

車両の目的地を考慮した Ordered Platoon 形成アルゴリズムの提案と評価

屋代 智之^{†1} 有安 香子^{†2} 福井 良太郎^{†3}
重野 寛^{†4} 松下 温^{†4}

現在, ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の一環として, プラトウニング (隊列走行) に関する研究が進められている. プラトウニングを構成することで, 道路上の車両密度を上げることが可能となり, 結果として車両数過多による渋滞を大幅に軽減することが可能であると考えられている. しかし, プラトウニングを構成するためには, 安全で確実な車々間通信の確保が必要であるという問題点のほかに, 出発地および目的地でプラトウニングの形成, 解消のための広大なスペースを確保しなければならないという問題点がある. 道路渋滞が問題となっている都市部において, このようなスペースを確保することは非常に困難なため, プラトウニングを実用化するためにはまだまだ課題が多いのが現状である. 本論文では, プラトウニングを道路上で動的に形成し, 走行中に目的地が遠い順に並べ替える Ordered Platoon を提案する. これによって, プラトウニング形成, 解消のためのスペースが不要になる. その反面, 通常のプラトウニングと比して, 車両密度がやや低下するという問題点が発生する. そこで, Ordered Platoon の有効性についてコンピュータシミュレーションを用いて評価した.

A Proposal and Evaluation of Ordered Platoon Formation Algorithms Considering Each Vehicle's Destination

TOMOYUKI YASHIRO,^{†1} KYOKO ARIYASU,^{†2} RYOTARO FUKU,^{†3}
HIROSHI SHIGENO^{†4} and YUTAKA MATSUSHITA^{†4}

Platooning which is a part of ITS (Intelligent Transport Systems) has an important role in future physical distribution and the research on Platooning is currently on the way to develop. By constructing platoon, the density of vehicles become high and that means the efficiency of the road is improved. As a result, the traffic congestion, which causes many problems on the road transportation, will be reduced. But there are many problems to realize Platooning. One is the way to communicate with a safety and reliable vehicle-to-vehicle transmission method, and another is a place to construct or destruct the platoon. Many traffic congestions is generated at an urban area, but it is very difficult to construct base station in an urban area to construct platoon. In this paper, we propose a dynamic platoon-formation algorithm called Ordered Platoon, which considered the destination of each vehicle. By using Ordered Platoon, an infrastructure such as the base station is not needed. We evaluate Ordered Platoon by using computer simulations to estimate the efficiency of this system.

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) に関する研究がさかんになり, また,

VICS (Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報システム) や ETC (Electronic Toll Collection: 自動料金収受) など, 渋滞を抑制しようとする技術や, ACC (Adaptive Cruise Control: 適応型追従制御) システムのように先行車を自動的に追従するシステムも一部の車両に搭載され出しているなど, 近年の自動車交通をとりまく環境は大きく変貌している^{(17),(18),(20)}. しかし, 渋滞による環境汚染や渋滞を原因とする交通事故は依然数多く発生しており, 日本国内における慢性的な渋滞はなお深刻な問題となっている.

†1 千葉工業大学

Chiba Institute of Technology

†2 NHK 放送技術研究所

NHK Science & Technical Research Laboratories

†3 沖電気工業株式会社

Oki Electric Industry Co., Ltd.

†4 慶應義塾大学

Keio University

この渋滞を解決するための方法として、新規道路建設や道路幅広といったインフラを増強する手法と、情報処理技術を活用して道路上の走行車両の密度を上げるという手法の2つが検討されている。前者は根本的な解決方法であるが、地価を主要因とする建設コストの増大や、建設期間がかかることなどから、渋滞を劇的に減少させることは困難である。これに対して、後者は安全性の問題はあるものの、実現できれば交通渋滞を一掃できる可能性を持ち、また新規インフラの建設が不要であるため、その重要度は高いといえる。

道路上の走行車両の密度を上げる手法として、プラトウニング (Platooning: 隊列走行) が検討されている。これは、車間距離を狭めた複数の車両が車群となって高速道路上を走行するもので、先頭車両はドライバによる運転が必要であるものの、後続車は情報通信技術¹⁶⁾を利用して、車両のアクセル、ブレーキ、ステアリングなどをコントロールし、前の車両に自動的に追従するというものである。すでに、ドイツにおける CHAUFFEUR⁴⁾ や日本における DEMO2000¹⁾ などで、追従走行に関する技術的な実現性は示されており、歩行者など他の障害物の少ない高速道路であれば実用化も不可能ではないと思われる。このプラトウニングが実用化されると、物流など多くのトラックを用いた走行に対する密度向上、人件費削減、若干ではあるが燃費の向上などといった効果が予想される。

しかし、プラトウニングを実現するための大きな問題点は、どこでプラトウニングを構成し、どこでプラトウニングを解消するか、という点である。プラトウニングはいったん形成されてしまえば、車両密度を大幅に向上させることが出来るが、形成するためには、プラトウニングを構成する車両がどこかに集まり、通信リンクなどを確立してから走行を開始する必要がある。そのためにはある程度広大な基地が必要となるが、プラトウニングを構成するために、出発地点と目的地に広大な基地を建設することは容易ではない。

そこで本論文では、道路上を走行する車両が動的にプラトウニングを形成し、数多くの目的地に移動する際に道路上の車両密度の低下を最小限に抑えつつ、プラトウニングを分割して別々の目的地に至る手法として Ordered Platoon を提案する。

Ordered Platoon では、必要に応じてプラトウニング内の車両は目的地が遠い順に並べ替えられる。なお、ここでは、車両が高速道路から外れる地点、すなわち高速道路の出口や分岐点を目的地として考える。このような場合、たとえば混雑度の激しい都市部では、プラトウニングは近隣の車両が近寄ることにより構成され、

走行路上にある都市間高速などの比較的混雑度の低い道路を利用して、プラトウニング内の車両を再構成する。これによって、目的地近辺においても、プラトウニングの分割が最小限で済むため、全体としての車両密度の向上が図れ、結果として渋滞を抑制することが可能となる。

2. プラトウニングに関連する研究・開発

ここでは、既存のプラトウニングに関連する研究を簡単に紹介する。

PATH²⁾

PATH (Partners for Advanced Transit and Highways) は、米国カリフォルニア州において、高速道路脇の専用レーンを用いて、8 台の乗用車を用いたプラトウニング走行の実験を行った。

IMTS³⁾

IMTS (Intelligent Multi-Mode Transit System) はトヨタが開発した全自動運転バス技術であり、隊列走行機能を有する。

CHAUFFEUR^{4),5)}

ドイツでダイムラークライスラー社が中心となって実験を行っているプロジェクトであり、大型トラックの背面に付けた赤外線ランプを後続車が認識することにより追従する。

DEMO2000¹⁾

2000 年 11 月には、産業技術総合研究所機械技術研究所において「協調走行システム DEMO2000」と称したデモが実施された。ここでは 5 台の乗用車を用いた協調走行システムが実演された。

かるがも走行¹⁰⁾

日本では、9 つの開発分野の 7 番目「商用車の効率化」において、連続自動運転 (Automated Platooning) が検討されており、「かるがも走行」と呼ばれている。ここでは、専用レーンを用いたトラックの自動運転などが検討されている。

トラックの共同運行⁶⁾⁷⁾

プラトウニングではないが、物流のトラックを複数の会社が共同で運行することで、空荷のトラックを減少させ、結果として走行するトラックの台数を減少させる試みが行われている。

これらのプラトウニングに関する研究はその多くが、プラトウニングを形成した後に走行することを実験の目標としており、プラトウニングを形成する方法については特に考慮されていないが、高速道路脇にサービスエリアのようなインフラを利用することが前提となっている。

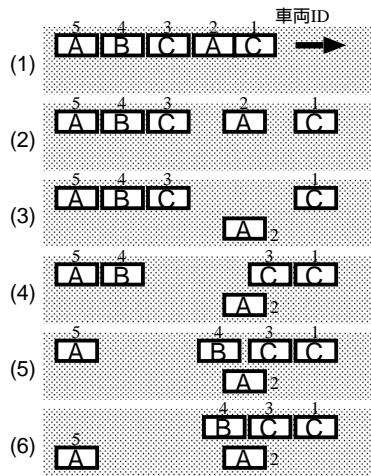


図1 プラトーンからの分離

Fig. 1 Leave operation from Platoon.

しかし、現実問題として、都市部にこのようなインフラを作ることは非常に困難である。これに対して、Chauffeur などでは、走行中のプラトーンへの車両参入やプラトーンからの車両離脱が実現されている。このようにインフラを利用せずに近隣の車両とアドホックにプラトーンを形成する手法を、ここでは Adhoc Platoon と呼ぶ。この場合、出口や分岐などで、プラトーンから離れる車両が発生した場合には、いったんプラトーンを解消し、出口へ向かう車両を切り放してから再度、残った車両でプラトーンを形成する必要が出てくる(図1)。

この結果、渋滞の激しい目的地近辺の都市部の高速道路では、プラトーンのまま走行することは困難となる。結果としてプラトーンニングの最も大きなメリットである、車両密度の向上が十分に見込めなくなってしまう、渋滞を抑制する効果が半減してしまうことになる。逆にいえば、出発地や目的地近辺の都市部ではプラトーンによる走行、あるいは極力プラトーンを維持した走行を行うことが重要であるといえる。

なお、本図以降、車両にアルファベットが振られているが、A, B, C の順に近い目的地(高速の出口や分岐など)を表しているものとする。

3. Ordered Platoon

本論文では、プラトーンを任意の場所で形成し、走行しながら空いている場所で、その車両の順序を高速道路上を車両が外れる地点(以降目的地と呼ぶ)順に並べ替えることにより、プラトーンを解消する際にも特別なスペースを必要としない手法を提案する。

通常、高速道路における渋滞は、ほとんどが都市部

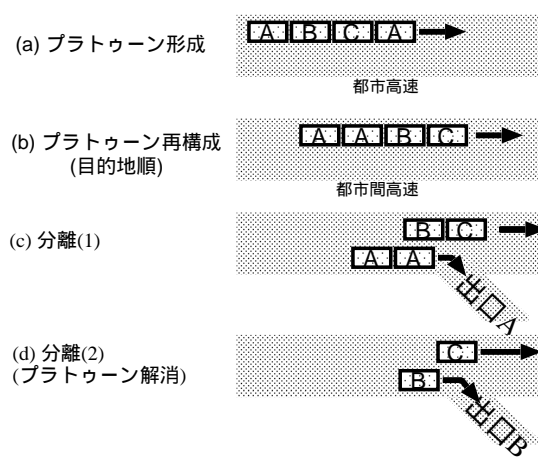


図2 Ordered Platoon の概念

Fig. 2 Concept of Ordered Platoon

で発生している。このため都市部を抜けて地方に向かう車両は、近隣の車両とプラトーンを形成できることが望ましい。しかし、さまざまな目的地を持った車両がプラトーンを形成してしまうと、最も近い目的地を持った車両がプラトーンから抜ける際に、いったんプラトーンを解体する作業が必要となる。

ある程度遠距離の目的地への走行であれば、都市間の比較的混雑の少ない道路を走行する時間が長いと考えられる。そこで、混雑の激しい都市部では、適当な順番でプラトーンを形成し、都市間高速においてプラトーンを目的地順に並べ替えるという処理を導入する。

これによって、まずはアドホックにプラトーンを形成する(図2(a))ものの、都市間高速を走行中に目的地順に並べ替えられ(図2(b))、最も近い目的地が近づいたとき(図2(c))には、プラトーンの後尾にその目的地へ向かう車両がいることになり、プラトーンからの離脱が容易となる。他の車両はそのままプラトーンを形成した状態で次の目的地へと向かい、次の目的地で同様の処理を行う(図2(d))。

これを概念的に考えると、高速道路上の交通密度の状況は図3のようになると考えられる(ここでは交通密度が高いほど良いと考える)。

ここで、Ordered Platoon を用いた場合、出発地と目的地の中間部分で交通密度が低下しているが、これは都市間部分で車両の入れ替え処理を行っているためである。しかし、一般的に都市間部分は、通常交通密度が低い部分であるために、問題は少ないと考えられる。

ここでは都市部で Ordered Platoon を形成する方

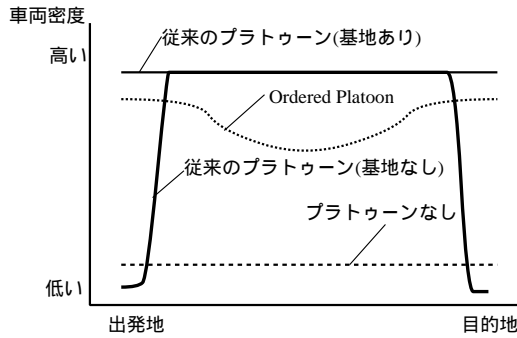


図3 交通密度の改善状況
Fig. 3 Improvement of traffic density.

法を考えているが、実際には都市部での形成とは別に、都市間で Ordered Platoon に他の車両が参加するケースが考えられる。プラトーン形成時に、周囲の車両密度が低ければ、最初から目的地順にプラトーンを形成することは容易である。また、すでに Ordered Platoon が形成されているときに、単独の車両がプラトーンに参加する場合は、最後尾につくのが一般的であるが、プラトーンの中に加わることさほど困難ではないと考えられる。

3.1 Ordered Platoon の形成

まず、交通密度が低い場所で最初から Ordered Platoon を形成する方法を説明する。

なお、ここではプラトーンを構成するすべての車両が車々間通信機器を持っており、またセンサなどによって周囲の車両、自車両の位置などを認識できることを仮定している。また、道路を車群レーンと走行レーンにわけ、基本的にはプラトーンは車群レーンを走行するものとする。

● Step A

プラトーンに参加する意思のある車両は、プラトーンに加入する前の段階では走行レーンを走行しながらプラトーン参加の意図を示す。そこで近くにプラトーンが存在する場合には Step B に移る。存在しない場合には、他にプラトーンに参加する意思を示した車両が存在するかどうかを調べる。存在した場合には通信を用いて、より目的地が遠い車両が後ろに位置するように車線変更を行い、存在しない場合には自車両のみの単独プラトーンとなり車群レーンを走行する。

● Step B

プラトーンは新規参加の意図のある車両をプラトーン外に見つけたら、その車両と行き先が同じ車両を探す。行き先が同じ車両が存在しなかった場合には Step C へと移る。行き先が同じ車両が 1 台存在した場合、

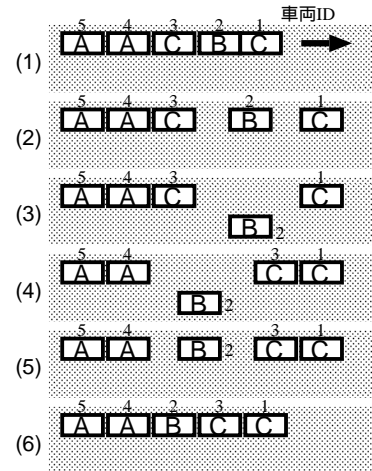


図4 前後車両の入れ替え手順
Fig. 4 Vehicle swap operation.

新規車両の参加する場所は行き先が同じ車両の前となる。また、行き先が同じ車両が複数存在した場合には、新規参加車両が一番近い場所が新規参加車両の参加場所となる。

プラトーン側はこの新規参加車両の参加場所を決定し、通信を用いてこの決定を新規参加車両に伝え、新規参加車両はこの決定を元に通信を行いながら物理的に指定された位置に近付いていきプラトーンへの加入を行う。

● Step C

行き先が同じ車両が存在しなかった場合、行き先の物理的な位置を考慮し、プラトーンの前頭車両から順に、プラトーン内の車両を調べ、その車両の行き先が新規参加車両の行き先よりも遠い行き先を示していたら、その次の車両を調べる。これを繰り返す。もし新規車両の方がプラトーン内の調べた車両よりも物理的に遠い行き先を示していたら、新規車両の参加位置はその車両の前に決まる。

3.2 車両入れ替え手法

続いて、すでに形成されたプラトーン上で、目的地が遠い順に並べ替えるために車両を入れ替える手法を検討する。

アドホックに形成されたプラトーンを目的地の遠い順に並べ替えるのは一般に用いられているソートとほぼ同じアルゴリズムが適用可能である。

ここでは単純な前後車両の入れ替えを例に説明するが、完了するのにかかる時間的には差があるものの、原理的には同じ手法を用いて、離れた車両を入れ替えることも可能である。

図4を例に前後車両を入れ替える具体的な手順を

説明する．なお、ここで入れ替えが必要なのは、前から 2 台目の目的地 B の車両と、3 台目の目的地 C の車両である．

- (1) 入れ替え前のプラトーンでの走行．
- (2) プラトーンから分離する車両 2 の前後でプラトーンを分割．
- (3) 車両 2 が車線変更を行い、プラトーンから離脱．
- (4) 車両 3 が加速し、前の車両 1 と合併．車両 3 と 4 の間に間隔を開ける．同時に車両 2 がやや減速し、走行レーン上で車両 3 と 4 の間の位置に移動する．
- (5) 車両 2 が車線変更を行い、車群レーン上に移動する．
- (6) 分離したプラトーンが再び合併し、入れ替え完了．

これと同様な手順を行うことによって、離れた車両を入れ替えることも可能となる．この手順を繰り返し行うことにより、すべての車両が目的地が遠い順に並ぶように順序をつけることが可能となる．

3.3 Ordered Platoon の合併

次に、プラトーンどうしが接近した場合のプラトーン合併処理について検討する．

プラトーンどうしの合併を考えると、Ordered Platoon のように目的地の遠い順番で車両を並べている場合、単純な合併（最後尾と先頭を連結し、大きなプラトーンとする）では、順番が狂ってしまうという問題が発生する．そこで、ここでは 2 つの方法を検討する．

1 つは、実質的に比較的小さなプラトーンどうしの合併の場合に限られるが、単純な合併を行っても順番が狂わないようなケースのみ、合併を可能とし、それ以外の場合には合併を行わない方法である（以降、単に OP w/o Rearrange 方式と呼ぶ）．

もう 1 つは、プラトーンの合併にともない、順序の入れ替えを行う方法である（以後、OP with Rearrange 方式と呼ぶ）．

前者は合併にともなうコスト（道路の専有や時間的制約）がかからない半面、プラトーンどうしが合併できる確率が低いという問題点があり、後者はその逆の特性を持つ．

OP with Rearrange 方式では、交通密度の高い都市部などの場合には、とりえずプラトーンを合併しておき、交通密度の低い場所でソート処理を行うことになるが、ここでは交通密度が低く、その場で合併処理が行える場合を想定する．

より複雑な処理も考えられるが、ここでは安全性、



図 5 プラトーンの合併処理
Fig. 5 Platoon merge operation.

現実性を考慮して、プラトーンの合併時には基本的に 1 つのオペレーションしか行わないことと、プラトーンから離れて移動する車両は 1 台に限ることを原則とした．

このため、プラトーンの合併処理は、基本的には図 5 に示すように、一方のプラトーンから、1 台ずつ目的地が遠い順に抜けてきて、もう一方のプラトーンに合併する処理となる．

手順としては、プラトーンの間的車群間距離が空いており、車両のプラトーンに対する移動距離が長いこと以外に相違点はない．

なお、本論文では原則として車両台数の少ないプラトーンから 1 台ずつ車両が抜けて、車両台数の多いプラトーンに合併するものとした．

3.4 Ordered Platoon における車両のオペレーション

以上の検討から、Ordered Platoon を実現するためには、通常の走行に必要な機能以外に、以下の 3 種類の操作が実現できれば、これらを組み合わせることでプラトーンの実行できることが分かる．

- Split
プラトーンを分割する機能である．管理車両からの指示に基づき、指定された 2 台の車両の間隔を広げる．車両がプラトーンから離脱する場合と、他車両をプラトーン内に受け入れる場合に利用する．
- Merge
分割され、車間距離が開いたプラトーンを再び通常の間隔に戻す機能である．
- Lane Change
車線変更を行う処理である．原則として、車線変更時には、その車両の前後は Split 機能を利用して、十分な安全な車間距離を確保する必要がある．また、プラトーンを離れて走行レーンにいる車両がプラトーンに戻る際にも車線変更がともなう．この場合にも、プラトーン側は Split 機能で、十分に安全な間隔を開いている必要がある．

4. シミュレーションによる評価

本論文で提案する方式について、コンピュータシミュレーションによる評価を行った．ここでは他の車両も

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation conditions.

| | |
|------------|------------------------------|
| 道路 | 3 車線直線道路 50km |
| 車線幅 | 3.0m |
| 出口 | 6km ごとに 1 つ |
| 車両の生起 | 指数分布 |
| プラトーン内車間距離 | 5.5m |
| 車両速度 | 車線ごとに 60, 80, 100km/h を目標 |
| 車々間通信方式 | 2Mbps の DPA 方式 ⁸⁾ |
| 通信距離 | 90 度 100m 見通し範囲 |
| 車両ネットワーク | 参考文献 9) の方式 |
| 車線変更 | 前後車両との関係により発生 |

存在する環境でシミュレーションを行った。シミュレーションには、Sun Microsystems 社製ワークステーション (Ultra 5 OS: Solaris8) を用い、C 言語と C++ 言語を用いて開発を行った。なお、コンパイラには gcc 2.95.2 を使用した。

シミュレーション条件を表 1 に示す。

ここで、車両は発生時に、一様乱数を用いて 3 車線のいずれかを選択し、基本的には前方車両との車間距離と目標速度を基準に加減速を行う。また、走行速度が目標速度よりも低く、かつ隣接車線に移動しても安全と判断される場合に車線変更を行うものとした^{11)~13)}。

また、プラトーンを構成する場合、およびプラトーンの組み替えを行う場合は、1 つのプラトーンでは同時に 1 台の車両だけの組み替え処理を行い、隣接車線に十分な安全距離が確保できている場合のみ処理を行うものとした。出口付近でのプラトーンの解消などの処理についても、十分に安全マージンをとり、車両が目的地とする出口から出られなくなるとして考慮した。

車両の大きさは文献 14) を参考に、大型車から小型車までを適当な比率で発生させた。車群レーンは最も高速な平均時速 100km のレーンとし、これを右レーンとした。出口はすべて左レーンにあるものとした。また、本シミュレーションでは、出口の数を 8 とし、各車両に対して一様乱数を用いて、目的地とする出口を割り振った。

図 6 に、すべての車両が出発地から目的地まで到達するのにかかった時間から算出した、1km 移動するのにかかる時間の平均を示す。本来であれば、目的地に到着するまでの平均時間を求めるべきであるが、今回のシミュレーションでは、車両によって目的地の距離が大きく異なるため、km を単位として正規化を行った。

また、本シミュレーションでは、すべての車両がプ

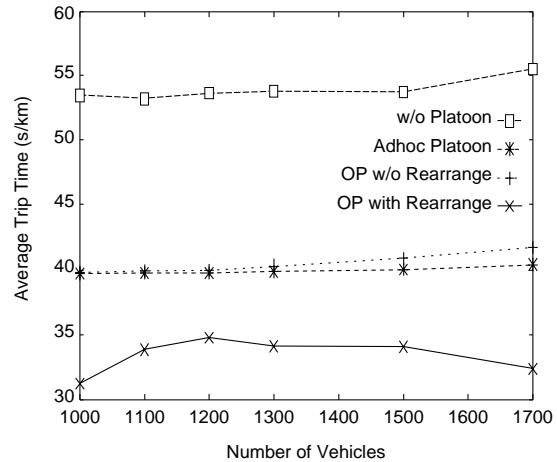


図 6 平均旅行時間
Fig. 6 Average trip time.

ラトーンに参加する意図を持っていると仮定した。

ここで、横軸はシミュレーション環境に存在する車両の総数である。最も台数が多いケースで、1700 台となっているが、1 車線 1km あたりの台数で考えると、11.3 台となり、車長を考えると、平均的な車間距離は 80m 程度となる。

なお、事前に別のシミュレーションを行い、目的地とする出口から車両が出られなくなるとしてプラトーンから車両が離脱する位置を定めた。このため、すべてのシミュレーションにおいて、目的地とする出口から出られずに通過してしまった車両の数は 0 である。

プラトーンを行わない場合、車両密度が上昇するに従って、緩やかではあるが旅行時間は増加している。本シミュレーションでは、渋滞が発生する状況を再現していないため、これ以上の車両密度のデータはとれなかったものの、車両が増加すれば渋滞が発生することが予想される。

これに対して、プラトーンを用いると、全体的に速度が向上していることが分かる。Adhoc Platoon と単純な OP w/o Rearrange ではあまり結果に違いが見られないが、これは単純な OP w/o Rearrange では、効率的にプラトーンを形成することができないため、目的地を考慮しない Adhoc Platoon との有差が生じなかったものと思われる。

最も旅行時間が短かった OP with Rearrange 方式は、車両数によって旅行時間にやや不規則な変動が見られるが、これはプラトーンを再構成する際に、そのときの車両の並びなどによって大きな時間変化が生じてしまい、結果として比較的高速で走行し続けられる場合と、再構成によってロスが生じ、旅行時間が増

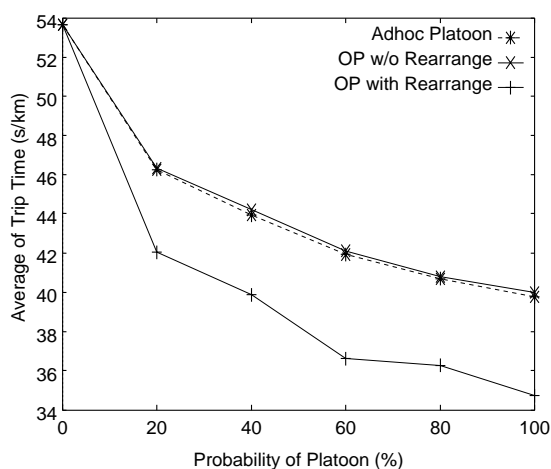


図7 平均旅行時間

Fig. 7 Average trip time.

大しているケースがあるためであると考えられる。

OP with Rearrange 方式で平均旅行時間が短縮された理由としては、

- (1) プラトーンを構成することにより、道路上の車両密度が低下し、目標速度で走ることが容易になった、
- (2) プラトーン走行レーンを走行する車両の比率が高くなり、平均的な速度が向上した、

の2つが考えられる。図6のw/o Platoonの結果が車両密度によってあまり変化していないことから分かる通り、この程度の交通密度であれば、多くの車両は目標速度で走っていると考えられるため、ここでの効果は主にプラトーン走行レーンを走行する車両の比率が向上したことによるものと考えられる。

次に、車両数を1200台に固定し、図7に、プラトーンへの参入意図を持つ車両の比率を変化させた場合の平均旅行時間の変化を示す。

なお、ここで、プラトーンへの参入意図を持つ車両の確率が0の場合については、プラトーンを構成しない場合のシミュレーション結果を用いた。

この結果より、本シミュレーションの範囲内では、プラトーンを構成できる車両の比率が低くても十分に実用的な価値があることが分かる。すなわち、このようなプラトーンシステムは、一部の車両だけに搭載されたとしてもその効果が発揮できるといえる。さらに Ordered Platoon を導入すれば、より高い効果が得られることが分かる。

OP w/o Rearrange の結果が Adhoc Platoon よりも悪くなっているが、これは OP w/o Rearrange の場合には、プラトーンに参入する意図を持っていて

も、結果としてプラトーンに参入できず、単独車両のまま車群レーンを走行している車両が多いためであると考えられる。これに対して、Adhoc Platoon では、目的地を問わずにプラトーンとして走行できるため、出口近辺を除く道路上の密度が低下するために、目的地には早く到着し、結果としてプラトーンを解消する処理時間を含めても OP w/o Rearrange よりも旅行時間が少なくなっている。

また、車両密度が上がるに従って、わずかではあるが Adhoc Platoon と OP w/o Rearrange の差が広がっている。これも上記と同じで、OP w/o Rearrange では、プラトーンを効率良く形成できないことが原因であると考えられる。

これに対して、Rearrange を行う OP with Rearrange は結果が最も良好となっている。これは出口近辺でのプラトーン解消にかかる道路専有面積が小さいことから、車両密度の低下が少なく、またプラトーン形成時に車両の並べ替えを行っていることから、車両密度が低下する部分が分散され、結果としてボトルネックに相当する部分が作られなかったことが原因であると考えられる。

また、OP with Rearrange では、20%程度の車両がプラトーンに参加すれば、他のプラトーン構成方法において60%の車両がプラトーンに参加しようとした場合と同程度の効果が得られていることから、プラトーンの構成方法を検討することにより、より低コストで効率的なプラトーンが構成できることがわかる。

5. ま と め

本論文では、動的にプラトーンを形成し、出発地、目的地近辺での交通容量の低下を極力おさえる方式として、Ordered Platoon 方式を提案した。また、コンピュータシミュレーションを用いて、Ordered Platoon 方式を評価し、その実用性について検討した。

シミュレーション結果より、Ordered Platoon 方式を利用することによって、広大なスペースを必要とする基地などを建設することなく、高速道路における車両密度をあげ、結果として速度低下や渋滞などを予防できるといえる。

ただし、問題点として、本質的にインフラを用いたプラトーンに比べると効率が低い面があるため、より効率的な手法を検討する必要があると思われる。

今後、レジャーの多用化などさまざまな理由により、道路を走行する車両数が増加すると見込まれるが、本方式を実現することによって、新たな道路建設を行わ

ずに交通渋滞を軽減し、より快適な交通環境が実現できると思われる。

今後の課題として、渋滞になる状況を見込み、混雑した状態を再現できるより正確な車両制御モデルを取り込んだシミュレーションの開発や、Ordered Platoonを実現するための車両制御方法の開発、より混雑した状態でも効率的に車両の入れ替えを可能とする制御方法の開発、より安全で確実な車々間通信システムの開発などが考えられる。

参考文献

- 1) 津川定之, 加藤 晋: 車々間通信技術と自動運転技術を用いた協調走行システム—その技術と DEMO2000 の報告, 産業技術総合研究所機械技術研究所機械研 NEWS 2001, No.2, pp.4-6 (2001).
- 2) <http://www.path.berkeley.edu/PATH/>
- 3) 青木啓二, 土井智之, 麻生 誠, 志田充央: トヨタ IMTS における自動運転技術について, トヨタテクニカルレビュー, Vol.51, No.2, オーム社 (2001)
- 4) http://www.cordis.lu/telematics/tap_transport/research/projects/chauffeur.html
- 5) http://www.netpart.or.jp/ahs/jpn/c04j/comm_coop/report4.htm
- 6) http://www.mlit.go.jp/chubu/soumu/jidosha010927_1.htm
- 7) 湯浅和夫: 手にとるように IT 物流がわかる本, かんき出版。
- 8) 屋代智之, 松下 温: 動的に PN 符号を割り当てる車両間通信プロトコル: DPA, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-A, No.4, pp.496-504 (1998).
- 9) 屋代智之, 松下 温: 車車間通信を用いた車両ネットワークの構築に関する提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-B, No.1, pp.9-18 (1999).
- 10) ITS HAND BOOK 2001-2002 (財)道路新産業開発機構 (2001).
- 11) 赤羽弘和: 交通工学渋滞のメカニズムと診断, Vol.25, No.2, (1990).
- 12) 越 正毅: 技報堂出版新体系土木工学 61 道路 (1) 交通流
- 13) 巻上 安, 井上矩之, 三星昭宏, 交通工学, 理工図書
- 14) 斉藤 孟, 佐藤 武: 自動車工学全書 別巻 自動車に関する法規, 規格, 統計, 山海堂 (1980).
- 15) Najm, W.G., daSilva, M.P. and Wiacek, C.J.: Safety Benefits Estimation of an Intelligent Cruise Control System Using Field Operational Test Data, *SAE Intelligent Transportation Systems Research and Applications*(SP-1467) pp.71-75 (1999).
- 16) Elliott, S.D. and Dailey, D.J.: *Wireless Com-*

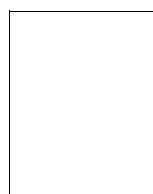
munications for Intelligent Transportation Systems, Artech House Publishers.

- 17) 森地茂, 川嶋弘尚, 奥野卓司: ITS とは何か—情報革命とクルマ社会, 岩波出版.
- 18) DSRC システム研究会 (編): ITS インフォメーションシャワー, クリエイトクルーズ.
- 19) 真島和夫: ITS 革命—道路が車を運転する, ぎょうせい.
- 20) Suzuki, H. and Nakatsuji, T.: Effect of Adaptive Cruise Control on Congested Freeway Traffic Flow with Lane Closure, *Proc. 8th World Congress on ITS* (2001).

(平成 14 年 3 月 26 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)

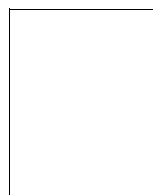
屋代 智之 (正会員)



平成 2 年慶應義塾大学工学部計測工学科卒業。平成 10 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年より千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科専任講師。現在同大学

情報科学部情報ネットワーク学科助教授。博士 (工学)。LAN の媒体アクセス制御方式, マルチメディアネットワーク, 高度道路交通システム (ITS), モバイル・コンピューティング等の研究に従事。情報処理学会高度交通システム研究会幹事。著書「コンピュータネットワーク」(オーム社) 等。電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE 各会員。

有安 香子



平成 6 年慶應義塾大学工学部計測工学科卒業。平成 8 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年 NHK 入局。名古屋放送局を経て, 平成 10 年より, 同放送技術研究所に

勤務。現在, マルチメディアサービス業務実施グループにて, コンピュータを用いたコンテンツ制作技術に関する研究に従事。

福井良太郎（正会員）

昭和 42 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。同年沖電気工業（株）入社。無線通信システム、情報通信システム等の開発を経て、現在 ITS の開発に従事。慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程在学中。電子情報通信学会会員。

重野 寛（正会員）

平成 2 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。平成 9 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。平成 10 年同大学理工学部情報工学科助手（有期）。現在、同大学理工学部情報工学科専任講師。工学博士。無線 LAN の構成法と媒体アクセス制御方式、計算機ネットワークにおけるステーション移動サポート、モバイル・コンピューティング、アクティブネットワーク、遠隔教育システム等の研究に従事。著書「～ネットワーク・ユーザのための～無線 LAN 技術講座」（ソフト・リサーチ・センター）、「コンピュータネットワーク」（オーム社）等。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。

松下 温（正会員）

昭和 38 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和 43 年イリノイ大学大学院コンピュータサイエンス専攻修了。平成元年 4 月より 14 年 3 月まで慶應義塾大学理工学部教授。平成 14 年 4 月より東京工科大学教授および慶應義塾大学理工学部客員教授。工学博士。マルチメディア通信、コンピュータネットワーク、グループウェア等の研究に従事。情報処理学会理事、同学会副会長、マルチメディア通信と分散処理研究会委員長、グループウェア研究会委員長、電子情報通信学会情報ネットワーク研究会委員長、MIS 研究会委員長、バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会委員長等を歴任。現在情報処理学会 ITS 研究会主査。郵政省、通産省、建設省、農水省、都市基盤整備公団、行政情報システム研究所等の委員長、座長、委員を多数歴任。「やさしい LAN の知識」（オーム社）、「201x 年の世界」（共立出版）等著書多数。1993 年情報処理学会ベストオーサ賞、1995 年および 2000 年情報処理学会論文賞、2000 年 10 月情報処理学会 40 周年記念 90 年代学会誌論文賞、2000 年 10 月電子情報通信学会フェロー、2000 年 10 月 VR 学会サイバースペース研究賞、2001 年 5 月情報処理学会功績賞。情報処理学会フェロー、電子情報通信学会、人工知能学会、フジイ学会、IEEE、ACM 各会員。