

LEDによる通信・測距デバイスを用いた 協調型車両位置推定手法の提案

大坪 泰秀¹ 梅津 高朗^{2,a)} 東野 輝夫¹

概要: 従来よりも高速な通信と高精度な車両位置測定が可能な, LED 通信デバイスが提案されている. しかし, 可視光を利用しているという性質上, 直接見えない対象に関しては通信や位置測定ができないという欠点がある. そこで本研究では, LED 通信を応用した高精度な協調型車両位置推定手法を提案する. 性能評価から, 想定した各状況において, シミュレーション上で位置誤差が数 cm から数十 cm 程度となる高精度な車両位置推定が行えたこと, そして, 直接目視できない周辺車両を高精度で認識できていることを確認した.

キーワード: LED 通信, 車車間通信, 位置推定

Cooperative Vehicular Position Estimation Method Using LED Communication and Distance Measurement Devices

YASUhide OTSUBO¹ TAKAaki UMEDU^{2,a)} TERUO HIGASHINO¹

Abstract: In this research, we propose a cooperative position estimation method using LED communication devices to estimate vehicle positions with high accuracy. In the method, we assume that signals which can transmit own position information are deployed and the vehicles equip headlights and taillights that have a function of LED communication transmitter, and hold image sensors for reception of LED communication. The results of estimation will be propagated to the surrounding vehicles and they estimate their positions by using the information.

Keywords: LED Based Communication, Inter-vehicle Communication, Position Estimation

1. まえがき

安全かつ安心な道路環境の実現に向けて, 高度交通システム (ITS) の分野では, 様々な取り組みが成されている. 例えば, 安全走行を支援するアプリケーションが世界各地で研究および開発されており, バックセンサーやカメラを利用した衝突防止アプリケーション等が提案・実用化されてきている. これらは基本的にデバイスで相対位置を測定

し, 衝突が起こる直前に警告するというものである. また, GPS を使った位置推定による安全運転支援アプリも存在するが, 位置誤差が大きいため大まかな速度監視などへの利用に留まっている. 既存の手法よりも精度の高い位置推定ができれば, 衝突直前でなくても, 事前に危険性の高い走行を識別し, より精度の高い衝突防止が可能になると考えられる.

そのため, 高精度な車両位置の推定を目指して, GPS で取得した位置情報と, 測域センサ等による測定情報や画像情報を利用して車両位置推定の精度を向上するための手法が研究されている [1], [2], [3]. また, 過去に本研究グループでも, GPS 受信機, ミリ波レーダなどの測域センサ, 車車間通信を活用して, 協調型車両位置推定を行う手法を提案

¹ 大阪大学
Osaka University

² 滋賀大学
Shiga University 1-1-1 Banba, Hikone, Shiga 522-8522,
Japan

a) ta-umedu@biwako.shiga-u.ac.jp

し、シミュレーション及びその評価を行っている [4], [5]. その手法では、GPS の位置誤差を約 90 % 削減したが、位置推定精度は 1m 前後に留まっている。

一方で、車載機器のサービス向上などを目的として、発光ダイオード (LED) による送信装置と、特殊なイメージセンサによる受信器を組み合わせることで、高速なデータ通信と、受信車から見た送信元の相対位置の測定が同時に可能な、新たな通信デバイス (LED 通信デバイス) が提案されている [6], [7], [8].

本研究では、発光ダイオード (LED) による通信と測距が可能なデバイスの利用を想定した協調型の車両位置推定手法を提案する。提案手法では、それぞれの車両が、信号機や周辺車両に取り付けられた LED 光源を利用し、対象までの距離を求め、自車両及び周辺車両の位置推定を行う。それぞれの車両が推定結果を通信し合うことで、不可視の位置に居る車の座標情報も得られる。また、一般に、推定に用いる情報が多いほど推定位置の精度が高くなると考えられるため、高精度な推定が実現出来ると思われる。

この提案手法について、位置推定の精度や周辺車両の認識率をシミュレーション実験により評価した。性能評価は、様々な交通環境、状況を考え、状況別に評価を行っている。具体的には、信号機から信号機までの間隔、車両の加減速の有無、道路上を走行する車両の密度、LED 通信機器及びイメージセンサの装備率、等のパラメータを変化させ、その変化が推定精度や認識率にどのように影響するかを評価した。なお、シミュレーションにおいては、交通シミュレータ VISSIM で車両のモビリティを作成し、その車両のモビリティとあらかじめ作成した信号機の座標情報を、本手法を実装したプログラムに入力することでを行っている。この性能評価から、想定した各状況において、シミュレーション上で位置誤差が数 cm から数十 cm 程度となる高精度な位置推定が行えたこと、そして、直接目視できない周辺車両を含め、高精度で周辺車両を認識できていることを確認した。

2. 関連研究

2.1 安全運転支援

文献 [9] では、フロントガラスに装備したカメラ映像を利用して自車両の進行状態を監視し、レーンからの逸脱を未然に回避するためにハンドル操作角度を自動調整する手法を提案している。これらは自車両のみに依存する情報を対象として運転支援を行っているが、他車両の監視により衝突を回避する研究も存在する。文献 [10] では、カメラ、LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging)、RADAR (Radio Detecting And Ranging) を利用し、周辺車両の相対速度と距離を取得することで衝突の危険性のある車両を検知する手法を提案している。衝突の危険を察知した際には、危険性の高さに応じてドライバーへの警告や

非常ブレーキの自動操作などの支援を行っている。以上の研究では多様なセンサを利用して事故の危険性を察知し、車両への自動操作を行うことで事故を未然に防いでいる。しかし、危険性を察知できる範囲は自車両を中心に高々 1 台となっており、交通量が多い道路や多方向から車群が流入する交差点での適用には課題を残している。

2.2 車両測位技術

測位技術に関しては、これまでに、D-GPS (Differential GPS)、ジャイロスコプ、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 [1], [2], [3]。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 [13], [14] が研究されている。

過去に本研究グループでも、GPS 受信機、ミリ波レーダなどの測域センサ、車車間通信を活用して、協調型車両位置推定を行う手法を提案し、シミュレーション及びその評価を行った。その手法では、GPS の位置誤差を約 90 % 削減したが、位置推定精度は 1m 前後に留まっている。また、その手法はミリ波レーダなどの測域センサおよび無線通信機器を保持する車両の存在を想定しているが、測域センサおよび無線通信機器はコストが高く普及しづらいという問題がある。また、無線通信においては受信対象に、複数の送信者が一斉に送信を行うと、パケットが衝突し、コリジョンを起こす場合がある。このように、従来の無線通信を用いた手法では、精度をさらに向上させることは難しく、また、導入コスト、パケット衝突等が問題になっている。

これらの取り組みに対し、本稿で提案する手法は、高精度かつロバスト性のあり、通信や測距にも応用可能な LED 通信技術の特性を、位置推定に応用した手法である。

2.3 LED 通信技術と位置推定

近年では、LED の高輝度化と低価格化が進み、車両の各種ライトや信号機などの LED 化が進んでいる。また、車載器のサービス向上などを目的として、LED による送信装置と、特殊なイメージセンサによる受信器を組み合わせることで、高速なデータ通信と、送信元の位置の測定が同時に可能な、新たな通信デバイス (LED 通信デバイス) が提案されている [7]。

LED 通信デバイスでは、LED を高速に点滅させ、その点滅を特殊なイメージセンサで捉えることによって、実効 1Mbps 以上の高速通信を行うことができる。これを LED 通信と呼ぶ。受信側のイメージセンサには、数百万個以上の画素がアレイ状に配置されている。各画素によって光信号を受け取るため、画素の数だけ空間を分離して光信号を

受け取ることが可能である。従って、送信元 LED 光源が複数あるときでも LED の信号を混信することなく、完全に分離して受信することができ、受信側イメージセンサで複数の送信元 LED を個別に取り扱うことが可能である。

また、LED 通信用の特殊なイメージセンサは、光信号を受信するための“通信用画素”と画像取得のための“撮像用画素”とが画素アレイとして交互に配置されているのが特徴であり、画像の取得と光信号の受信を同時に実施することができる。また、取得した画像から画像処理などの処理を経て LED の向きを正確に捉えることができる。送信元がある程度の距離だけ離れた複数の LED 送信機を持ち、データを送信する際にはそれらの間の距離を送信データに含めるようにしておくと、受信側では複数の LED 間の画素上の距離と、受信したデータが含む LED 間の距離情報から、送信元の LED までの距離を誤差数 cm 程度の精度で求めることができる [8]。

これらは車車間、路車間の通信にも応用でき、検証実験が行われている。検証実験では、受信車両と送信車にそれぞれ特殊なイメージセンサ（カメラ受信器）と LED 送信器を取り付け、送信車の後ろを受信車が走行し、送信者から送信者の ID や車速、ブレーキの使用状況などの車両情報を、太陽光の反射等の環境によらず、受信できることが確かめられている。また、先行車との車間距離についても随時取得できることが確認されている [7]。

3. LED 通信を用いた協調型車両位置推定の対象環境

3.1 精度の目標

衝突防止などを初めとした安全走行支援システムを実現するためには、自車両の位置情報に加え、死角に存在する車両も含めた周辺車両の位置情報が、一定周期ごとに必要になると考えられている。我々の従来の研究では、得られた位置情報の精度は 1m 前後に留まっている。しかし、衝突防止を考えた場合、車両がどの車線を走行しているかを正確に判別する必要がある。具体的には、1 車線の幅はおよそ 3m 程度であり一般乗用車の幅は 2m 程度であるため、位置誤差が少なくとも、50cm を上回らない程度であれば、実環境において十分に車線を認識することができると考えられる。実際には、さらに位置誤差を抑えることが望ましい。

また、高精度な絶対位置情報を求めることができれば、走行車線を考慮したカーナビゲーションシステムや生活道路等の細かな道路上でのカーナビゲーションシステムなどにも応用することができる。

3.2 システムの想定

まず、各車両は、GPS 受信機を搭載し、LED 送信機機能の機能を有したヘッドライトやテールライト、LED 受信機

としてイメージセンサの 3 点を保持していると仮定する。LED ライトは車両のヘッドライトやテールライトへの普及が進んでおりこれらへ信号の変調器を加えることで、LED 通信の送信機として利用することが出来る。また、イメージセンサに関しても、安全運転支援や事故時の証拠保全などの目的から、高級車を皮切りにイメージセンサを搭載する車両が増えつつあり、これらを LED 通信用のイメージセンサへ置き換える可能性はある。また、提案手法では、議論の単純化のため、各車両はシステム起動時に毎回ランダムで決まるような一時的な ID を利用できるものと仮定する。信号機は自身が設置されている緯度、経度情報を保持しているとする。また、受信車両から信号の座標を正確に測距するため、LED 送信機が信号の両端に取り付けられており、自身の座標情報と、LED 送信機間の距離を LED 通信によって常に発信しているものとする。

LED を用いた測距の際の誤差に関して、文献 [8] では、対象までの距離ごとに測距誤差を求め、55m 地点まで 0.1m 程度の誤差で距離を測定できることが確かめられている。そのため、本研究では LED によって測定した相対距離の誤差は、標準偏差が 0.1/2 で平均が 0 の正規分布に従うと仮定する。

また、LED の角度測定誤差については、文献 [6] によれば、高解像度のイメージセンサを用いれば、0.1 度以下となる。そのため本研究では角度誤差を 0.1 度と仮定する。従って、角度誤差が 0.1 度と仮定すると、対象に向かって横方向のイメージセンサによる測定誤差 E_x は、対象までの距離を x とすると、

$$E_x = x \tan(0.1) \quad (1)$$

となる。

また、GPS の測定誤差は標準偏差が 5m で平均が 0 の正規分布に従うと仮定する。

現在研究開発が進められている多くの安全走行支援アプリケーションでは各車両が一定間隔で、自身の位置情報を送信する環境を想定していることから、提案手法では一定間隔のタイムスロットを基準に動作するものと仮定する。具体的には、各車両は、タイムスロット毎に自車両および近接車両の位置を更新し、次のタイムスロットの間、その推定位置情報を LED 通信によって発信し続けるようなプロトコルを考える。

4. LED 通信を用いた協調型車両位置推定手法

提案手法における位置推定では、各車両はタイムスロットごとに以下の動作を行う。

1. 推定情報の受信と線形予測 (4.3 節, 4.4 節)
2. 自車両の推定情報の更新 (4.2 節)
3. 周辺車両の推定情報の更新 (4.2 節)
4. 推定情報の送信 (4.3 節)

通信環境に関する詳細を説明した後、それぞれの動作の詳細に関して述べる。

4.1 通信環境詳細

各車両は、1台分の車両位置推定情報を図1のようなカーデータ $E(id)$ として保持する。以降、 $E(id)$ を車両 “id” の推定情報とする。 $E(id)$ は、車両 ID(id)、更新時刻 (t)、 xy 座標 (x, y)、速度ベクトル (V_x, V_y)、速度の観測時刻 (Vt)、GPS に基づいているかの判別情報 ($byGPS$) の組から構成される。

表 1 カーデータ $E(id)$ が保持する変数一覧

| 変数名 | 説明 |
|--------------|--------------------------|
| id | 識別用車両 ID |
| (x, y) | 推定位置座標 |
| t | 推定位置更新時刻 |
| (V_x, V_y) | 速度ベクトル |
| Vt | 速度の取得時刻 |
| $byGPS$ | 情報が GPS に基づいたものかどうかの判別情報 |

ここで、カーデータのサイズは 32byte を想定している。1 パケットは 1KiB とし、自車両および周辺車両についてのカーデータ 32 台分をパケットにつめ、車両間でパケットを送受信する。また、通信速度は 1Mbps を想定しており、1 パケットの送出にかかる時間 (以下、パケットサイクル) は $1/128$ 秒となる。また、各車両は T_s タイムスロット (更新間隔) 毎に、保持する推定情報を更新する。更新間隔 T_s のデフォルト値は 0.2 秒である。

4.2 自車両位置の推定と更新

自車両の位置推定については、自車両から見通せる範囲に信号機がある場合、信号機の位置を基準に自車両位置を推定する。このときの推定位置を信号機位置に基づく推定位置と呼ぶ。自車両から見通せる範囲に信号機がない場合は、可能な限り周辺車両から受信した信号機位置に基づく推定位置を用いて自車両の位置情報を更新する。いずれの測距も出来なかった場合には、GPS によって自車両の位置を測定する。これは以下、GPS に基づく推定位置と呼ぶ。

次に、周辺車両位置の位置を推定する。イメージセンサによって周辺車両 (以下、ターゲット a と呼ぶ) を観測できた場合には、自車両の推定位置座標に基づいてターゲットの推定位置座標を生成する。また、前のタイムスロットの間に受信したデータの中から、車両 a に関する情報を取り出す。しかし、この推定情報 $E(a)$ は周辺車両が過去に保持していた推定データであるため、時間経過によって、推定位置の誤差が大きくなっている。そのため、推定情報 $E(a)$ に含まれる速度情報 (V_x, V_y) と速度の観測時間 Vt から、線形補間で車両の現在位置を予測する。

こうして得られた推定位置情報の単純平均を取ることによって、ターゲットの推定位置情報を更新する。ただし、その際、信号機位置に基づく推定位置が得られた場合には、それらのみで計算することとし、誤差が比較的大きいと思われる GPS に基づく推定位置は、それ以外が得られなかった場合にのみ計算に組み入れる。

4.3 送受信の処理

LED 通信を用いる場合、送信時にパケットの衝突を考慮する必要が無い場合、各車両は可能な限りの頻度で推定情報 $E(id)$ を送信するものとする。そして、それと同時に周辺車が送信している情報を可能な限り受信し、 T_s 秒毎に、受信したデータに基づいて推定情報 $E(id)$ を新しく更新する。同時に、更新された推定情報 $E(id)$ を 32 台分をパケットに纏め、それ以降は新しく更新されたパケットを送信する。

次にパケットの受信に関して説明する。提案されている LED 通信デバイスでは、イメージセンサが捉えた範囲内に複数の送信元がある場合、それらの送信の全てを検出することが出来ない。そのため、複数の送信元が検出できた場合は、その内いずれからデータを受信するかを選択する必要がある。また、送信が非同期に行われることを仮定しているため、受信対象として選択した送信元がその時点で送信途中のパケットは完全には受信できず、その次の送信サイクルを待つ必要がある。全ての時間に有効なデータを受信できるとは限らない。本稿でのシミュレーションでは、送信元の切り替えタイムラグなどを考慮しない代わりに最悪の状況を考え、1 パケットサイクルごとに、待機、パケット受信、待機、パケット受信、を繰り返すことになると仮定する。つまり、最悪時の更新間隔間に受信可能なパケット数 M は、更新間隔を T_s 、パケットサイクルを P_c とすると、

$$M = \frac{T_s}{2P_c} \quad (2)$$

として実験を行う。観測可能な周辺車両が M 台より多く存在した場合には、それらの内、ランダムに M 台を選択して情報を受信するものとする。

4.4 推定情報の受信と線形予測

5. 提案手法の性能評価

ここでは位置推定の精度に影響する誤差要因を考え、シミュレーション実験により、提案手法の性能を評価した。ここでは、車両挙動に関しては、交通流シミュレータ VISSIM[15] を用いて生成した車両挙動ログデータを用い、通信のシミュレーションは LED 通信シミュレータを実装して評価を行った。以下で詳細を順に説明する。

5.1 評価指標

シミュレーション実験では、評価指標として推定位置の誤差と車両認識率を用いる。位置誤差は実際の車両位置と推定位置のユークリッド距離とし、自車両の誤差のみ計測し平均をとる。また、車両認識率は、各装備車両が対象領域内に存在する全車両(LED通信機器非装備車両は含まない)に対して一定以下の位置誤差で位置を推定できた周辺車両の割合とする。

本稿では推定位置の誤差や車両認識率に影響すると考えられる要因として以下の4つのパラメータを挙げる。これらの要因について、シミュレーション実験により性能を評価した。

- 信号機の間隔

実際の道路環境では、信号機の間隔はさまざまである。そのため、信号機の間隔を変化させ、提案手法の基本的な性能を調べた。

- 車両密度

実際の道路環境では、車両密度(交通量)はさまざまである。そのため、車両密度を変化させ、提案手法の基本的な性能を調べた。

- LED通信機器の装備率

LED通信デバイスは一般に広く普及してはならず、非装備車両の存在は無視できない。そのため、シミュレーションでは装備車両と非装備車両が混在する環境を考え、提案手法の性能を調べた。

- 車両の加減速

現実的な車両走行環境において起こりうる典型的な車両挙動の一つとして、車両の加減速が考えられる。

5.2 評価環境

5.3 車両走行シナリオの設計と実装

前節で述べた、評価項目におけるの誤差要因それぞれの影響を確認するために設計した車両走行シナリオについて説明する。

- 「信号機間隔」、「車両密度」、「LED通信機器の装備率」、「加減速」による変化を調べるためのシナリオ提案手法の基本性能を調べるために直線道路を車両が走行する環境を想定する。このシナリオを Straight Road Scenario と命名する。このシナリオでは、図1のようなレーン幅3.5m、長さ1km、片側2車線の直線道路を車両が時速50kmで走行する。車両は適時車線変更を行うものとする。

走行する車両(ただし、車両は適時車線変更を行うものとする)について、車両密度、装備率を変化させる。また、信号機の設置間隔を変化させる。また、信号機の前では加減速が起こる。このような環境下で各場合の位置誤差や認識率の変化を調べた。

- 交差点シナリオ提案手法が現実に近い環境でどの程度

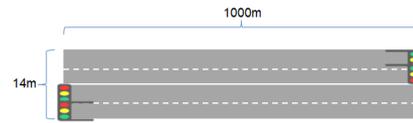


図1 直線道路マップ

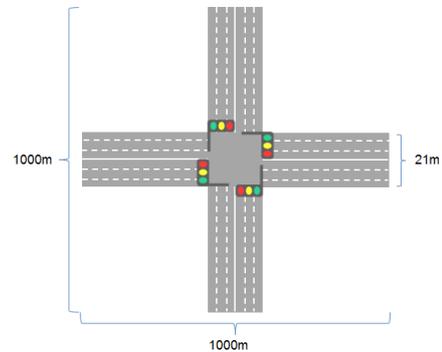


図2 交差点マップ

の性能であるかを調べるために、信号機により交通整理される十字型の交差点を車両が走行する環境を想定する。このシナリオを Intersection Scenario と命名する。図2に道路マップを示す。このシナリオでは、信号機により交通整理される環境としているため加減速や右左折の車両挙動が起こる。ただし、右左折を行う場合と比較するため、車両が右左折を行わない場合も用意した。

5.3.1 車両走行シナリオの設計と実装

設計した各シナリオを交通流シミュレータ VISSIM 上で実装した。シミュレータ上で図1および図2で示した道路マップを再現し、道路上を走行する車両を各シナリオで考えている要因を満たすように設定した。図3,4にそれぞれを VISSIM 上で実装した各シナリオのシミュレーション時のスクリーンショットを示す。

各シナリオに対し、VISSIM 上で30秒間シミュレーションを行い性能を評価した。ただし、評価対象範囲は、Straight Road Scenario については、1km道路の中央400m区間としている。Intersection Scenario については、交差点の中央100m四方の範囲を評価対象範囲としている。

5.3.2 シミュレーションパラメータの設定

シミュレーション時の測定誤差に関するパラメータと主要なパラメータの設定を、それぞれ表2,3に示す。

表2 測定誤差パラメータの設定

| | 誤差 |
|-------------------|---------------------------|
| GPS モデル | 標準偏差 5m, 平均 0 の正規分布 |
| LED による測距時の距離誤差 | 標準偏差 0.05m, 平均 0 の正規分布 |
| LED による測距時の最大角度誤差 | 0.1 度 |

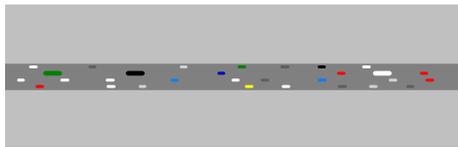


図 3 Strait Road Scenario

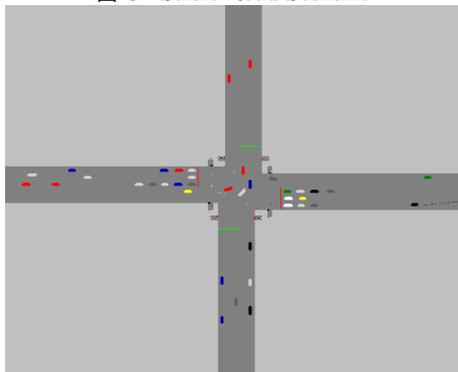


図 4 Intersection Scenario

表 3 その他の主要パラメータの設定

| パラメータ | 設定値 |
|---------|--------|
| 通信速度 | 1Mbyte |
| パケットサイズ | 1Kbyte |
| 見通し可能距離 | 100m |
| 車の全長 | 4.76m |
| 車幅 | 1.75m |

5.4 シミュレーション結果と考察

5.4.1 信号機間隔による変化

信号機の間隔が長くなると、信号機が直接見えない車両が増加する。例えば、信号機間隔が 1km になれば、直接信号機を見通せる距離は 100m となっているため、その間 800m 区間は直接信号機が見えない。そのため、その区間にいる車両は信号機から 100m 以内で信号機を観測している車両からマルチホップで信号機に基づく推定位置を受信し、推定を行う。しかし、その受信情報は時間経過によって、推定位置の誤差が大きくなっている。そのため、信号機の間隔が長くなればなるほど、自車両の位置誤差は大きくなると考えられる。

信号機間隔を変化させた際の結果のグラフを図 5,6 に示す。自車両の位置誤差の平均についてみると、信号機間隔が 100m から 1km まで変化しても、大きな変化は見られなかった。これは、信号機が直接見えない区間に存在する車両が受信する推定情報の誤差を、4.4 節の線形予測を行うことにより、小さくできているためと考えられる。

また、認識率について、自車両から 100m 以内にいる車両はおおむね 100% 認識し、100m 以上離れている車両に関しても誤差 10cm 以下で 95% 以上認識している。このことから、自車両から 100m 以内であるが他車両に遮られて見えない車両や自車両から 100m 以上離れている車両等の、直接見えない車両に関しても高精度で位置推定ができ

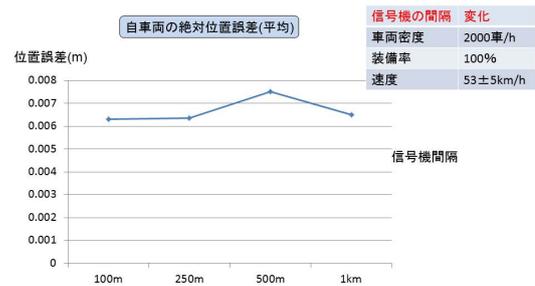


図 5 信号機間隔の変化に対する自車両の位置誤差の変化

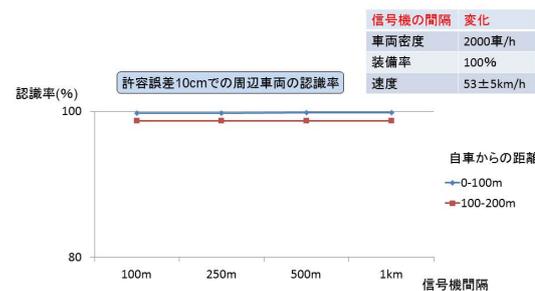


図 6 信号機間隔の変化に対する周辺車両の認識率の変化



図 7 車両密度の変化に対する自車両の位置誤差の変化

ていることが確認できた。

5.4.2 車両密度による変化

道路の車両密度 (交通量) を変化させた際の結果のグラフを図 7,8 に示す。自車両の位置誤差の平均についてみると、交通量が増えるに従い小さくなっている。これは、交通量が増えると周辺車両から受信する情報量が増え、4.2 節で述べた推定情報の平均化において用いる情報量が増えたためと考えられる。

また、認識率についても、交通量が増えると、自車両からの距離に関わらず 100% に近づく傾向があることが確認できた。これは、周りから受信する情報量が増えたことによって、推定情報の精度があがったことに加え、認識していない車両に関しての推定情報を受信する可能性が上がったことが考えられる。

5.4.3 LED 通信機器の装備率による変化

LED 通信デバイスの装備率を変化させた際の結果のグラフを図 9,10 に示す。自車両の位置誤差の平均について

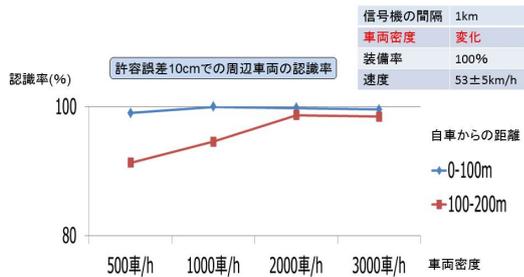


図 8 車両密度の変化に対する周辺車両の認識率の変化

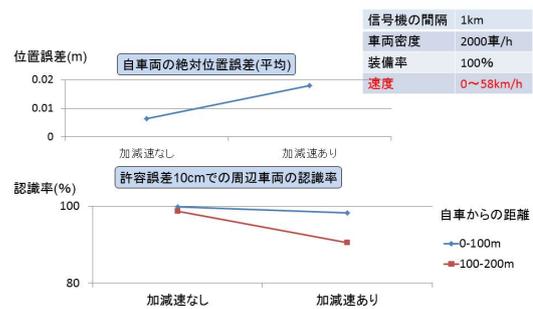


図 11 装備率の変化に対する自車両の位置誤差と周辺車両の認識率の変化

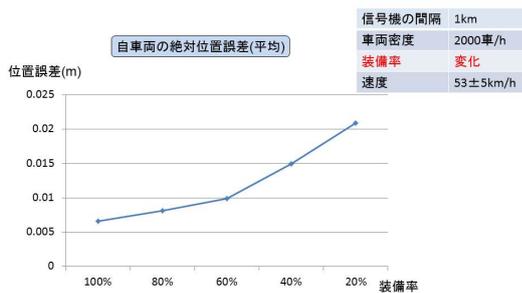


図 9 装備率の変化に対する自車両の位置誤差の変化

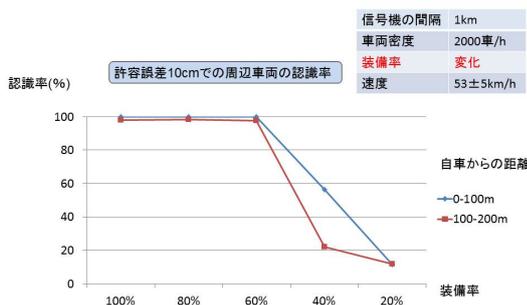


図 10 装備率の変化に対する周辺車両の認識率の変化

見ると、装備率が下がると、大きくなる傾向がある。非装備車両は推定情報を持たずまた送信しないうに、装備車両同士の間非装備車が走行していると装備車両の送受信ができなくなる。そのため、装備車が周辺車両から受信する情報量が減り、位置誤差が大きくなると考えられる。

また、認識率については、非装備車は観測できず位置を推定できないため、装備車を対象にしている。装備率が60%までの場合については、認識率は100%に近い。ある程度の装備率以上であれば、推定情報の送受信によって周りの装備車の位置推定が行えていることがわかる。しかし、装備率が40%をきると推定情報の送受信が非装備車によって阻まれることが多くなり、認識率が急激に下がると考えられる。

5.4.4 加減速による変化

等速で走っている場合と加減速している車の場合を比較したグラフを図11に示す。ただし、自車両位置のグラフに関しては、自車両が0.25m/s以上加減速している時

のみの集計である。また、周辺車両に関しては周辺車両で0.25m/s以上加減速しているものについて位置誤差0.1m以下で認識できた割合である。

自車両の位置誤差の平均、周辺車両の認識率とも下がる傾向がある。これは、車が加減速することにより、4.4節で述べた受信した位置情報の線形予測を行った後の誤差が増えるためと考えられる。そのため、周辺車両の推定精度も悪くなり、周辺車両を誤差0.1m以下で認識できた割合も下がることになると考えられる。

5.4.5 交差点

交差点を走行している車について位置誤差と認識率を調べたものを図12,13に示す。ここでは、ここまでで述べた直線道路を車両が等速で走行する場合、交差点を車が右左折せずに直進する場合、交差点を車が右左折している場合の3つの場合に関して比較を行っている。

交差点は、信号機前での加減速や右左折の車両挙動が起こる。交差点を車が右左折せずに直進する場合については車両の加減速だけが誤差に影響し、加減速だけの場合については5.4.4の通りであるため、あまり誤差は大きくならない。自車両の位置誤差は交差点を車が右左折している場合に特に大きくなっているが、これは車両の右左折の際に車両の位置誤差が大きくなることを示している。この理由としては、車が右左折した場合、4.4節で述べた受信情報の線形予測を行った際の誤差が大きくなるためと考えられる。

また、認識率については、各場合について交差点を車が右左折している場合のみ下がっているが、これは右左折中の車両についての位置誤差が大きいため右左折する車両を一定誤差以下で認識できていないためと考えられる。

右左折中の車の推定位置誤差を改善するためには、右左折中の車が、指示器などの右左折情報を周辺車両に送信し推定に加味する、右左折車両を直接観測できる車両の情報を優先して推定に用いる等が考えられる。

6. まとめ

本研究では、GPS受信機、LED通信機器、イメージセンサを保持する車両と、LED光源の信号機が存在する環境において、発光ダイオード(LED)による通信と測距を利

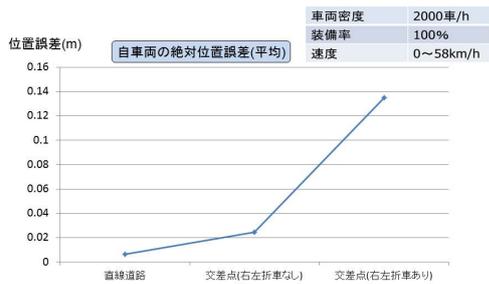


図 12 交差点における自車両の位置誤差の変化



図 13 交差点環境における周辺車両の認識率の変化

用した高精度な車両位置推定法を応用し、車両間で協調型位置推定を行う手法を提案した。LED 通信では見通し外の対象との通信は行えないが、提案手法ではマルチホップを通信を行う事で、見通し外の車両の位置についても把握出来る。想定した各状況において、シミュレーション上で位置誤差が数 cm から数十 cm 程度となる高精度な車両位置推定が行えたこと、そして、直接目視できない周辺車両も高精度で認識できていることを確認した。

今後の課題としては、LED 通信デバイス非装備車両への対応が挙げられる。現状の想定では非装備車両は装備車から観測することはできない。そのため、ミリ波レーダー等の測域センサを利用して非装備車両についても観測できるようにする等の対応が考えられる。さらに、実測データに基づいた車両モビリティを利用した性能評価や、実測値に基づく GPS や測距の誤差モデルを利用した性能評価を行い、さらなる課題発見、改良を行っていく予定である。その上で、車両の衝突防止を目的としたアプリケーションなどの安全走行支援アプリケーションに実際に適用できるかどうか検討していく必要がある。

参考文献

[1] Krakiwsky, E.J., Harris, C.B. and Wong, R.V.C. : "A Kalman Filter for Integrating Deadreckoning, Map Matching and GPS Positioning", Proc. of IEEE Position Location and Navigation Symposium 1988, pp.39-46, 1988.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 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, Vol.2010-MBL-56, No.4, pp.1-8, 2010.
[5] 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 (Nov. 2011).
[6] 真一郎, 春山: "可視光通信", 電子情報通信学会誌, 一般社団法人電子情報通信学会, Vol. 94, No. 12, pp. 1055-1059, 2011.
[7] 高井勇, 原田知育, 安藤道則, 宋松, 安富啓太, 香川景一郎, 川人祥二: "空間光通信用イメージセンサの開発と車車間通信システムへの応用" 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-ITS-50, No. 5, pp. 1-7, 2012.
[8] 大村明寛, 山里敬也, 岡田啓, 藤井俊彰, 圓道知博, 荒井伸太郎: "B-10-103 可視光通信による LED アレイと車載高速度カメラ間の距離推定" 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 一般社団法人電子情報通信学会 Vol. 2012, No. 2, pp. 426, 2012.
[9] Minoiu E. N. , Netto, M. , Mammara, S. and Lusetti, B.: "Driver steering assistance for lane departure avoidance" Elsevier, Control engineering practice, Vol. 17, No. 6, pp. 642-651, 2009.
[10] Isermann, R., Mannale, R. and Schmitt, K.: "Collision-avoidance systems PRORETA: Situation analysis and intervention control", Elsevier, Control Engineering Practice, Vol. 20, No. 11, pp. 1236-1246, 2012.
[11] Dao, T.S., Leung, K.Y.K., Clark, C.M. and Huissoon, J.P. : "Markov-Based Lane Positioning Using Intervehicle 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] 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. of IEEE Vehicular Technology Conference -2005-Fall, pp.1313-1317, 2005.
[14] Schubert, R., Schlingelhof, M., Cramer, H. and Wanielik, G. : "Accurate Positioning for Vehicular Safety Applications - The SAFESPOT Approach", Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference 2007-Spring., pp.2506-2510, 2007.
[15] PTV AG : "VISSIM Traffic Flow Simulation Technical Description", 2001.