

CA法による交通流れシミュレーション (速度変化表現方法の検討)

玉城 龍洋[†] 大内 学[†] 北 英輔^{††}

[†] 名古屋大学人間情報学研究科
〒464-8601 名古屋市千種区不老町1
^{††} 名古屋大学情報文化学部
〒464-8601 名古屋市千種区不老町1

E-mail: †{tamaki,ohuchi,kita}@ipl.human.nagoya-u.ac.jp

あらまし 交通渋滞は、都市におけるもっとも重大な社会問題のひとつである。それゆえ、セルオートマトン法による都市交通シミュレーション法が熱心に研究されている。このシミュレーションにおいては、現実的なシミュレーションや計算効率の点から車両速度の表現方法が非常に重要である。そこで、本研究では最大速度と確率変数を用いて速度表現を行う方法について述べる。この方法を用いれば、実際の交通状況を適切に表現できる上に、計算コストを下げるができる。最終的に、提案する方法は1レーンと2レーンの道路における交通シミュレーションに適用される。

キーワード セルオートマトン, 交通, 速度概念, 確率

Simulation of Traffic Flow by CA (Representation Scheme of Car Velocity)

Tatsuhiko TAMAKI[†], Manabu OHUCHI[†], and Eisuke KITA^{††}

[†] Graduate School of Human Informatics, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

^{††} School of Informatics & Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

E-mail: †{tamaki,ohuchi,kita}@ipl.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract Traffic congestion is one of the most serious social problems in urban city. Therefore, the traffic-flow simulation methods based on the cellular automata have been studied eagerly. In the simulation, the representation scheme of car velocity is very important from the point of view of the real simulation of the city traffic and the computational cost. This paper describes the new representation scheme of the car velocity. In the scheme, the car velocity is defined by maximum velocity and probability. This scheme can perform the real traffic simulation and moreover, reduce the computational cost. Finally, the present scheme is applied to the traffic simulation on one-lane and two-lane roads.

Key words Cellular automaton, Traffic-flow, Car velocity concept, Probability

1. はじめに

交通渋滞は、現在都市生活を営んでいく上で大きな社会問題のひとつとなっている。交通渋滞による最も大きな問題点は輸送コストおよび輸送時間がもたらす、大きな経済的損失である。これに加えて、環境汚染や地球温暖化と交通渋滞の関係を評価し、それを改善することは重要な課題となっている。しかし、今後都市部の再開発が進むにつれて大都市では交通渋滞が一層悪化する可能性がある。そこで、交通流のコンピュータ・シミュレーションを行い交通渋滞を解析することで、今後予想される交通渋滞を緩和、解消することが必要となる。

本研究では、CAモデルを用いた都市交通シミュレーションについて述べる。この中で、微小加減速が可能なローカル・ルールを新しく開発することにより市街地シミュレーションを可能にする。市街地交通の解析対象としては、片側1車線と2車線の交通シミュレーションを考え、提案する方法の妥当性を検討する。

2. 交通流シミュレーションの理論とモデル化

2.1 確率速度法

提案する確率を用いた速度の表現方法(以下、確率速度)は次式で示される。

$$v = v_{def} * P \quad (1)$$

この方法では1TimeStepでの移動セルは常に1セルで一定であるので、参照セルの取り方を変更することなくローカルルールを定義できる。(1)式において、1TimeStepに1セル移動する速度を v_{def} とし、これに車両が1セル移動する移動確率 P を掛けることにより速度 v を表現する。 v_{def} はセルの大きさ及び1TimeStepの設定時間によって一意に決まる。

2.2 ローカル・ルール

交通流シミュレーションにおけるローカル・ルールの決定は、交通規則を満たす条件で人間が車両を運転する場合に、どういう状況の場合にどう動くかを考えて決定する。ローカル・ルールの近傍についても、人間が車両を運転する場合にどの範囲までを判断材料にするかを考え、その部分が近傍となる。本研究では車両の種類、車両の行動、交差点からの距離に対してそれぞれの場合で近傍の取り方を考えた。同様にそれぞれの場合において、ローカル・ルールを決定する[1,2]。

具体的には、車両の種類として直進車(1)、左折車(2)、右折車(3)の3種類を、車両の行動は直進(1)、左車線変更(2)、右車線変更(3)、左折(4)、右折(5)、停止(6)の6種類を考える。そして車両が交差点から10セル(30m)以上離れている場合(1)、交差点から10セル(30m)以内(2)の2種類で場合分けをする。交差点からの距離によって場合分けをする理由は、車両が右左折をするために、右左折車両は左端の車線もしくは右端の車線にいななければならないからである。

本研究ではさらに、加減速を行うローカル・ルールを定義する。加減速ローカル・ルールは、解析空間内の全車両に一律に適用される。

2.3 車両の発生

交通流セル・オートマトンにおいて、車両の発生法として二つの方法が考えられる。シミュレーションの初期段階で解析対象領域にランダムに車両を配置する初期配置型と、流入車両密度を設定することにより、流入する車両を一定に保つ車両流入型である。初期配置型の場合、解析対象領域が対称型で境界条件として周期境界条件を用いることができるときには車両密度を一定に保つことができる。しかし、一般的な市街地道路で対称的な形状をしていることは無く、複雑な形状である。

2.4 解析対象領域のモデル化

セル・オートマトン法シミュレーションのために、解析対象領域である道路を正方格子で分割する。セルの状態量としては、3桁の整数で表現される道路種類と信号の有無、そして車両番号の値を持つ。3桁の整数はそれぞれ次の意味を持つ。百の位は直進、左折、右折の道路種類、十の位は東西南北の方向、一の位は空間的に占められているかいないかを示す。

3. 解析例

3.1 確率速度法の評価

提案した確率速度法の有効性を評価するため、200セルの1車線直線道路モデルを作成し、車両をランダムに配置して100TimeStepだけ走行させることを100回繰り返し、注目車両の平均速度を求める。

解析結果を表1に示す。表から分かるように各設定速度において、誤差は小さく提案した確率を用いた速度法が有効であることが分かる。

3.2 1車線直線道路の自然渋滞発生

提案したシミュレーション法のアルゴリズムの妥当性を評価するために、1車線直線道路の渋滞発生を考える。道路長100セルのSmallSystemと10000セルのLargeSystemの2種類の1車線直線道路に

表 1 確率速度法の評価

設定速度 (km/h)	10	20	30	40	50
計測速度 (km/h)	11.5	19.9	30.8	41.1	49.1

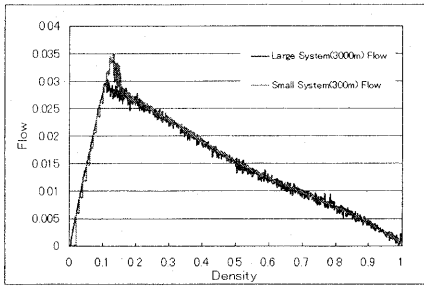


図 1 車両密度と交通量の関係図

において、境界に周期境界条件を取り、0~100%までの各車両密度において解析領域を通過する車両数を調べた。設定した各パラメータは1セルの大きさを3m、1TimeStepを0.1s、最大速度を60Km/h、境界を周期境界条件、車両発生を初期配置型とする。

解析結果を図1に示す。横軸に車両密度、縦軸に1TimeStep間に通過する車両台数(交通量)をとる。灰色の実線はSmallSystem、黒の実線はLargeSystemの解析結果を示している。図から判るように、SmallSystem及びLargeSystemとも車両密度が約0.1において、最大交通量となっているが、最大交通量の値は大きく異なっている。これはメタ安定分岐と呼ばれ、実際の交通流にも確認される現象であり、全体として渋滞している交通流も部分的に見ると車両が流れていることを示している[2]。また、この結果はNagelの研究結果[3]と良く一致しており、本研究で提案する行動ローカル・ルール及び加減速ローカル・ルールがほぼ妥当である事が証明された。

次に渋滞の発生状態を調べるために、異なる車両密度における道路遷移図を図2から図5に示す。順に車両密度0.01%、0.05%、0.1%、0.15%となっている。図において、黒い部分が空きセル(道路)、白い部分が車両を示す。車両密度が0.01%で車両が加減速を行わない場合、車両軌跡を示す白いラインは右下方向へほぼ直線となる。車両密度0.1%において、中央付近の縦の白ラインは渋滞を示している。これは車両が前方に進まないために現れたものである。また、このラインが下に向かうにつれ左下にのびているので、渋滞が車両進行方向とは逆方向に伝播し、ある期間で解消されたことを示す。0.15%においては車両密度が高いため、渋滞を示す縦のラインが解消されない事もわかる。

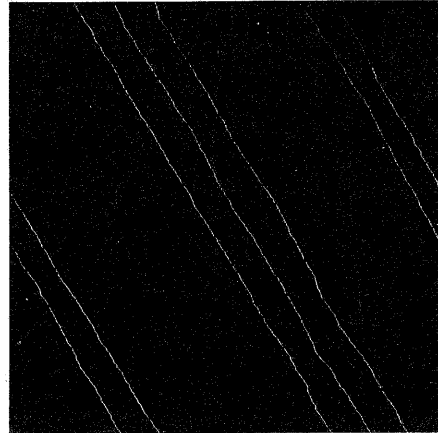


図 2 道路状態時間遷移図 0.01%

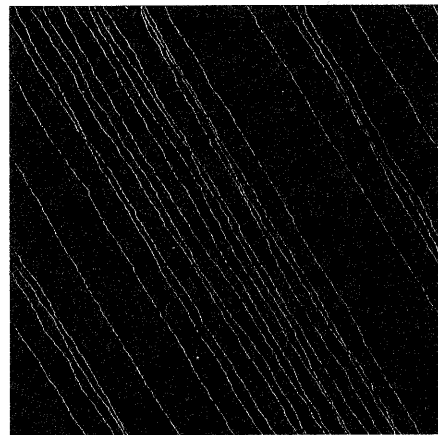


図 3 道路状態時間遷移図 0.05%

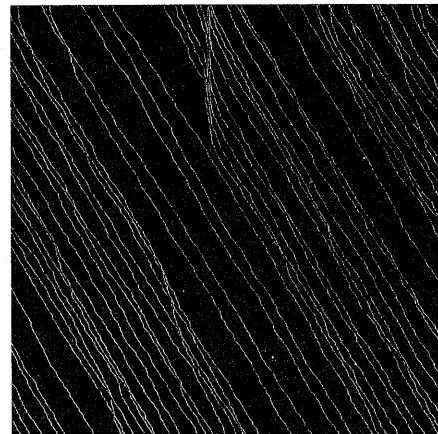


図 4 道路状態時間遷移図 0.10%

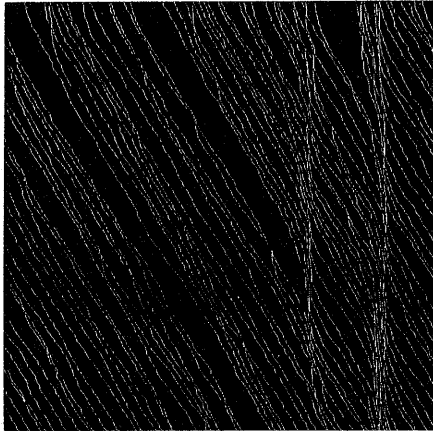


図5 道路状態時間遷移図 0.15%

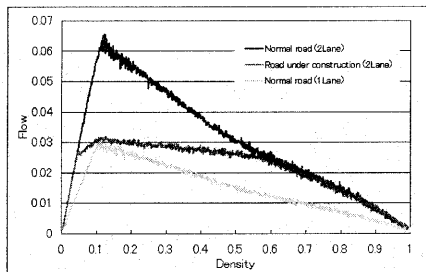


図6 車両密度と交通量の関係図

3.3 2車線直線道路の工事の影響による渋滞発生

2車線直線道路の工事の影響による渋滞を調べる。解析対象領域は30mの1車線の工事区間を含む3000mの2車線直線道路である。工事区間は車両の通行ができないものとする。その他の設定は1車線直線道路シミュレーションと同様である。設定した各パラメータは1セルの大きさを3m, 1TimeStepを0.1s, 最大速度を60Km/h, 境界を周期境界条件, 車両発生を初期配置型とする。

解析結果を図6に示す。図は横軸に車両密度, 縦軸に1TimeStep間に通過する車両台数(交通量)である。また, 黒色の実線は通常2車線直線道路, 灰色の実線は工事区間を含む2車線直線道路である。比較のために白色の実線で示される通常1車線直線道路を加えている。図から判るように, 工事区間を含む2車線直線道路の最大交通量は通常2車線直線道路よりも大きく減少している。また, 工事区間を含む2車線直線道路には3つの分岐点が見られる。分岐点が発生する理由は次のように考えられる。車両密度0.04付近に見られる分岐点はこの車両密度より工事区間入り口の渋滞が発生することを示す。車両密度0.1付近に

見られる分岐点はこの車両密度より解析領域全体に自然渋滞が発生することを示す。車両密度0.56付近に見られる分岐点は解析対象領域全体の交通量が減少し, 工事渋滞の影響よりも大きくなるためと考えられる。また図から, 工事区間を含む2車線直線道路の最大交通量が1車線直線道路の最大交通量と等しくなることがわかる。

4. まとめ

本研究では, 大規模で複雑な道路形状でも解析可能なシミュレータの開発を目的として, 確率速度法と汎用的なローカルルールを用いてセルオートマトン法による交通流シミュレーションシステムの研究を行った。

1車線直線道路の車両密度と自然渋滞の発生の関係を調べた。解析結果をNagelの結果と比較することで, 本シミュレータの評価を行った。

2車線直線道路の解析によって, 自然渋滞が起こる要因と工事区間が及ぼす影響を調べた。自然渋滞では, 前方車両との車間距離による減速の影響が強く, 車線数の増加による変化は現れなかった。また, 工事区間が存在する場合2車線直線道路の最大交通量が1車線直線道路の最大交通量と同じになることを示した。

謝辞

本研究の遂行にあたって(財)豊田理化学研究所の平成13年度研究助成をいただいた。ここに記して謝意を表する。

文献

- 1 山本直史, 森下信, セルオートマトンによる交通流のモデル化とその制御, 日本機械学会論文集(C編), (1999-9)
- 2 西成活裕, 超離散法とセルオートマトンおよび粉体の離散モデルについて, 粉体工学会誌, p46-56(2000)
- 3 K.Nagel and S.Rasmussen, Traffic at the edge of chaos, ARTIFICIAL LIFE IV, pp.222-235(1994)