

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式シミュレーション高速化の一検討

近藤将太郎[†] 長谷川孝明[†]

[†] 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: †{shotaro,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式のシミュレーションの計算負荷の要因を明らかにした上で、評価結果にほとんど影響を与えずに計算時間を短縮する手法を提案する。特に平均車両密度が高いとき、通信評価の際に必要な車両衝突予測処理の間引きによる効果が高いことを示している。さらに、提案手法の導入による必要情報取得率への影響を考慮した種々のパラメータの検討を行っている。

キーワード マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式, 路車間通信, 車車間通信, 高速化手法

A Study on Acceleration of the Simulator for Multi-Class Zone ITS Communication Scheme

Shotaro KONDO[†] and Takaaki HASEGAWA[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Saitama University
255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama City, Saitama Pref., 338-8570 Japan

E-mail: †{shotaro,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract In this paper, we clarify computational complexity of the simulator of the multi-class zone ITS communication system. We propose a method to shorten the calculation time with few affecting evaluation results. Especially, when the average vehicle density is high, this means that the effect of thinning out the vehicle collision predict process required for communication evaluation is high. Various parameters considering the influence on the ratio of received information necessary by using the proposed method are being examined.

Key words Multi-Class Zone ITS Communication Scheme, V2I Communication, V2V Communication, Acceleration Technique

1. ま え が き

自動車事故による負傷者や死者数は減少傾向にあるが、その数は依然として多い [1]。そのうちおよそ半数が交差点とその付近で発生しており、交差点での交通事故の削減が社会的に非常に重要である。これらの事故を防止するために、ITS（高度交通システム; Intelligent Transport Systems）分野では通信を用いて人・車・インフラ間で情報共有 (Vehicle Information Sharing; VIS) を行い、ドライバーの知覚範囲の拡大を行うことが重要であり、VIS の観点から ITS 情報通信システムとアプリケーションの関係が ITS 通信コンセプトリファレンスモデルによって示されている [2]。VIS 実現のために、車両がインフラを介さずに通信を行う車車間通信、車両がインフラを介して通信を行う路車間通信、車車間・路車間統合通信が存在し、これらについて様々な研究が行われている [3-7]。車車間

通信は各車両が自律的に通信を行うため、一般に周波数利用効率率は低いが、インフラ設備を必要としないため、社会的コストが低い。路車間通信はインフラ設備を必要とするため社会的コストは高いが、インフラ設備によって通信を集中管理をするため、一般に周波数利用効率が高い。

車車間・路車間統合通信の 1 つに、交差点とその付近での情報共有に重点を置いたマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式が提案されている [8]。マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では、図 1 に示すように交差点にインフラ設備を設置する。停止線から 50m 以内の領域を最近傍領域、その外側 200m 以内の領域を準近傍領域、それ以外の領域をその他の領域と 3 つの領域に分割する。最近傍領域では交差点に設置されたインフラ設備を用いた路車間通信により、TDMA 方式を用いてリアルタイムかつ確実な通信を行う。準近傍領域では Slotted-ALOHA 方式を用いた路車間通信により、高品質な通信を行いつつ最

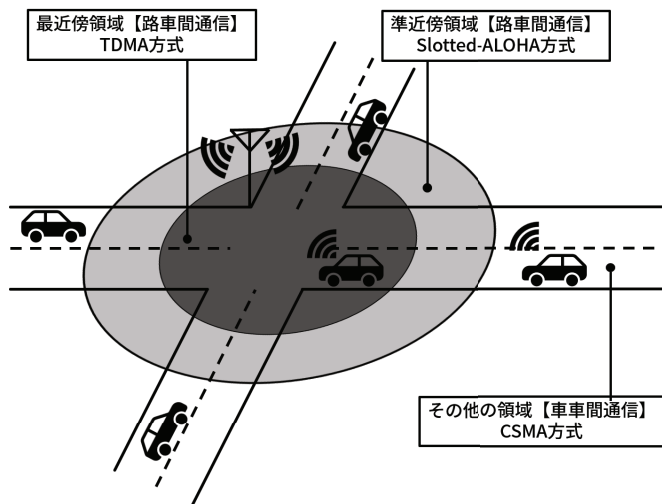


図1 マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の概要

近傍領域での通信に必要なスロットの予約を行う。その他の領域ではCSMA方式を用いた車車間通信により、インフラ設備を必要としない自律的な通信により情報共有を行う。

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式に関する研究は文献 [8-13] で行われている。文献 [8] ではマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の提案と通信帯域幅の基礎的研究が行われている。文献 [9] では路車間通信領域の重なりによる電波干渉を回避する通信チャネル分割と車車間通信の検討を行い、車車間通信の基礎評価が行われている。文献 [10] では路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響評価が行われ、相互干渉の影響が十分小さいことが示されている。文献 [11] ではマルチホップ通信を導入した場合の性能評価が行われている。文献 [12] では他車両と衝突可能性の高い車両を対象とした通信性能評価の提案を行い、基地局の設置効果の検証が行われている。文献 [13] では信号現示による車両の疎密を考慮し、準近傍領域の資源割当の検討と評価が行われている。

しかし、文献 [12] で提案されている通信評価法は計算機シミュレーションの計算負荷が高いため、シミュレーション結果を得るまでに多くの時間を要する。したがって、シミュレーションにかかる時間の短縮が必要である。

本稿ではシミュレータの計算負荷の要因を明らかにし、効果的なシミュレーションにかかる時間の短縮方法を提案する。

2. マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式と通信性能評価方式 [8-13]

2.1 概要

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式は図1に示すように3つの通信領域において、役割の異なる通信を行うことで、交差点付近でリアルタイムかつ確実な通信を行う。3つの通信領域は交差点に近い領域から順に、最近傍領域、準近傍領域、その他の領域と呼ぶ。最近傍領域は停止線上流50m以内の領域であり、準近傍領域は最近傍領域外200mの領域である。最近傍領域と準近傍領域を除いた領域がその他の領域である。

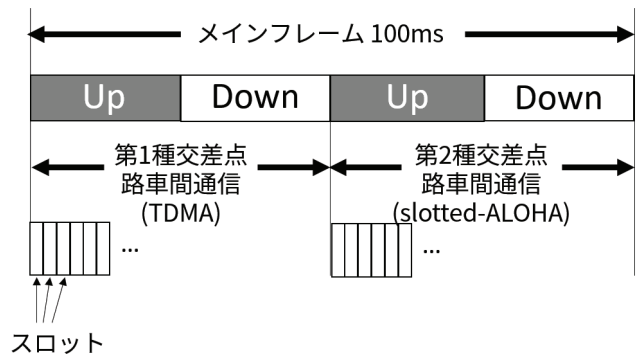


図2 フレーム構成

最近傍領域、準近傍領域で行う通信をそれぞれ第1種交差点路車間通信、第2種交差点路車間通信と呼び、第1種交差点路車間通信ではTDMA(Time Division Multiple Access)方式、第2種交差点路車間通信ではSlotted-ALOHA方式を用いて通信を行う。図2に第1種交差点路車間通信と第2種交差点路車間通信のフレームの構成を示す。メインフレームは第1種交差点路車間通信と第2種交差点路車間通信の2つのサブフレームにより構成される。各サブフレームはアップリンクとダウンリンクにより時分割で分割される。アップリンクでは車両から基地局への通信を行い、ダウンリンクでは基地局から車両に対して通信を行う。また、車両1台が通信を行うために1つのスロットを占有する。

その他の領域から準近傍領域に侵入した車両は基地局からパイロット信号を受信し、フレーム同期を行い、第1種交差点路車間通信における通信の準備(スロット予約)と可能な限り高品質な通信を行う。車両が最近傍領域に侵入すると、事前に予約したスロットを使用し、第1種交差点路車間通信を行う。最近傍領域から退出後、準近傍領域でスロットを開放し、第2種交差点路車間通信を行う。その他の領域ではCSMA(Carrier Sense Multiple Access)方式を用いた車車間通信を行う。通信の切替には高精度な自車位置特定と基地局の位置情報データベースの搭載を前提として各車両が通信領域の変更を判断して行う。

2.2 衝突可能性の高い車両のみを対象とした通信評価法 [12]

一般に通信性能の評価は、全体のノードに関するスループットや全通信回数に対する通信の成功確率が指標として用いられる。しかし、ITS情報通信では安全に関する情報の通信を行うため、衝突する可能性の高い車両間での通信成功が重要となる。したがって、本稿では文献 [12] で提案されている、"他車両との中心座標の距離が2s以内に5m以内になると予想される車両間での通信成功確率" (以降、「2s5mルール」と呼ぶことにする) すなわち、

$$\text{必要情報取得率} = \frac{\text{必要情報の取得回数}}{\text{衝突可能性が高い車両の情報取得を必要とした回数}} \quad (*)$$

を用いた評価を行う。必要情報とは、車両が衝突回避に必要な相手車両の位置や速度等の情報である。

3. 評価環境

3.1 評価方法

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では交通流と通信のシミュレーションを行うため、交通流が定常状態に達した状態から通信のシミュレータを開始する。通信の状態が定常状態に達した後、通信の評価を開始する。交通流が定常状態に達するまでに必要な時間(以降、「交通流ウォーミングアップ時間」と呼ぶことにする)を確認し、交通流処理、通信処理、2s5m ルールに基づく通信評価処理の3つに分け、シミュレーションにかかる時間(以降、「計算時間」と呼ぶことにする)を計測する。2s5m ルールに基づく通信評価処理では2s5m ルールに則した車両衝突予測処理を行い、必要情報取得率の計算を行う。

3.2 シミュレーション条件

交通流シミュレーションに用いた道路環境は図3に示すように、主道路両側5車線、従道路両側3車線とする。交差点数を3とし、中央の交差点における最近傍領域と準近傍領域における必要情報取得率を評価する。また、各交差点には信号機があり、車両は信号現示に従った走行を行う。交通流のシミュレーション刻みは0.1秒であり、必要情報取得率の計算に必要な車両衝突予測処理は交通流の更新後に行う。ここで、車両衝突予測処理とは各車両の軌跡推定を行い、2s以内に5m以内に近接する車両の組をリスト化する処理である。車両の設定右左折率を表1に示す。様々な交通量における通信性能について検討するために、平均車頭間隔7秒、10秒、30秒の交通状況に対してシミュレーションを行う。

表2に通信諸元を示す。利用可能帯域幅が0.56MHz、1.68MHzにおける通信性能を検討する。本稿では、基地局は交差点の中央、通信機器は車両の中央に設置されていると仮定する。また、シャドーイングが発生しない交通環境であり、電波減衰や多重伝搬は発生しないものとし、通信の失敗はパケット衝突のみとする。さらに、誤り訂正、ロールオフ率、ヘッダをすべて含めて1Hz=1bpsと仮定して計算を行う。

表3にシミュレーションの実行環境について示す。

表1 設定右左折率

	左折 [%]	直進 [%]	右折 [%]
主方向	10	80	10
従方向	40	20	40

3.3 必要な交通流ウォーミングアップ時間の調査

平均車頭間隔7秒、10秒、30秒における各領域の平均車両密度の推移を図4に示す。平均車両密度の変化が少なくなったときに交通流は定常状態に達したと考えられる。したがって、必要な交通流ウォーミングアップ時間は平均車頭間隔7

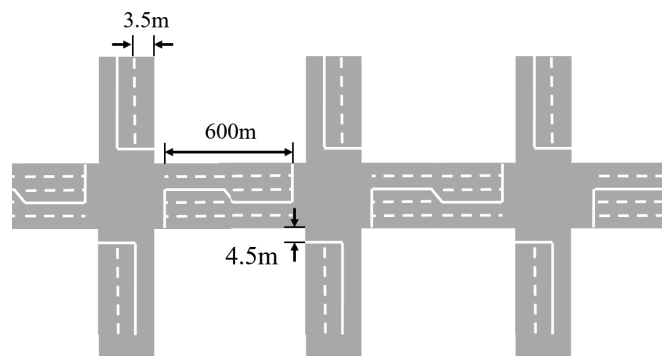


図3 道路諸元

表2 通信諸元

通信範囲	路車間通信	250 m
	車車間通信	100 m
キャリアセンス半径		200 m
通信周期		0.1 秒
フレーム長		0.1 秒
正規化遅延		0.5 slot
通信チャンネル数		2 CH
パケット長(データ長)		70 byte (30 byte)

表3 シミュレーション実行環境

OS	Vine 6 64bit
CPU	Core-i5 4590
メインメモリ	8GB
マザーボード	B85M-K
シミュレーション言語	Java
コンパイラ	JDK 1.8.0

秒の場合20000秒、平均車頭間隔10秒、30秒の場合5000秒であると判断される。そのときの最近傍領域の平均車両密度はそれぞれ55台/km/lane、35台/km/lane、8台/km/laneとなっている。

4. 計算負荷の解析と性能精度

4.1 高速化手法

シミュレーションにおける交通流、通信、2s5mルールに基づく通信評価の計算時間を計測するために、交通流ウォーミングアップ時間を除いた計算時間を考える。最近傍領域の平均車両密度を8台/km/lane、35台/km/lane、55台/km/lane、利用可能帯域幅を0.56MHz、1.68MHzとした場合の計算時間を図5に示す。2s5m通信評価密度については後述する。図5(a)では、シミュレーション時間が10000秒のとき、交通流、通信、2s5mルールに基づく通信評価処理の計算時間はそれぞれおよそ18秒、24秒、36秒であることを表している。図5から、平均車両密度の増加に伴って2s5mルールに基づく通信評価処理の計算時間が大きく増加し、シミュレーションの計算時間が増加している。車両衝突予測処理には車両間の組み合わせ

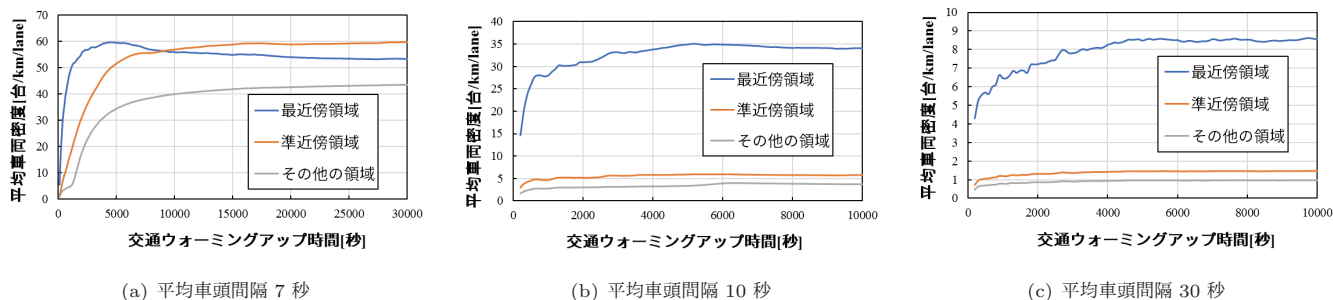


図 4 交通流が定常状態に達する時間

せで 4 次方程式を解く必要があるため、計算負荷が大きくなり、計算時間が大きくなったと考えられる。図 5 から、2s5m ルールに基づく通信評価処理の計算時間がシミュレーションの計算時間の多くを占めており、車両衝突予測処理にかかる時間を短縮することで、シミュレーションにかかる時間を大幅に短縮することができる。

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では、第 2 種交差点路車間通信で第 1 種交差点路車間通信で用いるスロットを予約する。すなわち、高速化のために通信の間引きを行うと予約を行えず、本来の通信性能を評価することができない。したがって、通信のシミュレーションは行い続けて通信評価を行う必要がある。

3.2 節で述べたように車両衝突予測は 0.1 秒毎に 1 回行い、車両衝突予測リストを用いて 0.1 秒間 2s5m ルールに基づく通信評価処理を行う。しかし、0.1 秒では交通状況に大きな変化はないため、常に通信評価処理を行うことは計算負荷の増大を引き起こす。したがって、本稿では 2s5m ルールに基づく通信評価処理の間引き、通信評価処理の密度を低下させることにより 2s5m ルールに基づく通信評価処理の計算時間の減少を図る。

1 秒あたりの 2s5m に基づく通信評価処理回数を 2s5m 通信評価密度と定義する。ただし、2s5m ルールに基づく通信評価処理は等時間間隔で行われる。すなわち、従来手法の 2s5m 通信評価密度は 10 回/s である。2s5m 通信評価密度を 1 回/s とした場合、1 秒間に 0.1 秒間の通信評価処理を 1 回行うため、1 秒間隔で通信性能評価を行う。つまり、0.9 秒間は通信評価を行わず、従来と比べて通信性能処理を 1/10 に間引くことになる。2s5m 通信評価密度を 0.1 回/s とした場合、10 秒間に 0.1 秒間の通信評価処理を 1 回行うため、10 秒間隔で通信性能評価を行う。つまり、9.9 秒間は通信評価を行わず、従来と比べて通信性能処理を 1/100 に間引くことになる。これにより、交通流と通信への影響を与えずに様々な交通状況の通信性能評価を行うことができる。

2s5m 通信評価密度を導入したときの計算時間を図 5 に示す。すべての条件において、2s5m 通信評価密度を導入すると 2s5m ルールに基づく通信評価処理の計算時間が減少し、それに伴い、シミュレーションの計算時間を減少させることがで

きる。図 5(c)、図 5(f) から、特に平均車両密度が高いと 2s5m 通信評価密度 1 回/s のとき 1/4、2s5m 通信評価密度 0.1 回/s のとき 1/8 程度までシミュレーションの計算時間を減少させることができる。

4.2 節では 2s5m 通信評価密度を導入した場合の必要情報取得率の評価精度について述べる。

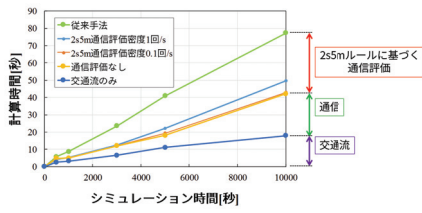
4.2 評価精度の検討

4.1 節では 2s5m 通信評価密度の導入によりシミュレーションの計算時間を大幅に削減可能であることを述べた。しかし、2s5m 通信評価密度を導入したことにより、必要情報取得率の信頼性の検討が必要である。本節では 2s5m 通信評価密度の導入による必要情報取得率への影響について述べる。

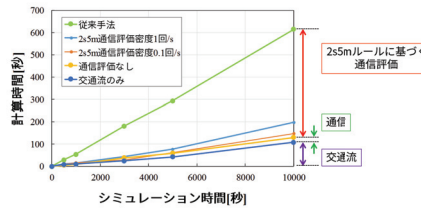
各シミュレーションを 10 回行ったときの最近傍領域、準近傍領域における必要情報取得率の平均をそれぞれ図 6、図 7 に示す。シミュレーション時間が長いほど精度の高いシミュレーションが行えるが、図 5 よりシミュレーションの計算時間が大きくなるのがわかる。図 6、図 7 から、必要情報取得率の信頼性確保のためにはシミュレーション時間が 5000 秒程度必要であることがわかる。また、2s5m 通信評価密度を導入しても必要情報取得率に大きな影響がないことがわかる。しかし、平均車両密度が低い場合やシミュレーション時間が短い場合には必要情報取得率に従来手法と差が見られ、その原因として、第一に、必要情報取得率の計算 (式 (*)) の分母に用いる "衝突可能性が高い車両の情報取得を必要とした回数" が少ないため、試行回数が不十分であった可能性が考えられる。第二に、様々な交通状況の出現が不十分であり、特定の交通状況における通信シミュレーションが行われたためと考えられる。したがって、シミュレーションの信頼性向上のためには通信回数を確保し、様々な交通状況のシミュレーションを十分に行う必要がある。また、図 5 から、従来手法から 2s5m 通信評価密度 1 回/s での計算時間の削減時間に比べて、2s5m 通信評価密度 0.1 回/s から 2s5m 通信評価密度 0.1 回/s での計算時間の削減時間が小さい。必要情報取得率の信頼性の低下を鑑みて、2s5m 通信評価密度は 1 回/s が適当であると判断される。

5. む す び

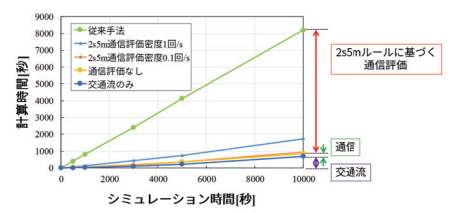
本稿では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における



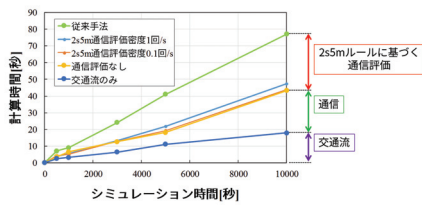
(a) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



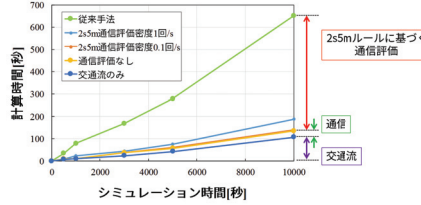
(b) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



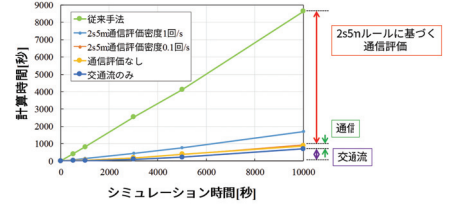
(c) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



(d) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz

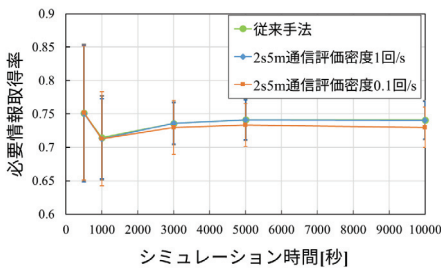


(e) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz

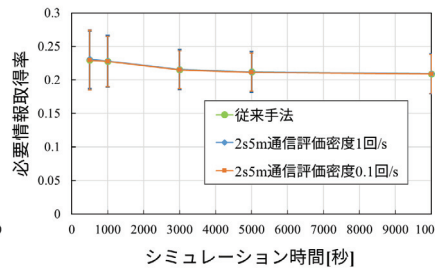


(f) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz

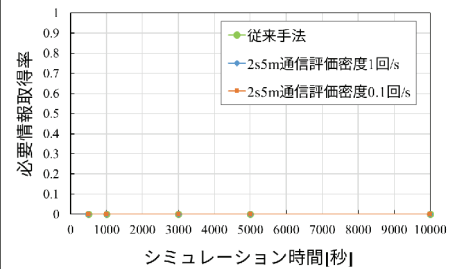
図 5 各パラメータにおける計算時間



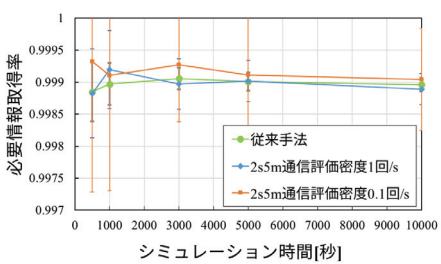
(a) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



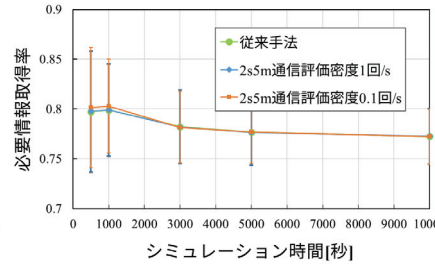
(b) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



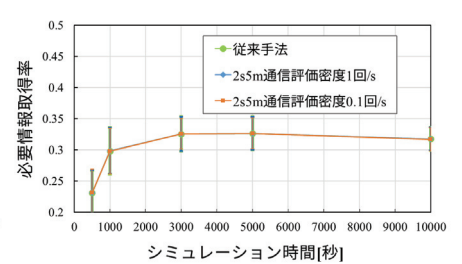
(c) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



(d) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz



(e) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz



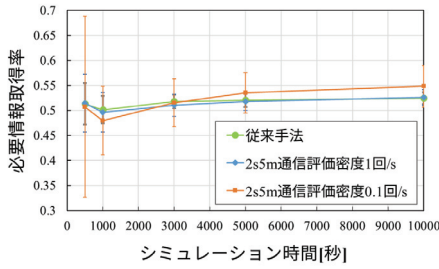
(f) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz

図 6 2s5m 通信評価密度を導入した最近傍領域の必要情報取得率

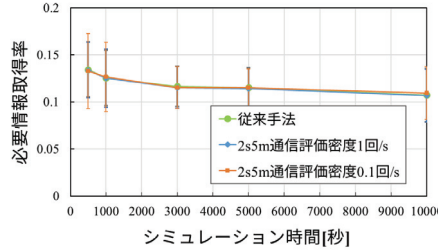
シミュレータの計算負荷の要因を明らかにし、2s5m 通信評価密度の導入により、効果的な計算時間の短縮を行った。次に、必要情報取得率の信頼性確保に必要なシミュレーション時間を確認し、2s5m 通信評価密度の導入による必要情報取得率の信頼性への影響を調べた。2s5m ルールに基づく通信評価処理の計算時間がシミュレーションの計算時間の多くを占めていることがわかった。必要なシミュレーション時間は 5000 秒で

あり、2s5m 通信評価密度 1 回/s までの評価の間引きにより、必要情報取得率の信頼性を保ったまま、計算時間の短縮が可能であることがわかった。また、シミュレーション時間が短い場合や 2s5m 通信評価密度の導入による必要情報取得率の信頼性低下の原因の検討も行った。

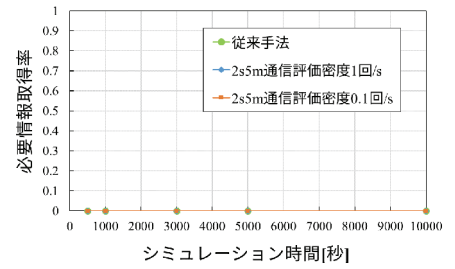
今後の課題として、2s5m ルールのさらなる検討、車車間通信も含めたマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の評価が挙



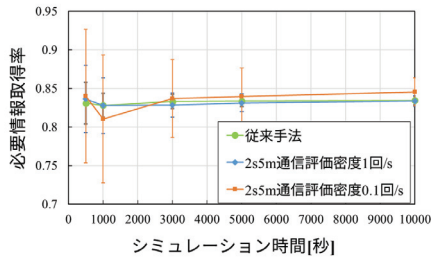
(a) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



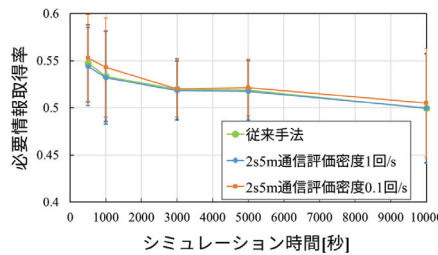
(b) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



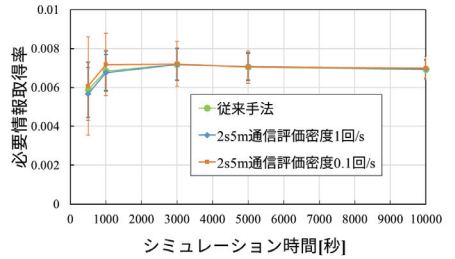
(c) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 0.56MHz



(d) 平均車両密度 8 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz



(e) 平均車両密度 35 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz



(f) 平均車両密度 55 台/km/lane
利用可能帯域幅 1.68MHz

図 7 2s5m 通信評価密度を導入した準近傍領域の必要情報取得率

げられる。

文 献

- [1] 内閣府, “平成 28 年度版交通安全白書,” 2016.
- [2] 水井潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤晋, 高橋常夫, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, “ITS 通信コンセプトリファレンスモデルに関する検討 一車両情報共有の観点から,” 電子情報通信学会研究報告, ITS2006-6, pp.29-34, 2006.
- [3] 小原啓志, 柳田諒, 小川紘基, 重野寛, “自動車アドホックネットワークにおける道路網構造およびコネクティビティに基づくジオルーティング手法,” 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.34-42, Jan 2016.
- [4] Nasrin Taherkhani and Samuel Pierre, Senior Member, IEEE, “Centralized and Localized Data Congestion Control Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks Using a Machine Learning Clustering Algorithm,” IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, Vol. 17, No.11, NOVEMBER 2016.
- [5] 宮本進生, 四方博之, シャグダルオユーンチメグ, 大山卓, ヌリシラジマハダド, 三浦龍, 小花貞夫, “CDMA vs. TDMA: 安全運転支援のための車車間通信システム特性評価,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J93-A, No. 7, pp. 474-484, 2010.
- [6] Daein Jeong, Member, “Performance Analysis of Distributed Broadcasting in IEEE 802.11p MAC Protocol,” IEICE Transactions on Communications, Vol. E98-B, No.6, JUNE 2015.
- [7] Yoshihisa Okada, Tomotaka Wada, Masato Horie, Fumio Nakase, and Hiromi Okada, Members, “Experimental Performance Evaluations of Reflect - Transmission Control Schemes for Vehicle-PEDESTRIAN Communication(VPEC),” IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E98-B, No.10, OCTOBER 2007.
- [8] K. Kuramoto, K. Fujimura, T. Hasegawa, “The Multi-Class Zone ITS Communication Scheme for Real-Time Communications in Intersections,” Proc.10th IEEE Conf. on ITSC, pp.431-435, 2007.
- [9] 石其俊明, 長谷川孝明, 倉本圭太, “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における車車間通信の一検討,” 信学技法, ITS2008-10, pp.13-18, July 2008.
- [10] 石其俊明, 長谷川孝明, “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における干渉の評価,” 信学技法, ITS2009-87, pp.13-18, March 2010.
- [11] 萩藤裕一, 長谷川孝明, “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式におけるマルチホップ通信の導入,” 信学技法, TS2008-56, pp.127-132, Feb. 2009.
- [12] 横山達也, 倉本圭太, 長谷川孝明, 麻生敏正, 石其俊明, “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J95-A, No.8, pp.683-693, 2012.
- [13] 金子真之, 長谷川孝明, “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の時空間特性について,” 信学技法, ITS2015-91, pp.41-46, March 2016.