

双方向放射環状型道路上の交通流CAモデル

印南潤二, 豊木博泰, 村井智保

山梨大学 工学部 循環システム工学科

概要

発生地点と消滅地点を持つ車が円形都市の放射環状型道路上を動く、双方向道路の二次元交通流のCAモデルを考える。交差点はラウンドアバウト的なルールで制御した。発生サイトと消滅サイトの選択確率を一律にし、全ての車がOD間の最短距離を動くモデルでは、低い密度であっても都心部にデッドロックが形成された。

A CA model for two-way traffic on radial and ring road

Junji Innami, Hiroyasu Toyoki, Chiho Murai

Department of Ecosocial System Engineering, University of Yamanashi

Abstract

We study a CA model for two-way traffic on radial and ring road with car origin and destination. The dynamics at the intersection is controlled by roundabout rule. In the case that each site has a equal probability for the origin and the destination (OD) of a new car, and a car chooses the shortest path between OD, the deadlock arises in the central area even if the density is considerably low.

1 はじめに

都市における土地利用の観点から交通の発生、消滅分布を制御できる状況を考えて、エネルギー消費を低減する方策として、交通渋滞を抑制とともに、トリップ長の低減も課題となる。交通渋滞を抑制する基本的視点の一つとして、トリップ長の低減が挙げられる。トリップ長の短くする都市として職住近接の都市が考えられるが、都心部に居住地と業務地を増やすということは、増やした分だけ道路面積が減ることになる。これは渋滞を緩和することと競合する。この問題に関し、土地利用の観点からトリップ長を最小化する最適な都市構造を考えるモデルが秋澤らによって発表された [1]。彼らの最適化モデルを念頭置いて、マイクロシミュレーションを行う。

本研究では、発生地点 (O) と消滅地点 (D) を持つ車が円形都市の放射環状型道路上を動く二次元交通流のCAモデルを提案し、最適なOD地点の分布や経路選択ルールを提案することを目的とする。本講演ではモデルの紹介と、単位セル当たりの車の発生確率が一定で最短経路を選択する場合の系の振舞いについて述べる。

2 モデル

環状道路と放射状道路からなる道路上を、双方向に車が動くCAモデルを考える。 r は4つの交差点サイトと、それぞれを起点とする長さ m の飾りサイトからなる (図1)。単位格子を、中心からの距離に比例する m の単位格子を並べることによって道路網を作成した。以後、交差点とそれに付属する4本の一方

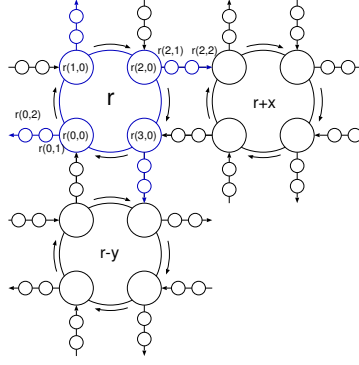


図 1: サイトのラベル付け。座標 r の単位セルを青色で示した。

向道路を単位セルと呼ぶことにする。交差点 r に対し、中心方向にある単位セルを $r - y$ 、外周方向にあるものを $r + y$ 、左方向にあるものを $r - x$ 、右方向にあるものを $r + x$ とする。単位セル r の交差点サイトは、 $r(\alpha, 0)$ とラベル付けする ($0 \leq \alpha \leq 3$)。飾りサイトを通る車の進行方向は、 $r(0, 0)$ は左、 $r(1, 0)$ は上、 $r(2, 0)$ は右、 $r(3, 0)$ は下方向とする。道路は $r(\alpha, \beta)$, ($1 \leq \beta \leq m$) で表し、交差点から最も近いものから、 $r(\alpha, 1), r(\alpha, 2), \dots, r(\alpha, m)$ とする。

タイムステップ当たり b 台の車を発生させ、目的地に到着したら消滅させる。発生と消滅サイトの選択確率は、半径の関数とし、出発点 (O) と目的地 (D) を与える。OD 間経路は最短経路とする。円形都市であるので、最短経路は OD の位置関係から一意的に決まる。

格子の状態を表すには $\mu_r^t(\alpha, \beta)$, $n_r^t(\alpha, \beta)$, $a_r^t(\alpha)$ の 3 つの変数を使う。 $\mu_r^t(\alpha, \beta)$ はブール型変数であり、タイムステップ t におけるサイト $r(\alpha, \beta)$ での車の存在の有無を表す。 $\mu_r^t(\alpha, \beta) = 1$ は車がいることを表し、0 は存在しないことを表す。車は独自の道順を持つので、それぞれのサイトがどの車に占有されているかを識別しておく必要がある。そのため、それぞれの車に番号 $n_r^t(\alpha, \beta)$ をつけ、サイトを占有する車の判別を行う。また、交差点サイト $r(\alpha, 0)$ における車の進行方向を $a_r^t(\alpha)$ で表す。 $a_r^t(\alpha) = 0$ のとき交差点を回り、 $a_r^t(\alpha) = 1$ のとき、その交差点サイトにに付属する飾りサイトに抜ける。

交差点でのダイナミクスは、信号ではなく Roundabout 的なルールを適用した。つまり、交差点内において、車は進行方向にいる車が動ければ時計回りに動ける。また、進入しようとするサイトが競合した場合、交差点内を回る車が優先的に動ける。飾りサイトでは前に車がいなければ進める。

このようなルールで動く時間発展式の交差点についてのものを以下に示す。ここで、 $\alpha_+ = \text{mod}(\alpha + 1, 4)$, $\alpha_{++} = \text{mod}(\alpha + 2, 4)$, $\alpha_- = \text{mod}(\alpha + 3, 4)$ を表すこととする。

$\mu_r^{t+1}(\alpha, 0)$ が 1 となる場合は、セルに別の車が進入してくるか、 $r(\alpha, 0)$ にいる車が動けないときである。

・セルに進入してくる時

セルに車が進入してくる場合 2 パターンあり、手前の交差点サイトから進入してくる時 (図 2a) と、道路セルから進入してくる時 (図 2b) である。

(a) 交差点内を回る場合

I, 前に車がない場合

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \overline{\mu_r(\alpha, 0)}$$

II, 前に車が一台いる場合。前の車がロータリー方向か道路方向に動ければ、進入できる。

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) \overline{a_r(\alpha)} \overline{\mu_r(\alpha_+, 0)}$$

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) a_r(\alpha) \mu_r(\alpha, 1)$$

III, 前に車が二台いる場合。

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) \overline{a_r(\alpha)} \mu_r(\alpha_+, 0) \overline{a_r(\alpha_+)} \overline{\mu_r(\alpha_{++}, 0)}$$

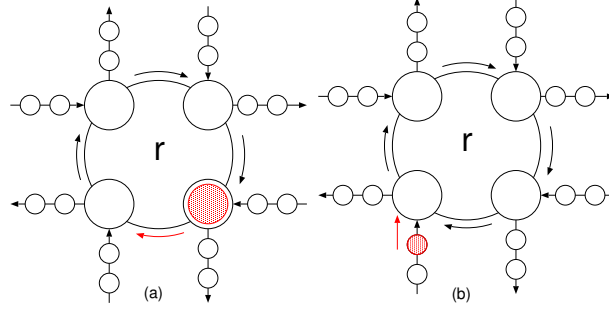


図2: 車の進入によってタイムステップ $t+1$ で $\mu_r^{t+1}(0,0) = 1$ となるときの例。交差点から進入してくる場合 (a) と道路から進入してくる場合 (b) がある。

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) \overline{a_r(\alpha)} \mu_r(\alpha_+, 0) a_r(\alpha_+) \overline{\mu_r(\alpha_+, 1)}$$

IV, 前に車が三台いる場合

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) \overline{a_r(\alpha)} \mu_r(\alpha_+, 0) \overline{a_r(\alpha_+)} \mu_r(\alpha_{++}, 0) \overline{a_r(\alpha_{++})}$$

$$\mu_r(\alpha_-, 0) \overline{a_r(\alpha_-)} \mu_r(\alpha, 0) \overline{a_r(\alpha)} \mu_r(\alpha_+, 0) \overline{a_r(\alpha_+)} \mu_r(\alpha_{++}, 0) a_r(\alpha_{++}) \overline{\mu_r(\alpha_{++}, 1)}$$

それぞれの和をとってまとめると、

$$\begin{aligned} \mu_r^{t+1}(\alpha, 0) = & \mu_r^t(\alpha_-, 0) \overline{a_r^t(\alpha_-)} \{ \overline{\mu_r^t(\alpha, 0)} + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \overline{\mu_r^t(\alpha_+, 0)} + \mu_r^t(\alpha, 0) a_r^t(\alpha) \overline{\mu_r^t(\alpha, 1)} \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \overline{\mu_r^t(\alpha_{++}, 0)} + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) a_r^t(\alpha_+) \overline{\mu_r^t(\alpha_+, 1)} \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) \overline{a_r^t(\alpha_{++})} \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) a_r^t(\alpha_{++}) \overline{\mu_r^t(\alpha_{++}, 1)} \} \end{aligned}$$

{ } 内の式は、以後まとめて A とおく。

そうすると、交差点に車が進入してくる条件は、

$$\mu_r^{t+1}(\alpha, 0) = \mu_r^t(\alpha_-, 0) \overline{a_r^t(\alpha_-)} A \quad (1)$$

と書ける。

(b) 道路からの進入

道路からの交差点に進入できるのは、 $r(\alpha_-, 0)$ に車がない場合と、 $r(\alpha_-, 0)$ に車がいるが、交差点を回らないとき ($a=1$) 時の2パターンある。また、進入しようとする道路が所属するセルの座標を r_{in} とする。つまり、 $r(0,0)$ のとき $r_{in} = r - y$ 、 $r(1,0)$ のとき $r_{in} = r - x$ 、 $r(2,0)$ のとき $r_{in} = r + y$ 、 $r(3,0)$ のとき $r_{in} = r + x$ である。

I, $r(\alpha_-, 0)$ に車がない場合

$$\mu_{r_{in}}^t(\alpha_+, m) \overline{\mu_r^t(\alpha_-, 0)} A \quad (2)$$

II, $r(\alpha_-, 0)$ に車がある時

$$\mu_{r_{in}}^t(\alpha_+, m) \mu_r^t(\alpha_-, 0) a_r^t(\alpha_-) \overline{\mu_r^t(\alpha_-, 1)} A \quad (3)$$

・車が動けない時

交差点の車が動けないときは、道路セルに抜けようとするが別の車がいる場合と、交差点を回れない場合の2種類である。

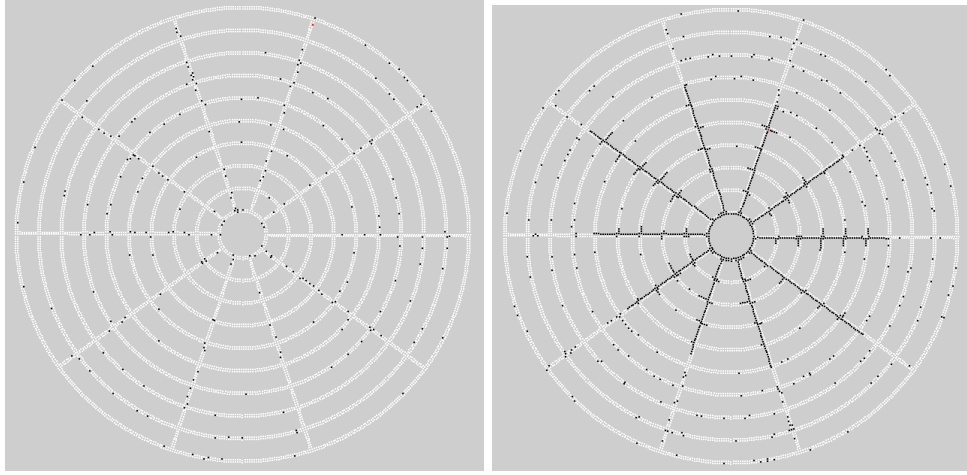


図3: 左は $b = 2.0$ 、右は $b = 5.0$ のときの車配置のスナップショット。

I, 道路に別の車がいる場合

$$\mu_r^t(\alpha, 0) a_r^t(\alpha) \mu_r^t(\alpha, 1)$$

II, 回れない場合

$$\mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) a_r^t(\alpha_+) \mu_r^t(\alpha_+, 1)$$

$$\mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) a_r^t(\alpha_{++}) \mu_r^t(\alpha_{++}, 1)$$

$$\mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) \overline{a_r^t(\alpha_{++})} \mu_r^t(\alpha_-, 0) a_r^t(\alpha_-) \mu_r^t(\alpha_-, 1)$$

よって、 μ_r^{t+1} の運動方程式は、進入する場合の (1),(2),(3) 式と動けない時の式の和をとって、

$$\begin{aligned} \mu_r^{t+1}(\alpha, 0) = & \{ \mu_r^t(\alpha_-, 0) \overline{a_r^t(\alpha_-)} + \mu_{r_{in}}^t(\alpha_+, m) \overline{\mu_r^t(\alpha_-, 0)} + \mu_{r_{in}}^t(\alpha_+, m) \mu_r^t(\alpha_-, 0) a_r^t(\alpha_-) \overline{\mu(\alpha_-, 1)} \} A \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) a_r^t(\alpha) \mu_r^t(\alpha, 1) \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) a_r^t(\alpha_+) \mu_r^t(\alpha_+, 1) \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) a_r^t(\alpha_{++}) \mu_r^t(\alpha_{++}, 1) \\ & + \mu_r^t(\alpha, 0) \overline{a_r^t(\alpha)} \mu_r^t(\alpha_+, 0) \overline{a_r^t(\alpha_+)} \mu_r^t(\alpha_{++}, 0) \overline{a_r^t(\alpha_{++})} \mu_r^t(\alpha_-, 0) a_r^t(\alpha_-) \mu_r^t(\alpha_-, 1) \end{aligned} \quad (4)$$

この他、飾りサイト、交差点入口と出口について時間更新式を作成したが、スペースの関係上割愛する。

3 車の分布パターン

このモデルで現れる流動相と渋滞相の代表的な空間パターンを図3に示す。流動相は散在するマイクロなクラスターと孤立した車によって特徴づけられる。 b が大きくなると都市部にマクロクラスターができ、最も内側の環状道路が埋めつくされるとデッドロックとなる。凍り付いた後も、タイムステップごとに車は増え続けるので最終的には全てのセルが車で埋めつくされる。最も内側の環状道路は、サイト数が少ない上に、通過交通のためにも頻繁に利用されるため、渋滞が起こりやすい。この現象は、全ての車が最短距離を選択するために起こると考えられる。講演では、発生サイトと消滅サイトの選択確率がシステムに与える影響について詳しく述べる。

参考文献

- [1] A. Akisawa, Y. Kaya, Applied Energy **61** (1998) 25.