

車両走行状況を考慮したダイナミックマップの効率的更新手法

Efficient Updating Method of Dynamic Map Considering Vehicle Driving Situation

杉坂 竜亮† 佐藤 健哉†
Ryosuke Sugisaka Kenya Sato

1. はじめに

1.1 背景

近年、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)の分野において研究開発が活発に行われ、道路交通の安全性や快適性は日々進歩している。高機能化の進んだ自動車にはカメラやセンサーなどが搭載されつつあり、現在では GPS による自車両の現在位置の把握だけでなく、周辺環境を認識しながら走行することが可能となっている。

これらの技術を利用し、各車両がセンシングによって得た位置や速度などの動的な情報をクラウドへと送信し¹⁾、道路や建物など静的な地図情報上に重ね合わせることでダイナミックマップを構築する研究も進められており、高度な安全運転支援や渋滞緩和などを目的とした走行制御が可能となる²⁾。またダイナミックマップは、今後発展していくと考えられる自動運転において重要な役割を果たすことが期待されており³⁾、内閣府が計画する戦略的イノベーション創造プログラム⁴⁾では、2020年に次世代交通システム等の実用化することを目指した検討が進められている。

ダイナミックマップを用いることで新たな運転支援が可能となる一方で、ITS 車載器が搭載された車両の増加や高度なサービスの登場による通信トラフィックの増加が問題となる⁵⁾。

そこで本研究では、走行している車両の情報や周辺の道路情報に応じてサーバと通信を行う周期を変化させ、車両とサーバ間の通信トラフィック増加に伴う負荷を低減させるために適切な設定を検証する。

1.2 目的

本研究の目的は、車両がダイナミックマップを構築しているサーバに自車両の情報を送信する周期を変化させることによって通信トラフィック増加に伴う負荷を低減させることである。

安全運転支援などで要求される車両の走行情報は、それぞれの車両の周辺環境状況や走行状況によって重要度は異なることが予想される。その為、車両毎の状況に応じて重要度の低い車両は通信の周期を長くし、重要度の高い車両は通信の周期を短くすることで通信の最適化を行う。

2. 既存手法

2.1 ダイナミックマップの特徴と問題点

ダイナミックマップは、道路交通の状況や歩行者などの動的な情報と地図や建造物などの静的な情報を時間的また空間的に統合して管理する仕組みである。それぞれの情報は特徴ごとに4つの階層に分類される。静的な地図に複数の動的情報を組み合わせることによって、従来の地図と比較してより高度な地図情報を提供することが可能となる。

今後はダイナミックマップを利用した安全運転支援システムが数多く提供されることが予想されるため、システムの品質を確保できる応答時間やキャパシティを保証することが重要となる。特に車両の密集する交差点付近では事故の危険が高まるためダイナミックマップを用いた安全運転支援が重要な役割を担うと考えられる一方で、多くの車両からのアクセスが集中することによって、要求される時間内に応答が返らなくなってしまうことが想定される。システムの品質が道路交通の安全に大きな影響を与えることを考えると、ダイナミックマップを構築するサーバと車両との通信の効率化は重要な課題である。

2.2 関連システム

ダイナミックマップを構成するサーバと車両との通信を効率化する方法の一つとして、車車間通信と LTE 通信を併用することで車群を形成し、送受信するデータ量を削減する手法がある⁶⁾。この手法では、各車両が等速、等間隔で制御されて走行している環境で、各車両が車車間通信を用いて走行データを共有し、車群を形成する。形成された車群内の代表車両1台のみが走行データをサーバに送信することで、車両からサーバへ送信される総データ量を削減し、データ伝送を効率化する。

またレイテンシ、キャパシティ、信頼性を改善する方法の一つとして、バーチャルセルを用いる手法がある⁷⁾。この手法では、従来の基地局基準のアプローチとは対照的に、エンドデバイスを中心に、その周囲に位置する複数の基地局を関連付けることによってバーチャルセルと形成する。SINR 値を保証する制御を行いながらバーチャルセルを形成することによって、基地局から送信されるマルチキャストデータを受信できる車両数を最大にし、通信に必要な総電力を最小化することが可能となる。

2.3 関連システムの問題点

関連システムの問題点として、車両ごとの状況を考慮できていないことが考えられる。ダイナミックマップに送信される車両の情報は、走行している道路の環境や速度などの車両の状態に応じて重要度が変化する。これら車両の走行状況を考慮することによって、データ伝送を効率化する余地がある。

また関連システムでは、車両が等速等間隔に制御されて走行する環境が想定されていたが、完全な自動運転の前段階である安全運転支援システムを利用したドライバーによる車両の走行では現実的であるとは言えない。そのため、それぞれの車両が別々の速度で走行し、隊列走行などを行っていない環境下において、サーバへ送信される総データ量を削減する手法を検討することは有用であると考えられる。

† 同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻,
Graduate School of Information and Computer Science,
Doshisha University

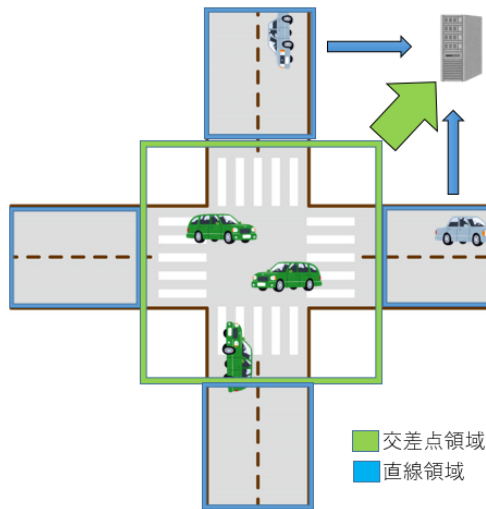


図1 道路情報の利用

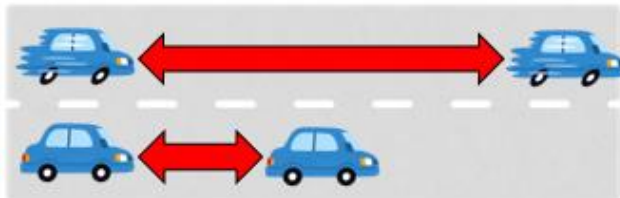


図2 速度情報の利用

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では、車両台数の増加によって通信トラフィックが混雑する環境において、車両走行状況を考慮することでダイナミックマップを構築しているサーバと車両との通信を効率化する手法を検討する。通信の効率化のために考慮する車両走行状況として、今回は主に二種を想定する。

まず一つ目に、車両が走行している道路の情報を利用する。車両が走行している道路の環境によってダイナミックマップを用いた安全運転支援システムが果たす効力は変化する。横方向からの車の進入の可能性が無い直進の道路と比較した場合、交差点付近では進行方向以外からの車の進入の可能性や、街路樹や建物などによる視界不良などの影響によって、人間の視覚による判断のみでは対応できない状況が発生する可能性があるため、ダイナミックマップによる支援の重要度が高くなる。そこで図1に示すように、交差点付近では短い周期での走行情報の更新を行うことで車両情報の高い品質を確保し、直線道路では安全に影響が少ない範囲の長い周期で更新を行うように通信の重みを振り分ける。

二つ目に、走行している各車両の速度の情報を利用する。通信の効率化と安全運転支援システムの品質を両立するために、道路の環境の違いによる影響だけでなく車両の速度の違いによるダイナミックマップの安全性への影響も考慮する必要がある。図2に示すように、同じ周期で位置情報の更新を行う車両であっても低速で走行している車両と比較した場合、高速で走行している車両はダイナミックマッ

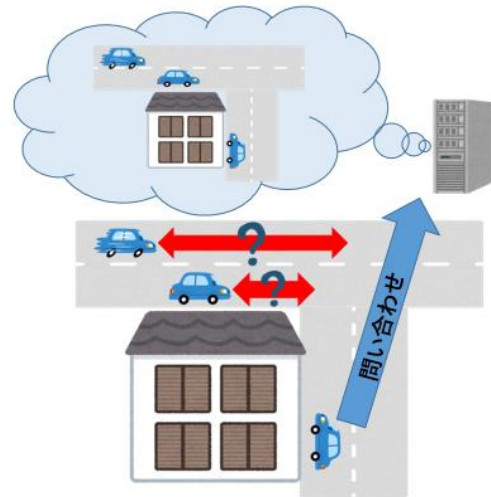


図3 移動距離による安全への影響

プ上にデータを送信する間に移動する距離が長くなってしまおうと想定される。図3に示すように、ダイナミックマップに反映されない車両の移動距離が長くなればなるほど、情報が更新された直後か更新される直前かの違いによる位置の変化が大きくなる。この移動距離のばらつきが大きくなればなるほど安全運転支援システムの品質は低下する。そのため、低速で走行している車両は長い周期での走行情報の更新を行い、高速で走行する車両は短い周期での更新を行う。道路情報と速度情報の二種を組み合わせた車両走行状況を考慮した通信の効率化を行うことで、安全性の低下を最小限に止めつつ、通信トラフィックの増加に伴う負荷を低減することが可能となる。

3.2 前提条件

本研究での前提条件を定義する。

1. すべての車両はGPSなどの測位システムを用いて自車の地理的位置を知ることが可能である。
2. すべての車両はセルラー回線を通じてダイナミックマップを構築するサーバと通信可能である。
3. すべての車両は周辺環境の静的な地図情報を所有している。
4. エンジンのかかっていない停車車両は考慮しないものとする。

3.3 システム構成

図4に提案手法のシステム構成を示す。今回の提案手法は車内システムとサーバから構成されている。

● 車内システム

各車両は車両走行状況に応じてサーバへ情報を送る送信周期を変更する。各車両はGPS等を用いて自車の地理的な位置情報を取得し、所有している地図情報から走行している環境が交差点領域か直線領域であるかを判断する。その後、自車の速度情報を加味して適切な送信周期へ設定の変更を行う。この送信周期の変更は車両がサーバへ車両の情報を送信するたびにを行う。

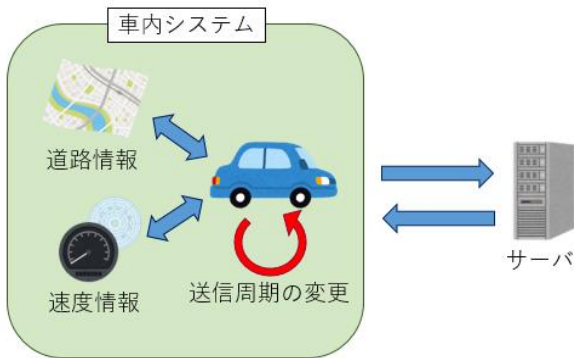


図4 システムの構成

● サーバ

車両から送られてきた動的情報を一元管理する。各車両はサーバに問い合わせを行うことによって、他車両の情報を取得することが可能となる。

4. 実装

4.1 概要

本研究では、車両走行状況として道路情報と速度情報の二種を考慮して送信周期を制御することによって、通信トラフィックの負荷を低減する。ETSI では CAM の生成を最短 100 ms、最長 1000 ms 周期で行うことを前提に検討を進めている⁸⁾。今回の実装では、車両走行状況に応じてサーバとの送信周期を、最も短い周期の 100 ms、中程度の周期の 500 ms、最も長い周期の 1000 ms の三種の間で変化させる。

4.2 実装環境

本研究では、提案手法を実装するシミュレータとして Scenargie⁹⁾を用いた。Scenargie は Space-Time Engineering 社が開発したネットワークシミュレータである。様々な拡張モジュールと組み合わせることで、LTE や車車間通信、マルチエージェントシミュレーションなど多様なモデルを構築することが可能である。また、近年の通信システムや評価シナリオが複雑になってきていることから、シナリオ作成の作業を大幅に低減する工夫がなされている。その例として、GUI によるシナリオ作成や地図データと通信システムのグラフィカルな情報表示、電波伝播解析機能などが挙げられる。

4.3 動作手順

図5に併せて、各車両が提案手法を用いる場合の動作手順を示す。

1. 車両は走行を開始すると同時にダイナミックマップのサーバへと車両情報の送信を開始する。
2. 送信後、車両は GPS 等から取得した自車の位置情報と地図情報から、現在地が交差点領域か直線領域か判断する。
3. 車両の現在地が交差点領域であった場合送信周期を短い 100 ms に設定し、直線領域であった場合中の 500 ms に設定する。
4. 車両の現在の速度を取得する。
5. 車両の速度が時速 30 km よりも遅い場合、現在の送信周期が短であれば中に、中であれば長の 1000 ms に設定する。車両の速度が時速 30 km 以上の場合は、送信周期の変更は行わない。

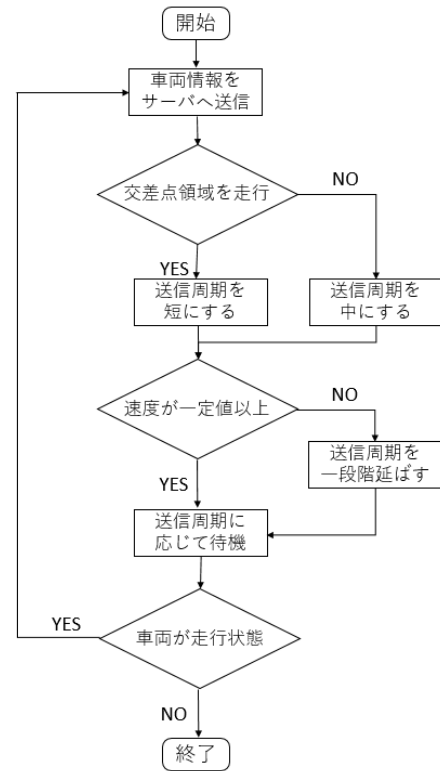


図5 送信周期決定の流れ

6. 車両は設定された送信周期に応じて待機する。
7. 車両は自車の走行状態を確認し、走行を続けている場合は手順1に戻って車両情報を送信し、走行を完了した場合には送信を終了する。

5. 評価

5.1 評価内容

本研究の評価として提案手法を適用した場合と適用しない既存手法でシミュレーションを行い、車両情報の送信回数を比較することによって通信トラフィックをどの程度削減できるのかを確認する。また車両情報がサーバへ送信されてから次に車両情報を送信するまでの間に車両が移動する距離を比較することによって、データの品質や安全にどの程度影響を及ぼすのかを確認する。

5.2 評価環境

表1にシミュレーション環境を示す。車両台数は日本の平均車密度である 158 台に設定した。シミュレーション時間は 2 分間とし、各車両は走行エリア内をランダムな経路及びランダムな速度で走行する。

表1 シミュレーション環境

シミュレータ	Scenargie2.0
車両台数	158台
範囲	1000m x 1000m
通信方式	LTE
通信インターバル	100ms ~ 1000ms

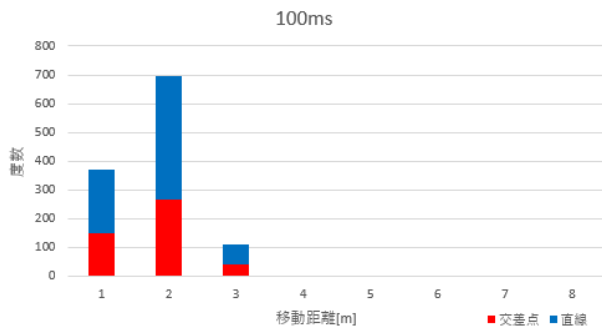


図6 100ms 時の移動距離分布

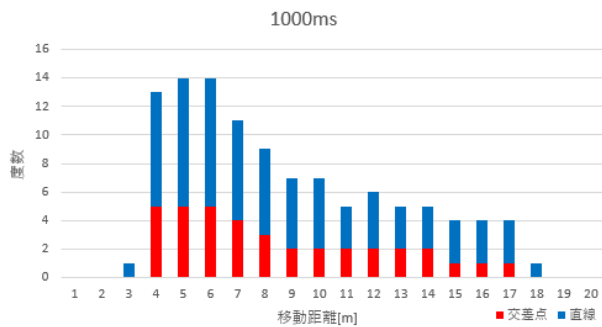


図7 1000ms 時の移動距離分布

5.3 既存手法の送信回数と移動距離

100 ms, 1000 ms 固定値での送信回数は2分間で1200回と120回になる。その際の移動距離の分布を図6, 図7に示す。何も制御を行わない場合, 送信周期が長くなるほど移動距離が長くなるケースも多くなる。図8に示すように送信間隔が長くなるほど平均移動距離のばらつきも大きくなる。

5.4 提案手法の送信回数

図9に提案手法のうち道路情報のみを適用した場合, 提案手法のうち速度情報のみを適用した場合, 提案手法を適用した場合の平均送信回数を示す。道路情報のみの場合と速度情報のみの場合では約500回の送信回数となる。内訳としては, 道路情報のみの場合では全体の約86%にあたる440回が交差点領域から送信され, 直線領域からの送信は70回であった。一方で速度情報のみの場合では, 全体の約61%にあたる330回が直線領域から送信され, 交差点領域からの送信は200回であった。

また道路情報のみの場合ではばらつきが小さいのに対し, 速度情報のみの場合にはばらつきが大きくなることがわかる。

提案手法を適用した場合には約330回の送信回数となり, 全体の約68%にあたる230回が交差点領域から送信され, 直線領域からの送信は100回であった。

5.5 提案手法の移動距離分布

図10, 図11, 図12にそれぞれの条件で提案手法を適用した場合の移動距離分布を示す。

道路情報のみを適用した場合には, 交差点領域でのデータ送信に重きを置いているため交差点領域を走行している

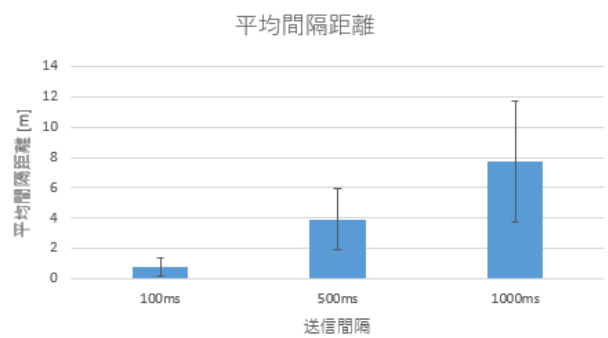


図8 既存手法の平均移動距離

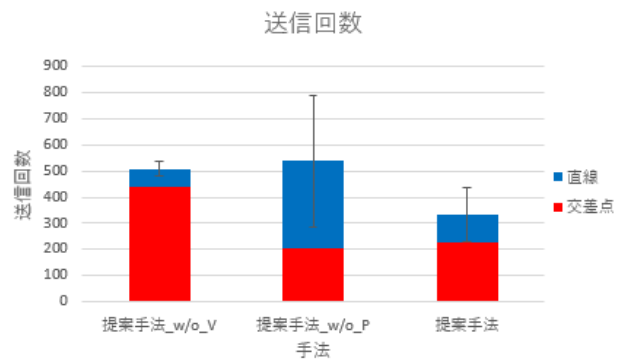


図9 提案手法の送信回数

車両の移動距離は非常に短い数値となっている。その一方で直線領域を走行している車両は場合によっては非常に長い移動距離となってしまうことがある。

速度情報のみを適用した場合には全体としての移動距離の分布は2mと3mに集中しているが, 道路情報を考慮していないため直線領域を走行している車両の送信比率が高くなっている。

提案手法を適用した場合には, 交差点領域を走行する車両の移動距離を短く抑えるとともに, 速度情報を考慮することで, 直線領域を走行している車両の移動距離が極端に長くなってしまふことを抑制している。

5.6 提案手法の平均移動距離

図13にそれぞれの条件で提案手法を適用した場合の平均移動距離を示す。

道路情報のみを適用した場合には, 全体で平均1.6m, 交差点領域のみでは0.7mと非常に良い結果となっているが, 直線領域では7.2mと既存手法の1000msの場合に近い結果となっている。またばらつきも非常に大きいことが確認できる。

速度情報のみを適用した場合には, 全体, 交差点領域, 直線領域のどの条件でも約1.7mとなった。道路情報を考慮していないため, 走行位置の違いによる差は見られなかった。

提案手法を適用した場合には, 全体で2.7m, 交差点領域で1.5m, 直線領域で5.4mとなった。道路情報のみの場合と比較して, 直線領域の結果が改善し, ばらつきも抑えることができていくことが確認できる。

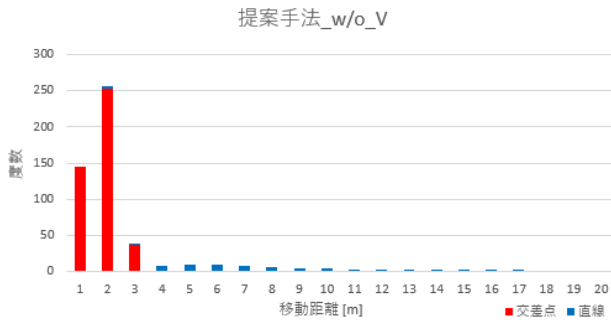


図 10 提案手法 w/o V の移動距離分布

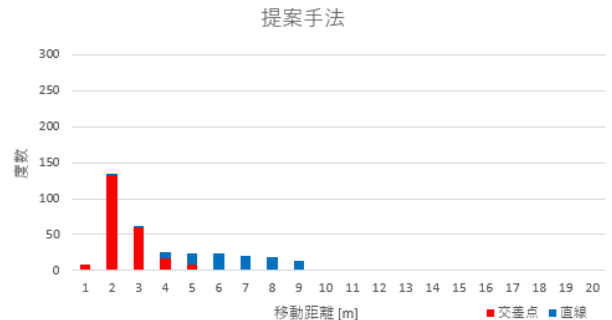


図 12 提案手法の移動距離分布

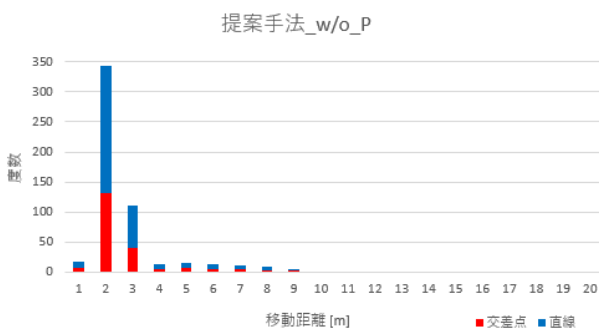


図 11 提案手法 w/o P の移動距離分布

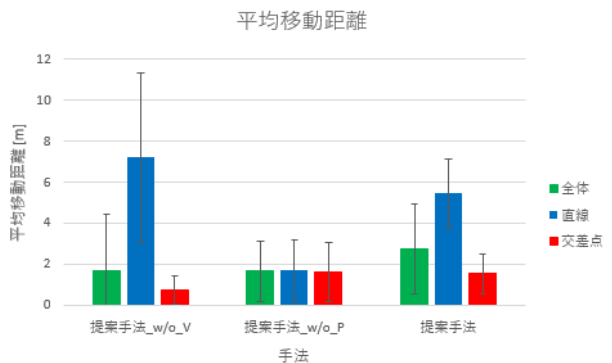


図 13 提案手法の平均移動距離

6. 考察

6.1 送信回数

既存手法である制御を行わずに車両が 100 ms, または 1000 ms 間隔で送信した場合, 今回のシミュレーション時間である 2 分間ではそれぞれ 1200 回と 120 回の送信を行うこととなる. そのため, 100 ms 周期ではなく 1000 ms 周期のみで送信する場合は, 送信回数は 90 %削減されることとなる. またすべての車両は同じ周期で送信を行うため, 車両ごとの送信回数にばらつきは無い.

図 9 の評価結果より, 提案手法を用いて送信周期を制御した場合, 平均の送信回数は約 330 回となり, 100 ms の既存手法を比較すると 72 %削減されることから通信の効率化が図れていると考えられる.

速度情報のみで制御を行った結果を見ると, 送信回数が少ない場合には約 300 回程度であるのに対し, 多い場合には約 800 回とばらつきが非常に大きくなっていることが分かる. 送信回数のばらつきが大きければ大きいほど, 条件によっては通信の効率化が見込めなくなると言えるため好ましくない. 提案手法では速度情報と道路情報を組み合わせることによって, 送信回数が少ない場合には約 230 回, 多い場合には約 430 回となり, 速度情報のみの制御と比較してばらつきを抑えられていることが分かる.

6.2 移動距離分布

図 6, 図 7 の評価結果より, 制御を行わずに車両の送信周期を 100 ms から 1000 ms に変更した場合, 100 ms で送信している車両の移動距離が 1 m から 3 m であるのに対し, 1000 ms では 3 m から 17 m となっていることから, 単純に送信周期を長くするのみでは移動距離のばらつきが非常に大きくなってしまふことが分かる. また今回のシミュレーション環境では, 各移動距離において直線領域から送信さ

れた割合が約 60%であることが分かる.

図 10 の評価結果より, 道路情報のみで制御を行った場合, 交差点領域を走行している車両は既存手法の 100 ms の環境と同様となり, 直線領域を走行している車両は 1000ms の環境と同様となる. その為, 交差点領域の移動距離の結果はばらつきが小さいが, 直線領域の移動距離はばらつきが大きくなってしまふ.

図 11 の評価結果より, 速度情報のみで制御を行った場合, 移動距離は 1 m から 9 m となり道路情報のみ制御と比較してばらつきを抑えられていることが分かる.

図 12 の評価結果より, 提案手法を用いて制御を行った場合には, 移動距離は 1 m から 9 m と速度情報のみの制御と同様の結果となり, 既存手法の 1000 ms の環境と比較して, ばらつきを抑えられたことが分かる. また短い周期での通信を交差点領域の車両に割り振ることによって, 交差点領域の車両情報は移動距離が短く, かつばらつきが小さいことで品質が確保できていることが分かる.

6.3 平均移動距離

図 8 の評価結果より, 既存手法の平均移動距離は 100 ms では約 1 m, 500 ms では約 4 m, 1000 ms では約 8 m となることが分かる. また送信間隔が長くなればなるほど速度による移動距離への影響が大きくなり, ばらつきが大きくなることが分かる. 最もばらつきが大きくなる 1000 ms の場合には, 最小で約 4 m, 最大で約 12 m となる.

図 13 の評価結果より, 道路情報のみで制御を行った場合, 交差点領域を走行している車両は既存手法の 100 ms の環境と同様となり, 直線領域を走行している車両は 1000ms の環境と同様となる. 速度情報のみで制御を行った場合, 道路領域ごとの移動距離に差は見られない. 提案手法を用いて制御を行った場合には, 交差点領域では約 2 m, 直線領域では約 6 m となり, 交差点領域における平均

移動距離は既存手法の 100 ms で送信する場合と比較して約 1 m 長くなったが、直線領域における移動距離は 1000ms で送信する場合と比較して約 2 m 短くなる結果となった。

6.4 効率化

通信トラフィックの負荷低減を目的とした通信の効率化に関して、提案手法を用いることによって既存手法の 100ms で送信する場合と比較して約 72 %送信回数を削減できることが確認された。これはダイナミックマップを用いた安全運転支援システムが果たす役割として、カメラやレーザーレーダなどで認識可能である直線道路の前後の車両などに対する支援と比較して、交差点や建物の死角にいる車両など視覚外の中、長距離に存在する車両に対する支援により高い重要度があるという考えに基づいて送信周期を制御すること、また低速で走行している車両は高速で走行している車両と比較して位置情報の変化が少ないという点から制御をすることによって、車両情報の過剰な送信を抑制することができたためであると考えられる。

このことから、車密度の高い都市部などの環境で提案手法を用いた制御を行うことによって送信回数を大幅に削減し、ダイナミックマップを構築するサーバへの負担を軽減することが可能である。

6.3 車両情報の品質

ダイナミックマップに蓄積される車両情報の品質に関して、移動距離が長くなるほど、また移動距離のばらつきが大きくなるほど車両情報の品質は低いものになると考えられる。図 1 3 の評価結果より、提案手法では交差点領域での平均移動距離は既存手法の 100 ms の結果と比較して 1 m 長くなる結果となったが、時速 30 km 以上で走行する車両は 100 ms 周期で送信しているため移動距離は悪化しない。提案手法では時速 30 km より低速で走行している環境、例えば渋滞時や右折待ちをしている車両の過剰な送信を抑制している。また直線領域での平均移動距離は既存手法の 1000 ms で送信した場合と比較して平均移動距離とそのばらつきは小さく抑えられている。今回の実装では直線領域を走行している車両は速度に応じて 500 ms か 1000 ms のいずれかの送信周期に設定したが、図 1 4 に示すように時速 50km 以上の場合、もしくは時速 40km 以上の場合に 100ms 周期で送信する設定にすることで移動距離を改善することが可能である。しかし、これは送信回数とのトレードオフになるため、安全運転支援システムを提供する環境に応じて、通信の効率化と車両情報の品質のどちらを重視するかを判断し設定を切り替えることが重要となる。

7. まとめ

本研究では今後増加していくと想定されるダイナミックマップを利用した安全運転支援システムを提供する環境において、車密度の高い都市部やより高度なサービスに伴う通信トラフィックの増加を問題点として挙げた。提案システムのように、道路情報と速度情報を考慮して車両情報の送信周期を制御することで、車両情報の品質の低下を最小限にとどめつつ、必要以上に車両情報を送信することを制限することによって通信の効率化を実現することが可能となる。

Scenargie を用いてシミュレーション環境を構築し、既存手法として車両が制御を行わずに 100 ms , 500 ms , 1000ms 周期で車両情報を送信した場合の送信回数と移動距離を評価し、提案手法のうち道路情報のみを用いた場合、

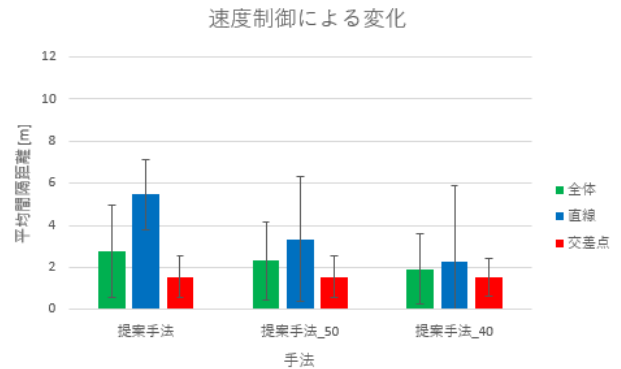


図 14 速度制御による変化

速度情報のみを用いた場合、道路情報と速度情報を組み合わせた場合を評価して比較を行った。評価の結果から車両情報の送信回数を削減しつつ、移動距離を短く抑えることができていたことから車両情報の品質低下を抑制できることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16H02814 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Yi Shi, "LTE-V:A Cellular-Assisted V2X Communication Technology", ITU Workshop, (2018-6)
- 2) 渡辺 陽介, 高木 建太朗, 手嶋 茂晴, 二宮 芳樹, 佐藤 健哉, 高田 広章, "協調型運転支援のための交通社会ダイナミックマップの提案", DEIM Forum 2015 F6-6
- 3) 須田 義大, 青木 啓二, "自動運転技術の開発動向と技術課題", 情報管理, Vol.57(2014) No.11 pp809-817
- 4) 内閣府, 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP), http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf, (2018-7)
- 5) 総務省, 総合通信基盤局, "我が国の移動通信トラヒックの現状", (2018-6) <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010602.pdf>
- 6) 葛谷 亮介, "クラウド連携を想定した車群形成によるデータ伝送効率化手法", 同志社大学 2016 卒業論文集, 2016
- 7) Taylan Sahin, Markus Klugel, Chan Zhou and Wolfgang Kellerer, "Virtual Cells for 5G V2X Communications", IEEE Communications Standards Magazine(volume:2, Issue:1, March 2018)
- 8) "Final draft ETSI EN 302 637-2 v1.3.1", http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01_03_01_30/en_30263702v010301v.pdf, (2018-6)
- 9) SPACE-TIME Engineering, Scenargie, <http://www.spacetime-eng.com/jp/index.html>, (2018-6)