

ファジィ推論を用いたネットワーク構造モデルによる 自動車すり抜け運転動作のシミュレーションと渋滞解析

猪飼國夫[†] 石川 亮[‡] 本多中二[‡] 板倉直明[‡][†](株)エム・アイ・ベンチャー [‡]電気通信大学

微視的モデルに基づく渋滞解析用道路交通シミュレータを構築するとき、自動車の運転動作のモデリングが重要となる。しかし、人間の運転動作を精緻に表現しようとする多量な要素やあいまいで定性的な情報を考慮しなくてはならず、単純な微分方程式や統計式でモデルを構築するのは困難である。本論文では、ファジィ推論を導入したネットワーク構造で、様々な要素を取り入れたすり抜け運転動作のモデルを構築する。道路上の駐停車車体や障害物を回避して進行するすり抜け運転状態は渋滞の大きな原因となるが、本論文では構築したモデルを用いて複雑なすり抜け運転状態を計算機上でシミュレートし、様々な渋滞現象を解析する。

Traffic congestion simulations and analyses for passing through some obstacle by the network structure model using fuzzy inference.

Kunio YIKAI[†] Ryo ISHIKAWA[‡] Nakaji HONDA[‡] Naoaki ITAKURA[‡][†]MI Venture's Corp. [‡]University of Electro-Communications

Constructing a road traffic simulator for congestion analysis based on a microscopic models, the modeling of human operations of a car becomes important. However, if it is going to express the human operations delicately, the modeling which uses some simple differential equations or statistical formula might be difficult because a lot of ambiguous or qualitative elements have to be taken into consideration. In this paper, we propose to introduce some network structure models using fuzzy inference into the road traffic simulator named as MITRAM. A traffic congestion is often caused by the illegal parking on a road. The model conducts a simulation in such a situation on computer and analyzes the traffic congestions.

1 はじめに

今日、都市部での交通渋滞は大きな経済的、エネルギー的ロスを生み、また環境悪化の面からも深刻な問題となっている。そこでその対策を立てるために、計算機シミュレーションによる交通渋滞の解析の重要性が増している。それは道路交通の解析ではフィールドでの実験はコストがかかり、また危険性をともなうためにほとんど行うことができず、一方、計算機の能力が飛躍的に向上したことで、大規模で精緻な処理が可能になったためである。

従来の道路交通シミュレーションを大別すると、交通流を流体として捉えてモデル化する巨視的アプローチと自動車個々の動きをモデル化して集団に組み上げる微視的アプローチがある。このうち前者は道路形状や交通環境が比較的単調な高速道路などでの渋滞解析には十分機能するが、様々な状況や要素がからむ市街地での渋滞解析では後者のアプローチが求められる。

微視的アプローチでは、道路をリンクとして表し、いくつかのブロックに分けて、自動車の動きをブロック間の移動として流出・流入可能量から決定するもの[1]や、道路をメッシュで細分化して自動車の動きをメッシュ間の移動で表し、移動機構をベトリネットで表現したり[2]、セルラオートマトンで表現するもの[3]が主流となっている。しかし市街地の渋滞では、違法駐車車の存在やバス停の位置、右折車線の長さ、信号のタイミングといった細かい要素が大きな関わりを持つので、シミュレータとしてより精緻なものが求められる。

われわれは上記のような要請から、実態に即してかなり細かな自動車の動きを取り入れることが可能なシミュレータMITRAM [Microscopic model for analyzing TRAffic jaMs on the city area]を開発してきた[4][5][6]。本論文ではMITRAMを用いて、渋滞の原因となる違法駐車や工事といった障害物や、バスの停車における後続車のすり抜け運転動作のシミュレーションを行い渋滞の解析を行う。これはMITRAMの運転動作のモデルと

して、ファジィ推論を用いたネットワーク構造モデルによって行う。最後にのシミュレーションを通して MITRAM のシミュレータとしての評価を行う。

2 MITRAM の概要

2.1 システム構成

MITRAM では、従来の多くのシミュレータと異なり、道路モデルと運転動作モデルを切り離し、独立したモデルとして構築する。これにより、リンクやブロック、メッシュの方法にみられる制限された自動車の動きから解放され、市街地等での複雑な交通状況におけるシミュレーションを精緻に行うことができる。

2.2 道路モデル

自動車の運転者は通常、走行中の車線をはみ出さないように走行する。しかし、左右折運転や駐停車車両などの障害物を回避する運転を行うときには例外的に走行中の車線を外れて走行をする。しかし、このような運転を行う場合でも運転者は自分の進もうとする走行進路をあらかじめ図 1 のようにイメージとして頭の中で描いていて、その進路に沿うように操舵操作を行う。

MITRAM ではこのようなイメージとしてもつ走行進路を仮想走行レーンと名付け、それに沿って自動車は走行するものとする [7]。この仮想走行レーンは道路モデルで構成され、運転動作モデルに提供される。仮想走行レーンを導入することにより、複雑な判断を必要とする操舵操作を運転動作モデルから取り除くことができる。

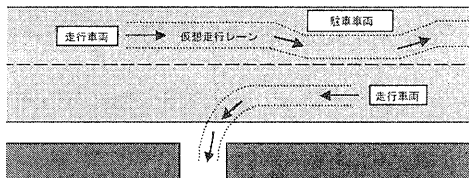


図 1: 仮想走行レーンのイメージ

2.3 運転動作モデル

自動車の運転者は、視覚や聴覚などによって自車周辺の様々な情報を得る。そしてこの情報に基づいて運転者は運転動作を行っている。これらはいまいな情報、定性的な情報、数値的な情報など多岐にわたり、このような情報に基づく運転動作のモデル化は、単純な微分方程式や統計式などでの表

現が難しい。そこで MITRAM では、この複雑な運転動作を処理するために、ファジィ推論を取り入れたネットワーク構造のモデルを用い、これらを並列化および階層化して扱う [8]。これにより運転者の判断をかなり忠実に捉えたモデルが構築できる。

3 運転動作モデルの構造

3.1 ネットワーク構造

運転者の運転動作は、道路環境や交通状況によってその特性が大きく変化する。しかし、これを単一のモデルで構築しようすると大変複雑になり、直観的に理解しやすい構造で表現することは難しくなる。

そこで運転論理を階層化および並列化して複数のモデルに分離し、その組み合わせで構成する。これらの各論理は図 2 に示すように 2 入力 1 出力の関数機能をノードとしたネットワーク構造で構成する。このノードにはファジィ推論をはじめ、四則演算、推論演算、関数計算などが組み込まれるようになっている。これによりモデルの構造が理解しやすくなり、複雑な運転動作も簡潔に表現することができる。

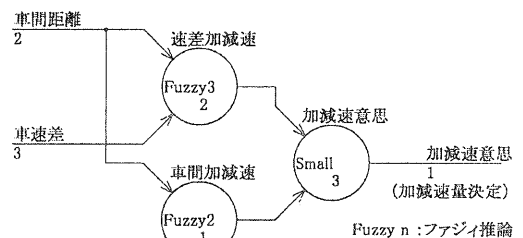


図 2: ネットワーク構造（追従運転論理）

3.2 階層化と並列化

運転者は運転時に、「車を衝突させずに運転する」という基本的な前提のもとに、運転動作をしている。しかし運転者は常に「衝突させない」ということを意識して運転しているわけではなく、運転時間の大部分は無意識的に周囲の交通の流れに沿った安全な運転動作を行なっている。これに対して、交差点での左右折や車線変更を伴う駐停車車両の回避行動などにおいては幾分集中した意識のもとで高度な状況判断をする。

MITRAM では、無意識的な運転論理と意識的な運転論理を階層的に分離して扱う。ここで、無意識的な運転を下位論理、意識的な運転を上位論理と位置付ける。

下位論理において、運転動作のモデル化のための規範として設けた「車を衝突させずに運転する」論理は、さらに次の4つの運転論理に分類する。それは

- 他の車の後面に衝突しない（追従運転）
- 他の車の正面に衝突しない（対向運転）
- 他の車の側面に衝突しない（側方制限運転）
- 車以外に衝突しない（前方制限運転）

である。MITRAM ではこの4つの運転論理をそれぞれ独立したネットワーク構造モデルとして構築し、さらにそれらを有機的に結合したものとする。なお、この4つのモデルは並列に作動する。

4 すり抜け運転

4.1 モデル構造

市街地の交通では信号の設置やその制御、バス停やタクシー乗り場の位置など、様々な要素が関係し、それらが交通の効率に大きく影響を与えている。それらの要素の一つに、停車バスやタクシーなどを含めた路上駐車車両による車線幅の縮小があり、周辺の交通に大きく影響する。そのような箇所を通過する運転者は、狭まった車線幅の中をすり抜ける運転を行わなくてはならない。MITRAM では、このような状況を仮想走行レーンの形状を変えることでシミュレーションすることができる。

側方制限を受ける運転動作のモデルは次の2つの論理を満たす必要がある。

- 現在の車線幅の余裕に応じた加減速操作の論理
- 将来の車線幅の余裕に応じた加減速操作の論理

この運転論理のモデルを図3に示す。

ここでの運転動作のように側方制限を受けている場合でも、最も基本となる追従運転論理は実行される必要がある。そこでここでのシミュレーションでも運転動作の最も基本となる図2の追従運転論理に図3側方制限論理をネットワーク接続し、必要に応じてその論理が発火する構造をしている。これにより、基本となる追従運転論理と特殊

な状況に対応する論理とを分離して構築することができ、モデル作成を簡略化している。

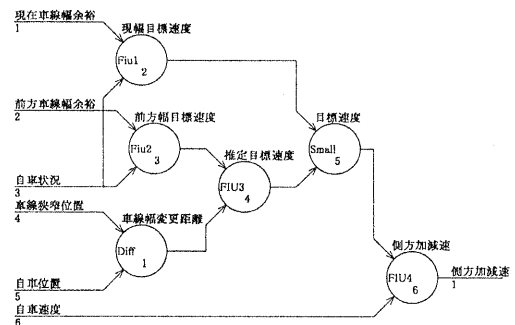


図3: すり抜け運転動作モデル

4.2 シミュレーション結果

構築したすり抜け運転モデルを追従運転論理へ接続し、車線幅をいろいろ変更してシミュレーションを行った。その結果の一部を図4に示す。ここでは車線幅が4.0mとし、障害物により車線がせまめられる。その障害物の大きさによってすり抜け車線の幅を段階的に2.8mから2.2mまで変化させ、走行する車両の車幅は1.7mとしてシミュレーションを行っている。なお、車両発生台数は2580[台/時]とした。シミュレーションの結果、狭路幅と交通容量の関係は表1のように計測された。

障害物がない場合、交通容量は2580[台/時]なので、表より狭路幅が2.6mまで障害物による影響を受けないが、2.5m以下になると急激に減少することがわかる。すなわち幅1.5m以上の障害物は渋滞を引き起こすことがわかる。

次に車線幅4.0mで車両発生台数1000[台/時]の道路を想定し、この車線の一部分を車線幅2.5mに縮小した条件のもとで、通過車両の車幅を1.6m(小型車)、1.8m(普通車)、2.0m(大型車)として、それぞれ単独および等比率で混合した場合についてシミュレーションを行った。その結果、通過車両の車幅と平均速度の関係は表2のようになった。この結果より、車幅が大きくなると平均速度の低下が著しいことがわかる。また車種が混合していた場合、最も速度が遅くなる車種、すなわち大型車の速度に支配される様子がわかる。

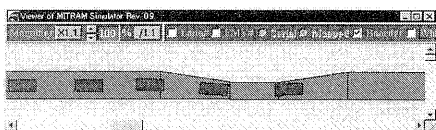


図 4: すり抜け運転シミュレーション

表 1: 狭路幅と交通容量

狭路幅 (m)	交通容量 (台/時)
2.8	2580
2.7	2580
2.6	2580
2.5	1200
2.4	1008
2.3	924
2.2	816

表 2: 車幅と平均速度

発生車種	平均速度 [km/h]
小型車のみ	56.9
普通車のみ	45.7
大型車のみ	24.6
全種混合	24.7

5 おわりに

本論文では、MITRAM におけるネットワーク構造モデルを用いて、すり抜け運転動作のシミュレーションを行い、渋滞解析を行った。この結果より MITRAM がかなり精緻な交通状況をシミュレートできることが明らかとなった。

MITRAM ではすでに基本的な追従運転や自由走行運転などのモデルができており、これに本論文で示した特殊な状況のモデルをライブラリーの形式で整えていけば、様々なケースに対応した汎用なシミュレータとして実用に供することができる。今後はこのようないろいろなモデルの作成をさらに進めていくとともに地図情報などから道路モデルを容易に構築できるようにするためのツール類の整備を行う予定である。

参考文献

- [1] 堀口良太, 片倉正彦, 桑原雅夫: 都市街路網の交通流シミュレータ-AVENUE-の開発, 第 13 回交通工学研究発表論文報告集, pp.33-36(1993)
- [2] 木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ベトリネットによる交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究・講演集, No17, pp.177-180(1995)
- [3] S.Morishita, N.Yamamoto and T.Nakano: 100 Traffic flow simulation system by cellular automata, AVCE, pp561-565(1998)
- [4] 猪飼國夫, 本多中二, 板倉直明 他: ファジィ化微視的モデルによる渋滞解析を目的とした道路交通シミュレータ, シミュレーション, Vol.16, No.3, pp.199-208(1997).
- [5] 猪飼國夫, 本多中二: ファジィモデルに基づく市街地での渋滞予測用微視的シミュレータ, 日本ファジィ学会誌, Vol.11, No.2, pp215-221(1998)
- [6] 萩原勉, 猪飼國夫, 本多中二, 板倉直明: 微視的道路交通シミュレータにおける高度情報判断運転モデル, 数理モデル化と問題解決シンポジウム, pp.201-206(2000).
- [7] 猪飼國夫, 佐藤章: 微視的道路交通シミュレータのためのオブジェクト指向道路モデルの構築とその検証, シミュレーション, Vol.18, No.3, pp.206-215(1999)
- [8] 猪飼國夫, 本多中二, 板倉直明: 道路交通シミュレータのためのファジィ推論による自動車の運転モデル, 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.3, pp.425-435(2000).

[問い合わせ先]

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
電気通信大学 システム工学科 本多研究室
石川 亮

E-mail: ryox@fs.se.uec.ac.jp

本多中二

E-mail: honda@se.uec.ac.jp

TEL: 0424-43-5277 FAX: 0424-43-8020