

追従モデルを用いた交通流シミュレーション

Simulation of traffic flow with car-following model

発表者： 皆木 智生

指導教員： 坪井 一洋

1. はじめに

現在の日本において、自動車は人々の生活やビジネスの場で必要不可欠になっている。自動車保有台数は年々増加しており、その結果交通量が増加し、交通渋滞を引き起こしている。国土交通省によると国民1人当たり、1年間で平均約30時間を渋滞の中で過ごしていることになり、これを経済活動や物流コストに換算すると、交通渋滞の損失は約10兆円に上ると試算されている^[1]。

このような問題を背景に、セルオートマトンを用いた渋滞緩和シミュレーション^[2]や流体モデルを用いた交通流の解析^[3]などの研究が行われている。

そこで、本研究ではそれらとは違った交通流モデルである追従モデルを用いて渋滞緩和方法を検討する。各車両は、そのときの状況に応じて運転者自身の判断で走行する。この自律性を再現するためにオブジェクト指向モデリングを用いる。

ここでは、渋滞緩和方法の1つとして、普段使われていない抜け道に車両を分岐させ、渋滞を緩和することを考える。オブジェクト指向モデリングを用いた追従モデルの設計を行い、それをもとにプログラムを作成し、渋滞を緩和できる最適な分岐率をシミュレーションによって検討する。

2. 追従モデル

交通流のモデルは、交通工学においてその特性により流体モデル、追従モデル、セルオートマトンモデルなどに分けられる。その中で、追従モデルは各車両が追い越せない状態で、列の途中で生じた走行の乱れが後方の車両に影響を及ぼす微視的モデルである。追従モデルでは、個々の車両をモデル化するため、各車両の挙動を再現することが可能である。

追従モデルの基本的な考え方は「車両の加速度は先行車からの刺激とそれに対する運転者の反応感度によって決まる」というものである。したがって、最も簡単な追従モデルは「加速度＝感応度×刺激」と考えることである。先行車との車間距離を刺激と捉え、その車間距離に応じて適切な速度を保つという考え方を最適速度モデルと呼ぶ。この最適速度モデルを式(1)に示す。

$$\frac{d^2x_i}{dt^2}(t) = a \left\{ V(\Delta x_i) - \frac{dx_i}{dt}(t) \right\} \quad (1)$$

このとき V を最適速度関数と呼ぶ。 V の形につい

ては、交通流モデルの一般的な考察から制限がつけられる。それは単調増加関数であり、小さい Δx に対しては $V=0$ 、 $\Delta x \rightarrow \infty$ に対しては $V=V_{max}$ の上限が存在する。本研究では、これら3つの条件を満たした関数として式(2)を用いる^[4]。

$$V(\Delta x) = \frac{V_{max}}{2} [\tanh(\Delta x_i - x_c) + \tanh(x_c)] \quad (2)$$

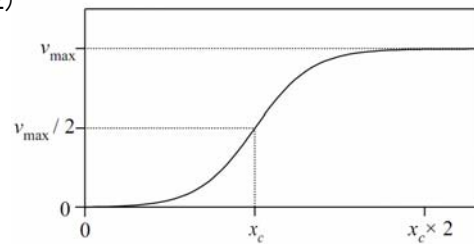


図1 最適速度関数

図1は車間距離と速度の関係を示している。このとき V_{max} は最高速度を、 V_c は安全距離を表わす。安全距離とは制動距離と空走距離の和である。

3. クラス設計^[5]

本研究では、抜け道を含む交通網のモデル化を行う。その際、構成するオブジェクトを抽出すると、走行する車両がオブジェクトとなる。車両は、それぞれが速度や加速度などの属性を持ち、前を走る先行車の状態を参照しながら走行する。

また、交通渋滞の原因はいくつか存在するが、ここではその代表として信号を考え、それをオブジェクトとして定義する。

そして、抜け道を用いて渋滞を緩和することを考えているので、車両が分岐・合流する交差点をオブジェクトとして考える。

これらのオブジェクトをもとに設計したクラス図を図2に示す。

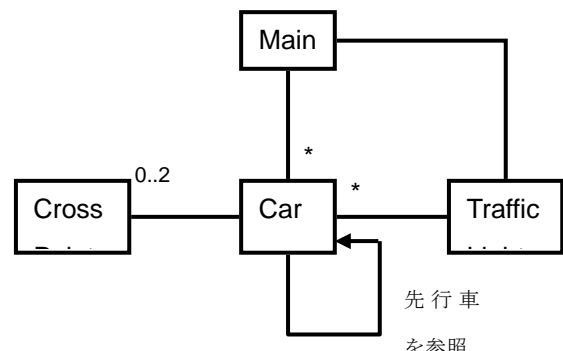


図2 交通流のクラス図

4. 実験

4.1 先頭車両の加速

追従モデルでは、追従車の挙動のみをモデル化しているため、先頭車両の速度や加速度を予め設定する必要がある。

本研究では、先頭車両の速度変化を式(3)で設定する。

$$\frac{dx}{dt} = \begin{cases} \frac{v_{\max}}{2} \{1 - \cos(\omega t)\} & \left(t < \frac{T}{2}\right) \\ v_{\max} & \left(t \geq \frac{T}{2}\right) \end{cases} \quad (3)$$

ここで v_{\max} は最高速度、 $\omega = 2\pi/T$ で $T/2$ が加速区間である。

4.2 シミュレーション

今回の実験での交通網を図3に示す。条件を表1と表2に示す。表1は本線と比べて距離は長くなるが交通量が少ない抜け道という条件である。表2は表1の条件よりも抜け道の距離は短い、住宅街などを通ることを仮定して、抜け道での平均速度が遅くなると仮定した条件である。分岐率は0のとき分岐なし、1のとき全車両が抜け道に分岐することを表す。



図3 実験の交通網

表1 実験条件1

青信号時間[s]	60	黄信号時間[s]	3
赤信号時間[s]	30	本線の距離[m]	800
抜け道の距離[m]	2000	台数[台]	1000
最高速度[km/h]	60	感応度 (加速度の強さ)	2.0

表2 実験条件2

青信号時間[s]	60	黄信号時間[s]	3
赤信号時間[s]	30	本線の距離[m]	800
抜け道の距離[m]	1000	台数[台]	1000
最高速度[km/h]	60	感応度	2.0
抜け道での最高速度	26.7	(加速度の強さ)	

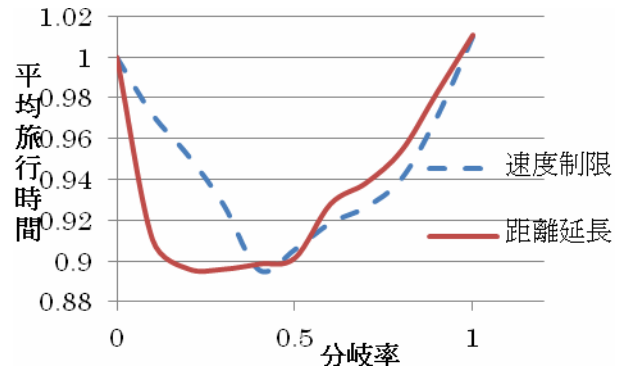


図4 各分岐率での平均旅行時間

それぞれの条件で得られた平均旅行時間を図4に示す。図4から条件1の抜け道では分岐率0.2~0.3、条件2の抜け道では分岐率0.4~0.5において平均旅行時間が最小になることがわかる。この結果から、抜け道の条件が変わると渋滞を緩和できる最適な分岐率も変わることがわかる。

4.3 大型車の影響

加速に時間がかかる大型車を混入させ、大型車を優先的に抜け道に分岐させたときと、抜け道を通行禁止にしたときの各分岐率での平均旅行時間を比較した。ここでの分岐率は大型車を除いた残りの車両の分岐率を示す。条件は表1を用いる。今回は、大型車は普通車と比べて最高速度に達するまでの時間が2倍かかるとした。

その結果を図5に示す。図5からわかるように、大型車を優先的に抜け道に走らせた方がどの分岐率においても平均旅行時間は短くなることを確認できる。

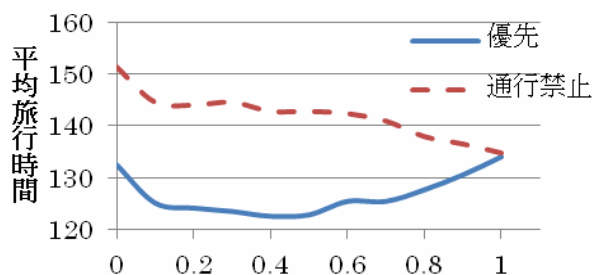


図5 大型車混入時の平均旅行時間

5. まとめ

交通渋滞を緩和するために、普段使われない抜け道に車両を分配することを考えた。車両、信号、交差点をそれぞれオブジェクトと考え、クラス図を設計した。設計したクラス図をもとにプログラムを作成し、2種類の抜け道の条件を設定し、各分岐率での平均旅行時間を求めた。

その結果から、条件によって抜け道への最適な分岐率が異なることを確認し、それぞれの条件下での最適分岐率を明らかにした。そして、大型車が混入した場合のシミュレーションも行い、大型車は抜け道に優先して分岐させた方が交通の流れがよくなることがわかった。

参考文献

- [1] 新・車社会論：渋滞解消の切り札：YOMIURI ONLINE (読売新聞)
<http://www.yomiuri.co.jp/atacars/featuresyakai/>
- [2] 有木一司：セルオートマトンを用いた渋滞緩和シミュレーション，平成 21 年度卒業論文 (2010)
- [3] 浦田勝行：交通方程式への TVD 差分法の応用，平成 23 年度中間発表レジュメ (2011)
- [4] 長井，尾之内，長谷：最適速度交通流モデルにおける矩形波の伝播挙動，ながれ，Vol. 24, pp. 421-429 (2005)
- [5] 磯田定宏：『オブジェクト指向モデリング』，(コロナ社，1998)