護段数を動的保護段数とする。

4.4.1 動的な保護段数の設計

受信信号強度の階差 $DIFF_i$ を

$$DIFF_i = |P_i - P_{i-1}| \quad (7)$$

と、する。つまり、階差が大きいほど接近もしくは離反を判断するのにステップ回数を要することになる。そして、静的保護段数を最小値になるようにして動的保護段数を次のように設定する。つまり、誤判定率を危険率を一定値以下に抑制するようにする。

$$N \leftarrow \max\{DIFF_i, 5\} \quad (8)$$

また、Algorithm 1 の Define_N を以下の様に修正する。

Function: Define dynamic N

Input: $P_i(pos_i)$, $P_i(pos_{i-1})$;

Output: Dynamic N ;

```

1: function DEFINE_N
2:    $DIFF_i = |P_i - P_{i-1}|$ 
3:    $N > \max\{DIFF_i, 5\}$ 
4:   return  $N$ ;
5: end function

```

4.4.2 動的な保護を設けた駆けつけシミュレーション結果

図5に離反誤判定率を示す。その結果、動的な保護を設けた駆けつけは静的な保護を設けた駆けつけの離反誤判定率と比べて、およそ18%改善できていることが確認できた。なお、全ての試行で駆けつけは成功している。

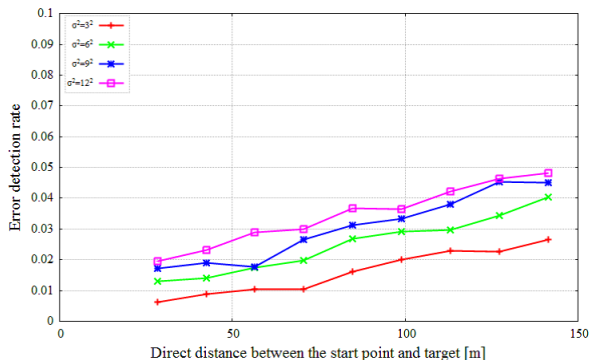


図5 動的な保護を設けた駆けつけの離反誤判定率

表4 従来手法のパラメータ

パラメータ	説明	値
測定回数	受信信号強度を平均化するための1地点で測定する回数	10 [回]
γ	式(3)から距離を推定するために予め与える値	2
∞	初期位置に戻る条件の推定距離	200 [m]

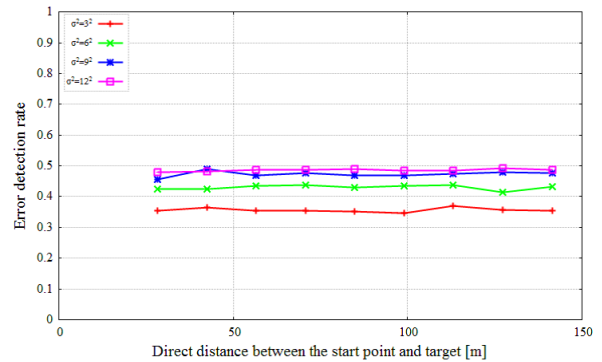


図6 従来手法の離反誤判定率

4.4.3 動的な保護の駆けつけに関する考察

図5より動的な保護を設けた駆けつけの離反誤判定率では離反誤判定率が α より下回っていることが確認できる。受信信号強度の階差を保護段数に用いたことで、受信信号強度の変動が大きい環境でも静的な保護を用いるよりも誤判定が抑制されたことが確認できた。

4.5 従来手法との比較

提案手法を、接近および離反判定に保護を設けない従来手法[14]と比較した。この従来手法は、受信信号強度から推定した距離を基にして接近および離反判定を行ないながら目標端末へ駆けつける。

従来手法のシミュレーション条件として、シミュレーションで用いるパラメータとその設定値を表4に示す。次に、4.1.1~4.1.5及び、4.2の提案手法と同様の条件でシミュレーションした。

4.5.1 従来手法のシミュレーション結果

従来手法の離反誤判定率を図6に示した。この結果から測定誤差が大きくなるほど離反誤判定率が大きくなるが、接近か離反をランダムに判定していることが確認できる。動的な保護を設けた駆けつけは従来手法の駆けつけの離反誤判定率と比べて、大幅に誤判定を抑制できていることが確認できる。なお、全ての試行で駆けつけは成功している。

4.5.2 従来手法に関する考察

従来手法の離反誤判定率と比べて、動的な保護の駆けつけでは大幅に誤判定が抑えられている。これは、従来手法が受信信号強度から推定した距離を接近・離反判定に用いるため、測定値誤差が大きくなるほど判定精度も落ちるためである。動的な保護を設けた駆けつけと比較すると、保護段数に受信信号強度の階差を用いることで、受信信号強度の変動に応じて判定を保護を設けることが

誤判定を抑制できている。そして、受信信号強度を平均化することなく、より判定精度の高い駆けつけができることが確認できた。

5. むすび

本稿では、受信信号の測定地点による強度の違いが目標端末への接近・離反の判定に利用できることに着目し、接近もしくは離反が連続して起こることで決断する手法を検討した。この手法の基となる受信信号強度は場所や環境に影響を受ける。ゆえに、接近・離反判定の正確さを保つために判定に対し保護を設けることを提案し、駆けつけ端末が目標端末へ駆けつける手法を示した。その結果、受信信号強度の階差で動的な保護にすることで、目標端末へ設定した範囲内へ駆けつけられることを計算機シミュレーションによってより短時間に効率よく駆けつけられることを確認した。

駆けつけ端末と目標端末間には移動を妨げる障害物はないものとして評価を行ったが、今後の課題として移動の制約があるような地理的な条件下でいかにして目標端末へ駆けつけを実現する手法について検討の余地がある。

そして、本稿では1対1で直接通信する端末間通信を対象としたが、複数の端末を中継して通信が行われるアドホック通信を利用することで通信範囲がより広がり、多数の端末が協調し合うことでより広域から目標端末へ駆けつけられるようになることが予想できる。そして、多数の端末で協調しながら駆けつけることで、より早く目標端末へ駆けつける検討を進めている。

参考文献

- [1] C.-K. Toh, 構造計画研究所 (翻訳), "アドホックモバイルワイヤレスネットワークプロトコルとシステム", 構造計画研究所 (2003).
- [2] 間瀬憲一, 阪田史郎, "アドホック・メッシュネットワーク: コビキタスネットワーク社会の実現に向けて", コロナ社 (2007).
- [3] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula", In Proceedings of the IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254--256 (1946).
- [4] T.S. Rappaport, "Wireless communications: principles and practice", Prentice Hall (1996)
- [5] J.J.Carr, "Joe Carr's Receiving Antenna Handbook", HighText Publications (1993).
- [6] I. Yamada, T. Ohtsuki, T. Hisanaga, and L. Zheng, "An indoor position estimation method by maximum likelihood algorithm using received signal strength", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 1, No. 3, pp. 251--256 (2008).
- [7] G. Mao, B. D. Anderson, and B. Fidan, "Path loss exponent estimation for wireless sensor network localization", Computer Networks, Vol. 51, No. 10, pp. 2467--2483 (2007).
- [8] F. Caballero, L. Merino, I. Maza, and A. Ollero, "A particle filtering method for wireless sensor network localization with an aerial robot beacon", In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, pp. 596--601 (2008).
- [9] G. Teng, K. Zheng, and W. Dong, "Adapting mobile beacon-assisted localization in wireless sensor networks", Sensors, Vol. 9, No. 4, pp. 2760--2779 (2009).
- [10] S.Čapkun, M. Hamdi and J.-P. Hubaux, "GPS-free positioning in mobile ad hoc networks", Cluster Computing, Vol. 5, No. 2, pp. 157--167 (2002).
- [11] D.Niculescu and B.Nath, "Ad hoc positioning system (APS)", In Proceedings of the IEEE GLOBECOM'01, Vol. 5, pp. 2926--2931 (2001).
- [12] 日本アマチュア無線連盟, "Amateur Radio Direction Finding", https://www.jarl.org/Japanese/1_Tanoshimo/1-5_ardf/2010winter-ardf.pdf (参照 2016-04-17).
- [13] 伊藤誠悟, 佐藤弘和, 河口信夫, "無線LANの受信電波強度分布間類似度による方向推定手法", 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 1, pp. 51--62 (2006).
- [14] X. Li, N. Mitton, I. Simplot-Ryl, and D. SimplotRyl, "Dynamic beacon mobility scheduling for sensor localization", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 23, No. 8, pp. 1439--1452 (2012).
- [15] 多田和夫, "探索理論", 日科技連出版社 (1973).
- [16] 丸田力男, "フレーム同期保護回路の設計法に関する考察", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 56, No. 1, pp. 17--24 (1973).
- [17] 守倉正博, 久保田周治, "802.11 高速無線LAN教科書", ンプレス R&D (2004).
- [18] K.Fall and K.Varadhan, "The ns manual. notes and documentation on the software ns2-simulator", <https://www.isi.edu/nsnam/ns> (2002).