

# 待ち行列とセル・オートマタを用いた高速道路交通 のシミュレーション・プレリリース (J6 版)

## Traffic simultion using queue theory and cellular automata

Masato SHIMURA  
jcd02773@nifty.ne.jp

09/Dec./2006

### 1 待ち行列

待ち行列では到着時間に指数分布が、サービスタイムには対数正規分布が用いられることが多い。

#### 1.1 指数分布

事象の生起回数をカウントしていく過程はポアソン過程で表され、ポアソン分布に基づいている。ポアソン分布は二項分布の特殊な形として知られる。更に、事象の生起時間を表すには指数分布が役立つ。

指数分布の期待値	$E(X) = \int_0^{\infty} x \cdot \lambda e^{-\lambda x} dx$ $E(x) = \frac{1}{\lambda}$	
分散	$V(x) = \frac{1}{\lambda^2}$	
	$\frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)} = \frac{e^{-\lambda t} - e^{-\lambda(t+dt)}}{e^{-\lambda t}} = 1 -$	指数分布の記憶性

## 1.2 対数正規分布

サービス時間

対数分布で、確率変数  $Y = \ln X$ 、平均  $\mu$ 、分散  $\sigma^2$  の正規分布に従うとき、サービス待ち時間の平均と分散は次のようになる。

対数正規分布	$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{\left\{-\frac{(\ln X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}}$	
平均	$e^{\frac{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$ (= $e^{2\mu + \sigma^2}$ )	
分散	$e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2}$	

$$\begin{cases} e^{\frac{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} & = \text{平均} \\ e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2} & = \text{分散} \end{cases}$$

両辺に対数をとると

$$\begin{cases} 2\mu + \sigma^2 & = 2 * \ln \text{平均} \\ 2\mu + 2\sigma^2 & = \ln \text{分散} \end{cases}$$

この連立方程式を解くと、対数分布の平均と分散が求まる。

## 2 セル・オートマン

フォン・ノイマンが提唱したセル・オートマンの初期の傑作はコンウェイのライフゲームであろう。<sup>\*1</sup>

### 2.1 高速道路とセル

高速道路の設計は 120km 100km 80km が主として用いられている。輻輳すると走行空間が足りなくなり、40km 程度に低下する。これらの数値を一時間に進む距離として秒に

<sup>\*1</sup> 最近Jのデモにもグラフィックス付きで入っている

換算すると

x: 120000 100000 80000 40000% 3600  
33.3333 27.7778 22.2222 11.1111

120000 100000 80000 40000% 3600  
100r3 250r9 200r9 100r9

となり、1時間あたり1車線3600個のセルを用いる。  
一つのセルが一秒となり、安全に為に最低車間として一個を入れると次のようになる。

○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕  
○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕○⊕

びっしりと詰めると大型も含めて3600台・一時間で相当混雑した状態になる。  
セルを一秒の固定セルとして始めよう。長さはxのパラメーターで設計速度を与えて、後は固定サイズとする。  
セルのサイズをを可変とする方法もある。

## 2.2 到着時間とセルへの配置

待ち行列から指数分布で一時間あたりの指定台数とその到着時間を乱数で出す。  
属性として走行速度(待ち行列のサービス時間に相当)と分布の位置を付加する。  
速度にはサービスタイムを割り当てる。平均速度 標準偏差 により確率で、平均-標準偏差より遅い車両(過積載や軽自動車)に-2、平均+標準偏差より速い車両に+2を付け、残りの車両は平均の前後で±1を付ける。主に±2の車両は走行モードにアクセントを付ける。

セルの大きさが33,28,22mとなる(端数計算を省略するためJの分数機能を用いる。)  
トラックの車長は概ね12m 乗用車は今回のスカイラインで4.7mであるので6m程度とする。

セルへの配置は初期状態では上の模式のように中間に空間セルを必ず入れる。  
到着時間順にセルに配置していく。

属性 2 は原則追い越し車線に配置

2 秒単位で 2 台到着した場合は速度の早い方を追い越しへ、

同じく 3 台以上到着した場合は、セルが満杯なので、時間を遅らせて後続セルに入れる。

## 2.3 走行とセル

走行は時間を動かす。すなわち、セルを逆向きに動かすことで行う。これが定常走行である。

定常走行の周辺で、各車両はジグザグの個別運動を行う。これを走行ノイズと考えて、次の簡単な数個のアクションに限定する。

南米の葉切アリの行動を模式して、単純な動作に限定したマイクロシヨベルカーを作成し、一切中央から制御しない分散型のシステムでの掃除行動を研究している研究者の番組があった。この様に単純な行動のみでシュミレーションで行うのが今回のテーマである。

act_0,1	前方に 3 から 4 セル開いて いれば	_2 以外は加速	
act_2	前方が 2 セル空いていれば	_2 以外は少し加速する。	
act_3	前方にスペースが少なくな れば	隣のレーンが横のセルと前 後 2 セルの 3 セル空いてい れば _2 以外は車線変更す る。	中速車の乱数によ る車線変更は未搭 載
act_4,5	前方にスペースがない	車線変更ができなければ追 従走行	渋滞時のセルの可 変は未搭載

act_4 管理セル	セル内の絶対位置を一秒ごとに管理する	セルの細事を超えれば前後へ1セル移動する。移動スペースがない場合は速度を調節する。	後続車両の強制減速はさせてない
---------------	--------------------	---	-----------------

## 2.4 セルのマネージメント

1行が一秒に相当する。左がレーンA, 右がレーンBである。

Nr	A	B
9	4 0 29.7561	1 29.7561 0 5 0 31.3293
10	0 0 0	0 0 0 0 0 0
11	0 0 0	0 0 6 1 23.0749
12	0 0 0	0 0 0 0 0 0
13	7 0 24.6155	_2 24.6155 0 8 0 25.4038
14	0 0 0	0 0 0 0 0 0

0カラム	連続番号 一秒を表し、セル管理のベースとなる。一秒ごとに先頭一列(秒)を落とし、時間を進行させる。番号は打ち直す。
1,7カラム	車両の一連番号 1=A(走行レーン),7=B(追い越しレーン) 到着時間は指数分布による
2,8	車種 (0/1)=S/L
3,9	初期設定の走行速度 (対数正規分布)
4,10	走行の属性 (モード) _2,-1,1,2 (3/9) の平均と標準偏差で区分
5,11	実走行速度
6,12	セル内での累積位置 (ミリ秒での前後関係)

セルの大きさは固定する。従って、セル内での相対位置はミリ秒単位で6/12のカラムに書き込まれ、相互参照される。

6/12の位置管理セルを用いなくてセルを自由に変形していく方法は今後の課題とする。

### 3 走行テスト

走行はセルの順にループで逐次処理し、上流の影響が下流へ波及する。

ループを一回回すと一秒×初期設定車両台数となる。

初期設定のパラメータ (自由に設定)

p0=:5 50 10 30

(50台分散10

sp=:250r9 200r9

```
1 drive_traffic_base a
0 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
1 0 0 28.7679 1 28.7679 _0.99016 0 0      0 0      0      0
2 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
3 1 1 22.3194 1 22.3194 5.45834 0 0      0 0      0      0
4 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
5 0 0      0 0      0      0 2 0 32.2116 2 32.2116 _4.43379
6 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
7 0 0      0 0      0      0 3 1 21.2053 _1 21.2053 6.57246
8 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
9 4 0 29.7561 1 33.3333 _5.55556 5 0 31.3293 2 31.3293 _3.55149
10 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
11 0 0      0 0      0      0 6 1 23.0749 1 23.0749 4.70288
12 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
13 7 0 24.6155 _2 33.3333 _5.55556 8 0 25.4038 _1 25.4038 2.37394
14 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
15 9 0 28.2188 1 28.2188 _0.441057 10 0 31.0768 2 31.0768 _3.29901
16 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
17 11 0 26.3282 _1 26.3282 1.44959 12 0 29.1591 1 28.2188 _0.441057
18 0 0      0 0      0      0 0 0      0 0      0      0
19 13 0 30.1005 1 26.3282 1.44959 14 0 24.424 _2 24.424 3.35382
```

20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	15	1	22.6345	1	22.6345	5.14331	16	1	20.372	_1	20.372	7.4058
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	17	0	29.092	1	22.6345	5.14331	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	18	1	21.2347	_1	21.2347	6.54305	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	19	0	23.9969	_2	21.2347	6.54305	20	1	21.4693	_1	27.7778	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	21	1	23.9952	1	21.2347	6.54305	22	0	24.1146	_2	21.2347	6.54305
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0