

# 安全運転支援に向けた車車間通信による協調型車両位置推定

藤田 敦<sup>1</sup> 梅津 高朗<sup>1</sup> 山口 弘純<sup>1</sup> 東野 輝夫<sup>1</sup> 金田 茂<sup>1</sup> 高井 峰生<sup>3</sup>

概要：本稿では、安全運転支援システムなどでの利用を目標とした、複数の車両間で GPS 位置情報や測域センサの情報を車車間通信で共有することで、高精度に車両の位置関係を推定する手法の現実的なシミュレーション環境下での評価結果に関して述べる。提案手法は分散的に実行され、対応システム搭載車と非搭載車が混在する環境において、非搭載車の位置も把握することを目指す。各車両は、情報源となるセンサの種類や情報の新しさなどに依存して正確さが様々な情報を収集し、それらの誤差を考慮し、誤差が最小になるよう位置推定を行う。シミュレーションにより、提案手法を用いることで、GPS の一計測と比較して平均 85%程度、正確さを改善でき、約 70%の周辺車両の座標を 1m 未満の誤差で認識できることが分かった。

## Cooperative Position Estimation Method for Vehicular Safety Support using V2V Communications

ATSUSHI FUJITA<sup>1</sup> TAKAAKI UMEDU<sup>1</sup> HIROZUMI YAMAGUCHI<sup>1</sup> TERUO HIGASHINO<sup>1</sup> SHIGERU KANEDA<sup>1</sup>  
MINEO TAKAI<sup>3</sup>

**Abstract:** In this paper, we propose a vehicular positioning system in which multiple vehicles cooperatively calibrate their positions and recognize surrounding vehicles with their GPS receivers and ranging sensors. The proposed system operates in a distributed manner and works even if all vehicles nearby do not or cannot participate in the system. Each vehicle acquires various pieces of positioning information with different degrees of accuracies depending on the sources and recency of information, and compiles them based on likelihood derived from estimated accuracies to minimize estimation errors. A simulation based performance evaluation given in the paper shows that the proposed system improves the estimation accuracy by 85% average with respect to the standalone GPS receiver, and recognizes about 70% surrounding vehicles with an error of 1m.

### 1. はじめに

センサー技術や車載端末の高度化に従い、自動車には様々な安全運転支援技術が搭載されてきている。しかし、それでもまだ多くの事故が発生しており、それらをより効率的に回避するためにも、より高度な安全支援運転システムの

登場が望まれている。特に、車車間通信や路車間通信を用いた協調型のシステムには、車両単体で実装可能なシステムでは為し得なかった多くの可能性があることから、技術によるより安全な道路交通環境の実現支援のために必要であると期待されている。現在、アメリカの IntelliDrive、欧州の Car 2 Car Communication Consortium、日本の ASV-4 など世界各国の研究機関やプロジェクトで安全走行支援アプリケーションが研究されている。安全走行支援アプリケーションの多くは GPS によって取得した自車両の現在位置を無線通信によって 100 ミリ秒毎に送信することを想定しているが、これらのアプリケーションには、一般に高

<sup>1</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

<sup>2</sup> 株式会社スペースタイムエンジニアリング  
Space-Time Engineering Japan, Inc.

<sup>3</sup> Computer Science Department, University of California, Los Angeles

精度な位置情報が求められている [1]。例えば、衝突警告アプリケーションでは、各車両が GPS やセンサによって測定した現在位置やブレーキの状態などの情報を車車間通信によって共有し、周辺の車両との衝突の可能性を検知した場合に運転手に警告する。時速 100km/h で走行する車両を想定した場合、100 ミリ秒で移動する距離は約 3m であることから、前後の車両との衝突の可能性を適切に判定するためには少なくとも誤差は 3m 以下に抑制される必要がある。また、車載器の普及に至る過程において、多くの車載器非搭載車両が存在するため、運転手の死角に存在する車載器非搭載車両の位置や挙動を把握するためには、他車両の測域センサの観測結果を用いる必要がある。このとき、異なる車両の測域センサの観測結果から周辺車両との位置関係を正確に認識するためには、各車両の絶対位置誤差をなるべく小さくすることが望ましい。しかし、都市環境において GPS によって取得した位置の誤差は、数十 m 以上になる可能性がある。このため、GPS の誤差を補正する技術が求められており、車載器非搭載車両が多数存在する環境においても効果的であることが望まれる。

我々は、安全走行支援アプリケーションで用いることを想定した、自車両や周辺車両の位置を提供する協調分散位置推定手法を提案した [2], [3]。提案手法では、GPS 受信機とレーザレンジスキャナなどの測域センサならびに DSRC/WAVE 通信車載器を保持する車両の存在を想定し、GPS や測域センサの測定結果それぞれから予測した現在の位置を平均化することにより、自車両および周辺車両の現在の位置を推定する。一般に、推定に用いる測定結果が多いほど、推定位置の精度が高いと考えられるため、提案手法では測定結果を車車間通信により周辺車両と共有し、異なる時間に異なる車両が取得した測定結果を用いることで高精度な推定を実現する。ただし、時間経過に伴う予測位置の誤差悪化を考慮し、平均化では予測位置の精度を重みとして与える。本稿では提案手法のより現実的な道路構造でのシミュレーション結果に関して述べる。シミュレーションによる評価で、提案手法を用いることで、GPS の一計測と比較して平均 85%程度、正確さを改善でき、約 70%の周辺車両の座標を 1m 未満の誤差で認識できることが分かった。

## 2. 関連研究

### 2.1 車両測位技術

近年、多くの車両がカーナビゲーションなどの ITS アプリケーションを利用するために、GPS 受信機を保持している。しかし、GPS は屋内や地下街、多くの建物が混在する都市部では誤差が大きい [4]。これまでに、D-GPS (Differential GPS)、ジャイロスコープ、加速度センサなどのハードウェアから得られた情報や、地図情報やカメラから得られた画像情報などを統合することにより、自車両の

位置精度を向上する手法が研究されている [5], [6], [7]。これらの手法は車載器非搭載車両の存在を考慮していないため、車載器非搭載車両が多数混在する環境において、周辺車両との位置関係の把握に適用することは困難である。また、車車間通信や車両搭載センサを用いて各車両の走行車線を推定する手法 [11], [12] や車車間通信によって共有された GPS や受信電波強度などの情報を用いて、ある車両の位置を原点とした相対位置を推定する手法 [8], [9] も提案されている。これらの手法は車両の絶対位置精度の向上を目的としていない点において、提案手法と異なる。また、これらの手法も車載器非搭載の車両の存在が考慮されていない。一方で、測域センサを用いた周辺状況の認識率向上のための手法 [13], [14] が研究されている。これらの手法は、自車両の周辺に存在する車載器非搭載車両の位置の把握に利用できるが、情報認識や位置情報の精度向上のために車両間で情報を共有することを考慮していない。センサネットワーク分野では固定のセンサノードを用いて移動体の位置を追跡する手法 [15] が提案されているが、提案手法の想定環境と大きく異なるため、単純に適用することは難しい。

### 2.2 DSRC/WAVE 通信規格

提案手法では通信プロトコルとして、Dedicated Short Range Communications / Wireless Access for Vehicular Environments (DSRC/WAVE) [16] を想定する。DSRC/WAVE は物理層プロトコルである IEEE 802.11p (DSRC) と、ネットワーク層プロトコルである IEEE 1609.x (WAVE) から構成される。IEEE 802.11p は車車間通信や路車間通信の標準的なプロトコルである。欧米では、5.9GHz 帯を仮定しており、無線伝播距離は約 300m 以上である (最大伝播距離は 1000m である)。IEEE 1609.x は DSRC 通信のためのアーキテクチャやセキュリティ、物理層アクセスなどを定義している。また、DSRC/WAVE では ITS アプリケーションで用いられるメッセージセットとして SAE J2735 を想定する。SAE J2735 ではパート 1 に現在位置、速度や車両サイズなどの車両の基本的な情報を、パート 2 に車両のイベントに関する情報を、パート 3 にアプリケーションによって定義された情報を含める。

## 3. 提案手法の概要

### 3.1 想定環境

本稿では、一部の車両が DSRC/WAVE 通信機器を保持する環境を想定する。以降、DSRC/WAVE 通信機器を保持する車両を装備車両、保持しない車両を非装備車両と呼ぶ。装備車両は IEEE802.11p により 48 ビットの固有の MAC アドレスを保持する。また、装備車両  $i$  の無線範囲内に存在する車両を車両  $i$  の近接車両と呼ぶ。1 章で述べたように、多くの安全走行支援アプリケーションでは各装備車両が 100 ミリ秒毎に現在位置をブロードキャスト送信

する環境を想定していることから、提案手法では100ミリ秒を単位とするタイムスロットを基準として動作するものとする。

以下、各装備車両の動作について述べる。装備車両は  $T_g$  タイムスロット毎にGPSにより自車両の現在位置を測定する。GPSによって測定された位置をGPS位置と呼ぶ。また、 $T_z$  タイムスロット毎にジャイロスコープなどにより自車両の速度を測定し、レーザーレンジスキャナなどの測域センサにより他車両への相対角度や距離を測定する。装備車両  $i$  が測域センサによって観測した車両を車両  $i$  の観測車両と呼ぶ。装備車両は、観測車両の相対角度や距離から相対位置を計算し、前回観測した相対位置から観測車両の速度を計算する。GPS位置、相対位置および速度の誤差は平均0の正規分布に従うものとし、分散をそれぞれ  $\sigma_g^2$ ,  $\sigma_r^2$  および  $\sigma_v^2$  で表す。ここで、 $\sigma_g^2$  は  $\sigma_r^2$  および  $\sigma_v^2$  よりも大きいものとする。これは、GPSの位置誤差はマルチパスや信号の遮断によって非常に大きい誤差が生じるが、測域センサやジャイロスコープはそれらの影響をほとんど受けなためである。また、一般的な製品の特性に基づき  $T_g$  および  $T_z$  のデフォルト値をそれぞれ10タイムスロット、1タイムスロットとする（ただし、提案手法は特有の値からは独立である）。装備車両は  $T_s$  タイムスロット毎に自車両が観測した情報や推定した情報をBasic Safetyメッセージとして近接車両に対しブロードキャスト送信する。 $T_s$  のデフォルト値は1タイムスロットとする。

### 3.2 協調型位置推定手法

装備車両は自車両および近接車両の位置を保持するものとし、タイムスロット毎に更新する。提案手法の目標は、装備車両が非装備車両を含めた車両の位置をなるべく正確に把握することである。より高精度な車両位置推定を達成するために、提案手法は以下のアプローチに基づき位置を推定する。

- ある装備車両  $i$  が測域センサにより車両  $j$  を観測した場合、車両  $i$  の位置と車両  $j$  の相対位置から、車両  $j$  の位置を生成できる。提案手法では、観測した車両  $i$  の位置と観測車両  $j$  の相対位置の組み合わせから生成された位置を位置候補と呼び、位置候補の平均により新しい位置を計算する。一般に、利用する位置候補数が多いほど高精度な位置推定を実現できると考えられるため、提案手法では、自車両が観測したGPS位置や相対位置に加えて、近接車両が過去および現在観測したGPS位置や相対位置から生成された位置候補を用いる。ただし、時間経過に伴う劣化により、過去の観測結果から生成された位置候補は大きな誤差を含む可能性が高い。このため、位置候補毎に経過時間によって定義される推定誤差を計算し、推定誤差に基づく重み付け平均によって位置を計算する。

- 測域センサは観測した車両の相対位置のみを与えるの

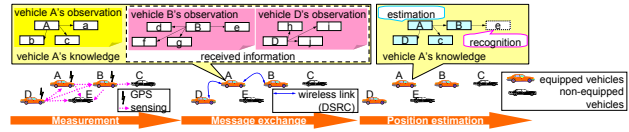


図1 提案手法の概要。

Fig. 1 Overview of the proposed method.

で、与えられた相対位置がどの車両を表すかを判定する必要がある。そこで装備車両間で観測車両群の相対位置を比較し、観測車両間の一致度を判定する。

- ある車両の位置は各装備車両によってそれぞれ計算されるため、装備車両は近接車両群の異なる精度を持った異なる推定結果を保持する。そこで、各推定結果の尤度を計算し、推定結果に加えてそれらの尤度をBasic Safetyメッセージによって近接車両に送信することで、推定結果の中で最も高精度に推定された結果を車両間で共有する。

図1に装備車両Aが自身および近接車両の位置を更新する際の提案手法の動作例を示す。車両Aは自車両のGPS位置、装備車両B、Dおよび非装備車両Eの相対位置を測定できる（装備車両BおよびDも同様である）。車両Aは車両A、B、DおよびEの位置を推定するために、以下のような情報を用いる。(1) 車両AのGPS位置および車両BやDからの車両Aの相対位置、(2) 車両BのGPS位置および車両AやDからの車両Bの相対位置、(3) 車両DのGPS位置および車両AやBからの車両Dの相対位置および(4) 車両A、BやDからの車両Eの相対位置である。なお、車両Cは車両Bによって観測された後に、車両Bからのメッセージにより車両AやDによって認識される。

## 4. 提案手法の詳細

提案手法における位置推定は(1) 観測情報の取得、(2) 観測情報を用いた推定情報の更新および(3) メッセージ交換の3つのステップから構成される。

### 4.1 観測情報の取得

3.1章で述べたように、各装備車両  $i$  は自車両のGPS位置と速度および観測車両の相対位置と速度を定期的に測定し、 $T_g$  タイムスロット毎に観測情報をBasic Safetyメッセージとして送信することにより近接車両と情報を共有する。以降、 $O_i(a)$ を車両  $i$  が取得した観測車両  $a$  の観測情報とする。 $O_i(a)$ は観測車両  $a$  のGPS位置 ( $a = i$  のときのみ存在)、観測車両  $a$  の相対位置 ( $a = i$  のとき、相対位置は0とする)、観測車両  $a$  の速度から構成される。 $O_i(a)$ はタイムスロット毎に生成され、生成時刻により区別できるものとする。



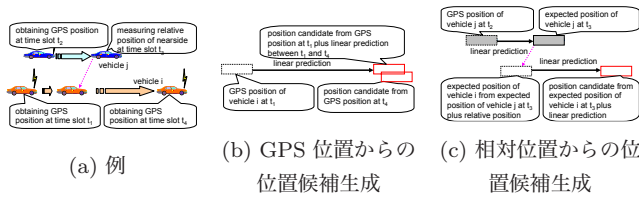


図 2 位置候補の生成

Fig. 2 Generation of position candidates.

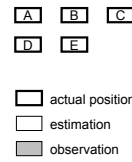
#### 4.2 観測情報を用いた推定情報の更新

各装備車両  $i$  は自身および近接車両の推定位置および推定位置の尤度から構成される推定情報を保持する。以降、 $E(a)$  を車両 ID “ $a$ ” の推定情報とする。なお、非装備車両に対しては各装備車両が一時的な ID を与えるものとする。 $E(a)$  は車両  $a$  の推定位置  $\mathbf{p}$ 、車両  $a$  の推定位置の尤度  $l$ 、車両  $a$  の速度  $\mathbf{v}$ 、そして車両  $i$  の位置を基準とする車両  $a$  の相対位置  $\mathbf{r}$  の組で  $(\mathbf{p}, l, \mathbf{v}, \mathbf{r})$  と表される。ここで尤度  $l$  は、推定位置  $\mathbf{p}$  の標準偏差の逆数とした。 $\mathbf{r}$  は後述する観測情報と推定情報のマッチングに利用する。

各推定情報  $E(a)$  は車両  $a$  を表す観測情報を用いてタイムスロット毎に更新される。測域センサによって得られた観測情報からは車両の ID が分からないため、提案手法では、各観測情報がどの推定情報とマッチングするかを判定する。マッチング方法の詳細は 4.4 節で述べる。車両  $i$  が現在のタイムスロットにおいて GPS 位置を観測しなかった場合、車両  $a$  の推定位置  $\mathbf{p}$  は前回の推定位置  $\mathbf{p}'$  から線形予測により更新される。この場合、車両  $a$  の推定位置の尤度  $l$  は前回の尤度  $l'$  を用いて、 $l = 1/\sqrt{1/l'^2 + \sigma_v^2}$  として更新する。

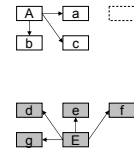
車両  $i$  が現在のタイムスロットにおいて GPS 位置を観測した場合、車両  $a$  の推定位置  $\mathbf{p}$  を更新するために、はじめに推定情報  $E(a)$  と一致する観測情報に含まれる GPS 位置および相対位置から位置候補  $\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_n$  を生成し、各位置候補  $\mathbf{q}_l$  に対し推定誤差  $\tilde{q}_l$  を計算する。現在のタイムスロット  $t$  に対し、 $k$  タイムスロット前に測定された車両  $a$  の GPS 位置からは、 $[t-k, t]$  間に観測された車両  $a$  の速度を用いて線形予測することにより、位置候補が生成される。この場合、 $k$  タイムスロット間で蓄積された速度誤差と GPS 位置誤差を考慮し、位置候補の推定誤差を  $l_x = 1/\sqrt{\sigma_g^2 + k\sigma_v^2}$  と定義する。一方、現在のタイムスロット  $t$  に対し、 $k'$  タイムスロット前に車両  $j$  によって観測された車両  $a$  の相対位置からは、 $k$  タイムスロット前 ( $k > k'$ ) に観測された車両  $j$  の GPS 位置、 $[t-k, t-k']$  間に観測された車両  $j$  の速度および  $[t-k', t]$  間に観測された車両  $a$  の速度を用いて線形予測することにより、位置候補が生成される。よって、 $k$  タイムスロット間で蓄積された速度誤差と GPS 位置誤差および相対位置誤差を考慮し、その尤度を  $l_x = 1/\sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_r^2 + k\sigma_v^2}$  として定義する。

図 2 に、位置候補の生成例を示す。図 2(a) に示す例の場



(a) 例

図 3 観測情報と推定情報のマッチング



(b) 車両 A の推定情報と車両 E の観測情報

Fig. 3 Matching of observation and estimation.

合、GPS 位置から生成されたタイムスロット  $t_4$  における車両  $i$  の位置候補は図 2(b) のように  $t_4$  に観測された GPS 位置から直接生成された候補と  $t_1$  に観測された GPS 位置を  $t_1$  から  $t_4$  までの車両  $i$  の速度を用いて線形予測された候補の 2 つである。また、相対位置から生成された位置候補は図 2(c) のように  $t_3$  に観測された相対位置から  $t_2$  の車両  $j$  の GPS 位置、 $t_2$  から  $t_3$  までの車両  $j$  の速度および  $t_3$  から  $t_4$  までの車両  $i$  の速度を用いて線形予測された候補である。

次に、車両  $i$  の新しい推定位置  $\mathbf{p}$  を式 (1) で定義されるような推定誤差を重みとする位置候補  $\mathbf{q}_l$  ( $l = 1 \dots n$ ) の加重平均で計算する。また、推定位置の尤度  $l$  を式 (2) のように計算する。

$$\mathbf{p} = \frac{\sum_{l=1}^n \mathbf{q}_l \tilde{q}_l}{\sum_{l=1}^n \tilde{q}_l} \quad (1)$$

$$l = \frac{1}{\sqrt{n / (\sum_{l=1}^n \tilde{q}_l)^2}} \quad (2)$$

#### 4.3 メッセージ交換

装備車両  $i$  は  $T_s$  タイムスロット毎に Basic Safety メッセージを送信する。装備車両  $i$  は自車両および観測車両の推定情報をメッセージに含める。以降、メッセージ内の車両  $a$  に関する情報を  $S(a)$  で表す。 $S(a)$  は推定情報  $E(a)$  および、車両  $a$  と一致する観測情報  $O_i(b)$  (ID “ $b$ ” は車両  $i$  によって付与された車両  $a$  の ID を表す) の組、 $S(a) = (E(a), O_i(b))$  によって定義される。車両  $i$  が車両  $j$  から Basic Safety メッセージを受信した際には、 $S(c) = (E(c), O_j(d))$  から観測情報  $O_j(d)$  を取り出し保持する。また、観測情報  $O_j(d)$  と一致する推定情報  $E(a)$  を検索し、推定情報  $E(c)$  の推定位置の尤度の方が  $E(a)$  の推定位置の尤度よりも大きい場合は、推定情報  $E(c)$  を推定情報  $E(a)$  に代入する。

#### 4.4 マッチング関数

測域センサからは観測車両の ID ではなく相対位置のみが得られるため、相対位置を用いて近接車両の位置を更新するためには、観測車両の ID を把握する必要がある。また、より多くの観測情報を推定に利用するためには、装備車両  $i$  が推定情報  $E(a)$  を更新する際に、近接車両  $j$  が車両  $a$  とは異なる ID で認識している車両  $a$  の観測情報  $O_j(b)$  (ID “ $b$ ” は車両  $j$  によって付与された車両  $a$  の ID を表す)

を用いる必要がある。提案手法では、推定情報  $E(a)$  と観測情報  $O_j(b)$  が同一車両を表すかどうかを判定するために、マッチング関数  $Matching$  を用いる。推定情報  $E(a)$  を更新する際には、装備車両  $j$  毎に以下の式を満たす観測情報  $O_j(b)$  を利用する。

$$b = \arg_{x} \max Matching(E(a), O_j(x)) \quad (3)$$

マッチング関数は、車両  $i$  が観測情報  $O_j(b)$  を得たとき、 $O_j(b)$  と車両  $i$  が保持する推定情報を比較することにより以下のように更新される。

- 車両  $i$  自身の観測情報  $O_i(b)$  を用いる場合、 $O_i(b)$  と車両  $i$  からの相対位置が一致する推定情報  $E(a)$  を探索する。一致する推定情報が存在しない場合、車両  $i$  は新しく推定情報  $E(c)$  を生成し、 $Matching(E(c), O_i(b))$  が常に最大値を返すようにマッチング関数を更新する。

- 車両  $j$  からのメッセージにより取得した観測情報  $O_j(b)$  を用いる場合、 $O_j(b)$  と車両  $i$  からの相対位置が一致する推定情報  $E(a)$  を探索する。 $E(a)$  が存在する場合には、車両  $i$  の推定情報とメッセージに含まれる車両  $j$  の観測情報間の車両  $i$  からの相対位置における一致数を  $Matching(E(a), O_j(b))$  に加算する。図 3(a) の場合、観測情報  $O_E(E)$  が車両  $A$  の推定情報  $E(c)$  と相対位置が一致し、 $O_E(d)$  と  $E(A)$ 、 $O_E(e)$  と  $E(a)$  および  $O_E(g)$  と  $E(b)$  が一致するため、 $Matching(E(c), O_E(E))$  に 3 加算する。同様に観測情報  $O_E(E)$  が推定情報  $E(a)$  に一致し、 $O_E(g)$  と  $E(A)$  が一致するため、 $Matching(E(c), O_E(E))$  に 1 加算する。一致する推定情報が存在しない場合、新しく推定情報  $E(c)$  を生成し、 $M(E(c), O_j(b))$  が最大値を返すようにマッチング関数を更新する。

また、観測情報と推定情報のマッチングの結果を車両間で共有するために、車両  $i$  は推定情報  $E(a)$  が装備車両  $m$  と一致することを判定した場合、Basic Safety メッセージにより近接車両に知らせる。また、車両  $i$  は  $O_j(b)$  が装備車両  $m$  と一致することを把握した場合、 $O_j(b)$  と一致する推定情報  $E(a)$  に対し、 $Matching(E(a), O_m(m))$  が最大値を返すようにマッチング関数を更新する。

## 5. 性能評価

### 5.1 シミュレーション設定

シミュレーションマップとして、図 4 に示すような車幅 5m、長さ 1km の片側 2 車線、合計 4 車線の道路が交わる交差点のマップを用意した。図の左右方向の道路を主要道路 (major road)、上下方向の道路を一般道路 (minor road) と設定し、VISSIM[17] を用いて車両の挙動データを生成した。平均速度は 60km/h とし、主要道路、一般道路の車両台数をそれぞれ、1,800 台/時間、1,200 台/時間とした。タイムスロットの長さを 100 ミリ秒、GPS 位置誤差の標準偏差  $\sigma_g$  を 5m、測域センサで測定した相対位置の誤差の標

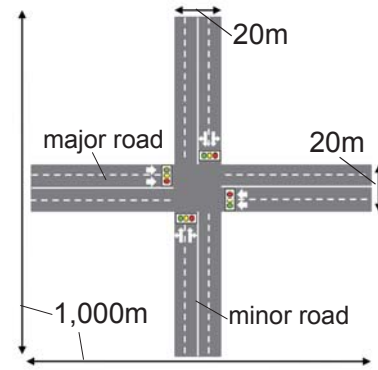


図 4 シミュレーションマップ  
Fig. 4 Simulation map.

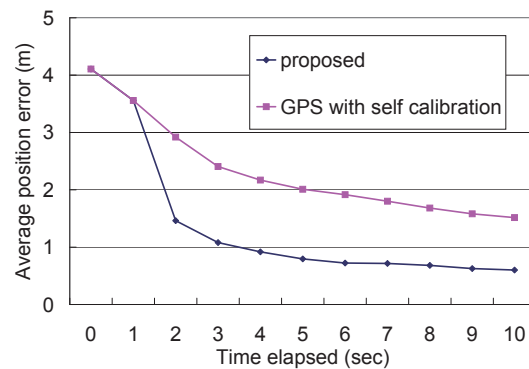


図 5 装備車両の平均誤差  
Fig. 5 Average position errors of equipped vehicles.

準偏差  $\sigma_r$  を 0.25m、速度誤差の標準偏差  $\sigma_v$  を 0.08m/ms とした。センサモデルは最大センシング距離を 100m の見通しモデルとし、GPS の測位間隔  $T_g$  を 10 タイムスロット、センサの測定間隔  $T_s$  およびメッセージ送信間隔  $T_m$  を 1 タイムスロットとした。無線伝播モデルとして 2 波モデルを想定し、送信電力を 23dBm とした。また通信プロトコルはデータ転送レート 6Mbps の DSRC/WAVE とする。シミュレーションにおける性能をネットワークシミュレーター Scenargie [18] を用いて評価した。

### 5.2 評価結果

#### 5.2.1 特性評価

はじめに、提案手法により GPS 位置からどの程度精度を向上できるかを評価した。一般にナビゲーションなどのアプリケーションは過去に測定した GPS 位置や地図情報などを用いて補正した GPS 位置を利用する。そこで、本節では過去の自身の観測情報に基づき GPS 位置を補正する手法と提案手法での性能を比較する。装備車両の割合は 100% とする。

まず、提案手法および比較手法における各装備車両が保

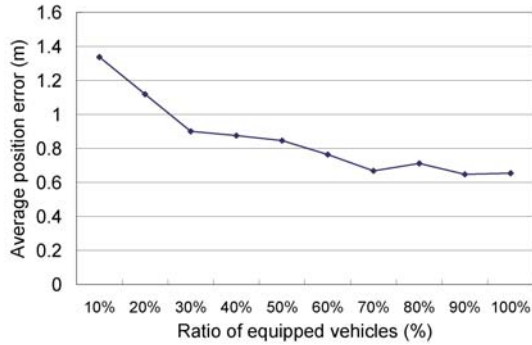


図 6 装備率が平均位置推定誤差に与える影響

Fig. 6 Impact of the ratio of equipped vehicles for average position errors.

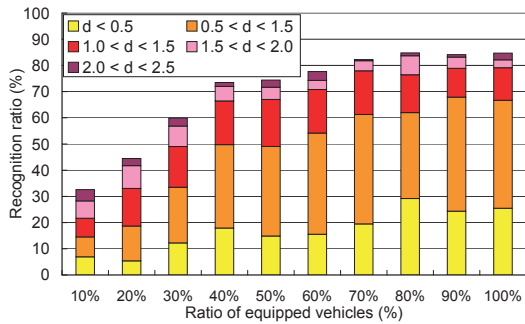


図 7 装備率が認識率に与える影響

Fig. 7 Impact of the ratio of equipped vehicles for recognition ratio.

持する自車両の推定位置の平均誤差を評価した。位置誤差は実際の位置とのユークリッド距離で定義する。図5に示す評価結果より、全車両が一斉に提案手法による位置推定を開始してから10秒後には平均誤差が0.50m以下となっており、GPS位置に対して90%、比較手法に対して70%の位置誤差を軽減できた。

### 5.2.2 装備車両の割合

次に、装備車両の割合が精度に与える影響を評価した。図6に、装備車両の割合を10%から100%とした場合の10秒経過後の平均位置誤差を示す。結果より、装備車両の割合が低いほど位置候補数が減少するため誤差が悪化する傾向となった。しかし装備車両の割合が低い場合でも、異なる時間の異なる車両によって測定された観測情報を用いることにより、推定位置の誤差は図5に示したGPS位置誤差、約1.5mを大きく削減できている。

また、装備車両の割合が推定率  $R(d)$  に与える影響も評価した。ここで、推定率とは、ある距離  $d$  が与えられたときに、誤差  $d$  m 未満の範囲で他の車両に対して一意に定まった車両の割合を指す。図7に、装備車両の割合を10%から100%とした場合のシミュレーション開始後10秒経過後の  $R(d)$  の値を示す。グラフより、高い装備率ほど高精度に推定できていることが分かる。十分に高い装備率の場合、近隣車両の70%ほどを1m未満の誤差で認識できている。

装備率が50%程度の場合でも、40%程度の車両は1m未満の誤差で認識できている。しかし、装備率を100%としても  $R(2.5)$  は100%に達していないが、これは、シミュレーションエリアの端からシミュレーションエリア内に入ってきた車両はまだ十分な情報を得られておらず、そのため、推定精度が悪くなっていることも原因と考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、一部の車両がGPS受信機と測域センサおよびDSRC/WAVE通信車載器を保持している環境において、ITSアプリケーションにリアルタイムで位置を提供する協調型車両位置推定手法を、現実的な道路環境を再現したシミュレーションにより評価した。性能評価より、提案手法がGPSの位置誤差を平均90%削減できることが分かった。今後は、LEDを用いた可視光通信など、他の様々なセンサを用いた場合にどのような効果が得られるかに関して検討を進めたい。また、実際の地図情報や実際に測定したGPSや測域センサの誤差を用いて、提案手法の実環境における性能を評価する予定である。

## 参考文献

- [1] Vehicle Safety Communications Project: Final Report, Technical Report DOT HS 810 591, NHTSA, USDOT (2006).
- [2] 藤井彩恵, 山口弘純, 東野輝夫, 金田茂, 高井峰生: 車車間通信を用いた協調型車両位置推定手法, 情報処理学会 研究報告 第43回高度交通システム (ITS), 2010-11-04, pp. 1-8 (2010).
- [3] Fujii, S., Fujita, A., Umedu, T., Yamaguchi, H., Higashino, T., Kaneda, S. and Takai, M.: Cooperative Vehicle Positioning via V2V Communications and Onboard Sensors, *Proc. of the 4th International Symposium on Wireless Vehicular Communications (WiVeC2011)*, CD-ROM (2011).
- [4] Matosevic, M., Salcic, Z. and Berber, S.: A Comparison of Accuracy Using a GPS and a Low-Cost DGPS, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 55, No. 5, pp. 1677-1683 (2006).
- [5] Krakiwsky, E. J., Harris, C. B. and Wong, R. V. C.: A Kalman filter for integrating dead reckoning, map matching and GPS positioning, *Proc. IEEE PLANS 1988*, pp. 39-46 (1988).
- [6] Chausse, F., Laneurit, J. and Chapuis, R.: Vehicle localization on a digital map using particles filtering, *Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2005*, pp. 243-248 (2005).
- [7] Rezaei, S. and Sengupta, R.: Kalman Filter-Based Integration of DGPS and Vehicle Sensors for Localization, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 1080-1088 (2007).
- [8] Kukshya, V., Krishnan, H. and Kellum, C.: Design of a system solution for relative positioning of vehicles using vehicle-to-vehicle radio communications during GPS outages, *Proc. IEEE VTC-2005-Fall*, pp. 1313-1317 (2005).
- [9] Schubert, R., Schlingelhof, M., Cramer, H. and Wanielik, G.: Accurate Positioning for Vehicular Safety Applications - The SAFESPOT Approach, *Proc. IEEE VTC*

- 2007-Spring., pp. 2506–2510 (2007).
- [10] Wang, Z. and Zekavat, S. A.: A Novel Semidistributed Localization Via Multinode TOA-DOA Fusion, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 7, pp. 3426–3435 (2009).
  - [11] Dao, T.-S., Leung, K. Y. K., Clark, C. M. and Huissoon, J. P.: Markov-Based Lane Positioning Using Inter-vehicle Communication, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 4, pp. 641–650 (2007).
  - [12] Du, J. and Barth, M. J.: Next-Generation Automated Vehicle Location Systems: Positioning at the Lane Level, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 48–57 (2008).
  - [13] Folster, F. and Rohling, H.: Data association and tracking for automotive radar networks, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 370–377 (2005).
  - [14] Rockl, M., Strang, T. and Kranz, M.: V2V Communications in Automotive Multi-Sensor Multi-Target Tracking, *Proc. IEEE VTC 2008-Fall*, pp. 1–5 (2008).
  - [15] Orton, M. and Fitzgerald, W.: A Bayesian approach to tracking multiple targets using sensor arrays and particle filters, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 50, No. 2, pp. 216–223 (2002).
  - [16] Jiang, D. and Delgrossi, L.: IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments, *Proc. IEEE VTC 2008-Spring*, pp. 2036–2040 (2008).
  - [17] PTV-Vision: VISSIM [Online]. Available: <http://www.ptv-vision.com/en-uk/> .
  - [18] Space-Time Engineering: Scenargie, [Online]. Available: <http://www.spacetime-eng.com/en/products.html>.