

領域オブジェクトの交通流シミュレーションへの応用

Application of Domain - object to Traffic Flow Simulation

発表者 鈴木尊人

指導教官 坪井一洋

We attempt to perform traffic flow simulation, in which object-oriented modeling and basic equation of compressible fluid dynamics are employed. Definition of "Road-object" is presented which plays the important role in the simulation. As an example of simulation, computation on crossroad is demonstrated.

1. はじめに

自動車産業の発展に伴い、現代社会は複雑な車社会の様相を呈している。そのため社会において交通が果たす役割は大きく、交通流を安全で円滑にするための都市計画や道路の設計は重要である。

本研究の目的は、交通流シミュレーションにオブジェクト指向モデリングを導入し、様々な道路網の形態や交通状態での交通流を作り出すことである。そのために領域オブジェクトの考え^[1]を用いて単路部の道路をオブジェクト化し、これらの組み合わせによって道路網を構築していく。

以下では、オブジェクト化された道路の設計ならびにそれによって構築した道路網の一例である交差点について述べる。

2. 交通方程式と差分化

道路上のある検査区間内 (x_1, x_2) において、時刻 t_1 に走行している車の台数を N_1 、時刻 t_2 での台数を N_2 、時刻 t_1 から時刻 t_2 までに流入する台数を N_L 、流出する台数を N_R とすると、交通流の保存則(1)が求まる^[2]。

$$N_2 = N_1 + N_L - N_R \quad (1)$$

式(1)を微分形で表すと、

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V) = 0 \quad (2)$$

となる。ここで、 ρ は車の密度、 V は車速である。

車の密度と車の速度には強い負の相関関係がある。実測結果より、Greenshieldは以下の式を導出した^[3]。

$$V = V_{\max}(1 - \rho L) \quad (3)$$

式(3)における V_{\max} は車の最高速度、 L は車1台分の車体長を表す。式(2)に式(3)を代入すると、次の交通方程式が導かれる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[\rho V_{\max}(1 - \rho L)] = 0 \quad (4)$$

交通方程式(4)を、一次精度保存則差分法であるラックス法(Lax's scheme)^[4]により差分化する。

$$\rho_j^{n+1} = \frac{\rho_{j-1}^n + \rho_{j+1}^n}{2} - \frac{t}{2x} V_{\max} \{(\rho_{j+1}^n - \rho_{j-1}^n) - ((\rho_{j+1}^n)^2 - (\rho_{j-1}^n)^2)L\} \quad (5)$$

ここで、 j は空間方向の格子点番号、 n は時間ステップを表す。この差分化された交通方程式(5)により、計算機上で交通流を発生させることが可能となる。

3. 道路オブジェクトの概念

ここでは、オブジェクト指向モデリングを交通流シミュレーションへ応用することを考える。そこで、道路の分岐点から次の分岐点までの単路部を1つのオブジェクトと見なし、「道路オブジェクト」

と呼ぶこととする。つまり、道路オブジェクトにはオブジェクトの両端にのみ車の流入口と流出口があり、それ以外からの車の流入はないことになる。また、道路内の車の流れは対応する道路オブジェクトが作り出すことになる。

以下には簡単な道路網を道路オブジェクトに分割した図を示す。

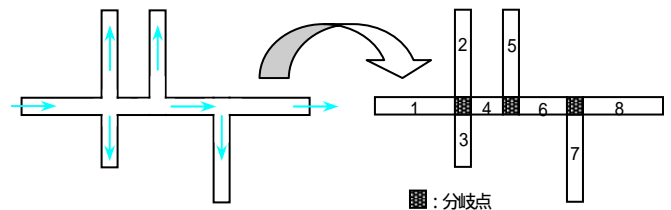


Fig. 1 道路上の道路オブジェクト

これらの道路オブジェクトの繋ぎ合わせ方や配置の仕方により、様々な形状の道路網が構築できる。例えば、Fig. 1における道路オブジェクト1~4では道路1の流出口に道路2~4の流入口を繋ぐことで交差点が形成されている。また、1つの道路オブジェクトで表せる直線道路にしても、複数の道路オブジェクトを直線的に繋ぐことにより表現できる。多車線に関しては、並行に道路オブジェクトを並べることで構成できる。

4. 交差点の設計

8個の道路オブジェクトにより交差点を構築する。交差点の特徴として、流入する車が3方向へ分かれることや信号により渋滞が発生することなどが挙げられる。

そこで、交差点に対応するオブジェクトを生成するための道路制御クラスを定義する。このオブジェクトは道路オブジェクトへ信号の色や対向車の有無を知らせ、道路オブジェクトを操作する。道路オブジェクトは車を流すことと車を停めることの操作だけを知っていればよく、道路制御オブジェクトからの指示を待つことになる。また、道路制御クラスは交差点へ流入する車を三方向へ分配する働きもする。交差点における各オブジェクトの関係図をFig. 2に示す。

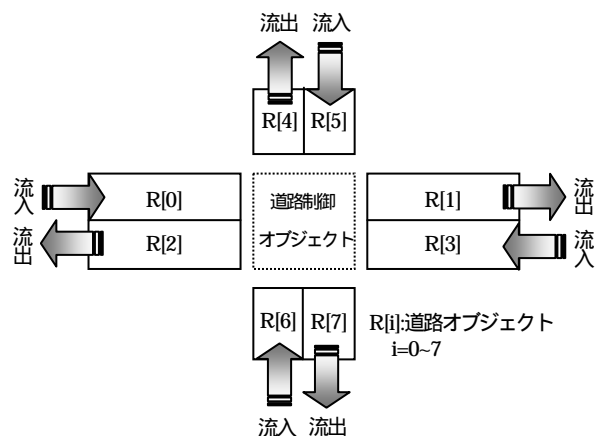


Fig. 2 道路オブジェクトによる交差点の構築

今回考えた道路クラスと道路制御クラスがもつべき属性と操作について、以下の表にまとめる。表における信号値とは、道路オブジェクトが車を動かすか停めるかを定める値である。

Table 1 道路クラスと道路制御クラスの属性と操作

クラス	道路クラス	道路制御クラス
属性	車の密度	車の密度
	車の流れる方向	
	道路の信号値 (青 or 赤)	
操作	車を流入する	道路オブジェクトから車を受け取る
	車を流出する	車を三方向へ分配する
	車を流す	道路オブジェクトへ車を渡す
	車を停める	道路オブジェクトへ信号値を与える 対向車を見る

5. 渋滞方程式

道路クラスの車を流す操作については、交通流の保存則(1)より式(5)が導かれた。ここではこれを応用し、車を停める式を導く。

式(1)において N_R は検査区間を流出する車の台数であることから、 $N_R=0$ とおくことで車は渋滞するはずである。このことから以下の式が求められる。

$$N_2 = N_1 + N_L \quad (6)$$

式(1)から式(5)を導き出したように、式(6)を微分形にし、差分化すると以下の式が導かれる。なお、この差分化によって得られる方程式には陰解法が必要となるので、ここでは時刻をずらした陽の式で近似した。

$$\rho_j^{n+1} = \alpha + \frac{\Delta t}{\Delta x} V_{\max} (\alpha - \alpha^2 L) \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\rho_j^n + \rho_{j-1}^n}{2}$$

式(7)を用い、一様に車が流れる全長1000mの直線道路において信号を青から赤に変えることで、交通流を停めることを試みる。最高密度は1/3台/m、信号の位置は500m地点、初期時刻(t_0)における密度は全領域において1/9台/mとした。式(7)は信号手前の格子点にのみ使用し、信号後の格子点には式(1)で $N_L=0$ として求めた式を使用している。その他の格子点では式(5)を用いる。

このときの密度変化図を Fig. 3 に示す。

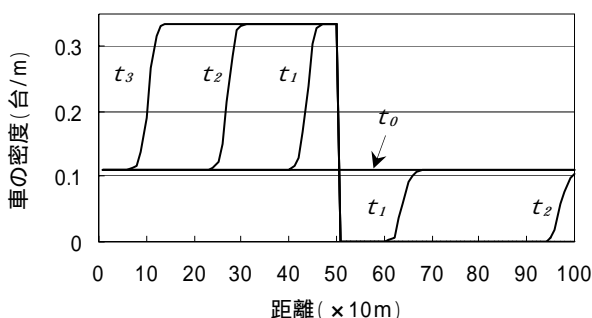


Fig. 3 道路上の車の密度変化

図より密度が一樣な初期状態(t_0)から、時刻 t_1, t_2, t_3 と時間が進むにつれて車が渋滞していく様子が分かる。特に信号より手前である0~500m区間において衝撃波が発生し、車の進行方向とは逆向きに伝わっている。また、信号後方の500~1000m区間では、車の流入がないので、時間の経過とともに車のクラスターが前方に移動し、その結果、密度が0台/mになっていくことがわかる。

6. 交差点の実装

式(5)と式(7)を考慮した道路クラスをもとに交差点を実装した結果をFig. 4に示す。表示は道路オブジェクトが持つ密度の大きさを色で表し、黒に近づく程密度は大きくなる。初期時刻において車は存在せず、信号の色は200stepごとに切り替わるものとする。また、流入値として振幅($\rho_{\max}/50$)台/m、周期1256stepの正弦波を用いた。

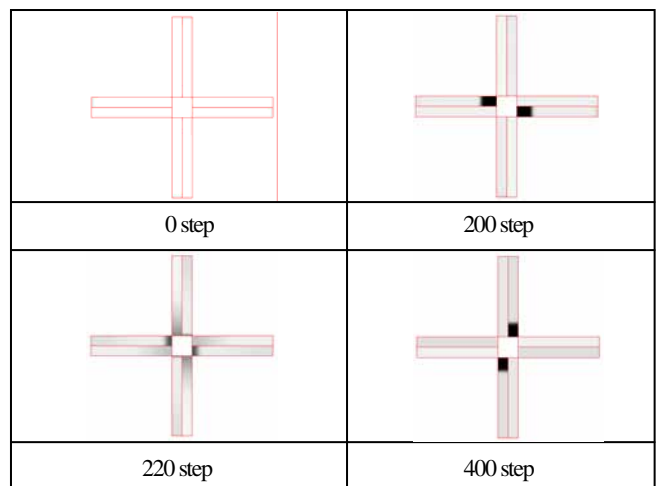


Fig. 4 交差点における密度変化

0stepより車が流入し始め、200stepでは横方向の道路上に赤信号による車の渋滞が見てとれる。さらに、220stepでは信号が切替っており、横方向の車が流れ出し、密度が小さくなってきている。横方向の渋滞が完全に解消されると、今度は信号が赤である縦方向の道路上に車が渋滞していくが、その様子が400stepの結果より分かる。

7. まとめと今後の課題

様々な形態の道路網を、複数の単路の組み合わせと考えることで、道路オブジェクトの概念を得ることが出来た。また、道路上の分岐点や合流点を表すために、道路オブジェクトを制御するための道路制御オブジェクトを考案した。交差点の実装にあたり、各々のオブジェクトがもつべき性質に着目し、道路クラスおよび道路制御クラスの設計を行った。

今後の課題として、異なった形状の道路網を構築することを考える。そのために道路クラスおよび道路制御クラスの設計について再検討を行っていきたい。

参考文献

- [1] 籠島高 他：第14回数値流体学シンポジウム, C04-2, (2000)
- [2] 藤井孝蔵：流体力学の数値計算法 第4章, 東京大学出版会, (1995)
- [3] 佐佐木綱：交通工学 第5章, 国民科学社, (1995)
- [4] 日本機械学会：流れの数値シミュレーション, pp. 99-104, コロナ社, (1993)