

車車間通信を用いた周辺状況の協調認識における 車両の位置関係に応じた車両情報送信制御のための一検討

古川 魁斗¹ 石原 進²

概要: 車車間通信を用いた安全運転支援技術として、車両が車載センサ機器で取得した周辺状況のセンシング情報の交換に基づく協調認識の検討が進められている。車車間通信機器搭載車両はセンシング情報を互いに交換することで、車車間通信機器未搭載車両の存在を事故防止に十分な程度で把握可能となり得る。しかし、車両密度が高い場合、隠れ端末問題や通信チャネルの混雑により、各車両は事故防止に十分な頻度でセンシング情報を送信・受信できない可能性が考えられる。筆者らは、通信チャネルの混雑状況や車両の位置関係に応じたセンシング情報を含むビーコンの送信電力・頻度の制御方法を検討している。本稿では、そのための基礎評価として、車車間通信が可能な車両と不可能な車両が高い密度で混在する環境における車両の位置関係と協調認識における位置推定の精度の関係をシミュレーションにより調査した。シミュレーションの結果から、車両密度が高く、センシング情報を送信する通信車両の同士の間隔が広い時、通信車両が把握する非通信車両の位置の精度が低下することが確認できた。

Controlling Transmission of Vehicular Information Based on Relative Positions of Vehicles in Vicinity for Cooperative Awareness in VANETs

FURUKAWA KAITO¹ ISHIHARA SUSUMU²

1. はじめに

現在、車両に取り付けたレーダーやカメラ等の車載センサ機器を用いて障害物等を検知し、それらとの衝突の回避を自律的に行うような安全運転支援システムを搭載した車両が市販化されている [1][2][3]。しかしながら、見通しの悪い交差点等では、車載センサのみで対象物を検知し運転者に危険を知らせることが困難であるため、車両に取り付けたレーダー等のみでは事故を回避出来ない問題がある。そこで、筆者らは、周辺の車両と協調して車両の衝突を回避する車車間通信を用いた安全運転支援システムの実現に注目している。

典型的な車車間通信を用いた安全運転支援システムにおいて、車車間通信が可能な車両（以下、通信車両）は、周期的に自車両の位置・速度等をビーコンパケットに含め、周辺車両にブロードキャストする。ビーコンを受信した車

両は、そのビーコンに含まれる情報と自車両の車載センサで取得した他車両の情報（以下、センシング情報）を基に、周辺車両の位置を推定し、必要であれば事故防止支援を行う。しかしながら、このようなシステムにおいて車両が事故防止支援を運転者に対して満足に行うには通信車両が十分普及している必要がある。本稿では、通信車両が車車間通信を用いてビーコンを交換し、周辺車両の位置推定を行うことを以降、協調認識と定義する。

一部の自動車メーカーから通信車両が市販化されているものの [4]、内閣府の調査によると自家用車の買い替えサイクルが9年程であることから [5]、道路上を走行する車両の大半が通信車両となるまでには長い時間を要すると考えられる。また、車車間通信機器を車両に搭載するには、追加で機器代金を支払うことが想定される。そのため、通信車両が十分普及していない環境下において機器を搭載することのメリットを満足に享受出来ないのであれば、消費者が積極的に機器の搭載を選択するとは考えづらい。

通信車両が各自のみの位置・速度等の情報を送信して周

¹ 静岡大学工学部

² 静岡大学大学院工学領域

辺車両の位置推定を行う場合、自車両のセンシング範囲外を走行する車車間通信未対応の車両（以下、非通信車両）の位置推定は困難となる。通信車両に把握されていない車両が、ある通信車両と事故を引き起こす可能性のある場合、事故防止支援動作が遅れる可能性がある。

以上のことから、通信車両と非通信車両が混在する道路においても、通信車両が正確に非通信車両も含めた周辺車両の位置推定ができることが望ましい。そこで、通信車両がビーコンに自身の位置・速度等の情報と自身のセンシング情報を含めることで、非通信車両も含めた周辺車両の位置推定を行う研究が進められている [6]。

正確な協調認識、つまり精度の高い位置推定を行うには、通信車両が他の通信車両からビーコンを十分に高い頻度で受信する必要がある。しかしながら、通信車両の密度が低い場合と比べ高い場合では、通信車両間の通信による干渉や通信チャネルの混雑、隠れ端末問題等により、ビーコンの受信がより困難になることから、協調認識における位置推定の精度が低下する恐れがある。例えば、都市中心部のように車両密度の高い地域では、通信車両から送信されるビーコン同士の衝突が頻発することが考えられる。

筆者らは、車両の位置関係や道路状況に応じて特定の通信車両のビーコン送信電力・周期を調整する手法を検討している。この手法の設計、評価にあたっては、通信環境や車両密度、車両同士の位置関係等からなる様々な条件における協調認識による位置推定精度を知ることが重要である。

本稿では、車両密度が高く通信車両と非通信車両が混在した環境における車両の位置関係と通信車両の協調認識による位置推定精度の関係をシミュレーションにより調査した。以下、2章では車車間通信におけるビーコンの送信制御に関する研究について述べ、3章では、センシング情報の交換に基づく協調認識と筆者らが検討を行う手法について述べる。そして、4章では通信車両が非通信車両を協調認識する際の位置推定精度をシミュレーションにより評価し、5章でまとめを述べる。

2. 関連研究

通信車両が車載センサで直接検知できない非通信車両を協調認識により把握できることを目指した研究が進められている。Günther らは、通信が可能な車両を2台走行させ、道路上に設置した障害物をセンシング情報の交換に基づく協調認識によってどの程度把握可能となり得るか評価している [6]。実験の結果、センシング情報の交換に基づく協調認識を行うことで、行わない場合と比べて、道路上に設置された障害物の把握を約3倍ほど早くできることを示した。

正確な協調認識を行うには、ビーコンが送信されてから短い遅延で、かつ十分に短い間隔でビーコンを受信する必要がある。例えば、日・米・欧では車両衝突の回避を目的

とした安全運転支援のアプリケーションにおいて、ビーコンを100[ms]の周期でブロードキャストすることを基本としている [7][8][9]。しかしながら、通信車両の密度が高い環境下において、通信チャネルの混雑や隠れ端末問題等で通信車両は事故防止に十分な頻度でビーコンを受信することが困難となり得る。そこで、安定してビーコンを送信・受信するために、車両速度に応じてビーコンの送信制御を行う方法 [10] や、周辺の車両密度に応じて制御を行う方法 [11][12][13]、通信チャネル品質に応じて制御を行う方法 [14] 等が提案されている。

ITS 情報通信システム推進会議における5.8 GHzを用いた車車間通信システムの実験用ガイドラインでは、車両速度に応じてビーコンの送信周期を変更する手法が示されている [10]。車両速度が速い場合にはビーコンの送信周期を短くし、遅い場合にはビーコンの送信周期が長くなるように制御する。

Torrent-Moreno らは車両密度に注目して送信電力を変更する FPAV (Fair Power Adjustment for Vehicular networks) や D-FPAV (Distributed FPAV) を提案している [11][12]。車車間通信では、定期的な車両位置の通知に加えて、事故発生等の緊急情報も配信することが想定されている。そこで、FPAV では、緊急情報の配信が常に行えるよう一定の通信帯域を確保するために、各車両が受信できるビーコンの最大値を設け、その最大値を超えるまでは全車両の送信電力を均一に増加させ最終的な送信電力の決定を行う。FPAV を改良した D-FPAV では、各車両がセンシング情報を含んだビーコンを受信することで周辺車両の情報を取得し、FPAV による送信電力の決定を分散処理で行う。

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) は、ビーコンの受信頻度を向上させるために、車両密度に応じて、自身のビーコン送信電力や送信周期を変更する DCC (Decentralized Congestion Control) を定めている [13]。DCC では、各車両はビーコンを受信時の受信電力を基に車両密度を推定し、推定した車両密度が高い場合、長い送信周期、小さい送信電力、車両密度が低い場合、短い送信周期、大きい送信電力でビーコンを送信する。

Sommer らは通信チャネルの品質と送信する情報の重要性を基にビーコンの送信周期を制御する手法を提案している [14]。この手法では、車両は路側機等から取得した交通状況の情報をビーコンに含めてブロードキャストする。車両は受信したビーコンと路側機からの情報を基に、現在の通信チャネルにおけるビーコンの衝突回数や SNR (Signal-to-Noise Ratio) 等を検知し、通信チャネルの品質と送信する情報の重要性 (近接車両、道路の情報程高い) に応じてビーコンの送信周期を動的に制御する。

車両速度・密度、通信チャネル品質を基に送信電力や周期を決定する場合、車両の位置関係や道路構造によっては、

車載センサで直接非通信車両を検知する車両数が少ない車両や、周辺車両をより低い精度で把握している車両のビーコンがより頻りに送信されることも十分有り得る。その結果、周辺車両を高精度でかつ、より多く位置推定を行う車両のビーコン送信が抑制されることがあり、正確な協調認識を行うにあたって有益となり得るビーコンの送信機会が減少する可能性がある。そこで、車両の位置関係や道路構造等に応じたビーコンの送信制御を行うことで、より正確な協調認識を行うことができると考えられる。

3. 車両の位置推定における状況に応じたデータ送信制御戦略

車両の密度が高い環境下では、通信チャネルの混雑や隠れ端末問題の影響により、ビーコンの送信・受信機会が減少し得ることから、協調認識における位置推定の精度が低下することが考えられる。そのため、筆者らは、車両の密度が高い環境下において、車両の位置関係や道路構造を考慮し、特定の通信車両のビーコン送信出力・頻度を調整するような手法を検討している。以下では、センシング情報に基づく協調認識とその協調認識における問題について述べた後、筆者らが検討している手法の概要とその一例について述べる。

3.1 センシング情報の交換に基づく非通信車両の位置把握

通信車両が自身の速度・位置等の情報のみの交換により協調認識を行う場合、直接位置を車載センサで検知できない位置にいる非通信車両の位置は把握できない。しかしながら、通信車両が十分に事故防止支援を運転者に対して行うには、直接位置を検知できない非通信車両も協調認識できることが望ましい。そこで、通信車両が送信するビーコンにその通信車両が車載センサで取得したセンシング情報を含めることで、車載センサで直接検知できない非通信車両の協調認識による位置把握を目指した研究が進められている [6][15]。

図1は、通信車両同士でセンシング情報を交換し、通信車両が車載センサで直接検知できない非通信車両の位置を推定する状況を示している。本線に合流を図る通信車両Aは、通信車両Bと直接通信することで車両Bの位置の把握ができています。一方、非通信車両Cに関しては、車両Aは車両Cと通信できないうえ、本線側に設けられた壁に遮られ車両Cの位置を直接センシングで検知できない。車両Bは自身の車載センサで直接車両Cの位置を検知でき、ビーコンに車両Cの位置を含むセンシング情報を加えて送信する。この結果、車両Aは車両Bのビーコンを受信することで、車両Cを把握することができる。

3.2 車間通信で非通信車両の位置推定時の問題

センシング情報の交換に基づく協調認識では、単に各車

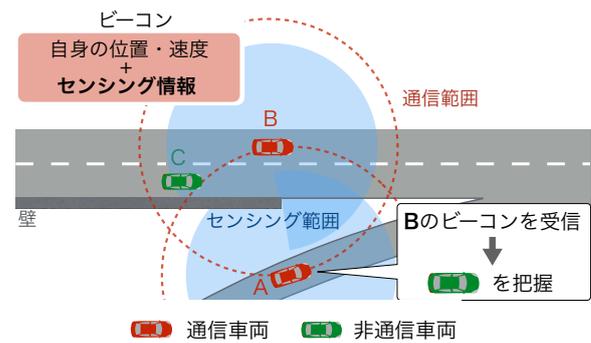


図1: センシング情報の交換に基づく周辺車両の位置推定

両自身の位置だけでなく他車両の情報を含んだより大きなビーコンを無線通信で定期的送信する。そのため、通信車両の密度が高い環境においては、隠れ端末問題によるビーコンの衝突や通信チャネルの混雑によるビーコンの送信待ち遅延の増加が頻発すると考えられる。このような環境では、確実なビーコンの交換が行われず、正確な協調認識が困難になる [16]。例えば、都市部における交差点や、渋滞時等のような通信車両の密度が高くなり得る環境では、通信車両のビーコン受信頻度が悪化しやすい。

2章では、通信車両の密度が高い環境において、各車両のビーコン受信頻度を向上させる手法をいくつか挙げた。それらの手法では、送信周期や送信電力の制御を行わない場合と比べて、通信車両のビーコン受信頻度を向上させることができる。しかしながら、単に通信車両の速度や密度を基にビーコンの送信電力や送信周期を決定する場合、車両の位置関係や道路構造等により正確な協調認識に有用な情報を保持する通信車両のビーコン送信が抑制される可能性がある。

図2に、車両の位置関係によって非通信車両を車載センサで直接検知した車両によるビーコン送信が抑制される状況の一例を示す。同図において、車両Aは合流先の車線を走行する非通信車両の位置を上側の道路に壁があるために車載センサで検知できない。この時、車両B周辺の通信車両の密度が高い場合、通信チャネルの混雑や隠れ端末問題が生じている可能性がある。そこで、車両Bの周辺にいる通信車両は安定してビーコンの送信をするために、2章で挙げた手法に従って通信車両の密度や速度に応じて、ビーコンの送信電力を下げたり、送信周期を長くする。これにより、車両B周辺の通信車両のビーコン受信頻度は向上できるものの、車両Bの周辺車両が車両Aに車両Bの存在を通知する機会が減ってしまう。この結果、車両Aは車両Bの位置推定が遅れ、自律的な事故防止支援が遅れる可能性がある。

そこで、車両の位置関係や道路構造等を考慮してビーコン送信制御を行うことで、通信車両が協調認識により非通信車両の位置を正確に推定できる可能性を高めることができると考えられる。

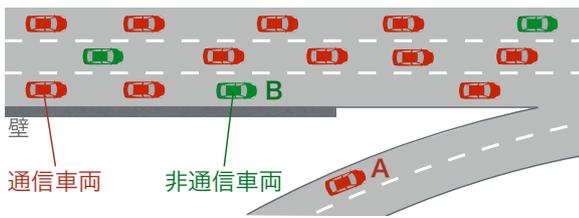


図 2: 車両の位置関係により非通信車両を検知する車両のビーコン送信が抑制され得る状況

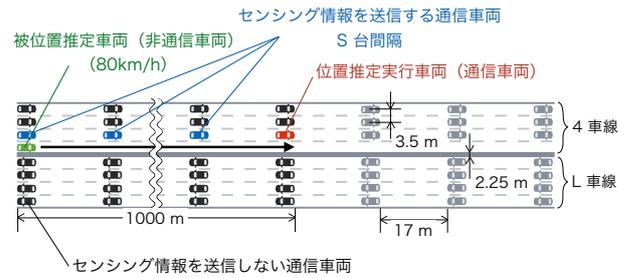


図 3: 道路の設定値と各車両の位置関係

4. シミュレーション評価

車両の位置関係や道路構造等に応じたビーコンの送信制御を行うためには、車両の位置関係や道路構造が通信車両の位置推定精度にどのような影響を与えるか理解する必要がある。そこで、通信車両の密度が高い環境で、ビーコンの送信電力・周期を一定にした簡易的なシナリオにおける車両の位置関係と位置推定精度の関係をシミュレーションにより調べた。

4.1 シミュレーションシナリオ

渋滞する高速道路において、渋滞車線を走行する車両が空いている車線へ車線変更するシナリオを想定し、空いている車線を走行する非通信車両を、渋滞する車線を走行する通信車両がセンシング情報の交換に基づき協調認識する際の位置推定精度を調べた。全長 1 km の片側に 4 車線、その反対側に L ($L = 1, 2, 3, 4$) 車線を用意し、それぞれ 1 車線当たり 45 台、車間距離 17 m で通信車両を静止状態で配置した (図 3)。ただし、空いている車線は非通信車両である被位置推定車両 1 台のみが時速 80 km で走行するものとし、空いている車線に隣接する車線で静止している車列の先頭車両が被位置推定車両の位置推定を行うこととした。この車両を以下、位置推定実行車両という。

位置推定実行車両の後続車両のみ、先頭から S ($= 0, 1, 2, 3, 4, 5$) 台間隔で自身のセンシング情報をビーコンに含め通信するものとした。ただし、他車両から取得したセンシング情報はビーコンに含めないものとした。これ以外の車両は、センシング情報は送信しないものの、自身の位置情報を含むビーコンを送信する。これらはバックグラウンドの通信トラフィックを増加させるために配置したものである。

シミュレータには Space-Time Engineering 社のネットワークシミュレータである Scenargie[17] を用い、通信規格は IEEE 802.11p[18] が使用されることを想定した。また、車両サイズは $4.7 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ [19] とした。シミュレーション時間は 55 s で、シミュレータのセットアップによる影響を考慮し、シミュレーション開始から 10 s 経過後に被位置推定車両は位置推定実行車両の方向へ進行するものとした。その他のシミュレーションパラメータを表 1 に示す。

表 1: シミュレーションパラメータ

周波数	5.9 [GHz]
帯域幅	10 [MHz]
通信レート	3 [Mbps]
送信電力	20 [dBm]
最低受信可能電力	-85 [dBm]
キャリアセンスレベル	-65 [dBm]
センシング範囲	200 [m]
センシング間隔	50 [ms]
ビーコン送信間隔	100 [ms]
ペイロードサイズ	256 [bytes]
シミュレーション回数	100 [回]

4.2 シミュレーション結果の解析方法

シミュレーションを行うことで得られる各時刻における全車両の位置と各ビーコンの送受信車両の ID と送受信時刻を含むログを解析し、位置推定実行車両が被位置推定車両を協調認識した際の推定位置と実際の位置との絶対誤差 (以下、位置推定誤差) を算出した。シミュレーション開始時刻から終了時刻まで 50 ms 毎に位置推定実行車両が被位置推定車両を協調認識した際の推定位置を決定した。

4.2.1 被位置推定車両の位置推定方法

ある時刻 t_k から Δt 経過後の時刻 t_{k+1} における被位置推定車両の位置を位置推定実行車両が以下の方法で推定するものとした。なお、本シミュレーションでは $\Delta t = 50 \text{ ms}$ とした。位置推定実行車両は時刻 t_k から時刻 t_{k+1} までの間に受信したビーコンと、時刻 t_{k+1} での自身のセンシングによる他車両の位置の判定の結果から、時刻 t_{k+1} における被位置推定車両の位置を推定する。

まず、受信したビーコンに含まれるセンシング情報から被位置推定車両の位置情報を得る。この時、時刻 t_k から時刻 t_{k+1} の間に受信した全ビーコンのうち送信時刻がより時刻 t_{k+1} に近いものを優先する。例えば、送信時刻が時刻 t_{k+1} に最も近いビーコンに含まれるセンシング情報に被位置推定車両の位置が記載されておらず、その次に送信時刻が時刻 t_{k+1} に近いビーコンのセンシング情報に被位置推定車両の位置が記載されている場合、後者を時刻 t_{k+1} における位置推定実行車両がビーコンで推定する被位置推定車両の位置とする。

次に、位置推定実行車両は時刻 t_{k+1} における自身の車載センサで検知する被位置推定車両の位置を、次節で述べる判定方法に従って求める。

最後に、位置推定実行車両は受信したビーコン内の情報から推定した被位置推定車両の位置と自身のセンシングで検知した位置から、時刻 t_{k+1} における被位置推定車両の推定位置を以下の手順に従って求める。受信したビーコンと自身の車載センサの両方から被位置推定車両の位置を取得した場合は、推定時刻（ビーコンによる推定の場合はビーコン送信時刻、センシングによる推定の場合はセンシングによる位置推定の可否判定時刻）のより新しい方を、時刻 t_{k+1} における位置推定実行車両が協調認識で推定する被位置推定車両の位置とする。片方のみで被位置推定車両の位置を取得した場合は、その位置を被位置推定車両の推定位置とする。どちらにおいても取得できなかった場合は、時刻 t_{k+1} 以前に位置推定実行車両が推定していた被位置推定車両の位置を、時刻 t_{k+1} における被位置推定車両の推定位置とする。時刻 t_{k+1} 以前に被位置推定車両の位置を推定できていない場合は、推定不能と判断する。

本シミュレーションにおいて、位置推定実行車両は過去に取得した被位置推定車両の位置・速度情報を用いた位置推定を行わないものとした。本来車両は、加減速しながら移動するものなので、定期的にビーコンを受信することで位置推定の精度を向上することが協調認識で目指すところである。しかしながら、本シミュレーションでは被位置推定車両を等速で移動させているので、位置推定実行車両が過去の位置・速度情報を用いて被位置推定車両の位置推定を行うと、式 1 によって常に正確な位置を推定できてしまう。

$$\hat{x}_{t_{k+1}} = x_{t_k} + (t_{k+1} - t_k)v_{t_k} \quad (1)$$

ここで、 x_{t_k} と v_{t_k} はそれぞれ位置推定実行車両が時刻 t_k で受信したビーコンに含まれる被位置推定車両の位置と速度であり、 $\hat{x}_{t_{k+1}}$ は位置推定実行車両推定した被位置推定車両の位置である。実際には、車両はいつも等速運動しているとは限らず常にこのような一次式による推定で正しく位置推定できるわけではない。本稿ではあくまで、センシング情報を含むビーコン受信の可否の影響に注目するので、このような位置推定を用いない。

4.2.2 センシングによる他車両の位置推定の可否判定方法

シミュレーションで得られたログを基に、与えられた時刻において各車両が被位置推定車両の位置を検知可能かを判定し、検知可能な場合について、この時の被位置推定車両の位置をその時刻でのセンシングで得られた車両位置として扱うこととした。車載センサ機器は LIDAR を想定し [20]、センシング範囲はセンシングを行う車両を中心に半径 200 m の円内とした。具体的なセンシングによる車両位置の可否判定方法は、以下の通りである。

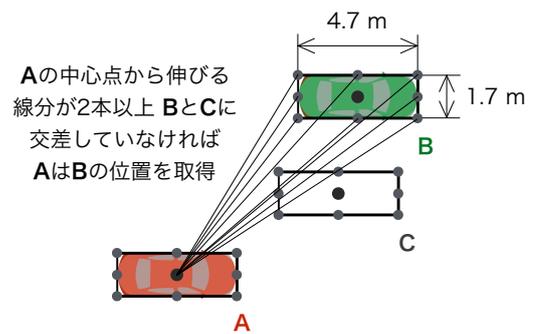


図 4: センシングによる位置推定に用いた車両モデルと判定方法

- (1) 車両の車体を長方形であるとし、センシングを行う車両 A の中心点の座標からセンシングの対象車両 B の車体を表す短形の各頂点と各辺の中点を結ぶ直線を引く (図 4)。
- (2) それらの直線と車両 B、あるいは車両 A、B 以外の車両の車体を成す線分の交差判定を行う。
- (3) 車両 A 以外の車両の車体を成す線分と交差しない直線が 2 本以上ある場合、車両 A は車両 B の位置を検知出来ていると判定する。

4.3 解析結果と考察

通信トラフィックを変化させるために設定した被位置推定車両からみて対向車線である L とセンシング情報を送信する車両の間隔である S のそれぞれの組における位置推定誤差を求めた。位置推定誤差は前節に述べた方法にしたがって、シミュレーションで得られたログの解析を行い算出した。100 回のシミュレーションの各時刻における位置推定誤差の分布を箱ひげ図で図 5 に示す。図 5 中の箱の上端・下端の線分は外れ値も含めて得られた最大値・最小値とした。

シミュレーションの結果から、通信車両の密度が高くなるに従って、また非通信車両の位置情報を送信する通信車両の割合が低下するに従って、協調認識における周辺車両の位置推定精度が低下することが確認できた。

位置推定実行車両と同じ車線に配置した全通信車両がセンシング情報を送信可能 ($S = 0$) である時は、時刻 10~15 s において、位置推定実行車両が被位置推定車両の位置を推定できていないことが確認できる。同様に、センシング情報を送信可能な通信車両を 5 台間隔で配置した時 ($S = 5$) は時刻 10~20 s においても位置を推定できていないことが確認できる。これは、位置推定実行車両に 1 ホップで被位置推定車両の位置を送信できる車両が、この時刻の間は被位置推定車両をセンシングできていなかったことを示している。

位置推定実行車両が被位置推定車両の位置を推定し始めて 5~10s 経過後から位置推定誤差が減少していることが

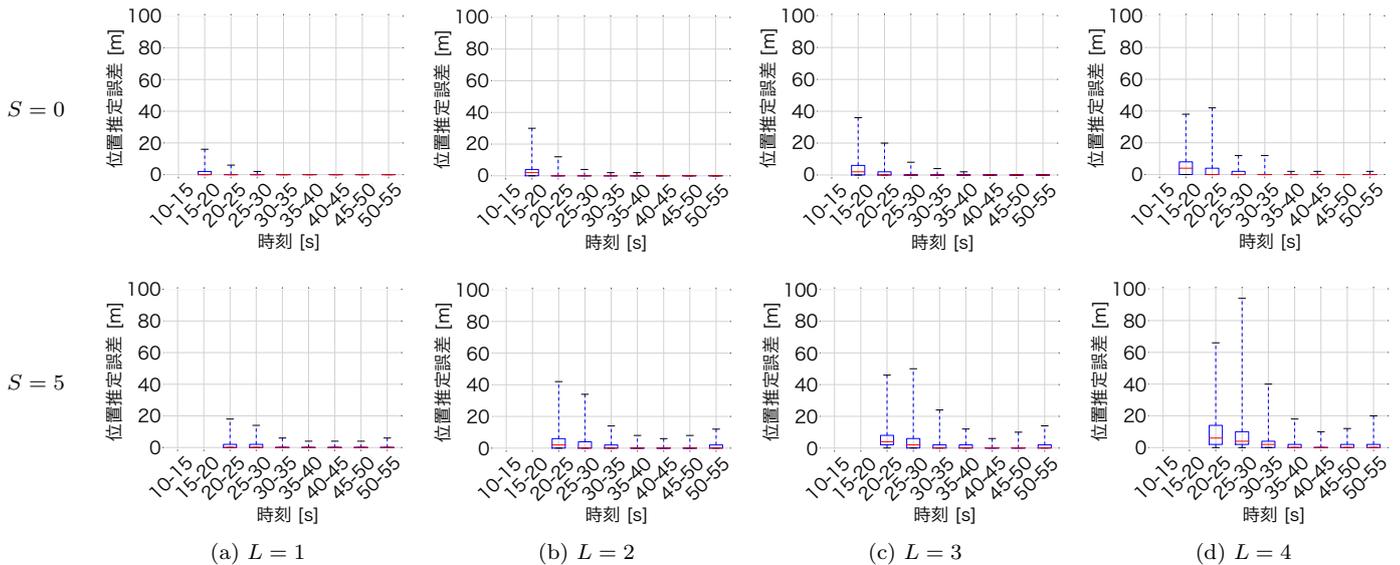


図 5: シミュレーションの各時刻における位置推定誤差の分布

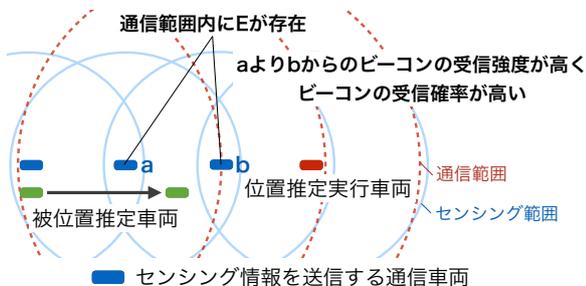


図 6: 時間経過に伴う位置推定誤差の減少理由

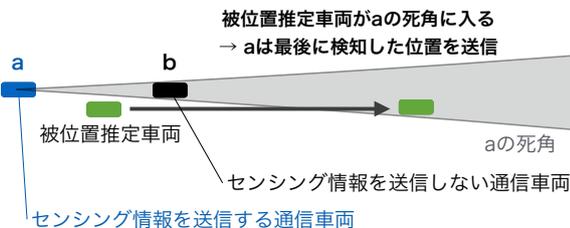


図 7: 位置推定誤差減少後に増加傾向となる理由

確認できる。時間経過に伴い位置推定誤差が減少する理由を図6を用いて説明する。図中の車両aとbはセンシング情報を送信可能な通信車両であり、それぞれの車両の通信範囲に位置推定実行車両がいるとする。時刻が経過するに従って被位置推定車両は位置推定実行車両に接近する。これにより、位置推定実行車両により近い通信車両(車両a, b)が被位置推定車両を直接検知できるようになり、被位置推定車両のセンシング情報を送信できるようになる。この結果、被位置推定車両のセンシング情報を含むビーコンが送信されてから受信するまでの時間が短くなるため、位置推定実行車両の位置推定精度が向上したと考えられる。また、位置推定実行車両により近い通信車両から送信されるセンシング情報を含むビーコンの受信強度が高くなること

から、そのより近い通信車両と隠れ端末の関係にある車両がビーコンを同じタイミングで送信していたとしても、位置推定実行車両がセンシング情報を含むビーコンを受信できる可能性が高くなることも位置推定精度が向上した理由だと考えられる。

被位置推定車両から見た対向車線が2車線以上 ($L \geq 2$) でセンシング情報が送信可能な通信車両を5台間隔で配置した時 ($S = 5$) において位置推定誤差が減少した後、再び増加していることが確認できる。これは、センシング情報を送信可能な通信車両のセンシングにより推定する被位置推定車両の位置が、被位置推定車両が死角へと移動することで最後に推定した位置から更新できなくなったためだと考えられる。位置推定誤差が増加した理由を図7を用いて説明する。図中の車両aはセンシング情報を送信可能な通信車両であり、車両bはセンシング情報を送信できない通信車両である。被位置推定車両は車両aの方向から車両bの方へ走行する。車両aは被位置推定車両をセンシングで直接検知できていたものの、時刻が経過するに従い被位置推定車両が車両bの死角へと移動することで直接検知できなくなる。このため、車両aは死角に移動する直前までにセンシングにより検知していた被位置推定車両の位置つまり、過去の推定結果をビーコンに含めて送信する。従って、このビーコンを受信した位置推定実行車両による位置推定精度は低下すると考えられる。

5. まとめ

本稿では、車車間通信が可能な車両と不可能な車両が混在する環境下において、車車間通信が可能な車両がビーコン packets を周辺の車車間通信が可能な車両と交換することで、直接自身の車載センサで検知できない車車間通信が

不可能な車両の位置の把握を行う協調認識について注目し、車両の位置関係や道路構造等に応じたビーコンパケットの送信制御を行うことで協調認識における位置推定の精度を高くする手法について検討した。また、車両の位置関係と協調認識における位置推定精度との関係について、シミュレーションによって調べた。直線1kmの7車線に1車線あたり45台の車両を配置し、車車間通信が可能な車両および不可能な車両が混在する環境を想定したシミュレーションにより、以下のような知見が得られた。

- 車車間通信を行う車両の密度が高くなると、位置推定精度は低下する。これは、通信チャンネルが混雑することや、車載センサで取得した情報を送信可能な車両が送信したビーコンパケットが他の車両が送信したビーコンパケットとの衝突により、ビーコンパケットが周辺車両に届くまでに遅延が頻発するためである。
- 車載センサで取得した情報を送信可能な車両の密度が低くなると、位置推定精度は低下する。これは、車車間通信が不可能な車両が、その車両を車載センサで直接検知できていた車両の死角に移動すると、最新の位置のセンシング結果が送られなくなるからである。
- 車車間通信を行う車両密度が高い時、かつ車載センサで取得した情報を送信可能な車両の密度が低い時、位置推定精度が著しく低下する。これは、通信チャンネルの混雑やビーコンパケットの衝突によるビーコンパケットの送信遅延に加えて、死角によって最新の位置のセンシング結果を得ることができなくなるためである。

今後は、車両の位置関係や道路構造等に応じたビーコンパケットの送信制御の詳細な設計を目指し、車車間通信が可能・不可能な車両の位置関係だけでなく、交差点や車線合流等の道路構造と位置推定精度の関係の調査や、車両密度を更に高くした場合や車間距離を更に狭くした場合等のシナリオにおける車両の位置関係等と位置推定精度の関係の調査を検討している。

謝辞 本研究は科学研究費補助金課題番号15H02689の助成による。また、本研究で使用したネットワークシミュレータScenargieはSpace-Time Engineering社の製品である[17]。

参考文献

- [1] TOYOTA: プリクラッシュセーフティシステム, https://toyota.jp/technology/safety/toyota_safety_sense/ (2017/01/23 アクセス)。
- [2] SUBARU: EyeSight 搭載車両, <http://www.subaru.jp/eyesight/lineup/> (2017/01/23 アクセス)。
- [3] VOLVO: ボルボのインテリセーフ, <http://www.volvocars.com/jp/about/our-innovation/intellisafe> (2017/01/23 アクセス)。

- [4] TOYOTA: ITS Connect, <https://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/> (2017/01/23 アクセス)。
- [5] 内閣府: 統計情報・調査結果消費動向調査 (平成29年3月実施分), http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/this_year/201703shouhi.html (2017/04/14 アクセス)。
- [6] Günther, H.-J., Trauer, O., Mennenga, B. and Wolf, L.: Realizing Collective Perception in a Vehicle, *Proceedings of the 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Columbus, Ohio, USA (2016)。
- [7] 電波産業会: 700MHz帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 1.2版 (2013)。
- [8] National Highway Traffic Safety Administration: Federal Motor Vehicle Safety Standards; V2V Communications, *Federal Register*, Vol. 82, No. 8, pp. 3854-4019 (2017)。
- [9] ETSI TS 102 637-2: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service (2011)。
- [10] ITS 情報通信システム推進会議: 5.8GHzを用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン: ITS FORUM RC-005 2.0版 (2013)。
- [11] Torrent-Moreno, M., Santi, P. and Hartenstein, H.: Fair Sharing of Bandwidth in VANETs, *the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 49-58 (2005)。
- [12] Torrent-Moreno, M., Santi, P. and Hartenstein, H.: Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks, *the IEEE communications society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, Vol. 1, pp. 39-48 (2006)。
- [13] ETSI TS 102 687: Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range: Access layer part (2011)。
- [14] Sommer, C., Tonguz, O. K. and Dressler, F.: Traffic information systems: efficient message dissemination via adaptive beaconing, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 5, pp. 173-179 (2011)。
- [15] Günther, H.-J., Riebl, R., Wolf, L. and Facchi, C.: Collective Perception and Decentralized Congestion Control in Vehicular Ad-hoc Networks, *Proceedings of the 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Columbus, Ohio, USA (2016)。
- [16] Torrent-Moreno, M., Jiang, D. and Hartenstein, H.: Broadcast Reception Rates and Effects of Priority Access in 802.11-Based Vehicular Ad-Hoc Networks, *in Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, Philadelphia, pp. 10-18 (2004)。
- [17] Space-Time Engineering: Scenargie, <https://www.spacetime-eng.com/jp/products> (2017/01/23 アクセス)。
- [18] IEEE Std 802.11-2012: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications (2012)。
- [19] 日本自動車研究所 ITS シミュレータ利用促進委員会: ITS 通信シミュレーション評価シナリオ 1.2版 (2013)。
- [20] Velodyne: LiDAR, <http://velodynelidar.com/> (2017/02/01 アクセス)。