

インテリジェント交通流に対する車群を考慮した近似解析法の提案と検討
 Proposal and Study of Approximate Analysis Considering Vehicles Group
 for Intelligent Traffic Flow

○張 征陽¹, 星野 貴弘², 浜松 芳夫²

*Zhengyang Zhang¹, Takahiro Hoshino², Yoshio Hamamatsu²

Abstract: Traffic system has changed significantly with development of Intelligent Transport Systems(ITS). Examples of development of ITS are Cruise Control (CC) and Adaptive Cruise Control (ACC). CC can automatically maintains a constant speed of vehicles. ACC is an additional function to CC, and can automatically adjust distance from the vehicles ahead to control speed. It is expected that traffic flow is more smoothly by their functions. In this paper, in order to show the accurate characteristics of a traffic flow model including ACC and CC vehicles, we propose an approximate analysis method by considering vehicles group for intelligent traffic flow model.

1. はじめに

自動車は、国内外問わず産業や社会生活を支える重要な要素の1つである。乗用車が増加する一方で、道路の容量不足は急激な車両数の増加に追いつかず、社会問題の1つである交通渋滞の原因となっている。

交通渋滞の中で自然渋滞の発生原因の1つとして、適切な車間距離が維持されないことが挙げられる。近年、安全運転への支援と自動運転技術の発達に伴い、クルーズコントロール(以降、CC)をはじめとする定速走行機能及びアダプティブクルーズコントロール(以降、ACC)をはじめとする車間制御機能付き定速走行機能を搭載する車の普及率が上がっている。CCは定速走行機能によって、運転者の疲労軽減に寄与する。さらにACCは、車間距離を維持する機能をCCに付加することにより、渋滞の緩和効果も期待されている。

このような背景から、筆者らは今後の交通現象を再現するため、ACCとCC車両を含む交通流(以降、インテリジェント交通流)モデルの検討を行ってきた^[1]。本研究では、インテリジェント交通流モデルに対する車群の構成を利用した新たな近似計算法を示し、近似精度の検討を行う。

2. 対象モデルの数学的記述

交通流セルオートマトンモデルは、時間、速度、位置を離散値として扱う。対象モデルの概略図をFig.1に示す。位置 $x_n(=1, 2, \dots, L)$ にある車両の状態はその時の速度 $v_n(v_n=0, 1, \dots, V)$ によって定められる。 n 番目の車両の位置を x_n とすると、 $d_n = x_{n+1} - x_n$ は n と $(n+1)$ 番目の車両の車頭距離になる。車両総数 N に対するACC, CC車両の割合を α, β とし、定速走行機能や車間制御機能を持たない一般車両の割合を $\gamma(=1 - \alpha - \beta)$ とする。本研究では、ACC, CC車両の基本的な効果を検討するため、次のように仮定する。

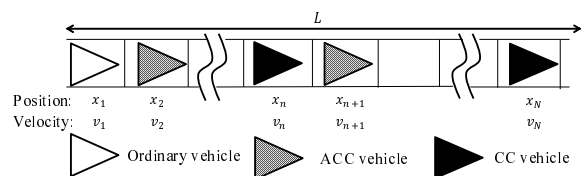


Fig. 1: Schematic diagram

仮定(1): ACC車両は常にACC機能を使用する。

仮定(2): $v_n = V$ のCC車両はCC機能を使用する。

仮定(2)より、CC車両は前方車によって減速するまで速度は保たれる。仮定(1)と(2)から、ACC車両と $v_n = V$ のCC車両は自動運転状態となる。有限格子 L にある N 台の車両の位置は、任意の時刻 t から $t+1$ において、次のルールによって更新される^[1]。

Step1 加速: $v_n < V$ の時、 $v_n \rightarrow v_n + 1$

Step2 減速: $d_n \leq v_n$ の時、 $v_n \rightarrow d_n - 1$

Step3 ランダム化: 一般車両と $v_n < V$ のCC車両に対し、ランダムブレーキ確率 p で速度を1減少させる。すなわち、 $v_n \xrightarrow{p} v_n - 1$

ACC車両と $v_n = V$ のCC車両は自動運転状態である。すなわち、 $v_n \rightarrow v_n$

Step4 車両の移動: Step1~Step3で決定された速度によって車両を移動させる。 $x_n \rightarrow x_n + v_n$

3. Site-Oriented Mean-Field(SOMF)

ここでは、文献[2]で示されたSOMF近似を V を任意としたインテリジェント交通流モデルへの適用した結果を示す。 i セルに速度 v の一般車両が時刻 t において、存在する確率を $P_v^G(i, t)$ と表す。CC, ACC車両についてもそれぞれ、 $P_v^C(i, t)$ と $P_v^A(i, t)$ と表す。 i セルが空き状態を $\bar{P}(i, t)$ と表す。交通密度($\rho = N/L$)と状態確率の関係から次の正規化条件が成り立つ。

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気

$$\sum_{v=0}^V P_v^A(i, t) = \alpha\rho, \sum_{v=0}^V P_v^C(i, t) = \beta\rho, \sum_{v=0}^V P_v^G(i, t) = \gamma\rho \quad (1)$$

$V = 1$ の流量 J の導出過程を示す. 更新ルールに従い, 以下では, 一例として, 一般車両に関する状態方程式を示す.

$$P_1^G(i, t+1) = (1-p)\bar{P}(i, t) \sum_{v=0}^1 P_v^G(i-1, t) \quad (2)$$

同様に CC, ACC 車両に関する状態方程式も得られる. SOMF 近似では定常状態における状態確率を $P(i, t) \approx \rho$, $\bar{P}(i, t) \approx \bar{\rho}$ と近似している. (1) と (2) 式を連立すれば, 状態確率はそれぞれ下式のように求められる. ただし, $q = 1 - p$ とする.

$$P_1^A = \alpha\rho(1-\rho), P_1^C = \beta \frac{q\bar{\rho}\rho}{1-\bar{\rho}\rho}, P_1^G = \gamma\rho\bar{\rho}q \quad (3)$$

J の期待値は次式のように求められる.

$$J(\rho) = \sum_{v=0}^V [vP_v^A(i, t) + vP_v^C(i, t) + vP_v^G(i, t)] \quad (4)$$

(4) 式に従い, $V = 1$ の流量 J を求められる. しかし, SOMF は車両の時間及び空間的な相互関係を考慮しないため, 車両密度によっては大きな誤差が生じてしまう. 誤差を改善するため, 次節では車群を考慮した近似計算法を提案する.

4. 車群を考慮した近似計算法

本報告は ACC 車両と一般車両の振る舞いの違いに着目した新たな近似計算法を提案する. ACC 車両は適切な車間距離を維持できるため, 一定時間経過後は, システム内に一般車両を先頭としたいくつかの車群が形成される. この性質を利用した近似計算法を提案する. 本報告では一般車両 1 台に対し, 後続する ACC 車両が 2 台の場合 ($\alpha : \gamma = 2 : 1$) を例として説明する.

本手法は, 1 車群が平均的に占有するセル数である平均車群長をまず求める. そのため, 車両配置を状態変数とする. 状態変数 AAG は先頭の一般車両に 2 台の ACC 車両が空きセルを挟まずに追従していること, AA·G は一般車両の後に 1 セルの空きセルを挟み, 2 台の ACC 車両が連続して存在することを表す. 同様の考え方により, 車両配置を $A \cdot AG$, $A \cdot A \cdot G$ と表す. ACC 車両の平均速度が一般車両より速いことから, 定常状態ではこの 4 つの配置のみとなる.

車両の配置を状態変数とした場合の状態確率 ($P_{A \cdot A \cdot G}, P_{A \cdot AG}, P_{AA \cdot G}, P_{AAG}$) に対して, 以下の正規化条件が成り立つ.

$$P_{A \cdot A \cdot G} + P_{A \cdot AG} + P_{AA \cdot G} + P_{AAG} = 1 \quad (5)$$

先頭の一般車両が進む確率を $g (= 1 - \bar{g})$ とすれば, 次の状態方程式は成り立つ.

$$P_{AAG} = \bar{g}P_{A \cdot AG} + \bar{g}P_{AAG}, \quad P_{A \cdot AG} = \bar{g}P_{A \cdot A \cdot G} + \bar{g}P_{AA \cdot G} \quad (6)$$

$$P_{A \cdot A \cdot G} = gP_{A \cdot A \cdot G} + gP_{A \cdot AG}, \quad P_{AA \cdot G} = gP_{AAG} + gP_{AA \cdot G} \quad (7)$$

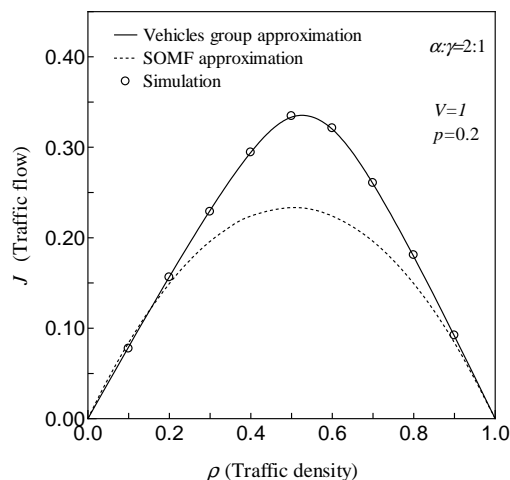


Fig. 2: Numerical examples

(5)~(7) 式から, 車群 1 つあたりの平均車群長は $C = 2g + 3$ と求められる. 先行研究 [3] では, 1 台の車両が占有するセル数を任意としたモデルの平均速度の近似解が与えられている. このモデルの平均車長に本研究で得られた平均車群長 C を代入すれば, 以下の平均速度 g に関する方程式が得られる.

$$3\gamma\rho g^2 - (1 - 2\gamma p\rho)g + (1 - 3\gamma\rho)(1 - p) = 0 \quad (8)$$

さらに $J = \rho g$ より, 流量 J の近似解を求められる.

5. 数値計算例

数理モデルの妥当性をシミュレーションより検討する. Fig.2 の点線は SOMF の解析結果で, 実線は車群を考慮した解析結果である. 記号 (o) はシミュレーション結果である. シミュレーション条件は ACC 車両と一般車両の配置をランダムとし, 平均の割合を 2:1 とする. Fig.2 からわかるよう, SOMF より, 車群を考慮した解析手法のほうが近似精度が良いことがわかる.

6. まとめと今後の課題

インテリジェント交通流の数理モデルに対し, SOMF 近似による解析方法を示した. 車群を考慮した近似計算法を提案し, 近似精度の向上に有効であることを確認した. 今後は, 車群を考慮した近似計算法を用いて最高速度 V を任意とした時の解析を行うことが課題である.

参考文献

- [1] 星野, 小室, 大沼, 浜松: 「車間制御機能及び定速走行機能を考慮した交通流のモデル化と解析」, 2015 年電気学会産業応用部門大会予稿集
- [2] M. Schreckenberg, A. Schadschneider, K. Nagel, N. Ito: "Discrete stochastic models for traffic flow" Physical Review E, Vol.51, No.4, pp.2939-2949, (1995)
- [3] 奈良橋, 星野, 浜松: 「車長を考慮した交通流セルオートマトンモデルの提案と解析」, 2015 年度電気学会研究会 ITS 研究会論文集 pp.15-18