

## 自律走行のための走行速度に応じたメッセージ交換プロトコル

土橋 健太郎<sup>†</sup> 田代 裕和<sup>††</sup> 富永 英義<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 国際情報通信研究科

<sup>††</sup> 早稲田大学 理工学部

E-mail: †{doba,h.tashiro,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし 本論文では、車車間の測距や方向などの測量における、冗長性を削除するメッセージ交換プロトコルについて提案する。提案システムでは、1) 詳細な測量情報を必要とする近隣領域と時間的・空間的に荒い測量情報で十分な遠隔領域とに分類することによって、測量の冗長性を削減する。遠隔車両では、ESPARアンテナによる30°単位の方角と受信電力による距離測定により荒い情報を取得する。このことにより、従来ミリ波やカメラでの高精度測量していた観測を削減することができる。さらに、2) 車両速度に応じたメッセージ交換を行うことにより、測量の冗長性を削除する。車両速度の低い場合に、頻繁に測量を行っても誤差の範囲内でしか測量データに変化が起きない場合、観測をやめることにより、従来に比べて車両相互の無線干渉やカメラ処理遅延の課題を解決する。

キーワード 車車間通信, 車間距離測定, 干渉, ITS, 無線 LAN

## Inter-Vehicle Communication Protocol Using Vehicle Speed

Kentaro DOBASHI<sup>†</sup>, Hirokazu TASHIRO<sup>††</sup>, and Hideyoshi TOMINAGA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University,  
Saitama-ken, Japan

<sup>††</sup> Department of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan

E-mail: †{doba,h.tashiro,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp

**Abstract** The research in this paper indicates the protocol of reducing redundancy of Inter-vehicle measurement. First the inter-vehicle communication system is categorized by two area. One is cars in neighborliness area which needs intimate and frequent measurement. The other is cars in remote area which need not intimate and frequent measurement. Secondly to reduce measurement redundancy, the interval of measuring the distance and direction of inter-vehicle adopts to vehicle speed. The goal of this research is resolving wireless interference by millimetric-wave measurement and delay by camera distance measurement by these two reducing redundancy of inter-vehicle measurement.

**Key words** Inter-vehicle communication, distance measurement, interference, ITS, Wireless LAN

### 1. ま え が き

現代において自動車の存在は、生活するための必須のものとなっている。さらに、最近ではカーナビゲーションシステムや高度マルチメディア技術により、より快適なプライベート空間としてのサービス充実が計られている。しかし、サービスの充実とともにますます自動車の利用率が向上するとともに、交通事故や渋滞、ドライバーへの負担などが一層増加してしまうという社会問題がある。

そこで、ITS [2] [3] 技術により、渋滞の解消などにより道路の利用効率を上げ、自動車危険回避やドライブサポートをする技術が実用化されている。さらに、車車間通信における DSRC

や高速無線マルチホップ通信により新たなバックボーンネットワークを構築することができる。

一方、車車間通信自動車の自律制御において、測距システムの事故に及ぼす報告 [1] もなされている。この報告によれば、車車間通信機搭載が 100% 実現できている場合、全く搭載していない場合に比べて、事故率が人間と機械を含めた総合遅延に対して事故発生率が削減できている。また、車両の通信半径が広がれば広がるほど事故発生率が削減されることが報告されている。

そこで、本研究では、広範囲での車車間距離、方向測量を実現するためのプロトコルを提案する。システムモデルは、近隣の車車間相互測量には、詳細な測量を行うために、ミリ波やカ

メラなどの測量技術を用い、遠隔車両間では CSMA による無線 LAN や 60GHz 帯ミリ波通信 (DOLPHIN) [5] を行う。

詳細な測量と遠隔の測量の特徴を表 1 に示す。

測量種別	測量方法
隣接測量	車車間のミリ波測量、カメラによる測量
遠隔測量	802.11b や DOLPHIN プロトコルによるキャリアセンスによる遠隔通信

## 2. 実環境における測距システムの課題

測距システムは、スペクトル拡散方式を用いた方法 [4] [6] によりこれまで研究されてきた。例えば、MAC プロトコルとして、予約型プロトコルである CDMA を用いて PN 符号系列の交換により測定を行っている。自動車の制御をする上で、測量情報は数十ミリ秒単位で必要な場合がある。数十ミリ秒という精度で測量するためには、TDMA や CDMA のような予約型プロトコルや R-ALOHA のようなプロトコルが望ましい。

ところが、隣接車線や対向車など複数の車両同士で測量を行った場合、無線の干渉により測定に誤差が起きてしまうという課題がある。水井 [4] の報告では、車両間隔が 20[m] 以上では、データのロス率が 10 % 以下に抑えられるが、車両間隔が 10[m] では、80 % 以上のデータロス率になっている。

そこで、射影変換を用いた干渉波環境での車載用レーダー信号処理に関する検討 [7] や対向車からの干渉特性を抑えるために、指向性アンテナと異なる PN 符号により解決しようという研究 [8] など、物理レイヤでの検討もなされている。しかし、これらのノイズキャンセラ機能を搭載した、アンテナやフィルタコンポーネントをインストールするには現状では高いコストがかかるという課題がある。さらに、ノイズキャンセラを行った場合にも、車両の台数が増えるごとに、データのロス率が増加してしまう。

一方、DOLPHIN プロトコルのようにキャリアセンスを行う CSMA で実装を行った場合、データの衝突が起きる確率を下げることが出来る。しかし、CSMA/CA のようなキャリアセンスを行う場合、チャンネルがビジーであることを検知した場合、ランダム時間待ち時間が発生する。そのため、データの送信間隔が短い場合に、パケット送信待ちしている間に次の送信要求が来てしまい、結果的に要求時間内の測量に失敗するという課題がある。

図 1、図 2 は、表 2 の実験環境のように、4 台の端末で同時に CSMA により測量を行った場合の、遅延及びパケットロス率である。また、測量は Sequence Number=0 から 150 の間には 2 台の端末のみが測量、Sequence Number=150 からもう一台の端末が測量開始、Sequence Number=300 から 4 台目の端末も測量が開始している。

図 1(a) の送信間隔=40[msec] の場合には、Sequence Number=300 付近から送信待ち時間が送信間隔を超えてしまい、遅延が急速に伸びている。これは、次第に測量する端末が増加し、4 台の端末が測量開始したと同時にチャンネルがビジーになり、送信待ち時間 (DIFS + CW) が増加したと考えられる。一方、

表 2 CSMA による測量実験パラメータ

アクセス方式	IEEE802.11b,g (CSMA/CA 方式) Ad-hoc モード
パケット送信間隔	10~1000[msec]
送信可能距離	屋内約 100m / 屋外約 300m
データ転送速度	20Mbps(11g:最大実効速度), 4Mbps(11b:最大実効速度)
データサイズ	64byte
端末数	4 台

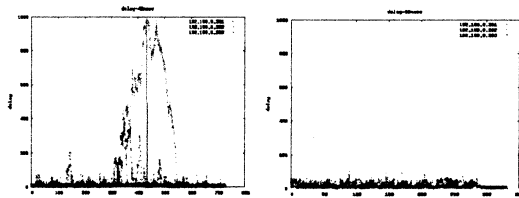


図 1 CSMA による複数車両同時測量の場合の総遅延

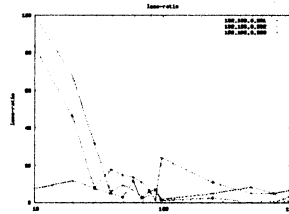


図 2 CSMA による複数車両同時測量の場合のロス率

図 1(b) の送信間隔=90[msec] の場合には、端末数が増加しても遅延の増加が起きていない。これは、一つの送信間隔の間に全ての端末がデータを送り終えることが出来ているからである。図 2 から、送信間隔時間が短くなるとともに、パケットロス率が増加していることが分かる。

このようにキャリアセンスを用いた場合、無線の干渉によるパケットロス避けられるものの、測量間隔 (データ送信間隔) が短くなると、端末数が多い場合に、結果的にパケットロス率の増加に繋がることが分かった。

そこで本研究では、従来の予約型プロトコルと Collision 型の CSMA 方式を、実際の自動走行システムに合わせた形で用いる方法について検討を行う。

本提研究では、空間的・時間的な測量冗長度削減について検討を行う。従来、測距などの車車間における測量は、システムの必要する最高精度の情報を常時取得することを前提としている。しかし、隣接車両であっても、遠く離れている車両に対して、数十ミリ秒単位で情報を取得する必要が無い。また、渋滞で停止している車両同士でも頻りに短い時間間隔で測量する必要もない。

このように、本研究では、車車間通信における測量においても、画像圧縮のような情報量圧縮をすることができると仮定する。次の章では、空間的な測量の冗長度を削減する手法につい

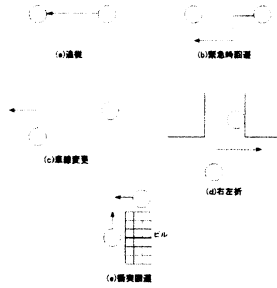


図3 自動制御から見た測量情報分類

て検討を行い、最後の章では時間的な測量の冗長度を削減する手法について見当を行う。

### 3. 2段階測量による冗長性の削除

空間的な測量の冗長度削減を考える上で、車車間の測量を行う目的を、ITSにおける自動制御のパターンを分類すると表3のようになる。

表3 自律走行のための測量情報分類

通常走行	車速に関する操作 車両方向に関する操作	Type1-1 Type1-2
緊急時	隣接障害物からの回避	Type2

また、測量の情報分類を自動車自動制御から分類した図を図3に示す。

図3の近距離での(a)追従、(b)緊急時危険回避、(e)衝突防止はシステムの要求する最小時間単位で最も精度の高い測量データを要求されるパターンである。さらに、常時測量データが必要である(Proactive型)。一方、遠距離での(a)追従、(c)車線変更、(d)右左折の場合には、測量データ取得間隔、測量精度がある程度許容される場合である。また(c)や(d)は、測量データは必要に応じて取得すればよい(On-demand型)。

これまでの考察により、自動制御する上で測量データは2種類のデータ取得方法があることが分かる。一つは、近隣の詳細な測量データを頻繁に取得する方法、もう一つは遠隔の測量データを必要に応じて取得する方法である。遠隔の測量情報は、無線LANを用いたWACNet[9]のように、大まかな車両方向と受信電力により取得することができる。

2種類のデータ取得方法について表4と図4に示す。

つまり、車両間の距離に応じて測量取得方法を変換する。隣接領域に存在する車両では通常のレーダーによる測量を行う。ミリ波を用いた場合、狭域では無線の減衰により互いの干渉を防ぐことができる。一方、遠隔の測量方法は、WACnetのように12の車両方向(30°刻み)と受信電力により距離へ変換する。距離の測定は相対的な位置関係を把握する、ハンドル操作の判断が行える程度の精度である。また、遠隔の車両同士であるため、データの送信頻度を抑えることができる。図5に、ESPARアンテナを用いた遠隔車両の測量データを管理している図を示す。

表4 2段階データ取得方法

領域名	距離精度	時間間隔	MACプロトコル	取得タイプ
近隣領域	~1[m]	~数十[msec]	TDMA, CDMA, R-ALOHA など	Proactive
遠隔領域	1[m]~	数百[msec]~	CSMA/CA	On-demand

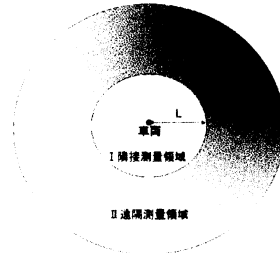


図4 2段階データ取得領域

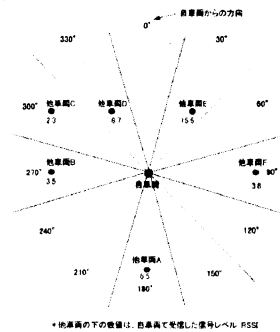


図5 ESPARアンテナによる遠隔測量

隣接測量領域と遠隔測量領域の境を自動車の中心からの距離  $L[m]$  は、システム上の自動車最大速度差  $\delta$ 、道路環境シミュレーション[10]で用いられている衝突余裕時間  $TTC: time-to-collision$  により、式1により与えられる。

$$L = \delta * TTC \quad (1)$$

### 4. 車両速度に応じたメッセージ交換プロトコル

自動制御のための車両間測量であるので、自動制御に必要な無い頻度で測量に関しては削減することができ、その結果空間中での無線数が減少し、干渉を抑えることができる。そこで、本研究では車両の速度に応じて測量頻度を変えることにより、測量中のパケットロス率の低下を目標とする。つまり、低速で走行している車両同士の測量は、高速で走行している車両同士の測量よりも測量頻度を抑えることができるということである。

また、Bandらの研究[11]から、車速は車間距離に依存するという結果が報告されている。逆のデータとして見ると、車速が低速な場合には、車間距離が短い、つまり車両密度が高い。このような環境では、車車間の位置関係の変化が遅いため、測量を抑えることにより干渉を抑えることができる。一方、車速が高速の場合には、車間距離が長い、つまり車両密度が低い

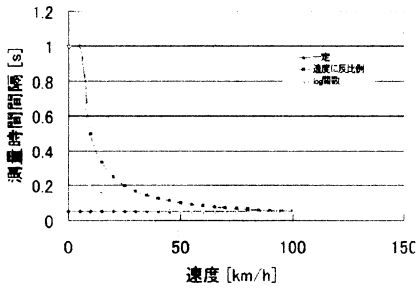


図6 車両速度と測量時間間隔

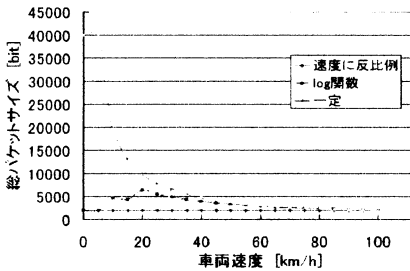


図7 総パケット量の比較

め、従来のように頻繁に測量することができる。

測量時間間隔（メッセージ送信間隔）は、速度に反比例した関数、対数関数それぞれ式(2)、式(3)のように与えられる。

$$T_l = \begin{cases} \frac{k}{v_c} & (v_c \geq v_{th}) \\ t_{max} & (x < v_{th}) \end{cases} \quad (2)$$

$$T_l = \begin{cases} t_{unit} * p \log_{j+v_c} 10 & (v_c \geq v_{th}) \\ t_{max} & (x < v_{th}) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $t_l$ は測量時間間隔で、 $k, p, j$ は定数、 $v_c$ は車両速度、 $t_{unit}, t_{max}$ は最小測量時間間隔、最大測量時間間隔、 $v_{th}$ は車両速度閾値を示す。

また、このときの車両速度と測量時間の関係を図6に示す。さらに、文献[10]より、車両速度は車間距離に依存するという関係から、半径50[m]以内に1[s]の間に発生する総パケット数について測定を行った。測定は、車両の測量時間が一定の場合、速度に反比例する場合、Log関数を用いた場合の3通りである。その結果が図7である。

ただし、車両速度と車間距離の関係は今回、1次関数で表されると近似した。図.7を見ると、測量時間間隔を一定の場合

は、車両速度が低速なほど、総パケット数が増加しているのが分かる。一方、速度により送信間隔を変化させた場合、車両速度が低くなくても、総パケット数が少なく抑えられているのが分かる。

#### 4.1 まとめ

本論文では、車車間の測距や方向などの測量における、冗長性を削除するメッセージ交換プロトコルについて提案した。提案システムでは、測量の空間的・時間的な冗長度を削減するシステム設計を行った。まず、周辺車両の存在する領域を、隣接車両領域と遠隔車両領域に分類を行った。隣接車両領域では、通常の精度の高い測量方式を用い、遠隔車両領域にはESPARアンテナを用いた、おおまかな車両方向及び距離を測定することにより、空間的な測量の冗長性を削減する。さらに、時間的な測量の冗長度を削減するために、車両速度に応じた測量時間間隔を決定する。さらに、交通流シミュレーションで使われている、車両速度と車両間隔の関係から、総パケット数を算出したところ、車両速度に変わりなく総パケット数を抑えることが出来ることが確認できた。今後は、この条件で実際の無線干渉によるデータロス率、測量頻度を落とした場合の自律走行システムへの影響についてシミュレーション、実験を行う必要がある。

#### 文献

- [1] Ari Widodo, 長谷川 孝明, “車車間通信ネットワークの交通流に与える効果について,” 信学論 (B) vol.J82-B, no.11, pp.2010-2017, 1999年11月
- [2] Mark hickman, “Perspectives on ITS Standards for Public Transit,” 2001 IEEE ITS Conference, pp.1177-1182, August 25-29, 2001
- [3] Heng Wei, Qingyan Yang, Abi Moghorabi, “Improve Applicability of ITS-Generated Data via Prioritizing Positioning of Surveillance Devices over a Road Network,” IEEE, 2003
- [4] 水井 深, 内田 雅敏, 中川 正雄, “スペクトル拡散方式を用いた車車間通信・測距統合システム,” 信学論 (B) vol.J78-B-II, no.5, pp.342-349, 1995年5月
- [5] Kiyohito Tokuda, Masami Akiyama, Haruki Fujii, “DOLPHIN for Inter-Vehicle Communications System” IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, pp.504-509, October 3-5, 2000
- [6] 屋代 智之, 松下 温, “動的にPN符号を割り当てる車車間通信プロトコル:DPA,” 信学論 (A) vol.J81-A, no.4, pp.496-504, 1998年4月
- [7] 稲葉 敬之, 荒木 純道, “干渉環境での車載用レーダ信号処理構成の検討,” 信学論 (B) vol.J87-B, no.2, pp.199-212, 2004年2月
- [8] マイケル ロックラン, 中川 正雄, “車車間通信における対向車からの干渉特性,” 信学論 (B) vol.J82-B, no.11, pp.2034-2042, 1999年11月
- [9] 渡辺 正浩, 田中 信介, “WACNet (11bアドホック)におけるルートダイバーシティの実験,” 情処研究報告 2004-MBL-29, pp.87-91, 2004年5月
- [10] 鈴木 宏典, 鈴木 忠, “道路環境シミュレーションのための車両追従モデルの構築,” 自動車研究 技術報告 vol.26 No.5, pp.31-37, 2004年5月
- [11] Bando, M. Hasebe, K.Nakanishi, K. and Nakayama, A., Analysis of Optimal Velocity Model with Explicit Delay, Physical Review E 58, (1998), pp.5429-5435