ネットワーク化された路側拠点による車両認識メッセージの広域送信

大井 貴晴[1] 北沢 昌大[1] 塚田 学[1] 落合 秀也[1] 江崎 浩[1]

概要：自動運転車が実際に公道を走る社会が実現された際に、各自動車は外部との通信を行い情報を交換しあうようになることが想定されている。このように車両同士が交通情報を共有するシステムを CITS(Cooperative Intelligent Transport System) と呼び、各車両は自車位置などの情報を CAM(Cooperative Awareness Message) というメッセージによって共有する。さらに、関連研究のひとつとして Proxy CAM システムがある。本研究では Proxy CAM システムを用いて送信範囲の拡張、安全性、低遅延という要件を満たすべく Grid Proxy CAM システムと、その中で動作する Distance Priority アルゴリズムを提案する。シミュレーションの結果、これらの提案手法が要件を満たすことが示された。

1. はじめに

自動運転社会の実現に向けて各国で法整備、技術開発が進められている。その中で、自動運転の実験において死亡事故も発生しており、安全性の確保は最優先されるべき事項である。

自車両が他の車両や路肩設備と通信することによって安全性を向上させるシステムを CITS(Cooperative Intelligent Transport System) と呼ぶ。そして、各車両が自身の位置情報や安全性に関わる情報を含めて他の車両に配信するメッセージを CAM(Cooperative Awareness Message)[1] と呼び、CITS において重要なメッセージである。

しかし、歩行者や CAM を送信する機能を搭載していない車両なども道路の構成要素であるため、そのような構成要素の代わりに路肩設備が CAM を生成する仕組みとして Proxy CAM[2] が提案されている。

CITS の質を向上させるために、送信範囲の拡張、安全性の最優先、低遅延という要件が求められる。本研究ではこれらの要件を満たすために Proxy CAM システムを用いて、Grid Proxy CAM およびその中で動作する Distance Priority アルゴリズムを提案する。

また、要件が満たされたことを確認するために自動運転用ネットワークシミュレータである Artery を用いて既存手法と提案手法をパケット到達率、遅延の観点から比較・評価する。

本論文の構成は次のようになっている。第 2 章にて車両同士の通信に関する標準をはじめとした関連技術・関連研究について紹介し、第 3 章にて従来手法の問題点および、本研究における要件を設定し、手法を提案する。第 4 章にて提案手法の評価を行うためのシミュレーションについて説明し、第 5 章にてシミュレーション結果に対する評価を行う。第 6 章にて結論と今後の課題を述べる。

[1] 東京大学情報理工学系研究科

2. 関連技術・関連研究

2.1 CITS

効率的で安全かつ快適な交通を実現するためのシステムとして高度道路交通システム（Intelligent Transport System, ITS) が存在する。その中でも特に自動運転車同士が通信ネットワークを構築し、互いに情報を交換する協調的なシステムを CITS と呼ぶ。

CITS の通信アーキテクチャは ETSI により標準化されており、その内容を図 1 に示す。

2.2 LDM

図 1 に示されたファシリティ層において、自身のセンサーと他のノードから受信した情報を統合するデータベースとして LDM(Local Dynamic Map)[3] が存在する。LDM では動的情報、準動的情報、準静的情報、静的情報に分けて情報が管理される。それぞれ 1 秒、1 分、1 時間、1 ヶ月程度での更新を必要とする情報である。

2.3 CAM

LDM が必要としている動的情報の中には周囲の車両情報が含まれる。そして自身の情報をノードに送信する際に使用されるメッセージが CAM であり、送信頻度は [1] に

© 2019 Information Processing Society of Japan

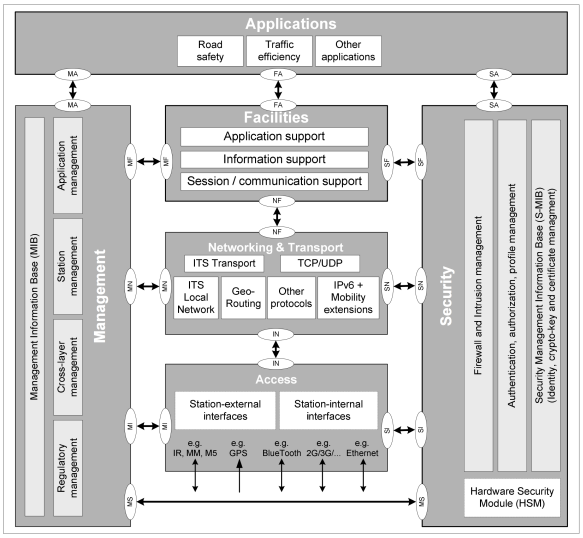


図 1　CITS の通信アーキテクチャ

おいて 1Hz 以上・10Hz 以下であることが要求されている。

2.4　Proxy CAM

CAM を使用したシステムには 2 つ問題点が挙げられる。1 つは道路上には CAM を発信することができない構成要素が多数存在するという点である。2 つ目の問題は ITS ステーション同士の通信に用いられる IEEE802.11p[4] が障害物遮蔽に弱く、通信範囲が短いという点である。

この問題を解決するために Proxy CAM[2] が提案されている。図 2 にシステム構成を示す。Proxy CAM では自身が CAM を送信することができない要素に対し、路側設備がその位置を検知し、その要素についての CAM を代理生成する。

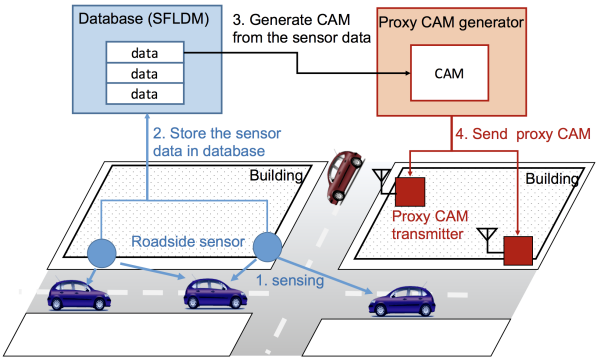


図 2　Proxy CAM のシステム構成

3.　手法

3.1　Proxy CAM の問題点

Proxy CAM を用いてもなお問題点が残る。それは快適性の追求、受信範囲の死角、通信範囲の短さである。

快適性の追求について、Proxy CAM によって得られた情報を用いて渋滞回避などのサービスを構成する際に、遠方まで Proxy CAM を送信しなくてはならない。受信範囲の死角について、図 3 のような場合、2 つの車両が一定速度以上で走っていた場合、お互いが十分事前に存在を知ることができず、衝突する可能性がある。通信範囲の短さについて IEEE802.11p は都市部において遮蔽物やマルチパスによって到達範囲が短くなり、十分な範囲に CAM を送信できない可能性が存在する。

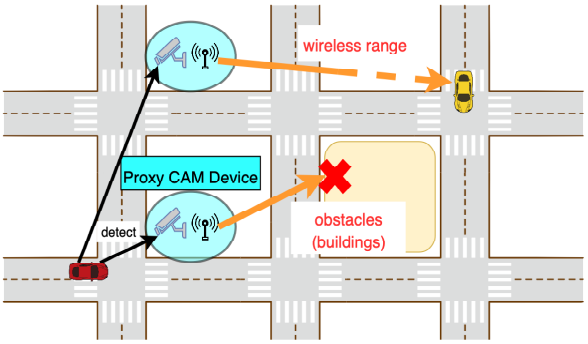


図 3　受信範囲の死角についての問題

3.2　Proxy CAM の問題点から導かれる要件定義

以上の Proxy CAM の問題点を解決するために以下の要件が求められる。

(1) 快適性追求のために、死角の少ない広範囲に Proxy CAM が送信できること。
(2) 安全性を高めるために、Proxy CAM のパケット受信率が付近の車両では非常に高いこと。
(3) Proxy CAM の生成から受信までの遅延が非常に短いこと。

3.3　Grid Proxy CAM における用語定義

まず、Grid Proxy CAM で用いる用語の新たな定義、および再定義を行う。

- Proxy CAM
  [2] で提案されている外部装置が各車両を検知し代理で生成される CAM のことを指す。
- Proxy CAM 装置
  Proxy CAM を生成する装置を指す。周囲の歩行者や車両を検知するセンサー等、Proxy CAM を生成し、IEEE802.11p でブロードキャストを行う装置を指す。この装置は Detector と Disseminator で構成されている。
- Detector
  Proxy CAM 装置に含まれており、周囲の歩行者や車両を検知し、Proxy CAM を生成する。
- Disseminator
  Proxy CAM 装置に含まれており、Proxy CAM を IEEE802.11p により周囲にブロードキャストする。

© 2019 Information Processing Society of Japan

3.4 Grid Proxy CAM の概要

1 つ目の要件である”快適性追求のために、死角の少ない広範囲に Proxy CAM が送信できること”を達成するために Grid Proxy CAM を提案する。Grid Proxy CAM は Proxy CAM 装置を図 4 のように Grid 状に接続したものである。

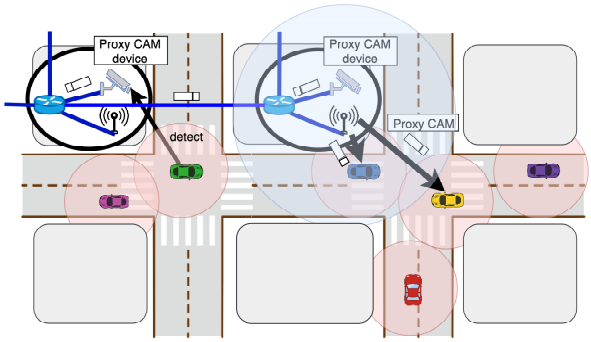


図 4 Grid Proxy CAM のシステム概要

3.5 Distance Priority の概要

2 つ目の要件である”安全性を高めるために、Proxy CAM のパケット受信率が付近の車両では非常に高いこと”、および 3 つ目の要件である”Proxy CAM の生成から受信までの遅延が非常に短いこと”を達成するために Distance Priority アルゴリズムを提案する。

このアルゴリズムは Disseminator 内で動作し、Disseminator の MAC 層の queue 内パケット占有率により、受信したパケットを破棄するかの選択を行うものである。その選択の際に、Disseminator に到達した CAM が Disseminator から一定距離以内の車両・歩行者についてのものならば受け入れ、遠いノードについてのものであれば破棄する。具体的には以下の式を用いて判定を行う。

$$queue_occupancy < 1 - distance/max_dist$$

ここで max_dist は事前に定義されたものであり、Disseminator がパケットを受け入れるノードと Disseminator 間最大距離である。この式を満たすパケットについては受け入れ、満たさないパケットは破棄する。

4. 実装

4.1 仮想環境

本研究ではシミュレータを用いて実験・評価を行った。その構成要素である、SUMO、OMNeT++、Artery について述べる。

- SUMO
  SUMO[5] は交通流シミュレータである。OSM(Open Street Map) から現実の道路を抽出し、その上に仮想的な車を走行させることができる。車両密度などの変数を自由に定義することができる。
- OMNeT++
  OMNeT++[6] はネットワークシミュレータである。ネットワークを構成する各ノードのパラメータを自由に定義することができる。
- Artery
  Artery[7] は OMNeT++のプロジェクトの 1 つであり、SUMO で仮想的に生成された交通を受け取り、V2X 通信のシミュレーションを行うことができる。

4.2 想定シナリオ

本研究では 3 つの異なるシナリオを用い、それらを評価した。以下、その 3 つのシナリオについて述べる。

- Proxy CAM
  [2] で提案されている Proxy CAM を用いたシナリオである。各交差点に Proxy CAM 装置が設置されており、Detector が周囲の車両・歩行者を検知し、Proxy CAM 生成に必要な情報を同一 Proxy CAM 装置内の Disseminator にルーターを介して送信する。Disseminator は Proxy CAM を生成し、802.11p を用いて Proxy CAM を配信する。
- Non Priority Grid Proxy CAM
  本研究で提案する Grid Proxy CAM システムを使用し、Disseminator 内で Distance Priority アルゴリズムを使用しないシナリオである。
- Distance Priority Grid Proxy CAM
  本研究で提案する Grid Proxy CAM システムを使用し、かつ Disseminator 内で Distance Priority アルゴリズムを使用するシナリオである。

4.3 地図

本研究では Grid 状の地図と文京区の地図の 2 種類の地図を用いてシミュレーションを行った。Grid 状の地図は図 5 のようになっており、文京区の地図は図 6 のようになっている。

4.4 実装環境変数

実装に関わる重要な環境変数を表 1 にまとめる。

以下、環境変数や実験環境についての補足を述べる。

Proxy CAM は性質上、車両によって生成された CAM よりも挿入できるデータが少ない。そこで、本研究では 802.11p で送信されるデータは 726bit となっている。Disseminator の queue_size は 1000pkts であり、max_dist は 1000m とし、これよりも遠い場所にある車両の CAM は破棄される。

交通について述べる。シミュレータ上で走行する車両の速度は 14m/s(50km/h) であり、信号機は考慮していない。また、平成 28 年の警視庁の交通量統計表 [8] によると、今

© 2019 Information Processing Society of Japan

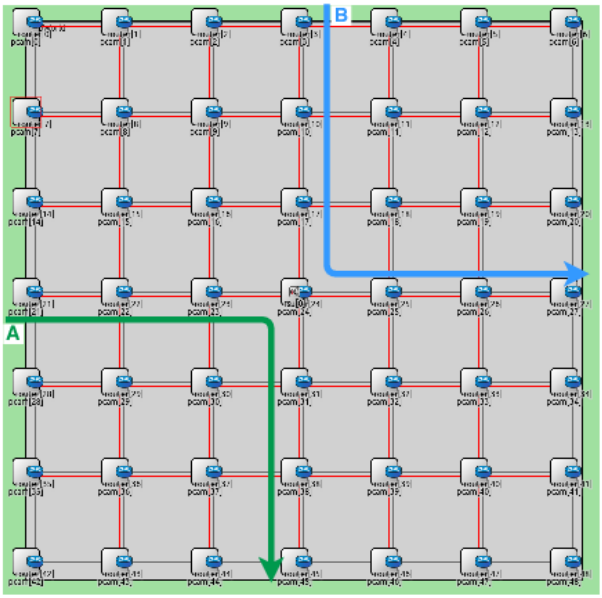


図 5　Grid 状地図の地形とネットワーク構成

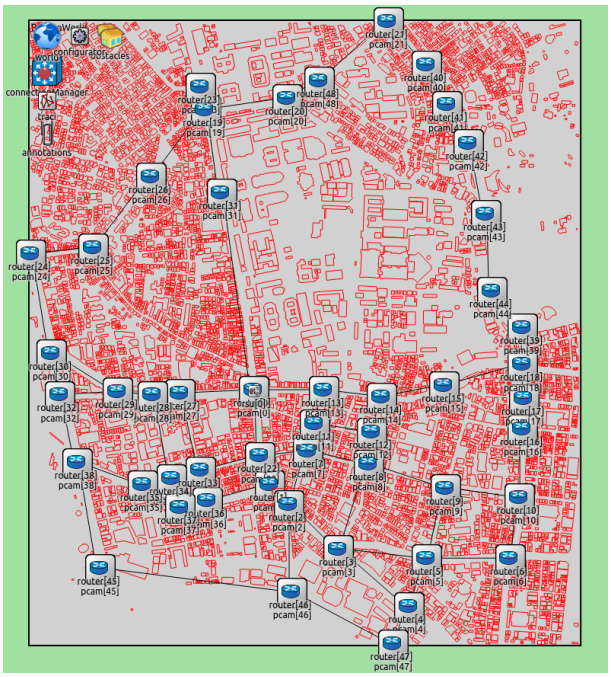


図 6　文京区の地図の地形とネットワーク構成

表 1　実装に関わる環境変数

Type	Variable name	Value
Proxy CAM	queue size	1000pkts
	dst Disseminator range	1000m
	max_dist	1000m
	generate frequency	10Hz
Traffic	vehicle speed	14m/s
	vehicle num per sec per intersection	2
Radio model	IEEE802.11p datarate	18Mbps
	attenuation per building edge	9db
	attenuation through building	0.4db/m
	wireless range	150m

回使用した本郷三丁目の交差点を通過する交通量は 1 台/秒となり、今回は信号機を考慮していないためその 2 倍の 2 台/秒を交通量に設定した。

電波モデルについて述べる。シミュレーションで用いるアンテナは等方性アンテナとなっている。電波の周波数は IEEE802.11p を用いるため 5.89GHz としており、通信速度が 18Mbps、送信電力が 126mW、受信感度は-89dBm としている。

ネットワーク構成について述べる。ルーター間ネットワークでは 10Gbps イーサーネットケーブルを用いており、ケーブルでの遅延は無視できる。また、ルーター間のルーティングプロトコルとして RIP(Routing Information Protocol) を使用している。

5.　実験結果・評価

この章では前章で述べた 3 つのシナリオ、2 種類の地図の下でシミュレーションを行い、評価する。

5.1　評価方法

第 3 章にて述べた 3 つの要件を満たしていることを評価するために PDR(packet delivery ratio) と遅延を評価した。シミュレーションでは図 5 と図 6 の中央に設置された RSU にて計測を行った。この RSU においておける計測の様子を表したものが図 7 である。

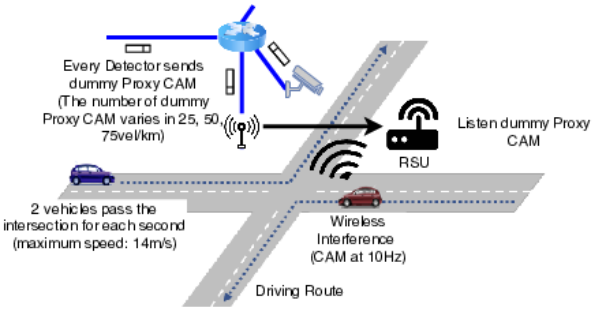


図 7　RSU における PDR と遅延の計測手法

RSU においては IEEE802.11p で受信した車両からの CAM と Proxy CAM 装置からの Proxy CAM を受信時間とともに記録している。一方、各 Disseminator も作成した Proxy CAM を記録しており、これらを比較することにより PDR と遅延を測定した。

また、SUMO の車両モデル、シミュレーション実行の負荷を考慮して図 5、図 6 における A、B の経路上のみを車両は走行する。したがって、車両の分布が限定されているため、各 Detector はシミュレーションでは車両の検知を行わず、ダミーの Proxy CAM を作成するとした。

また、道路が空いている時、混んでいる時を再現するために、各 Detector が検知時にダミーの Proxy CAM を 5、10、15 個生成するという状況をそれぞれ評価した。各

© 2019 Information Processing Society of Japan

Detector は 50m 以内の車両を検知できるとしたため、これらの Proxy CAM の生成速度は道路上を車両が 1km あたりそれぞれ 25、50、75 台走行していることに相当し、これらを 25vel/km、50vel/km、75vel/km と表現する。ここで vel とは vehicle の略である。

5.2 Grid 状の道路を用いたシミュレーション評価

このシミュレーションではまず、建物が電波に与える影響を評価するために 2 種類の測定を行った。1 つは RSU の位置にある Proxy CAM 装置と、そこから西方向に存在する 3 つの Proxy CAM 装置の記録を比較して PDR と遅延を測定するものである。2 つ目は RSU の位置にある Proxy CAM 装置と、そこから北西方向に存在する 3 つの Proxy CAM 装置の記録を比較して PDR と遅延を測定するものである。これら 2 種類の測定方法をそれぞれ Line of sight(LOS)、Non Line of sight(Non LOS) と呼ぶ。

5.2.1 遅延評価

図 8 と図 9 に LOS と Non LOS の場合の RSU からの距離と遅延の関係の測定結果を示す。RSU がシミュレーション中、1 つも Proxy CAM を受信できなかった場合は-100ms と表記している。

LOS について述べる。Proxy CAM シナリオでは Proxy CAM の受信可能範囲を 150m としているため、150m 以上離れた Detector からの Proxy CAM は受信できていない。

Non Priority Grid Proxy CAM と Distance Priority Grid Proxy CAM については、25vel/km ではほぼ同等の遅延となっているのに対し、50vel/km、75vel/km では約 90ms の遅延同士の差が存在する。これは 50vel/km、75vel/km では Non Priority Grid Proxy CAM では queue 占有率の平均値が 0.96、0.97 と 1 に近かったのに対し、Distance Priority Proxy CAM では queue 占有率の平均値が 0.65、0.71 と queue に余裕が生じたことが原因であると考えられる。

Non LOS について述べる。Proxy CAM の受信可能範囲は 150m であるが、建物の遮蔽により受信することができなかった。

Non Priority Grid Proxy CAM シナリオについては LOS での結果と同様に 50vel/km、75vel/km では距離にかかわらず約 290ms の遅延が生じた。一方、Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオでは 50vel/km、75vel/km の 424m 地点から来た Proxy CAM については遅延が短くなった。これはこのアルゴリズムが queue 占有率の低い時のみパケットを受け取るが、queue 占有率が低い時は遅延が短いためである。

5.2.2 PDR 評価

図 10 と図 11 に LOS と Non LOS の場合の RSU からの距離と PDR の関係の測定結果を示す。

LOS について述べる。Proxy CAM シナリオでは 150m

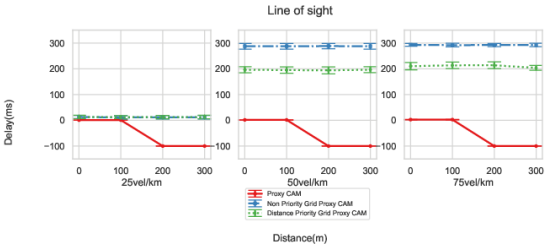


図 8 Grid 状の道路における遅延 (Line of sight)

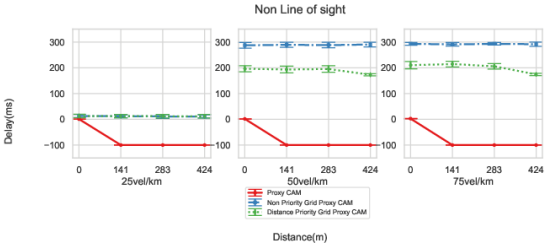


図 9 Grid 状の道路における遅延 (Non Line of sight)

以上の Proxy CAM を Proxy CAM 装置が受信することができないため 200m、300m では PDR が 0 になっている。

Non Priority Grid Proxy CAM シナリオでは 25vel/km の時は全ての距離にある Proxy CAM 装置からの PDR が 1 である。一方、50vel/km、75vel/km ではいずれの距離においても PDR がそれぞれ平均 0.7、0.4 程度となった。また、Detector の検知開始時刻がランダムであるために、標準偏差が大きくなっている。

Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオでは RSU からの距離が遠くなるほど PDR が低くなっており、近い Proxy CAM 装置からきたパケットを優先していることが表れている。

Non LOS について述べる。Proxy CAM シナリオでは建物の遮蔽により、141m から来たパケットについても PDR が 0 となっている。Non Priority Grid Proxy CAM シナリオ、Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオでは LOS と同様の原因で、同様の結果を得ている。

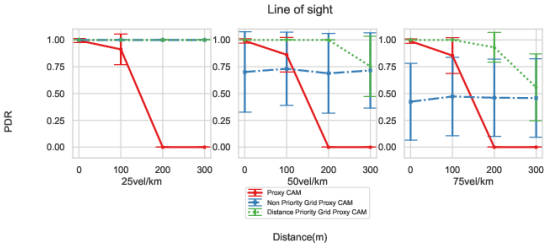


図 10 Grid 状の道路における PDR(Line of sight)

5.3 文京区の道路を用いたシミュレーション評価

次に図 6 に示した文京区の実在する道路を使用したシミュレーションについての評価を行う。RSU において Grid 状地図と同様に遅延と PDR を評価する。

© 2019 Information Processing Society of Japan

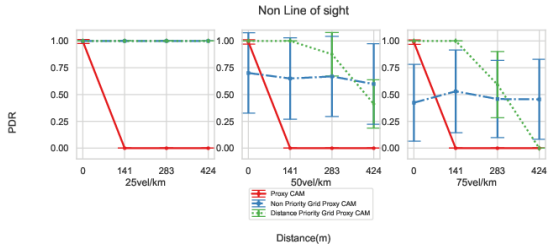


図 11 Grid 状の道路における PDR(Non Line of sight)

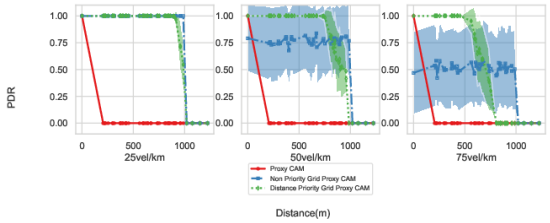


図 13 文京区の地図における PDR

5.3.1 遅延の評価

図 12 に車両密度 25,50,75vel/km での RSU からの距離と遅延の関係を示す。RSU が 1 つも Proxy CAM を受信しなかった距離については-100ms と表記している。距離と遅延の関係に関しては Grid 状の地図と同様の原因による説明が可能であると考えられる。

Proxy CAM シナリオに関しては受信可能範囲の制限により、150m 以上の Proxy CAM 装置からは Proxy CAM を受信できない。Non Priority Grid Proxy CAM シナリオでは CAM 生成時刻のランダム性により遅延は距離によらない。Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオでは距離が一定以上になると遅延が短くなるが、これは遠い距離のパケットを受理するときは queue 占有率に余裕があるため、遅延が短くなる。

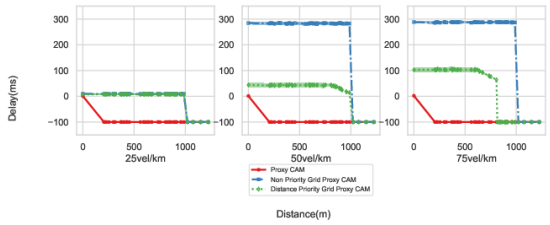


図 12 文京区の地図における遅延

5.3.2 PDR の評価

図 13 に車両密度 25,50,75vel/km での RSU からの距離と PDR の関係を示す。PDR に関しても Grid 状の地図と同様の原因による説明が可能であると考えられる。

Proxy CAM シナリオに関しては受信可能範囲の制限により 150m 以上の Proxy CAM 装置からの Proxy CAM を受信できない。Non Priority Grid Proxy CAM シナリオでは CAM 生成時刻のランダム性により PDR は距離によらない。Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオについては距離が短い Proxy CAM 装置からの PDR は高く、PDR が減少する距離においてはランダム性の影響で標準偏差が大きくなる。

6. おわりに

6.1 結論

本研究では既存手法である Proxy CAM において存在している問題点から、送信範囲の拡張、安全性の優先、低遅延の 3 つの要件を定義し、それらの要件を達成する Grid Proxy CAM システムを提案した。安全性、低遅延をさらに改善するために Grid Proxy CAM システム内で利用される Distance Priority アルゴリズムを提案した。

評価を行うために V2X 通信のシミュレータである Artery を用いて提案手法を再現した。この際に、Grid 状地図と文京区の地図の 2 種類の地図、3 種類の車両密度、3 つのシナリオを再現し、これらの遅延と PDR を計測した。結果として Distance Priority Grid Proxy CAM シナリオでは他の 2 つのシナリオに比べて Proxy CAM の送信元から近いパケットに関しては PDR が非常に高くなった。遅延については Proxy CAM シナリオに劣るが、Non Priority Grid Proxy CAM よりも短い値を示した。これらの結果は Distance Priority Grid Proxy CAM が運用可能なシステムへ近づいたことを表していると考えられる。

6.2 今後の課題

先述のように Distance Priority Grid Proxy CAM は PDR については他のシナリオよりも良い値が出たが、遅延に関してはオリジナルの Proxy CAM よりも遅延が大きくなっている。この遅延を小さくするために、Distance Priority アルゴリズムに加えて、EDCA のクラス分けを適切に設定することで遅延を距離によって変化させることが可能であると考えられる。

また、本研究では Distance Priority アルゴリズムで 1000m 以上離れた地点からの Proxy CAM を受け取らないという設定にしたが、これは本来道路状況により動的に変化させるべきものであるため、そのためのシステムが必要である。手法としては一定距離ごとにサーバーを設置し、周囲の状況に応じて値を変化させる手法が考えられる。

参考文献

[1] ETSI EN 302 637-2 - V1.3.2 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service 入手先 ⟨https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289402/01.02.01_60/ts_10289402v010201p.pdf⟩ (参照 2019-05-10).

[2] Tomoya Kitazato and Manabu Tsukada and Hideya

© 2019 Information Processing Society of Japan

Ochiai and Hiroshi Esaki Archive ouverte HAL - Proxy Cooperative Awareness Message: An Infrastructure-Assisted V2V Messaging 入手先 ⟨https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01341850⟩ (参照 2019-05-10).

[3] ETSI EN 302 895 - V1.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM) 入手先 ⟨https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302800_302899/302895/01.01.01_60/en_302895v010101p.pdf⟩ (参照 2019-05-10).

[4] IEEE 802.11p-2010 - IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments - IEEE Standard 入手先 ⟨https://ieeexplore.ieee.org/document/5514475⟩ (参照 2019-05-10).

[5] SUMO - Simulation of Urban Mobility 入手先 ⟨http://sumo.sourceforge.net/⟩ (参照 2019-05-10).

[6] OMNeT++ Discrete Event Simulator 入手先 ⟨https://omnetpp.org/⟩ (参照 2019-05-10).

[7] riebl/artery: OMNeT++ V2X simulation framework for ETSI ITS-G5 入手先 ⟨https://github.com/riebl/artery⟩ (参照 2019-05-10).

[8] 平成 28 年調査 交通量統計表 調査結果 入手先 ⟨http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ryo.files/28_3.pdf⟩ (参照 2019-05-10).

© 2019 Information Processing Society of Japan