

隊列走行アプリケーションにおける TDMA 通信方式の検討

鈴木 理基^{†1} 徳田 大誠^{†1} 重野 寛^{†1}

隊列走行は協調走行アプリケーションの一つで、特に省エネルギー効果が期待されている。隊列走行に必要な運動を制御する通信方式には、現在連送という手法が採用されている。しかし、隊列の密度が高くなると輻輳や隠れ端末問題に類似した現象が発生する。本稿では、その問題を解決するため、TDMA 通信方式をベースに連送数を制御し、隊列の特定の車両が代表してタイムスロットを予約する通信方式を提案する。そして、提案手法をコンピュータシミュレーションに評価し、MAC 層のペケット到着率の観点から有効性を示す。

Study of TDMA-based Vehicular Communication System for Vehicle Platooning

MASAKI SUZUKI,^{†1} TAISEI TOKUDA^{†1}
and HIROSHI SHIGENO^{†1}

Platooning is one of the cooperative driving and is highly expected as a solution for energy saving problems. Platooning requires communication systems to control vehicles movement, so that one of the method is that vehicles send same packets repetitively. However, in case that the platoon density is high, two problems occur. One is the congestion and the other is similar to the hidden terminal problem. In this paper, we propose the TDMA based vehicular communication method. Through the proposed method, vehicles can control the number of times to send repetitively and the designated vehicle representatively reserves time slots. Computer simulations evaluates the proposed method. The proposed method improves the packet arrival ratio and the number of platoon which can maintain its own platoon.

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

1. はじめに

ITS に求められている成果の一つに交通流を円滑化、効率化することにより環境負荷を軽減することが挙げられる。国内外で協調走行の一形態である隊列走行が幅広く研究されている^{2),1)-3)} 中で、特に高い省エネルギー効果に期待が高まっている⁴⁾。日本のエネルギー ITS 推進事業では経済産業省が NEDO²⁾ と連携し、省エネルギー効果の高い ITS の実用化を推進するために大型自動車の隊列走行および自動走行の研究開発に取り組んでいる^{4),5)} 自動運転によるスムーズな加減速や不要なアクセルワークの削減、短い車間距離を維持した走行が空気抵抗を低減させることによる走行時の燃費改善、道路容量を増やし交通流を円滑にすることによる二酸化炭素排出量の削減等の効果が期待されている。

本稿では隊列走行に必要な運動制御通信に着目する。現行の手法では連送と呼ばれる手法により高いペケット到着率を実現しているが、隊列の密度が高い場合には帯域を圧迫し、輻輳が発生する。さらに、特に通信トラフィックの量に地理的な偏りがある場合には、隠れ端末問題⁶⁾ と類似して、不均一に特定の隊列のペケット到着率が低下する現象が起こる。本稿ではまず、連送による性能低下をシミュレーションにより確認し、TDMA 型通信方式を拡張し連送レートをコントロールする機能を追加する通信方式を提案する。TDMA 型通信によって不均一なペケット到着率の低下と輻輳を検知し、連送レートをコントロールすることで輻輳を回避する。そして、シミュレーションにより提案手法が通信性能の観点から有効であることを示す。

2. 隊列走行アプリケーションと通信方式

2.1 隊列走行

隊列走行とは、同じ方向に走行する複数の車両が縦列の車群を形成し、短い車間距離を維持して走行する協調走行アプリケーションの一つである。隊列走行のアプリケーションでは、隊列を形成するメンバ車両間で情報交換を行い、短い車間距離を維持しても人間の操作を必要としないシステムが安全に車両を走行させなければならない。そのため、二種類の通信が必要とされている⁷⁾。一つは隊列を構成する車両の運動を制御するための通信、もう一つは、参加や離脱などの隊列を構成するメンバを管理する通信である。本稿は隊列走行のアプリケーションが必要とする通信のうち、運動を制御する通信に着目する。

2.2 運動制御のための通信

隊列の運動制御用通信とは、同軸制御を実現するため、走行位置、速度、加減速や操舵

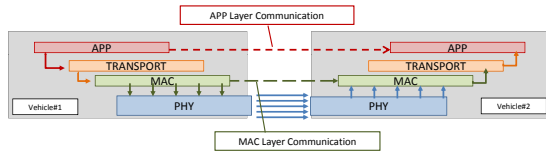


図 1 連送の概要



図 2 隊列の配置

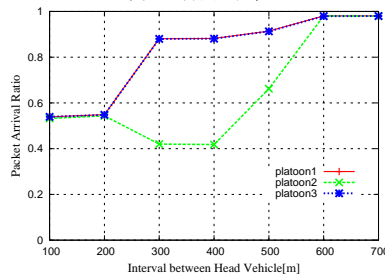


図 3 3 隊列の隊列頭間距離とパケット到着率の関係

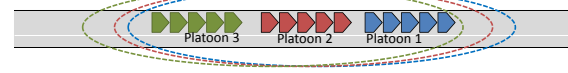


図 4 隊列の通信範囲に含まれる隊列数が等しいの場合



図 5 隊列の通信範囲に含まれる隊列数が不均一の場合

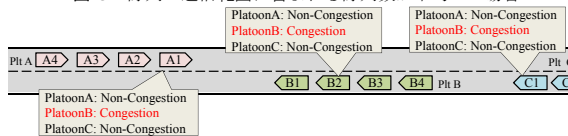
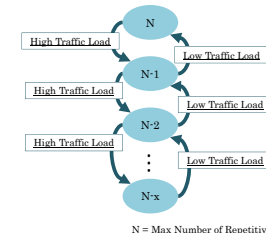


図 6 隊列間混雑検知手法



N = Max Number of Repetitive Transmission

図 7 連送数制御概要

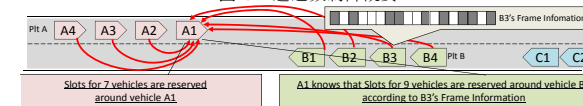


図 8 混雑検知時の動作

Want to Reserve Slots for:

- A1: 1, 34, 80, 135, 180
- A2: 5, 38, 89, 138, 186
- A3: 11, 47, 96, 145, 190
- A4: 13, 60, 112, 149, 196
- A5: 18, 62, 122, 155, 198



図 9 連送スロットの予約方法

角の情報などを隊列メンバ間で交換する通信である^{7),8)}。エネルギー ITS 推進事業によると、50 バイトの情報を 20msec 間隔で伝達することが要件とされている^{5),9)}。短い周期で確実に情報を伝達するため、連送という手法を用いてパケット到着率を向上している。図 1 に連送の概要を示す。連送とは、アプリケーション層で作成した情報を MAC 層で複製し、それぞれを連続して送信する手法である。一つの情報を複数回送信することで到着率を向上させる。例えば、連送回数が 4 回であれば、MAC 層のパケット到着率が 70.0 % の場合にアプリケーション層のパケット到着率は 99.2 % になる。

既存の手法を CBR とみなして、コンピュータシミュレーションにより評価する。図 2 に示すように、隊列を一定の間隔で、高速道路を想定した直線上に配置する。本シナリオで隊列の数は 3 とした。隊列間の距離を変化させた場合の MAC 層レベルでのパケット到着率を評価する。隊列を構成する車両は隊列内の他メンバとマルチキャストにより情報を交換する。ネットワークシミュレータには Scenargie 1.4¹⁰⁾ を利用する。その他のシミュレーシ

ン条件を表 2 に示す。シミュレーション結果を図 3 に示す。

隊列車頭距離が 100 m から 200 m の場合、それぞれの隊列が示すパケット到着率は等しく 0.53 である。図 4 に隊列の位置と通信範囲を示す。各隊列が他のすべての隊列の通信範囲内におり、通信容量を超えているため、輻輳が発生し、パケット到着率は低い。

隊列車頭距離が 300 m から 500 m の場合、すべての隊列の通信において輻輳が起こっているが、その到着率は異なっている。これは、隊列の位置と他の隊列の通信範囲の関係によって引き起こされる現象である。隊列車頭距離が 300 m の場合、両端の隊列が示すパケット到着率は等しく 0.88 である。一方、中央に位置する隊列が示すパケット到着率は 0.43 である。図 5 に隊列の位置と通信範囲の関係を示す。両端の隊列 (隊列 1, 3) の通信範囲には自分と中央にいる隊列 (隊列 2) の二つが存在する。一方で隊列 2 の通信範囲には自分と隊列 1, 3 の三つが存在する。相対的に、隊列 1, 3 は隊列 2 よりも送信機会が多い。すると、均一に輻輳が発生する場合と比較して、隊列 1, 3 のパケット到着率が上がるのに対して、隊列 2

のバケット到着率は低下する。本稿ではこの問題を不均一なバケット受信率の低下と呼ぶ。そして本稿では、上記の輻輳と不均一なバケット受信率の低下を回避することを目的とする。図5において、隊列2に発生する不均一なバケット受信率の低下の原因は、隊列1が隊列3の存在を検知できないことにある。つまり、隊列1や3は、自分だけでなく反対側の隊列の通信からも隊列2の通信が影響を受けていることを検知できないことが原因である。これは、隠れ端末問題に類似すると捉えることができる。従って、本稿では隠れ端末問題の代表的な解決策である TDMA 通信方式^{7),11),12)} を拡張することで、上記の問題を解決し、隊列走行アプリケーションの実現性を高める。

2.3 RR-ALOHA を隊列制御通信に利用する際の課題

無線通信を用いた車車間の代表的な TDMA 通信方式に RR-ALOHA^{13),14)} がある。これは R-ALOHA¹⁵⁾ をアドホックネットワークで実現した通信方式である。ノードは時分割されたタイムスロットにアクセスする。フレームと呼ばれる単位に時間を分割し、フレームを N 個のスロットに分割する。各ノードが認識しているフレームとスロットは時間同期されており、スロット単位でパケットを送受信する。ノードは自分が受信するスロットを監視し、他ノードが使用していれば BUSY、空いていれば FREE と判断する。フレーム単位で集計した情報をフレームインフォメーション (FI) としてパケットに格納し、隣接車両間で情報を共有する。隣接ノードが BUSY と判断したスロットを使用しないことで、2 ホップ先の車両と送信するタイミングが衝突することを回避する。

RR-ALOHA 方式を隊列運動制御通信で利用するには課題が 3 つある。一つは、輻輳が発生した際に回避する手段が無いため、自身が持つ伝送速度以上に通信トラフィックが存在する場合のバケット到着率が激しく低下してしまうこと。次に、隣接車両の帯域を圧迫したときに負荷を低減する手段が無いため、特定の隊列が不均一に低いバケット到着率を示す現象が起きてしまうこと。そして、一つの隊列が複数の車両によって構成されているため、スロットの数に余裕がない状況でスロットを予約するときに、隊列内の車両同士で予約が衝突する現象が起きることである。本稿では以上の問題を解決する通信方式を提案する。

3. TDMA 型隊列運動制御通信

本稿では連送数制御と代表者予約による TDMA ベース隊列運動制御通信方式を提案する。連送数制御機能と代表車両予約機能により、輻輳を制御し、隊列内や隊列間のバケット受信率が不均一になることを回避する。

3.1 連送数制御

混雑検知

隣接車両の混雑を検知し、輻輳、隊列間の不均一なバケット受信率の低下を回避する。

図6に混雑検知手法の概要を示す。隊列Aと隊列Cに挟まれた隊列Bの通信トラフィックが過多になっている状況を、隊列Aおよび隊列Cも検知する。各車両は自車両が受信する通信トラフィックを監視し、占有されているスロット数をカウントする。スロット数がしきい値を超えた場合に通信が混雑していると判断する。隣接隊列の混雑を検知するために、各車両はフレーム情報を定期的に送信し、1ホップの通信範囲内にある車両のフレーム情報を監視する。フレーム情報とは、各車両が観測しているタイムスロットの予約状況を格納した情報である。隣接車両同士がフレーム情報を交換し、集計することで2ホップ隣接車両の送信予約状況を知る。

連送数制御

図7に連送数制御概要を示す。車両は自律的に通信帯域の使用状況を監視しながら輻輳が発生しないように、かつ期待する伝送速度にできるだけ近づけるように通信量を制御する。車両は混雑を検知すると連送数を少なくすることで、必要とする伝送速度を低くし、輻輳を回避する。通信帯域に余裕ができれば、連送数を増やし、本来必要としていた連送数に戻す。

図8に混雑検知時の動作を示す。車両A1が混雑を検知する。A1は自車両が観測した予約されているスロットの数を監視することで自車両の通信が混雑していることを検知する。A1は7車両分のスロットが予約されていることを知る。同時に、A1は隣接車両からフレーム情報を受信し、隣接車両の受信トラフィックが混雑していることを検知する。A1の隣接車両である車両B3は9車両分のスロットが予約されている。A1はB3から受信したフレーム情報を確認することで、B3が利用できる帯域のうち、9車両分が使用されていることを知る。自車両と隣接車両の帯域にはしきい値を二種類設けており、各車両は予約されているスロット数としきい値を比較することで自律的に連送数を変える。混雑検知のしきい値を超えた場合には連送数を減らし、帯域に十分余裕がある場合には連送数を増やす。

3.2 隊列代表車両スロット予約

隊列内のメンバ車両の予約スロット数の偏りを無くし、隊列を構成する車両同士で予約が競合することを回避するため、隊列内では代表車両が他のメンバ車両の分もまとめて送信スロットを予約する。図9に隊列の代表車両が他のメンバ車両の分もスロットを予約する例を示す。車両A1は車両A2からA5のためのスロットを一括で予約する。予約したスロット番号をメンバ車両は監視しており、予め割り当てられた隊列内車両IDを基に自分に割り当

表 1 隊列流入量と各指標の関係

Inflow of Platoons [platoons/lane/h]	Distance Intervals of Platoons[m]	Density of Platoons [platoons/km]	Time Intervals of Encounter[sec]
50	1600	0.625	36.0
100	800	1.25	18.0
150	533.33	1.875	12.0
200	400	2.5	9.0
250	320	3.125	7.2
300	266.66	3.75	6.0

表 2 Simulation Parameters

Communication	Simulator	Scenargie 1.4
	Packet Size	66Bytes
	Transmission Cycle	20msec
	Specification	802.11p
	Modulation Scheme	OFDM (QPSK 1/2)
	Transmission Power	20dBm
	Band Frequency	5.9GHz
	Bandwidth	10MHz
	Bit Rate	6.0Mbps
	Propagation Model	ITU-R.P.1411
	Modulation Scheme	OFDM(QPSK1/2)

てられた予約スロットと自分がデータを送信するタイミングを知る。

4. シミュレーション評価

提案方式の有効性をコンピュータシミュレーションにより評価する。

4.1 シミュレーション概要

ネットワークシミュレータ Scenargie 1.4¹⁰⁾ と交通流シミュレータ ADVENTURE Mates Version 0.11 beta⁷⁾ を並列実行する環境を用いた。交通流シミュレータを用いて車両の位置を再現し、その結果に基づいてネットワークシミュレータは無線通信の成否を計算する。通信の結果に基づいてドライバーが行動し、交通流シミュレータは次の微小時間後の車両位置を再現する。無線通信方式には IEEE802.11p¹⁶⁾ を採用した。隊列のメンバ車両は運動を制御する通信とメンバを管理する通信を行う。車両にモビリティの無いシナリオとモビリティのあるシナリオの二つを評価する。モビリティの無いシナリオでは、任意の隊列車頭間隔で車両が通信したときの通信性能を確認する。高速道路を想定した直線道路上に一定の間隔で複数の隊列を配置し、車線は一つとする。隊列を構成する車両の台数は 5 台とした。モビリティのあるシナリオでは、通信性能と交通流が相互に与える影響を評価する。高速道路を想定した直線道路であり、片側 2 車線の双方向通行とする。道路を走行する車両はトラックのみとし、全ての車両がいずれかの隊列に属している。直線道路の端点から流入し、道路上を希望速度 80 km/h に従って走行し、反対側の端点から流出する。流入量を変数として、シミュレーションを行う。表 1 に隊列の流入量に対する隊列間距離、隊列密度、平均すれ違い時間間隔を示す。その他のシミュレーション条件を表 2 に示す。ここに記載されていない ITS シミュレータ利用推進委員会が採用したパラメータに準拠する。

4.2 比較対象および評価項目

シミュレーションの対象とする手法は提案手法、RR-ALOHA、CBR-Based 通信手法の三つである。上記のそれぞれの手法を用いて以下の指標を評価する。モビリティが無いシナリオでは、隊列車頭距離を変化させた場合の packets 到着率の変化を測定する。隊列間の送信レートおよび受信率が均一になることを確認する。packets 到着率は次式 1 で示される。

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_v} \frac{R_i}{T_i}}{N_v}, \quad (1)$$

但し、 N_v は隊列を構成するメンバの台数、 R_i は隊列内の他メンバから受信した packets の数、 T_i は各車両が送信した packets の数である。

モビリティがあるシナリオでは、隊列の流入量を変化させた場合の packets 到着率の変化を測定し、現実的な交通流下での到着率の変化を確認する。packets 到着率は次式 2 で示される。

$$\frac{\sum_{k=1}^P \sum_{i=1}^{N_v} \frac{R_i}{T_i} N_v}{P}, \quad (2)$$

但し、 P は道路上の隊列の数であり、その他のパラメータは式 1 と同様である。

4.3 隊列車頭距離と packets 到着率の関係

CBR-Based 通信手法

図 10 に CBR-Based 通信手法の隊列車頭距離に対する packets 到着率を示す。隊列車頭距離が 100 m の場合、全ての隊列の到着率が低下している。隊列同士の通信が干渉してしまい、伝送速度に対して通信量があふれる輻輳が発生している。隊列車頭距離が 150 m の

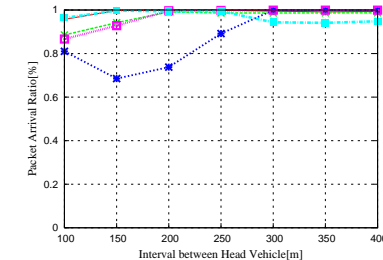


図 10 CBR-Based 通信手法を用いたときの packets 到着率

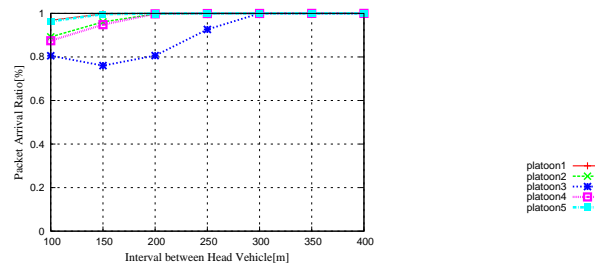


図 11 RR-ALOHA を用いたときのパケット到着率

場合、隊列 3 の到着率が低く、隊列 1,5 の到着率が高い。そして、隊列 2,4 はその間の値を示す。これは、内側に配置された隊列ほど送信の機会が少なくなり、従って送信レートが低くなっているためである。隊列車頭距離が 300 m を超えると隊列間の差はなく、等しく高い到着率を示す。隊列間の干渉が無くなったためである。

RR-ALOHA

図 11 に RR-ALOHA の隊列車頭距離に対するパケット到着率を示す。全体的な傾向は CBR-Based 通信手法と似ている。しかし、隊列車頭距離が 150 m から 250 m の場合には、中央に配置されている隊列のパケット到着率の低下を抑えている。TDMA を用いたことにより隠れ端末問題を回避したためである。CBR-Based 通信手法と同様に、隊列車頭距離が 100 m の場合、全ての隊列の到着率が低下している。これは輻輳が発生しているためである。そして、隊列車頭距離が 300 m より大きくなると、隊列間の干渉の影響が無くなるので、それぞれの隊列が高い到着率で通信することができる。以上より、RR-ALOHA は隠れ端末問題を回避することはできるが、輻輳や、不均一に特定の隊列のパケット到着率が低くなる現象を回避することができない。

提案手法

図 12 に提案手法の隊列車頭距離に対するパケット到着率を示す。提案手法はいずれの隊列車頭距離においても全ての隊列が高いパケット到着率を示し、およそ 1 に近い値を示す。本来は高い到着率を維持する目的である連送のレートを、輻輳発生時に低くすることで高い到着率を維持している。他の手法では隊列車頭距離が 150 m から 250 m の場合に発生していた不均一なパケット到着率の低下を回避している。2hop 隣接車両のトラフィック量を監視し、隣接車両での輻輳発生時に連送レートを低く抑えることで、問題を回避している。

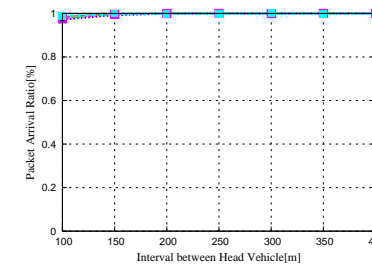


図 12 提案手法を用いたときのパケット到着率

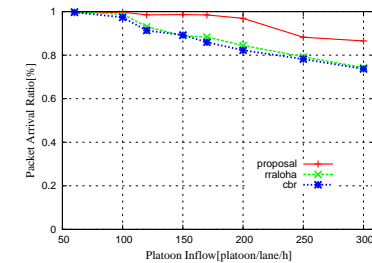


図 13 隊列流入量とパケット到着率の関係

4.4 隊列流入量とパケット到着率の関係

図 13 に隊列流入量とパケット到着率の関係を示す。隊列流入量が低いときには、それぞれの手法でパケット到着率は高い値を示し、隊列流入量が 50 Platoon/h から 100 Platoon/h のときのパケット到着率はおよそ 1 である。RR-ALOHA および CBR-Based 通信では隊列流入量が 120 Platoon/h を超えたところからパケット到着率が低下しはじめる。隊列流入量が 150 Platoon/h を超えると到着率は 90 % を下回り、流入量が 300 Platoon/h のときには 74 % を示す。提案手法では隊列流入量が 200 Platoon/h のときにもパケット到着率は 96% を超えている。つまり、9 秒に 1 回隊列同士のすれ違いが発生する高密度の条件においても高いパケット到着率を示している。さらに隊列流入量を増やし 200 Platoon/h を超えるとパケット到着率は低下し始めるが、他の手法と比較すると高い値を示す。隊列流入量が 300 Platoon/h の時には 87 % のパケット到着率を示し、RR-ALOHA と比較すると平均して 11 % 改善している。以上より、提案手法では隊列流入量が 120 Platoon/h を超えたところから RR-ALOHA や CBR-Based 通信手法と性能に差が出るので、提案手法が有効

なのは隊列流入量が 120 Platoon/h を超える高密度な環境である。

5. おわりに

本稿では、協調走行の一形態である隊列走行アプリケーションに必要な不可欠である、運動制御通信の性能を改善した。現行の運動制御通信では、パケット到着率の要件を満たすため、連送方式を採用している。しかし、隊列の密度が高くなると、輻輳が発生する。さらに特定の条件下では、隠れ端末問題に類似した現象である、不均一なパケット受信率の低下を引き起こす。したがって、連送数制御と代表者予約による TDMA ベース隊列運動制御通信方式を提案した。タイムスロットを監視して情報を共有することで自隊列と隣接隊列の輻輳を検知し、連送によるトラフィック量を制御することで輻輳と不均一なパケット受信率の低下を回避する。さらに、隊列の代表車両がメンバー車両の分もまとめてスロットを予約、割り当てることで、隊列内の予約の衝突や通信量の偏りを回避した。

そして、ネットワークシミュレータと交通流シミュレータを用いたコンピュータシミュレーションにより提案手法の有効性を示した。直線上に一定間隔で配置した隊列の通信性能を比較することで、提案手法のパケット到着率が改善し、隊列間の不均一なパケット受信率の低下を回避したことを示した。また、双方向の直線道路路上にある流入量に従って隊列を走行させたところ、流入量が多くなるほど提案手法の性能改善率が高くなることがわかった。通信性能である平均のパケット到着率は平均で 11 %改善され、アプリケーション性能である隊列走行を維持する隊列の割合は最大で 26 %改善された。隊列走行では、通信トラフィックが過多の状況では、連送数を減らすことで輻輳や不均一なパケット到着率の低下を回避し、隊列走行アプリケーションの性能を改善することを示した。

参 考 文 献

- 1) Shladover, S.E, "Automated Vehicles for Highway Operations(Automated Highway Systems)," the Institution of Mechanical Engineers Part I of Systems and Control Engineering, pp.53-75 (2005).
- 2) Zhang, Y.; Cao, G.; , "V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs," Vehicular Technology, IEEE Transactions on , vol.60, no.5, pp.2326-2339, Jun 2011.
- 3) R. Onishi, O. Altintas, Y. Nemoto, and M. Shida.: "An Efficient Bi-Directional Communication and Naming System for Cooperative Vehicle Platooning," EC-TITS Workshop co-located with IEEE Int. Conf. Intelligent Transportation System (2010).
- 4) Tsugawa, Sadayuki; Kato, Shin; Aoki, Keiji; , "An automated truck platoon for

- energy saving," Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on , vol., no., pp.4109-4114, 25-30 Sept. 2011.
- 5) NEDO, "エネルギー ITS 推進事業," <http://www.nedo.go.jp/content/100079701.pdf>, Feb. 2009.
- 6) F.A. Tobagi and L. Kleinrock, Packet switching in radio channels. Part 2. The hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy-tone solution, IEEE Transactions on Communications 23 (December 1975) 1417-1433.
- 7) Kanda, Shohei; Suzuki, Masaki; Harada, Ryo; Shigeno, Hiroshi; , "A multicast-based cooperative communication method for platoon management (poster)," Vehicular Networking Conference (VNC), 2011 IEEE , vol., no., pp.185-192, 14-16 Nov. 2011
- 8) Shohei KANDA, Masaki SUZUKI, Ryo HARADA and Hiroshi SHIGENO, "Platoon Management Method Using Multi-Response Communication," DICOMO2011, pp.814-821, July 2011.
- 9) Kaoru Seki, Masaharu Hamaguchi,"Inter-vehicle Communication for Truck Platooning (2nd report)," 2010-ITS-43, pp.1-8 (2010).
- 10) Yasunori Ohwada, Taka Maeno, Shigeru Kaneda, Ryosuke Hisanaga, Mineo Takai: "Realistic ITS Simulation with Scenargie Simulator," IPSJ Symposium Series, 2008(14), pp.233-234(2008).
- 11) Scopigno, R.; Cozzetti, H.A.; , "Mobile Slotted Aloha for Vanets," Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009 IEEE 70th , vol., no., pp.1-5, 20-23 Sept. 2009
- 12) MAKIDO SATOSHI, SUZUKI NORIYOSHI, HARADA TOMOHISA, MURAMATSU JUNYA, "Decentralized TDMA Protocol for Real-time Vehicle-to-Vehicle Communications," IPSJ Journal Vol. 48, No. 7, pp. 2257 - 2265, July 2007.
- 13) F. Borgonovo, A. Capone, M. Cesana and L. Fratta, RR-ALOHA, a reliable R-ALOHA broadcast channel for ad-hoc inter-vehicle communication networks, in: Proceedings of Med-Hoc-Net 2002, Baia Chia, Italy (2002).
- 14) Flaminio Borgonovo, Antonio Capone, Matteo Cesana, and Luigi Fratta. 2004. ADHOC MAC: new MAC architecture for ad hoc networks providing efficient and reliable point-to-point and broadcast services. Wirel. Netw. 10, 4 (July 2004), 359-366.
- 15) Young-An Kim; Nakagawa, M.; , "R-ALOHA protocol for SS inter-vehicle communication network using head spacing information," Intelligent Vehicles Symposium, 1996., Proceedings of the 1996 IEEE , vol., no., pp.278-283, 19-20 Sep 1996
- 16) Eichler, S.; , "Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard," Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th , vol., no., pp.2199-2203, Sept. 30 2007-Oct. 3 2007