

## 交差点での無線ネットワークを用いた歩行者の移動軌跡の推定手法

孫 為華<sup>†1</sup> 行政 幸治<sup>†2</sup>  
山口 弘純<sup>†2</sup> 安本 慶一<sup>†1</sup>

高度交通システム (ITS) 技術を利用して、ドライバーの死角になりやすい交差点での危険認知を早める研究は多くなされてきている。本稿では、正確な位置情報を持つ路側機が設置された対象領域における車両の受信電力の変動をモデル化し、車両や路側機と、歩行者等の持つ端末が近距離無線通信を行うことで歩行者等の位置、速度、進行方向を推定する手法を提案する。

### Presumption Technique of Movement Locus of Pedestrian in Intersection using Wireless Network

WEIHUA SUN,<sup>†1</sup> KOJI YUKIMASA,<sup>†2</sup> HIROZUMI YAMAGUCHI<sup>†2</sup>  
and KEIICHI YASUMOTO<sup>†1</sup>

By the development of Intelligent Transport Systems (ITS) technology, the dangerous acknowledgment for sight blind spots of drivers at intersections has been researched. In this paper, we propose a method to presume the movement trajectories (position, speed and direction) of pedestrians near intersections by using some fixed position anchors. In our method, we model the change of the received signal strength in the target area and use the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method.

#### 1. ま え が き

安全で快適な交通環境を目指して ITS (高度交通システム) が普及しつつあり、交通事故防止に関しても様々な研究や取り組みがなされている。その中でも、DSRC 等の狭域無線通信技術を用いて、各車両が互いの位置や速度、進行方向等の情報を交換し衝突の危険性を事前に検知するシステム<sup>1)</sup> は、ドライバーの不注意や死角によって危険認知が遅れた場合に発生する事故の予防に対して非常に有用であると考えられ、見通しの悪い交差点における出会い頭事故等の削減に高い効果を発揮すると思われる。

また、ドライバーの死角等に存在する歩行者や自転車の存在を通知し、歩行者や自転車の事故を防止するシステムも提案されている<sup>2)</sup>。いずれのシステムも、歩行者や自転車の存在を周囲の車両に通知することでドライバーの危険認知を早めるという点では共通している。

これらのシステムのように、死角に潜む危険の認知

を早めることで事故を防ぐには、車両や歩行者、自転車等の正確な位置、さらには進行方向や速度が重要な情報となり、いかにしてそれらの情報を取得するかが重要な問題となってくる。車両の場合、速度計やジャイロセンサによって速度や進行方向、角速度 (ヨーレート) が比較的容易に取得できる。さらに GPS、GSM、画像センサ、レーザーस्क্যানナ等の様々な機器を総合的に用いて測位を行う方法が研究されており<sup>3)</sup>、精度の高い情報を取得できると考えられる。一方、歩行者や自転車についても、携帯電話に搭載された GPS による測位が可能であるが、GPS はビル陰や高架下等、GPS 衛星からの電波を受信し難い場所では測位精度が低下するため、完全であるとは言い難い。またバッテリー容量の制約もあり、常時測位を行うことは現実的ではない。従って、歩行者や自転車については、GPS による測位を補完する方法を持ち合わせておくべきである。

ここで、車両や路側機と、歩行者等が持つ端末が近距離無線通信によって通信可能である状況を想定する。この場合、アドホックネットワークやセンサネットワーク端末の位置推定手法を適用し、車両や路側機の持つ正確な位置情報を利用して歩行者等の位置を推定できると考えられる。

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Science and Technology

<sup>†2</sup> 大阪大学  
Osaka University

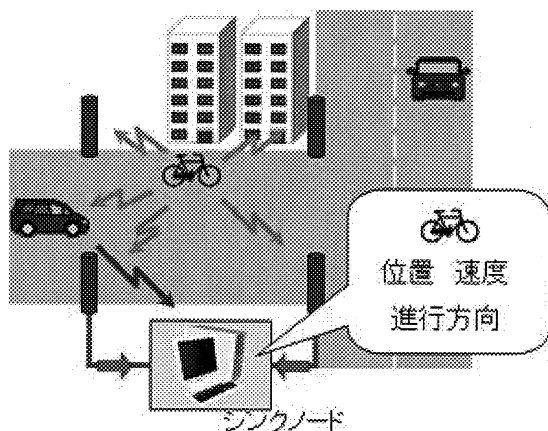


図1 位置推定を用いた事故防止のイメージ

そこで本研究では、車両や路側機が自身の正確な位置を把握している環境で、歩行者や自転車を持つ近距離無線デバイスを備えた簡易な無線端末が連続的に発信するビーコンをそれらの車両や路側機が受信した際の電力強度、及び車両等の位置情報を用いて、歩行者等の位置や速度等を推定する手法を提案する。提案手法では、対象となる領域における受信電力の変動をワイプ分布<sup>4)</sup>を用いてモデル化し、歩行者の発信するビーコンの電波強度を車両や路側機によって計測し、これをデータとした最尤法を適用することで、歩行者の位置、速度、進行方向を推定する。

提案手法は位置基準局となる車両もしくは路側機が一定数必要となるため、例えば車両の少ない交差点などでは図1のように路側機がいくつか設置されていることを仮定する。

評価実験では、道路幅が20mである交差点の手前20mを対象領域としたシミュレーションを行った。その結果、歩行者等のおおよその現在位置及び進行方向を把握するには十分な精度であることが確認できた。

## 2. 関連研究

### 2.1 歩行者や自転車を対象とした交通安全システム

RFID (電子タグ) を用いる位置推定手法<sup>5)</sup>は、磁場を発生させるコイルを道路上に設置し、電子タグを携帯した歩行者等がコイル上を通過した場合にタグが励起され、コイルの位置とタグのIDを周囲の車両へ通知することができる。また、最新の位置及び検出時刻と、直近の情報から移動方向と速度を求めることも可能である。コイルの上を通った際に取得できる位置情報であるため正確な位置が取得可能である。しかし、コイル上のみでしか位置情報が取得可能でないため、対象領域が広範囲に及ぶと、非常にたくさんのコイル

を設置する必要がある。また、コイル設置に伴ったコストが生じる。

アドホックネットワーク及びセンサネットワークにおける位置推定手法ではアンカーと呼ばれる自身の存在位置が分かる端末と、ターゲットと呼ばれる自身の存在位置を知らない端末が混在する環境において、アンカーの位置情報等を用いてターゲットの存在位置を推定する手法である。アドホックネットワーク及びセンサネットワークにおける位置推定手法は、Range-base と呼ばれる手法と Range-free と呼ばれる手法に分類される。

Range-base は受信電力や電波伝搬時間等を用い、アンカーまでの距離差を計測し、位置推定に用いる手法である。例えば、RADAR<sup>6)</sup>は対象領域の各地点における受信電力のサンプルを受信電力マップとして保持しておき、測定された電力をマップと照合することによって位置推定を行う。一方、Range-free は電波強度の測定を行わない手法で、アンカーの位置とホップ数を用いて推定を行うものが多い。例えば DV-Hop<sup>7)</sup>は1ホップあたりの距離を算出し、各アンカーとの距離を概算することで位置を推定する。HCRL<sup>8)</sup>は送信電力を制御することによって1ホップを複数のサブホップに分割し、各アンカーまでのサブホップの合計を用いて推定を行う。

### 2.2 提案手法の位置付け

位置情報を取得することにより事故を防止するシステムでは、位置情報を取得できる範囲の広さ、及び位置情報の正確さの2点を考慮すべきであると考えられる。広範囲において正確な位置を取得できるシステムが理想的であるが、現段階ではそのようなシステムは存在しないと言える。

RFID を用いたシステムで得られる位置情報は正確であるが、位置を得られる場所がタグリダ (例えば道路埋め込み型コイル等) の直近のみであることから、検出可能な範囲は狭い。画像センサも検出範囲に課題を残す。GPS では測位を行うことができる範囲は非常に広いが、誤差が10m程度となる場合を考慮すれば、正確さに欠ける状況が存在する。一方、大規模な交差点において、RFID を用いたシステムではコイルを横断歩道付近の歩道に重点的に設置する方法も検討されている<sup>9)</sup>。この場合も、横断歩道から比較的離れた位置や、車道に存在する歩行者や自転車はGPSによる位置情報などに依存することになり、精度の問題は解決されていない。

本研究のように位置推定を用いたシステムは、RFID や画像センサなど特殊デバイスを用いる手法と GPS

との中間に位置付けられる。アンカーの数が十分であり誤差が数 m で収まる場合は、GPS の測位精度が低い状況よりも誤差の小さな位置情報を提供できる。さらに、対象領域が面となることから、位置情報を取得できる範囲は RFID を用いたシステムより広い。従って、対象領域における歩行者や自転車のおおよその位置を取得できるという点で、見通しのない交差点等の限定された領域において、警告を発する必要がある前の段階で、存在する歩行者等の情報がある程度の精度で得たい場合に適していると言える。

受信電力と最尤法を用いる手法として、屋内環境におけるマンロケーション管理を想定した手法<sup>10)</sup>がある。ここでは、実機を用いた実際の屋内環境において、単純に受信電力から距離を概算する手法と比較して良い推定結果が得られることが述べられている。さらに、受信電力の分布として指数分布を用いており、レイリーフェージング環境（直接波が遮蔽され、たくさんの散乱波が様々な伝送経路を通して受信されるようなマルチパスフェージング環境）においては、電力変動の分布は指数分布に従うということが知られている<sup>11)</sup>。

本研究が対象とする屋外の交差点付近でも、交差点周辺にビルが立ち並び、さらに車両によって直接波が遮蔽されている場合は見通し波が受信できないためにレイリーフェージング環境となり、電力変動の分布は指数分布となることが考えられる。

しかし、本研究では、交差点周囲の建物や車両の状況によって電力変動の分布は変化することを想定し、ワイブル分布<sup>4)</sup>を用いている。ワイブル分布は 2 つのパラメータ  $m$  及び  $\beta$  を決定することによって様々な分布を表現することができる。また、 $m = 1$  の時に指数分布を包含しているため、レイリーフェージング環境においても適用可能である。

さらに、動きの早い自転車等がターゲットとなることから、最尤法を行う際にターゲットの移動も考慮しており、位置だけでなく、速度と進行方向を推定することが可能である。

### 3. 最尤法を用いた位置推定の流れ

この章では、最尤法の概要を述べた後、受信電力と最尤法を用いてターゲットの位置、速さ、及び進行方向を推定する際の流れについて述べる。

#### 3.1 最尤法の概要

データを表現する確率変数  $X_1, \dots, X_n$  の密度関数を  $f(x_1, \dots, x_n; \theta)$  とすると、これはパラメータ  $\theta$  に対してデータ  $x_1, \dots, x_n$  の出現のし易さを表現して

いるといえる。そして、データ  $x_1, \dots, x_n$  から  $\theta$  を推定する際に、 $x_1, \dots, x_n$  を最も出現し易くする  $\theta$  が最も尤もらしいと考えられる。

そこで、 $f(x_1, \dots, x_n; \theta)$  の  $\theta$  を変数と見なした、尤度関数  $L(\theta)$  (式 (1)) の値を最大にする  $\theta$  の値を推定値とする。この方法によって  $\theta$  の値を推定する方法を最尤法という。

$$L(\theta) = L(\theta; x_1, \dots, x_n) = f(x_1, \dots, x_n; \theta) \quad (1)$$

また、 $X_1, \dots, X_n$  が互いに独立であれば、式 (2) 及び式 (3) が成り立つ。

$$f(x_1, \dots, x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (2)$$

$$L(\theta) = L(\theta; x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (3)$$

多くの場合、 $L(\theta)$  ではなく  $\log L(\theta)$  の値を最大化する  $\theta$  を、方程式 (4) を解くことで推定が行われる。パラメータが複数の場合でも方法は同様であり、 $k$  個のパラメータ  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$  の場合は連立方程式 (5) の解が推定値となる。

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \log L(\theta) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_i} \log L(\theta) = 0 \quad (1 \leq i \leq k) \quad (5)$$

#### 3.2 対象領域における伝搬特性のモデル化

まず、対象領域においては距離  $r$  に対する平均受信強度  $\bar{p}$  が式 (6) で表されるとする。対象領域において、送受信点間距離  $r$  とその際の受信強度  $P$  の組  $(r, P)$  をサンプルとして複数計測し、最小二乗法を用いて式 (6) のパラメータ  $C$  及び  $\alpha$  を決定する。

$$\bar{P} = Cr^{-\alpha} \quad (6)$$

次に、 $z = P/\bar{P}$  の分布がワイブル分布 (式 (7)) に従うとし、 $n$  個のサンプル  $(r_1, P_1), \dots, (r_n, P_n)$  と式 (6) から得られる  $z_1, \dots, z_n$  を用いて、パラメータを  $\theta = (\beta, m)$ 、尤度関数を  $L(\theta) = f(z_1, \dots, z_n | \theta) = f(z_1 | \theta) \cdots f(z_n | \theta)$  として最尤法を行い、式 (7) のパラメータ  $m$  及び  $\beta$  を決定する。そして、パラメータを決定した式 (6) 及び式 (7) によって、対象領域における伝搬特性をモデル化する。

$$f(z) = \beta m z^{m-1} e^{-\beta z^m} \quad (z \geq 0; m, \beta > 0) \quad (7)$$

なお、式 (6) 及び式 (7) のパラメータ  $(C, \alpha, \beta, m, z)$  は、交通状況等によって動的に変化するものであると

予想される。

### 3.3 受信電力を用いた最尤法による推定

歩行者等の持つ端末をターゲットと呼ぶ。ターゲットが移動しながら一定の時間間隔で  $n$  個のビーコンを送信し、それを、 $l$  個のアンカーが受信したとする。その際、ターゲットが送信した  $i$  番目のビーコンを位置  $(x_{anc,j}, y_{anc,j})$  に存在するアンカー  $j$  が受信した際の受信電力が  $P_{i,j}$  であったとする (ただし、 $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq l$ )。

ここで、自転車などの飛び出しを想定し、ターゲットは等速直線運動をしていたと仮定する。ターゲットの速さを  $v$ 、進行方向を  $a$  で表し、位置等の推定を行う時刻における、ターゲットの実際の位置を  $(x, y)$  で表す。この時、 $i$  番目のビーコンが送信された時刻と推定を行う時刻との差を  $\Delta t_i$  とすると、 $i$  番目のビーコンをアンカー  $j$  が受信した際の電力が  $P_{i,j}$  である条件付確率密度  $p(P_{i,j}|v, a, x, y)$  は、式 (6) 及び式 (7) から、次のように求められる。

$$\begin{aligned} x_i &= x - v\Delta t_i \cos(a) \\ y_i &= y - v\Delta t_i \sin(a) \\ r_{i,j} &= \sqrt{(x_i - x_{anc,j})^2 + (y_i - y_{anc,j})^2} \\ \bar{P}_{i,j} &= Cr_{i,j}^{-\alpha} \\ z_{i,j} &= \frac{P_{i,j}}{\bar{P}_{i,j}} \end{aligned}$$

$$p(P_{i,j}|v, a, x, y) = f(z_{i,j}) = \beta m z_{i,j}^{m-1} e^{-\beta z_{i,j}^m}$$

ここで、アンカー  $j$  が  $i$  番目のビーコンを受信した際の電力を確率変数  $X_{i,j}$  として、 $X_{1,1}, \dots, X_{n,l}$  が互いに独立であるとする、パラメータを  $\theta = (v, a, x, y)$ 、尤度関数を式 (8) として最尤法を行うことで、ターゲットの位置、速さ、及び進行方向を推定することができる。

$$L(\theta) = p(P_{1,1}, \dots, P_{n,l}|\theta) = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^l p(P_{i,j}|\theta) \quad (8)$$

## 4. 前提条件とプロトコル記述

3章で述べた推定手法を実環境で動作させる場合に必要となる前提条件、及び実現するためのプロトコルについて述べる。プロトコルは、歩行者等が持つ端末 (ターゲット) のバッテリー残量や発熱を考慮し、複雑な位置推定処理はアンカー (路側機) が行うように設計を行っている。

### 4.1 前提条件

ターゲット：歩行者等が持つ端末 各端末は一意的な識別子 (以下、ノード ID と呼ぶ) を持ち、自身のノード ID が分かるものとする。さらに、一定の時間間隔

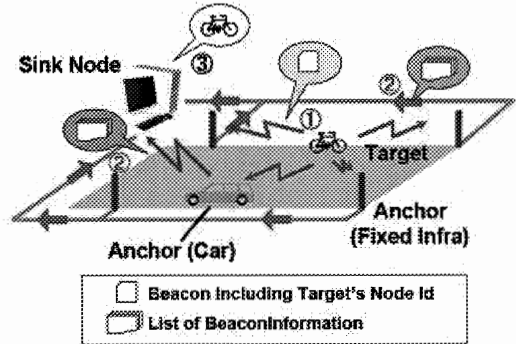


図2 プロトコルの大まかな流れ

でビーコンを送信する。ビーコンを送信する際、送信電力はすべてのターゲットにおいて等しく一定であるとする。

アンカー：路側機 各アンカーは自身の正確な位置が分かり、その情報を利用できるものとする。すべてのアンカーはターゲットが送信したビーコンを受信することが可能であり、ビーコンを受信した際の受信電力が分かるものとする。

また、本研究では、シンクノードの存在を仮定する。シンクノードとは推定処理を担当するノードであり、このノードのみが対象領域内に存在するすべてのターゲットの推定を行うものとする。シンクノードは対象としている領域における、平均受信電力の距離変動に関するパラメータ、つまり式 (6) における  $C$  及び  $\alpha$  が分かっているとす。従って、シンクノードとしては路側機の一つが適当であると考えられる。各アンカーは、有線もしくは無線による通信機能を有し、シンクノードへメッセージを送信することができるものとする。

### 4.2 プロトコル記述

大まかな流れを述べると、次のようになる。

- (1) 各ターゲットが定期的にビーコンを送信する。
- (2) 各アンカーは受信強度と自身の位置をシンクノードへ送る。
- (3) シンクノードが各ターゲットの推定を行う。

なお、図2は路側機とシンクノードが有線で繋がっている例である。

アンカーの動作 各アンカーはターゲットが送信したビーコンを受信し、ビーコンに含まれていたノード ID、受信時刻、自身の位置、受信電力をシンクノードへ送信する。

シンクノードの動作 シンクノードは、領域内に存在するターゲットの情報を、保持し、その情報をもとに、ターゲットの位置推定を行う。



$\Delta T_{Est}$ (推定間隔)	1 秒
$\Delta T_{Beacon}$ (ビーコン送信間隔)	0.2 秒
<i>Dulation</i> (過去何秒のビーコンを利用するか)	2 秒
使用帯域	2.4GHz
送信電力	1mW (0dBm)
受信感度	-68dBm
PHY & MAC	IEEE802.11

表 1 評価実験におけるパラメータ

#### 4.3 実環境への適用における検討要件

##### 車両密度と路側機の必要性

推定手法は三点測量の原理を用いるため、3つ以上のアンカーを必要とする。車両が多く存在する場合はアンカーの増加を意味する。従って、車両が多く、車両による死角が多く発生するような状況ほど、推定の精度が向上することが期待できる。

##### 路側機の設置方法

受信電力は、送受信点間距離が短い場合ほど減少の度合いが大きい。従って、受信電力にある一定値の誤差が付加されたとすると、送受信点間距離が短い場合ほど概算される距離の誤差は小さい。精度を向上させるには、出来るだけ狭い間隔で路側機を設置し、さらに受信する際の電力の閾値を高くしてターゲットのビーコンが到達する距離を小さくすることが望ましい。

#### 5. 計算機シミュレーションによる評価実験

推定手法の推定精度を評価するために、計算機シミュレーションによる評価を行った。

##### 5.1 実験環境・シミュレーション設定

ネットワークシミュレータ *GTNetS*<sup>12)</sup> にアプリケーションとして実装した。受信電力を決定する際には、イメージング法を用いたレイトレースシミュレータ *RapLab*<sup>13)</sup> を使用した。評価実験では、反射回数が3回以内であり、かつ回折回数が1回であるレイを対象とし、アンテナに指向性はないとしている。路側機及び歩行者等の端末は地上からの高さを1m、車両のアンテナ高は1.5mとしている。推定を行う際、位置情報は  $x$  及び  $y$  の2次元で表現し、車両のアンテナ高が他のものより0.5m高くなっている事は無視して推定を行っている。また、車両は金属の直方体 (4.5m×1.5m×1.5m) として表現している。また、ターゲットや車両の移動軌跡は、1秒ごとに通過する点を設定し、各点の間は等速直線運動を行うように設定した。

すべての評価実験において、パラメータは表1のように設定する。

道路形状、及び路側機の設置箇所は、図3に示している。路側機は、設置数が4個の場合は図3におけるA(110, 110)、B(110, 90)、C(130, 110)、D(130, 90)に設置し、対象領域を四角形 ABCD 内部とした。

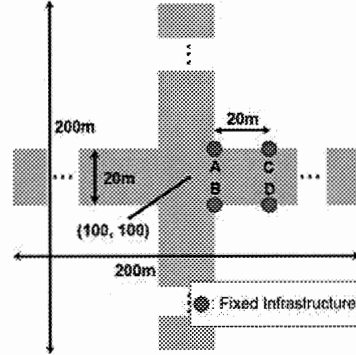


図 3 評価実験で用いた道路形状

次のような流れでシミュレーションを行った。

- (1) *GTNetS* を動作させ、ビーコンの送受信が行われた位置だけをファイルへ出力する。
- (2) (1) で出力したファイルを用いて送信アンテナ及び受信アンテナの位置を *RapLab* へ入力し、受信電力を計算する。計算結果をファイルへ出力する。
- (3) 再度 *GTNetS* を実行し、*RapLab* の出力したファイルに従って受信電力を決定し、推定を行う。

##### 5.2 評価実験 1：周囲の環境の違い

以下の3種類の状況で評価実験を行い、各状況によって推定精度がどのように変化するかを調べた。ターゲットは座標 (170, 92) から (50, 92) へ向かって、4m/s で等速直線運動をするものとしている。

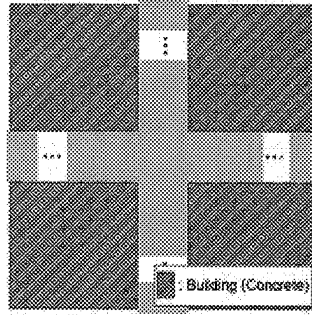
なお、各状況において車両は存在していない。

- 状況 1：建物は存在しない。
- 状況 2：図4 (状況 2) に示している状況である。交差点の周囲はすべてコンクリート製の障害物 (ビルを想定している) で囲まれている。
- 状況 3：図4 (状況 3) に示している状況である。交差点の周囲には、コンクリート製の障害物が4つ存在する。

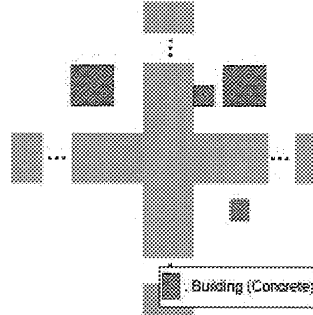
##### 実験結果 1：状況による伝搬特性の違い

まず、各状況で送受信点間距離と受信強度のサンプルを820組測定し、伝搬特性の推定を行った。各状況における伝搬特性の違いを表2及び図5に示す。なお、図5においてワイプ分布を示した各グラフの縦線は、 $z = P/\bar{P}$  のヒストグラム (0.1間隔、相対度数) を表している。

平均受信強度に関するパラメータは、いずれの場合も大きな差が無いと言える。また、送受信点間距離が10m未満の点では受信電力のばらつきが小さい。いずれの状況も見通し内通信であったためと思われる。ま

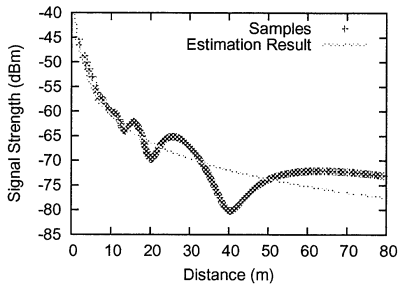


状況 2

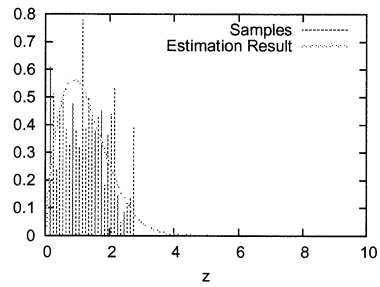


状況 3

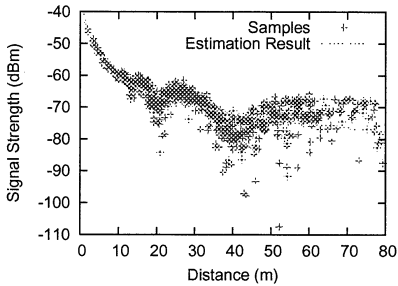
図 4 状況設定



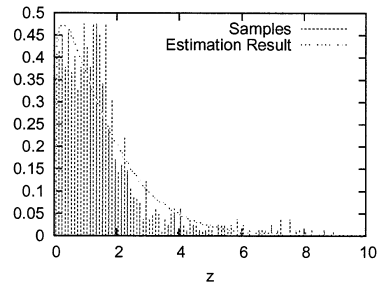
状況 1 の平均受信強度



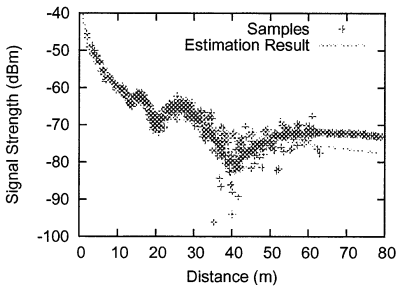
状況 1 のワイブル分布



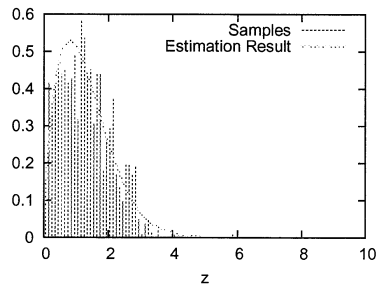
状況 2 の平均受信強度



状況 2 のワイブル分布



状況 3 の平均受信強度



状況 3 のワイブル分布

図 5 各状況における伝搬特性

	状況 1	状況 2	状況 3
$C$	0.00006223	0.00006070	0.00006288
$\alpha$	1.866	1.859	1.868
$m$	1.764	1.146	1.629
$\beta$	0.5422	0.5715	0.5459

表 2 各状況における伝搬特性の違い

た、送受信点間距離が 20m, 40m の付近では受信電力が小さくなっている。これは、地面からの反射波によるフェージングの影響と思われる。それに加え、状況 2 及び状況 3 では受信電力にばらつきが生じている。これは建物による反射波の影響と考えられる。建物による反射波がより多い、状況 2 の方が受信電力のばらつきは大きい。ワイブル分布のパラメータは各状況で異なっており、反射波が非常に多い状況 2 ではワイブル分布のパラメータ  $m$  の値が 1 に近く、レイリーフェージング環境に近い伝搬特性を示している。反射波が多いほど受信電力がばらつき、レイリーフェージング環境に近い状況となることが分かる。

また、距離が大きくなるとばらつきの度合いが非常に大きくなっている。これは、路側機や車両との距離があまりに長くなるように受信感度を設定すると、推定精度が低下することを意味する。本評価実験では受信感度を -68dBm としているため、平均受信強度を見れば約 25m 程度の通信距離である。しかし、反射波の影響によって、20m 以内でも受信電力が -68dBm に達していない点や、30m 以上でも受信感度以上の電力である点が存在している。

#### 実験結果 2：状況による推定精度の違い

各状況における推定結果を図 6 に示している。また、誤差の平均値及び最大値を表 3 に示している。道路幅及びアンカーの設置間隔が 20m であるのに対し、位置推定の誤差が 4m 弱となっている。歩行者や自転車が、どちら側の路側に存在するかを判定可能で精度であり、おおよその位置を把握するには十分な精度であると考えられる。

しかし、各状況において、 $x = 130$  の時点で行われる推定で、進行方向の推定結果が非常に誤差が大きい。これは、 $x > 130$  の際に発せられたビーコンをアンカー A や B が受信した際の受信電力が影響していると考えられる。例えば、 $(x, y) = (134, 92)$  から  $(x, y) = (130, 92)$  にターゲットが移動した場合、アンカー A までの距離は 30m から 26m、アンカー B までの距離は約 24m から 22m と変化する。伝搬特性を見ると、送受信点間距離が 30m 程度の場合、平均受信電力よりも受信電力が大きくなっている。また、送受信点間距離が約 24m から 22m と変化すれば、受信電力が低下する傾向があることが分かる。従って、実

推定誤差平均値			
	位置 (m)	速度 (m/s)	方向 (deg)
状況 1	1.14	0.42	37.5
状況 2	2.29	1.75	37.5
状況 3	1.35	0.5	39.38
推定誤差最大値			
	位置 (m)	速度 (m/s)	方向 (deg)
状況 1	1.7	1	180
状況 2	3.64	2.5	157.5
状況 3	2.47	1	180

表 3 評価実験における誤差の平均値及び最大値

際よりもアンカー A に近い位置に存在し、且つアンカー B から遠ざかったという推定がなされたと考えられる。この現象を防ぐためには、受信感度を -63dBm 程度に設定し、アンカー数を増やすという方法が考えられるが、コストがかかる。

また、建物による反射波の影響が大きい状況ほど、推定誤差が大きくなっている。反射波の影響で受信電力の変動が激しくなるからと考えられる。

評価実験ではビーコンの送信間隔や、過去何秒までのビーコンを推定に用いるかを表す *Duration* の値を固定している。ビーコンの送信間隔を短くすれば推定精度が向上することが考えられるが、ターゲットのバッテリーを考慮すればコストがかかると言え、トレードオフの関係となっている。また、*Duration* の値を小さくすれば、速度や進行方向の変化に対応し易くなるが、推定に用いられるビーコンの数が減少するため、推定精度が低下する恐れがあり、こちらもトレードオフの関係となっていることが考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、歩行者及び自転車と車両との出会い頭事故を削減することを目的とした、移動端末の移動軌跡推定手法を提案した。提案手法では、対象領域における受信電力の変動をワイブル分布を用いてモデル化し、歩行者等が持つ端末が連続的に発信するビーコンを周囲の車両や路側機が受信した際の受信電力を用いた最尤法によって、歩行者等の位置、速度、進行方向の推定を行う。道路幅が 20m である交差点に路側機を 4 つ設置した状況を仮定した評価実験では、位置推定誤差が最大で 4m 程度、平均で 2m 程度、歩行者等のおおよその現在位置や進行方向を把握するには十分な精度であることを確認した。

## 参考文献

- 1) James A. Misener and Raja Sengupta. Cooperative collision warnig: Enabling crash avoidance with wireless technology. In *Proceedings of the 12th*

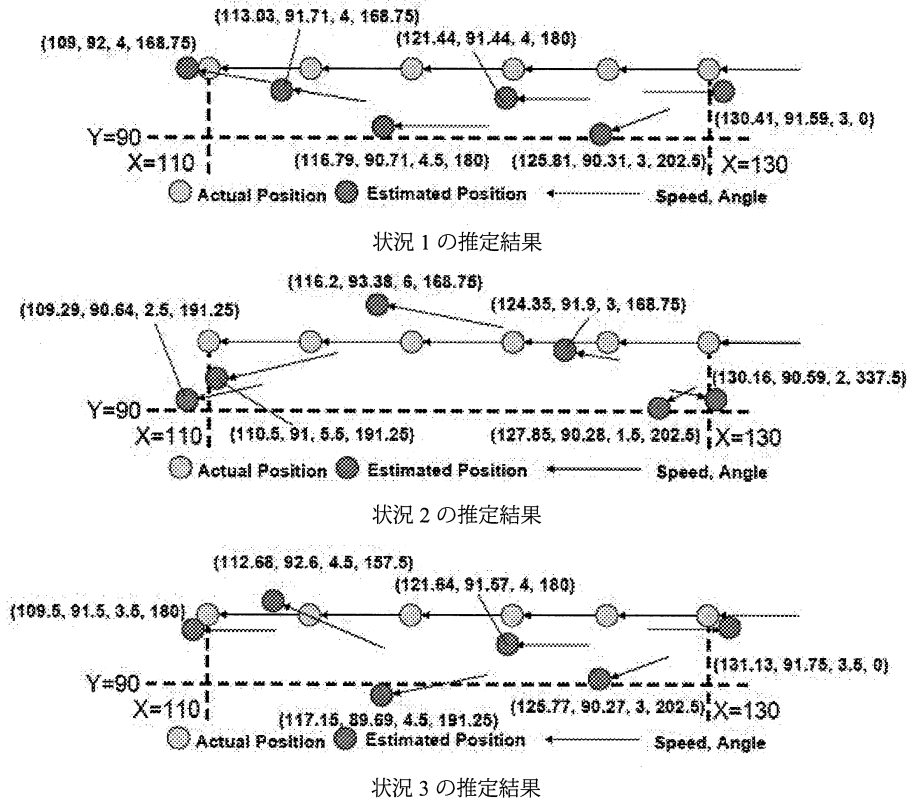


図 6 評価実験における推定結果

- World Congress on ITS*, pages 1 – 11, 2005.
- 2) 日産自動車 NEWS PRESS RELEASE. [http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2005/\\_STORY/051116-01-j.html](http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2005/_STORY/051116-01-j.html).
  - 3) Robin Schubert, Marius Schlingelhof, Heiko Cramer, and Gerd Wanielik. Accurate positioning for vehicular safety applications - the SAFESPOT approach. In *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2007-Spring)*, pages 2506 – 2510, 2007.
  - 4) Goran W. Weibull. A statistical distribution function of wide applicability. *J Appl Mech*, pages 293 – 297, 1951.
  - 5) 小田 英雄, 久保田 創一, 岡本 栄晴. RFID を利用した安全運転支援システムにおける位置・進行方向・速度情報による安全情報伝達方法の検討. 情報処理学会研究報告, 2006(103):31 – 36, 2006.
  - 6) Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In *Proceedings of the International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2000)*, pages 775 – 784, 2000.
  - 7) Dragos Niculescu and Badri Nath. Ad hoc positioning system (APS). *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBE-COM 2001)*, pages 2926 – 2931, 2001.
  - 8) Sungwon Yang, Jiyoung Yi, and Hojung Cha. HCRL: A hop-count-ratio based localization in wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON '07)*, pages 31 – 40, 2007.
  - 9) 交通弱者に対する電子タグによる安全運転支援システム. <http://www.itsforum.gr.jp/Public/J3Schedule/P19/ihara070607.pdf>.
  - 10) 高島 雅弘, 趙大鵬, 柳原 健太郎, 福井 潔, 福永 茂, 原晋介, and 北山 研一. センサネットワークにおける受信電力と最尤法を用いた位置推定. 電子情報通信学会論文誌 B, J89-B(5):742 – 750, 2006.
  - 11) 唐沢 好男. デジタル移動通信の電波伝搬基礎. コロナ社, 2003.
  - 12) GTNetS -Home. <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/MANIACS/GTNetS/>.
  - 13) RapLab 電波伝搬シミュレーション. <http://www4.kke.co.jp/raplab/>.