

多車線混合交通流における渋滞転移

田中 克典, 増倉 秀一, 長谷 隆
静岡大学工学部機械工学科

概要

低・高速車を含む多車線混合交通流における交通流特性と渋滞転移について、多車線最適速度モデルを用いて研究する。自然渋滞の発生しない高感度領域での交通流についてシミュレーションを行い、低速車による影響について研究する。低速車と車線変更の結果として4種類の交通状態が発生することを明らかにする。

Jamming transition in traffic flow of mixed vehicles on multi-lane highway.

Katsunori Tanaka, Shuichi Masukura, Takashi Nagatani
Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

Abstract

We extend the optimal velocity model to the vehicular traffic on a multi-lane highway. We study the traffic states in the traffic flow of mixed vehicles on multi-lane highway. We show that the jamming transitions occur by interacting the fast vehicles with the slow vehicles and the four kind of traffic states appear.

1. 緒言

従来の研究では一車線交通流のものが多く、多車線高速道路の低・高速車を含む混合交通流に関する計算機シミュレーションは少ない。多車線、特に三車線以上の研究はあまり行われていなく、実際の交通流を考えると多車線混合交通に関する研究が必要である。本研究では低・高速車を含む多車線交通流に関する交通特性、交通状態、渋滞転移について研究する。

2. 多車線最適速度モデル

本研究で用いる多車線最適速度モデルについ

て説明する。多車線交通流において車の運動は前進運動と車線変更運動の二つに分けて考える。

2.1. 前進運動

前進運動は各車線が独立している一車線交通流と考え、一車線最適速度モデルを採用する。最適速度モデルは車 n について次式で表される。

$$\frac{d^2 x_n}{dt^2} = a \left\{ V(\Delta x_n) - \frac{dx_n}{dt} \right\}$$

ここで、 $V(\Delta x_n)$ は最適速度関数、 $x_n(t)$ は時間 t における車 n の位置、 $\Delta x_n(t)$ は時間 t における車 n の車間距離、 a は感度である。本研究では以下の最適速度関数を用いる。

$$V(\Delta x_n) = \frac{v_{f,\max}}{2} \{ \tanh(\Delta x_n - x_c) + \tanh x_c \}$$

また、低速車については以下の最適速度を用いる。

$$V(\Delta x_n) = \frac{v_{s,\max}}{2} \{ \tanh(\Delta x_n - x_c) + \tanh x_c \}$$

ここで、 $v_{f,\max}$ は高速車の最大速度、 $v_{s,\max}$ は低速車の最大速度であり、 x_c は安全距離である。

2.2. 車線変更運動

車線変更運動を行うときは車線変更したいという車線変更動機と車線変更しても安全であるかどうか判断する安全基準の二つを車線変更条件とする。まず、車線変更目標車線が左右どちらか一方しかない場合の車線変更条件を車 i において以下に示す。また、このときの車線変更の概略を図 1 に示す。

$$\text{車線変更動機} \quad \Delta x_i < 2x_c$$

$$\text{安全基準} \quad \Delta x_{fi} > \Delta x_i \text{ and } \Delta x_{bi} > x_c$$

ここで、 Δx_i は同車線上の直前の車との車間距離、 Δx_{fi} は車線変更目標車線における前方との車間距離、 Δx_{bi} は車線変更目標車線における後方との車間距離である。次に車線変更目標車線が左右二方向ある場合の車線変更条件を車 i について以下に示す。(i)は左方向、(ii)は右方向への車線変更条件である。また、このときの車線変更の概略を図 2 に示す。

$$(i) \quad \begin{array}{l} \text{車線変更動機} \quad \Delta x_i < 2x_c \\ \text{安全基準} \quad \Delta x_{fi} > \Delta x_i \text{ and } \Delta x_{bi} > x_c \end{array}$$

$$(ii) \quad \begin{array}{l} \text{車線変更動機} \quad \Delta x_i < 2x_c \\ \text{安全基準} \quad \Delta x_{fri} > \Delta x_i \text{ and } \Delta x_{bri} > x_c \end{array}$$

ただし車線変更条件をどちらも満たした場合、以下①-③の順番でどちらに車線変更を行うかを決定する。

①車線変更目標車線における前方との車間距離 ($\Delta x_{fi}, \Delta x_{fri}$) の大きい方へ車線変更を行う。

②車線変更目標車線における後方との車間距離 ($\Delta x_{bi}, \Delta x_{bri}$) の大きい方へ車線変更を行う。

③1/2 の確率で左右どちらかに車線変更を行う。

3. シミュレーション方法と結果

3.1. シミュレーション方法

数値シミュレーション手法について説明する。本研究で想定している道路はその両端を周期境界条件とする。計算方法は4次の Runge-Kutta 法を用い、時間刻み $\Delta t=1/128$ で数値シミュレーションを行う。また初期条件は、道路上等間隔に N 台の車を配置し高速車と低速車をランダムに混合させる。低速車の台数や最大速度、車線数などを変化させ、交通状態がどのように変化するか検討する。

3.2. 一車線混合交通

一車線道路で低速車の最高速度 $v_{s,\max}=1.0$ におけるシミュレーションから得られた流量図を図 3 に示す。実線は理論流量曲線、○はシミュレーション結果である。流量は密度に対して最高速度 $v_{s,\max}=1.0$ における理論流量曲線に沿って比例して増加し、密度 0.24 付近に達すると下降する。これは高速車が低速車を追い越すことができないため、低速車に追いつき低速車と同じ速度で走行しているためである。

3.3. 二車線混合交通

二車線交通流モデルで低速車の最高速度 $v_{s,\max}=1.0, 0.5$ におけるシミュレーションから得られた流量図を図 3, 図 4 にそれぞれ示す。○と△はシミュレーションによって得られた結果である。シミュレーションによって得られた流量が二通り存在するのは、低速車を追い越せる交通状態(○)と追い越せない交通状態(△)が存在しているためである。△の流量は一車線混合交通流の流量値と一致している。○の流量は低密度では最大速度 2.0 における理論流量曲線に沿って増加し、密度 0.07 になると傾きが変わり最大速度 1.0 における理論流量曲線の低密度領域の傾きに一致する。密度 0.22 になると流量が減少し、密度 0.25 になると△の流量と一致する。

次に図5は○の流量, 図6は△の流量における密度0.10での速度分布図である. 図5では低速車の背後に高速車が1.0で走行している区間も存在するが, 速度2.0で走行する区間も存在している. 図6では常に速度が1.0で走行している. また一車線混合交通では図6のような速度分布を示す.

図7に縦軸に○の流量をとる割合, 横軸に密度をとって, 低速車の台数が全体の5,10%でシミュレーションを行った結果をそれぞれ示す. (a)は二車線とも同位置に初期配置したとき, (b)はどちらか一方の車線で車の位置を初期車間距離の半分ずらして初期配置したときのシミュレーション結果である. 低密度においては初期配置時にずらした場合, 割合が高くなっている. これは, 初期配置時に低速車を並ばせてしまうと, 追い越せなくなるためである. 高密度においてはあまり違いが見られない.

3.4. 多車線混合交通

三車線交通流モデル, 四車線交通流モデルによって得られた流量図をそれぞれ図7, 図8に示す. いずれもシミュレーションを3回行い, その結果を○, △でプロットしている. また, 二車線混合交通で得られたシミュレーション結果を点線として示す. シミュレーション結果を見ると, どちらも二車線交通流モデルで得られた結果よりも流量が高くなっており, 三車線よりも四車線の流量がやや高くなっている.

4. 結言

多車線混合交通流モデルを提案し, シミュレーションを行った結果以下の結論を得た.

- 一車線混合交通流モデルでは, 低速車によって交通量は完全に制限されることを示した.
- 二車線混合交通流モデルでは, 流量が大きく二つの曲線に分かれることを示した. 低速車を追い越せる交通状態と追い越せない交通状態によっ

て二つの流量曲線に分かれることを示した. 二つの交通状態の密度依存性を明らかにした.

- 多車線混合交通流モデルの流量は二車線混合交通流モデルの流量よりも高くなることを示した.

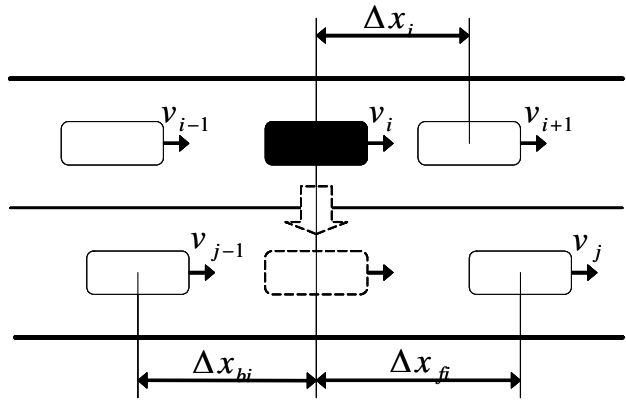


Fig.1

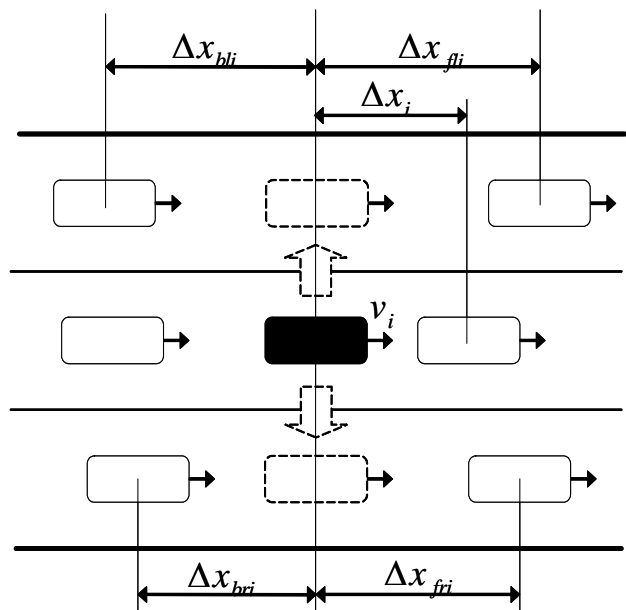


Fig.2

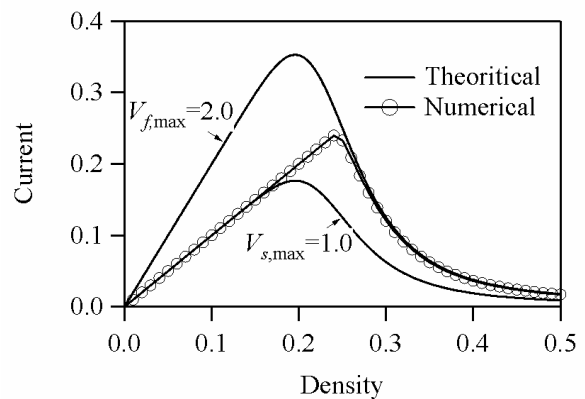


Fig.3

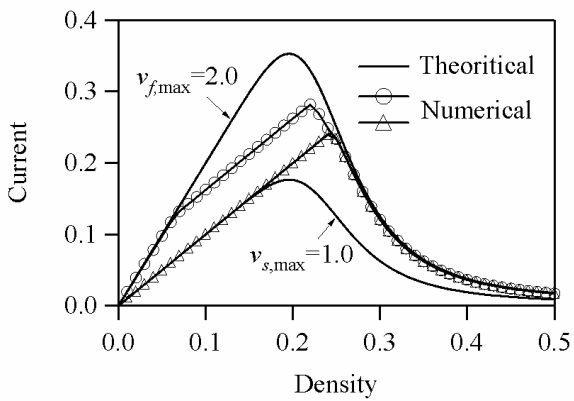


Fig.4

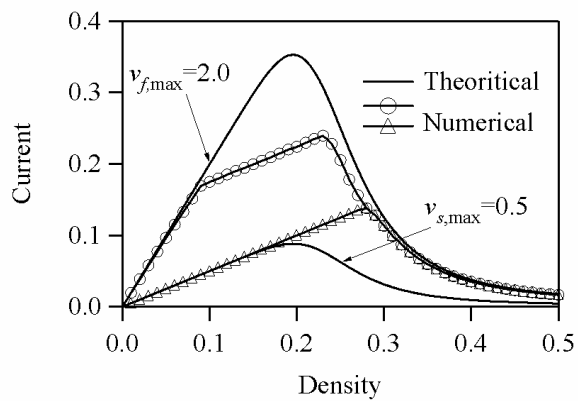
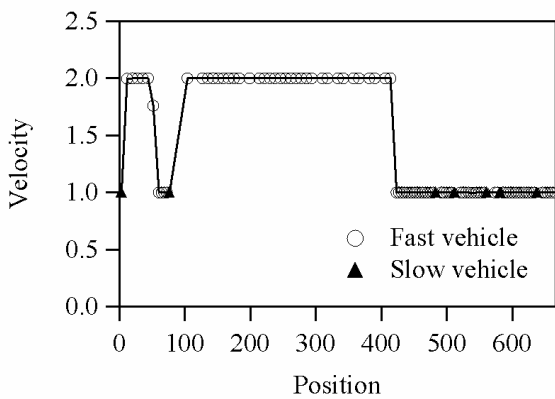
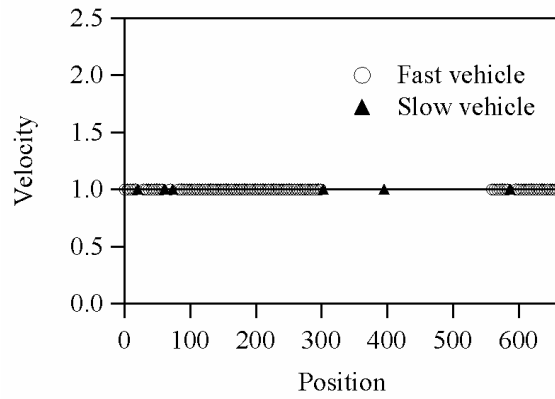


Fig.5



(a)



(b)

Fig.6

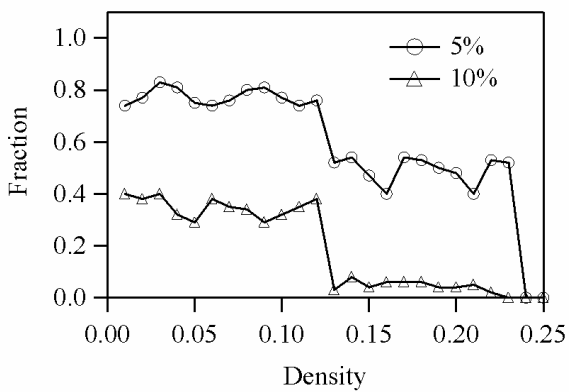


Fig.7

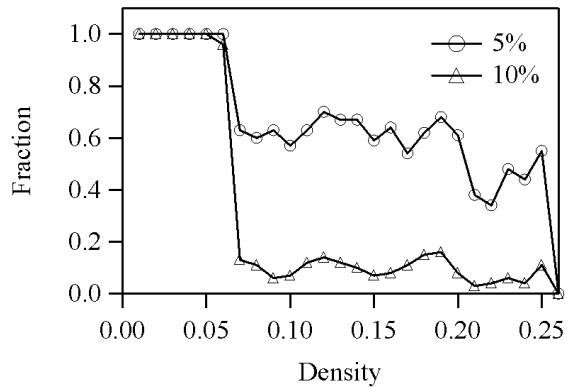


Fig.8

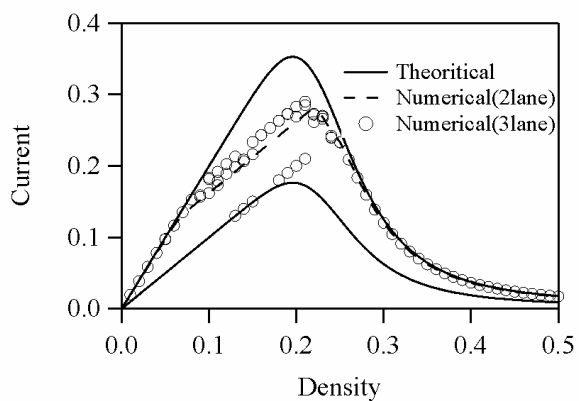


Fig.9

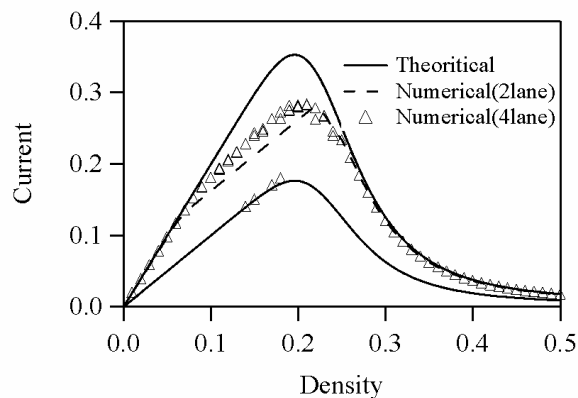


Fig.10