

# 車車間通信を用いた車線変更と脇道にもなう 交通流の円滑化を図るモデルの提案と実装

高砂智紀, 高橋和子  
関西学院大学大学院 理工学研究科

本研究は、幹線道路の交通状況において、車線変更を行う情報と脇道から幹線へ進入する情報をその影響を受ける車が事前に共有することにより交通流の円滑化を図るものである。安全な走行は勿論のこと車線変更、幹線進入時に全体の交通流をスムーズなものにするべく、ウィンカーによる車線変更の意思表示をする以前に、車線変更や幹線進入に関する情報を隣接する車線にいる車に受け渡し、意志疎通による協調を可能にしたモデルを提案する。交通シミュレータを実装して試行を行った結果、車線変更、脇道から幹線への進入に関する双方の通信を伴うモデルが有効であるということがわかり、提案手法によって交通流の円滑化が図れることが示された。

## Modeling and Simulation of the Traffic Flow with Lane Changing and Sudden Arrival/Exit of Vehicles Baed on Inter-Vehicle Communications

Tomoki Takasago, Kazuko Takahashi  
Kwansei Gakuin University (Graduate School)

This paper describes the modeling and simulation of the traffic flow with lane changing and sudden arrival/exit of vehicles based on inter-vehicle communications. We construct a simple traffic model in which some vehicles change lanes. We propose a new method for a vehicle to change lanes in which it tells the neighboring vehicles its intention beforehand, shares information with them, and determines the lane change time in cooperation with the other vehicles. We expand this model so that we can treat that sudden arrival and exit of vehicles in the midst of traffic. The result of simulating these models showed that early communication of intentions is effective in avoiding traffic jams and supporting smooth transportation.

### 1 序論

自動車が車線変更や幹線への進入を行う際、急な割り込みが後続車の徐行を引き起こし、交通流の滞りの原因の一つとなると考えられている。著者らは車線変更の意思をその影響を受ける車に通信させることによって車が入り込むスペースを生じさせ、交通流全体を円滑にするモデルを構築したが [1], 円滑に車線変更を行えている車の中にタイミングよく用意された幅に入ることができない車がいた。また、このモデルは車線 2 本のみという単純なものであった。

そこで本研究では、従来の車線変更に関する通信機能を持つ車が走る交通モデルに、各車線の交通状

況を踏まえて理想的な速度変化を促す相手を見つけてるように改良し交通流をさらに円滑にできるのかについて考察する。また道路モデルに脇道を追加し、脇道から進入する車が進入する意志を幹線に走る車に通信し、進入する際に適切な車間距離が提供されるモデルへと拡張する。上記双方モデルの実装を行い、シミュレーション実験によって本手法の有効性を示す。

以下、2 節では本研究で使用する道路と車の基本交通モデルについて、3 節では幹線シミュレーション実験の結果と考察を示す。4 節で脇道ありの道路へ拡張したモデルについて述べ、5 節でそのシミュレーションの実験の結果と考察を示す。そして、6 節で結論を述べる。

## 2 基本交通モデル

### 2.1 道路モデル

道路は二車線で南北方向に伸びているものを考え、交差点間の直進道路として想定する。

また、車線変更を可能とする領域は道路の途中から最後までとし、道路の始点から一定区間での車線変更は禁止とする。さらに、全ての車が目的の車線に到達するように、車線変更可能領域で車線変更できなかった車を強制的に移動させる、強制変更領域を二つの車線の最後に設ける。

### 2.2 車モデル

全ての車はそれぞれの始発車線の始点から目的の車線の終点に向けて走行する。時刻は離散時間で経過するものとし、各車は一時刻前の状態から判断して走行するものとする。そして、始発車線と目的の車線が異なる場合、車線変更が可能な領域で周囲の状況を判断して最終的に必ず目的の車線に入る動作を行うものとする。速度は周囲の車との車間距離を考慮して4段階に変化する。

また、ほぼ真隣にいる車同士も車線変更を行いたいものであるならば、互いに徐行してタイミングを計る(車線変更のデッドロック)。もし一定時間後でもまだお互いにほぼ隣同士であるのならば、特定の車を優先して車線変更を行うようにする。

ウィンカーについては、「車線変更を行えると判断した直後に点ける」ものとして定義をする。

### 2.3 情報通信モデル

この基本交通モデルでは、車が車線変更を思い立ったときに安全性が保障されずタイミングを逸する場合があるという問題と、前述の車線変更のデッドロックが発生する危険性がある。そこで、これら二つの問題を解決する手法として、車車間に相互通信の機能を持たせる。

車線変更を要する車は、変更後に入るスペースを開けてもらう車に対する速度変更を要求する。そのために、まず速度変化を要求する車を選択する。その際、両車線の交通状況を考慮に入れる選択法と入れない選択法を用意する。

まず、車線変更禁止領域の中間に達した時点で、自車の南北方向の一定距離以内において、隣接する車線

にいる車を通信相手とする。この方法を基本通信相手選択法とする。

一方、交通状況を考慮に入れる選択法を応用通信相手選択法とする。それぞれの車線の現在の交通状況より交通密度  $k$  を計測し、 $k-v$  曲線を用いて平均速度  $v$  を求め、この状況のまま走行すると車線変更可能領域に突入した直後に近隣にいる可能性が高い車を割り出す方法である。交通密度  $k$  とは、「ある瞬間における道路の単位区間上に存在する車の台数」のことを指し、通常 [台/km] の単位で表わされる。

今回の実験では時間オキュパンシー (time occupancy) を交通密度の近似値として扱う [2]。時間オキュパンシー ( $O_t$ ) は「ある道路断面において自動車占有した時間の計測時間に対する百分率」として表わされる。時間オキュパンシーによって求めた交通密度  $k$  から、Edie の式 [2] を用いる。

$$\begin{cases} v = v_f e^{k/k_c} & (k < k_c \text{ のとき}) \\ v = v_c \ln(k_j/k) & (k \geq k_c \text{ のとき}) \end{cases}$$

自車の所属している車線の平均速度を上記の式で求め、車線変更可能領域までの距離から到達期待時間が計測できる。この到達期待時間と隣接する時間の平均速度より、車線変更可能領域に入った時に隣接している可能性が高い車が走っている場所を計算できる。算出した地点から一定誤差以内にいる車を通信相手とする。

車線変更禁止領域にいる間、後々車線変更を要する車は前述の方法で探し当てた通信相手に速度変化を要求する。要求を受けた車は周囲との車間距離から、加速、減速、拒否の順で自分の行動を決める。また、加速をすることが決定した場合、要求を受けた車は後ろの車に減速を促してより広い幅を作らせる。この同一車線前後の通信は、隣接する車線同士の通信よりも優先度が高いものとする。

## 3 幹線シミュレーション実験

### 3.1 実験設定

前節で述べた交通モデルに基づいてシミュレーション実験を行う。走行する車は全部で50台、車線変更禁止領域を幹線の長さの半分に設定し、全ての車長を同じにする。

複数の状況で観測するために、車線変更をする車の割合を50%と30%の2種の状況を用意し、さらに

50%の状況で全ての車が同じ車線を目的とする場合についても試行を行う。各データを使ってそれぞれ通信機能がないもの(なし)、基本通信相手選択法を用いるもの(基本)、応用通信相手選択法を用いるもの(応用)の3種の車を走らせた。比較する値は、デッドロックに遭った台数(*dead*)、最終変更に頼った車の台数(*last*)、各車の出発遅れの平均と分散(*delay*, *delay\_SD*)、各車の旅行時間の平均と分散(*travel*, *travel\_SD*)の値である。

### 3.2 実験結果および考察

車線変更を要する車が50%の場合と、全ての車の目的の車線が同じ場合の実験結果を表1と表2に示す。

まず、通信の有無の結果を比較する。通信のある2種の結果の方が通信なしの結果と比べ、3種全ての状況において、デッドロックに遭遇した台数、最終変更台数、平均旅行時間の値が小さい。また、目的の車線が同一ではない2種の状況では、旅行時間の標準偏差の値も小さい。さらに、車線変更を要する車の割合が高い状況(50%)の方が、旅行時間の平均と標準偏差の数値の下げ幅は大きくなり、出発遅れの平均も下がっている。以上のことから、事前に意思を通信することの有効性が示されている。

目的の車線が同一である状況だと、通信のある結果の方が通信なしの結果よりも旅行時間の標準偏差値は高い。全ての車の目的の車線が同一の場合という極限の場合だと、やはり無理に割り込む事態が増えてしまうのは避けられないと考えられる。しかし、2種の通信の結果をこの状況と比較すると、応用は出発遅れの平均と標準偏差、旅行時間の標準偏差の数値を抑えている。このことから、特に全ての車の目的の車線が同一である場合には、交通状況を踏まえた上で通信相手を探すことが有効であったと考えられる。また、他方2種の状況でも、応用は基本と同様に通信のない結果よりも多くの数値を下げる事ができている。

以上により、応用通信相手選択法が有効であることを示すことができた。

## 4 脇道のある交通モデルへの拡張

幹線道路の終点付近に、東西方向へと伸びる脇道を追加させる。

	<i>dead</i> [台]	<i>last</i> [台]	<i>delay_ave</i> [step]	<i>delay_SD</i>	<i>travel_ave</i> [step]	<i>travel_SD</i>
なし	1.03	8.34	217.18	147.07	405.80	64.36
基本	0.00	1.19	215.40	147.48	366.61	47.26
応用	0.01	2.04	213.27	143.23	364.21	47.59

表 1: 実験結果:車線変更をする車の割合が50%の場合

	<i>dead</i> [台]	<i>last</i> [台]	<i>delay_ave</i> [step]	<i>delay_SD</i>	<i>travel_ave</i> [step]	<i>travel_SD</i>
なし	0	21.94	201.02	131.28	541.67	155.41
基本	0	19.21	207.50	138.75	514.11	168.31
応用	0	21.07	197.76	125.16	531.50	162.33

表 2: 実験結果:全ての車の目的の車線が同一である場合

脇道から出発し幹線へと出る車をOUT車とする。OUT車は出発時刻が来ると、幹線を走る車の車間距離を見て安全なタイミングを計り、安全な状況と判断した場合に脇道の始点から出発する。

幹線のいずれかの車線から脇道へと入ってそこを終点とする車をIN車とする。もし、車線変更可能領域の間にIN車が脇道に隣接する車線に移れていなかった場合、脇道への距離が一定値以内になると強制的に停止、車線変更を行わせるものとする。

OUT車は出発したと同時に幹線にいる車へ、自分が入るための車間距離を空けてくれるように要求する。そのために、OUT車が幹線との合流地点までに到達するまでの期待時間を算出し、2節で述べた応用通信相手選択法に基づいて合流地点で遭遇する可能性のある車を通信相手とする。通信相手の決まったOUT車は、2節で記載している通信プロトコルと同様に速度変化を要求する。

IN車はいずれ脇道へと入ってしまうため、車線の混雑度を減らし、車線変更に必要な車間距離を自然に隣の車線にいる車に与えてしまう。そこで、IN車が車線変更に関する通信を受けてしまった場合、IN車と通信相手の車双方ともそのままの速度で走らせる。

## 5 拡張モデルにおけるシミュレーション

### 5.1 実験設定

脇道のある拡張モデルに対して幹線シミュレーションと同様のパラメータを使ったシミュレーション実験を行う。

複数の状況で観測するために、車線変更をする車の割合を50%と30%の2種の状況を用意し、そして、OUT車の台数を1台~5台、IN車とOUT車が各

	dead[台]	last[台]	delay_ave[step]	delay_SD	travel_ave[step]	travel_SD	out_delay[step]	out_travel[step]
no_Com	0.26	3.68	180.68	116.29	333.09	30.64	373.60	161.60
half_Com	0.00	1.60	179.14	114.83	321.35	27.01	308.83	141.43
all_Com	0.00	1.73	179.95	116.04	327.29	29.09	298.76	140.19

表 3: 実験結果:OUT 車が 5 台, 車線変更をする車の割合が 30%の場合

	dead[台]	last[台]	delay_ave[step]	delay_SD	travel_ave[step]	travel_SD	out_delay[step]	out_travel[step]
no_Com	0.18	3.45	198.92	126.83	332.55	31.47	420.73	265.47
half_Com	0.02	1.38	197.82	125.96	320.83	28.09	406.32	171.91
all_Com	0.00	1.39	199.58	128.53	323.63	29.31	412.12	165.26

表 4: 実験結果:IN 車と OUT 車が各 1 台, 車線変更をする車の割合が 30%の場合

1 台いるという状況を用意する。各データを使ってそれぞれ通信機能がないもの (no\_Com), 応用通信相手選択法の車線変更による通信のみ機能を持つ車 (half\_Com), 車線変更と脇道進入の双方の通信機能を持つ車 (all\_Com) の 3 種の車を走らせた。比較する値は, 3 節で測定した値に加え, OUT 車に関して出発予定時間との遅れの平均 *out\_delay* と旅行時間の平均 *out\_travel* をとる。それぞれの状況下で 100 回のシミュレーションを行い, その平均を取り, 各値の変化を見る。

## 5.2 実験結果および考察

実験結果の 1 部を表 3, 表 4 に示す。

全ての状況に対し, no\_Com よりも half\_Com および all\_Com の方がデッドロック発生台数と最終強制変更台数が減少, OUT 車の出発遅れと旅行時間の平均の数値が減少し, 通信による有効性が示されている。

all\_Com は half\_Com に比べて, 幹線を走る車の出発遅れの平均と標準偏差, 旅行時間の平均と標準偏差の値が小さく上がっている。これは, OUT 車が幹線に進入することを譲ったからだと考えられる。その分, OUT 車の平均旅行時間と出発遅れが減少している。half\_Com のシミュレーションの表示画面では, 幹線を走る車を優先的に走らせるというルールに従って, OUT 車は脇道に出る前に立ち往生しているが, all\_Com の場合だと, 作られた車幅にスムーズに入る OUT 車の様子を確認できている。

## 6 結論

本研究では, 幹線を走る車の車線変更を要することの事前の通信と, 脇道に出入りする車との事前の

通信を提案し, その有効性を調べた。その結果, 車線変更を行う車に予め適度な車間距離を与えることができ, 車線変更のデッドロックを起こす車と最後まで車線変更ができない車の台数が減り, 交通流全体の流れを円滑にすることができた。また, 交通状況に沿って通信相手を決めることにその有効性が出ることも示した。

今後の課題としては, 脇道, 超音波センサーの配置場所, 時間オキュパンシーの算出方法を変え, 車間距離を開ける行為が無駄にならないために, 適切な通信相手を見つげるように精度を上げることが考えられる。

更なる展開として, 信号機の配置や各車の速度の設定などの, より現実的な交通モデルを実装していきたい。

## 参考文献

- [1] T.Takasago, and K.Takahashi. "Lane changing model with early communication of intentions". *International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, pp.455-461 (2009).
- [2] 河上省吾, 松井寛 共著. 交通工学 第 2 版. pp.91-115, 森北出版 (2004).
- [3] Peter Hidas. "Modelling Lane Changing and Merging in Microscopic Traffic Simulation". *TRANSPORTATION RESEARCH PART C 10*, pp.351-371, (2002).