

Connective Cellular Mapping(CCM)による 交通流シミュレーション

東大・工 角田 真吾
shingo@crimson.q.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

Cellular Automata(CA)[1]によるシミュレーションは、モデルの簡潔さ、計算高速性、高い拡張性などの利点を持ち、特に複雑現象のシミュレーションを中心に研究が進められている。

CAを用いた交通流シミュレーションは、RULE 184[2]から始まりさまざまな改良が加えられ、研究が進められてきている。しかし、CAによるモデル化は簡潔さの反面、「立体交差を表現しにくい」、「移動方向は格子に束縛される」というような問題点があるのも事実である。

これらの問題は、CAの基本原則と密接に関係するもので、つまりローカルに作用する遷移ルールがあり、「一様なセル空間」の状態量が遷移することに由来するものである。そこで、本稿ではセルに対する概念を拡張しネットワーク構造が反映可能な Connective Cellular Mapping(CCM)システムを開発し、交通流のシミュレーションに適用することで、CCMシステムの開発方向性を見出すことを目的としている。

2 シミュレーション手法

CCMでは、セル、セル空間を次のように考える。

「セルとは、状態量を持った系の構成単位であり、その状態量は遷移するための自己ルールを持つものである。また、セル間には状態量を介して結合が定義され、セル空間を構成する。」

CCMでは、セルを特徴づけるものを全て「状態量」として扱う。このことで、どのような状態量にも遷移する可能性を与えておく。

道路網は、表1に示した遷移ルールをもった3つの状態量を持つセルによって構成されている。これらの状態量は、遷移ルールによってtime step毎に更新される。(許容量は、「道路の通りやすさ」をシミュレーションに導入する可能性を、また、セルの大きさに自由度を持たせ、粗密により計算精度を可変にする可能性を導入したものである。)

表 1: 状態量

状態量	説明	遷移ルール
結合	注目しているセルから移動可能な進行方向	信号や交通規制などによって遷移する。(予定)
許容量	セルに入ることのできる車両の台数	歩行者の影響などによる車両に対する障害によって遷移する。(予定)
交通量	セルにいる車両の台数	移動先のセルが許容量を越えていない場合に遷移(移動)する。

遷移は、次の条件のもとで行われる。

- 1) 全ての車両は、time step 毎に同時に動ける
- 2) 交通量は許容量を越えることはできない
- 3) 分岐点では、等確率で経路を選択する¹
- 4) 系には、交通流の流入、流出口がそれぞれ1つ以上ある
- 5) 実空間で同じ位置に存在するセルは、同じ許容量を共有する。
- 6) 速度は「0」(停止) or 「1」(セルを1つ移動)の2状態を持つ

また、3)のもとで1),2)を満足するための遷移は、次のことを前提としている。

- a) 交差点には平等に入ることができる
- b) 移動により渋滞が起こる場合には、移動先の交通量が決定されるまで移動できない

a)には、3)と同様に確率選択が含まれる。b)は、交通量を数値として扱った場合に必要になる。a),b)の必要性は、4.1,4.2で考察する。

表2には上記の前提を踏まえた上での、分岐と確率選択を含めた実際の遷移ルールが示してある。この遷移ルールの中で、移動の前に渋滞のprobeを行う結果、一意にセルの計算順序が決められることになる。実際の計算は、系の流入口もしくは流出口から結合をたどって行われてゆく。

表 2: 実際の交通量遷移ルール

1.(流出)	「移動先のセルに流入する全車両がどんな確率で移動した場合にも、渋滞が起こらない」、または、「全移動先の交通量が決定されている」、ならば移動可能である。そうでない場合には、移動先のセルにおいて(流出)を再帰呼出する。 また、「流入経路の交通量が決定されていない」、かつ、「注目しているセルの交通量の決定が必要とされる」、ならば流入元のセルから(流出)を再帰呼出させたことにする。(ループ路対策) 移動可能な車両は移動を開始し、移動先のセルが許容量に達している場合には、停止し渋滞が検出される。
2.(流入)	セルに流入する確率に比例した確率で、流入する。

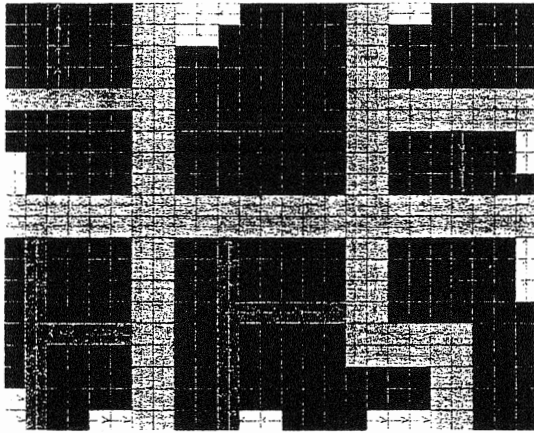
(*) 交差点ではない単純路(流入方向1,流出方向1)では、「流出」と「移動先の流入」は等価なので、(流入)は計算されない。

3 結果

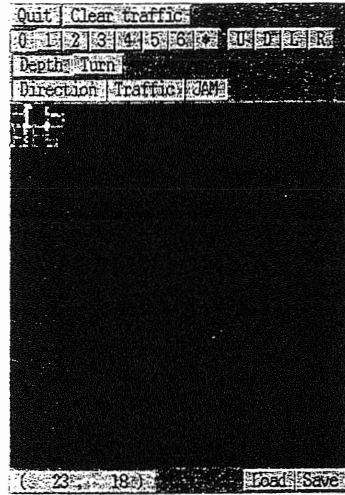
CCMシステムを用いてシミュレートした結果と、その紹介を示す。シミュレートした系は、2次元正方形格子を元に結合により道路網を作ったものである。

図1(a)には、「許容量」と「結合」が、(b)には作成したシミュレーション・システムのコントロール・パネルが示してある。(c)には、(a)に「交通量」、「渋滞状況」を重ねたものが、(d)には、「計算順序」と「結合」が示してある。

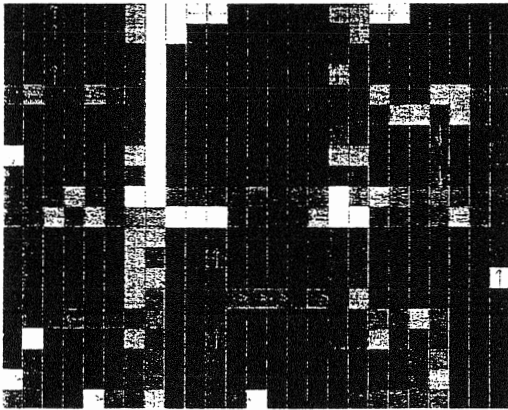
¹ 運転者に外部情報は与えられないことに同じ



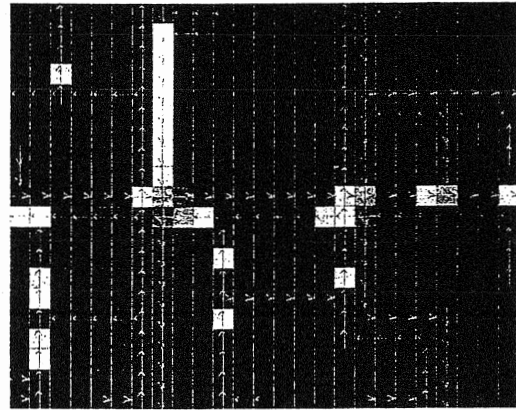
(a)



(b)



(c)



(d)

図 1: シミュレーション結果

(a) 緑が鮮明になるところ程、許容量は大きい。橙色のセルは交通流の源泉。赤の矢印は結合方向。車両は、「無」への結合で系外へ流出してゆく。(b) シミュレーションする際に作成したツールのコントロール・パネル。(c) 青いところは交通量が少なく、赤くなるにつれ交通量は多くなる。黄色は渋滞を示す。(d) 計算順序が必要になる部分。暗いところから順に計算される。

4 考察

渋滞の検出の方法は、車両の「移動前に渋滞を probe する形」と「移動後に渋滞を check する形」、の2通りが考えられる。CCMシステムでは前者を用いているが、車両を数値として扱い後者を用いる場合には「車両が平等かつ同時に移動不可能」な問題が起こる。以下では、この問題と CCM システムで使用した解決方法について考察する。

4.1 交差点での平等性の保存

(問題点) 図2に交差点の様子が示してある。各セルの許容量は1になっている。JunctionにはA,Bが入るので、移動後には Junction の交通量は2になり、その後、許容量を越えることから渋滞が検出される。次に Junction では、交通量が許容量になるまで車両が来た位置に戻されなければならない。しかし、車両は自分が来た方向を記憶していないので、元の配置に戻る保証はない。このことは、車両が来ていない方向にも戻されることを意味する。

CCMシステムでは、車両には状態変数をもたせていない。もし、交差点へ侵入して来た方向を車両に記憶させる場合には、交差点の形状、交差する道路の数によらない「方向」を一意に決定するルールが別途必要になる。

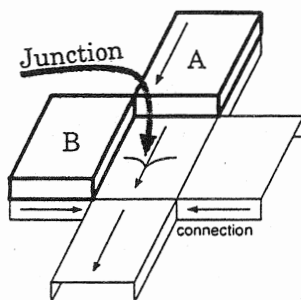


図2: 交差点での平等性

(解決方法) CCMシステムでは渋滞の probe を遷移ルールに(流入)をいれることによって解決している。図2の例を実際の遷移ルールに置き換えると、「交差点が渋滞を起こす可能性があるので Junction が始めに計算され(流出)の後、A,Bを流入源とする(流入)が処理される」となる。(計算順序に関しては、次節を参照)

4.2 車両の同時移動

(問題点) 図3には、単純な連結路が示してある。それぞれのセルの許容量は1になっている。同じ速度を持った車両がこのように並んでいる場合には、平行移動するのが自然である。しかし、計算順序が、A,B,Cの順であると図3に示したようにCのみが移動可能になる。

(解決方法) この問題も、移動する前に渋滞を probe することによって、計算順序がC,B,Aとなり解決する。図3の例で(流入)を実際の遷移ルールに置き換えると、「移動先が渋滞を起こす可能性があるのでAから、Bが呼ばれさらにCが呼ばれる。Cの(流出)の後、B,Aの流出が処理される」となる。

5 おわりに

5.1 CCMシステムの利点

- 複雑な交差点でも、比較的用意にモデル化することが可能である。
- 結合を連るので、2次元格子から作った系でも、道路以外は計算されない。

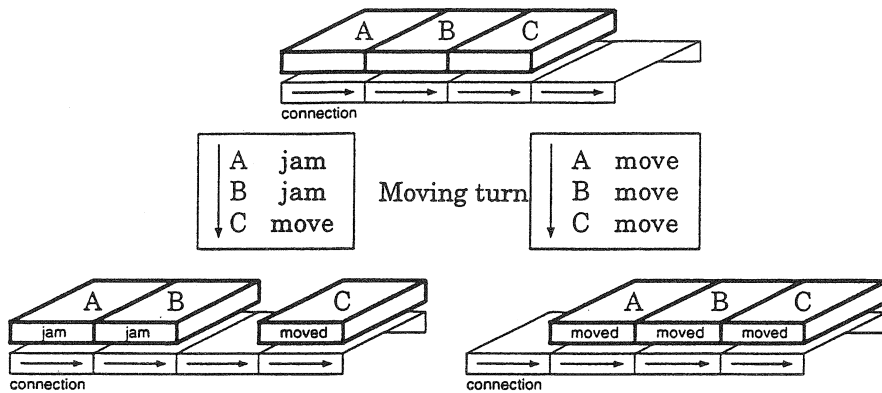


図 3: 車両の同時移動

- 2次元格子にはない、CCMによる交差点の表現が可能である。(説明)
- CCMではセルが「形」を持たなくても「大きさ」と「結合」を持てばシミュレート(視覚化とは別)は可能である。このことは、実際の地図から道路を直接スキャンして交通流をシミュレートする可能性を意味する。

5.2 今後の課題

- 運転者の意志などの外部情報が与えられた場合に、分岐確率に対する重み関数をどうモデル化した良いかを考える。車両は数値として扱えなくなるので、CCMでは車両はセルと結合されているものと考え、車両・セル間の結合をつなぎ変える遷移ルールに変更する。
- マルチ・スピード化を行い、セルの大きさ(許容量)と行程差との対応を考える。(渋滞のprobeを伴った移動を用いれば、マルチスピード化した際にも複雑な交差点への侵入は容易である。)
- 現実の問題に適用するには、交通量, 許容量の数値を実際の車両1台と対応させる必要がある。
- ループを含む渋滞、最短経路を含んだ渋滞は計算順序を一意に決定できないため、「ループでは渋滞の解消点を検出する」、「最短経路では分岐, 合流点での計算順序が一致する」遷移ルールを考える必要がある。

参考文献

- [1] S.Wolfram "Cellular Automata and Complexity" (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1994)
- [2] M.Fukui and Y.Ishibashi J. Phys. Soc. Jpn. 65, 1868(1996).