

交差点走行車両の運転動作のモデル化と交通解析

石川 亮[†] 風間 洋^{††} 本多 中二[†]
板倉 直明[†] 猪飼 國夫^{†††}

都市部における渋滞現象を解析するためには、交通流のボトルネックとなる信号交差点での交通の再現が重要である。本稿では微視的道路交通安全シミュレータ MITRAM を用いて信号交差点での交通シミュレーションを行う。そのために実交通における運転者が交差点を走行するときどのような判断を行っているのかに注目してその論理をファジィの手法でモデル化する。構築したモデルは実交通との比較で検証を行う。そして、一般に解析的手法での最適化が困難とされている右折信号の設定についてシミュレーションから最適解を導き MITRAM の有効性を示す。

Modeling of vehicle maneuvering around intersection and traffic analysis

RYO ISHIKAWA,[†] HIROSHI KAZAMA,^{††} NAKAJI HONDA,[†]
NAOAKI ITAKURA[†] and KUNIO YIKAI^{†††}

For the analysis of the traffic congestion phenomenon in a city area, the simulation of intersection which is the bottleneck of a traffic is important. However actual traffic is very various and the aspect changes with many conditions. Therefore in order to build a practical simulator, we have to take those elements into consideration. In this paper, we model traffic around intersection and analyze using the microscopic road traffic simulator MITRAM. The judgement of the driver in actual traffic is modeled using fuzzy method. And we contrast a simulation results with real traffic for verification of the built model.

1. はじめに

都市交通における渋滞現象は、エネルギー的、経済的損失のみならず、環境破壊の面からも重大な社会問題である。この問題を解決するためには交通環境の見直しなどの対策が必要である。そういった対策の効果を予測するためにコンピュータによるシミュレーションが重要性を増し、古くから様々な手法を用いた道路交通シミュレータが提案・開発されている。

我々が提案し、研究・開発している交通シミュレータ MITRAM は微視的アプローチによる解析手法を採用している。シミュレータ上の車両の運転動作のモデリングにはファジィの手法を用いることで、かなり高度な運転判断も明確なモデルで表現でき、精緻な解

析結果が得られることを既に検証してきている¹⁾²⁾³⁾。

交差点での信号による交通制御は、進路の異なる車両を秩序正しく安全に交差させるために無くしてはならない存在であるが、同時に信号交差点は交通流のボトルネックとなりうる。したがって市街地の交通解析ではその影響を十分に考慮することが重要である。

本研究では交差点交通を、提案する手法により見通しの良い構造でモデル化する。そして、そのモデルによるシミュレーションと実交通との比較によりモデルの検証を行う。さらに、これまで解析が困難で専門技術者の勘にたよらざるをえなかった右折信号の時間設定を本モデルを用いたシミュレーションにより最適解を導き、シミュレータとしての有効性を示す。

2. MITRAM の概要

MITRAM は個々の車両の挙動を再現する微視的道路交通安全シミュレータである。システムの構成を図 1 に示す。MITRAM は道路モデル、自動車発生モデル、運転動作モデルが独立しており、各種データベースなどに基づいて比較的自由にモデルを構築できる枠組を

[†] 電気通信大学
The University of Electro Communications

^{††} 株式会社 京三製作所
Kyosan Electric Mfg Co. Ltd.

^{†††} 株式会社 エム・アイ・ベンチャー
MI Venture's Corp.

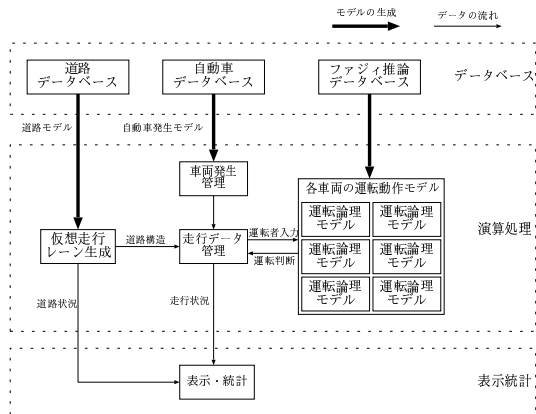


図 1 MITRAM システム構成
Fig. 1 MITRAM System

用意している。

シミュレータ上の車両の運転動作は、現実の運転者の判断をモデル化することで構築する。そのモデル化のために実交通の運転者が以下に示す基本原則を常に同時に満足する判断をしているものとする。それは、

- 他の車両の後面に衝突しない (追従制限)
- 他の車両の前面に衝突しない (対向制限)
- 他の車両の側面に衝突しない (側方制限)
- 車両以外に衝突しない (前方制限)

である。この原則を満足する論理を個別にモデル化し、それらを合成することで現実の運転者と同様に運転動作を行えるモデルが実現する。このモデルを持つ車両をシミュレータ上に発生させることで、交通をシミュレートする。

3. 交差点交通のモデル化と検証

3.1 交差点交通のモデル化

交差点での運転動作は、多くの交通要因からの影響をうけるため非常に複雑な判断を必要とする。本稿ではこれをファジィ推論の多段接続の構造で、なるべく見通し良く構築する。

まず、運転者の立場で信号交差点を見たときに運転者の操作量に影響を与える要因を次のように分離する。

- 前車両 (追従制限)
- 対向車両 (対向制限)
- 分岐車両 (側方制限)
- 信号 (前方制限)

これらは括弧内に示す通り前述した運転動作のモデル化に関する基本原則の各項目に相当する。これらを実現する論理を個別にモデル化し合成することで、現実の運転者と同様に交差点を走行できる運転動作モデルが実現する。構築したモデル全体を図 2 に示す。この

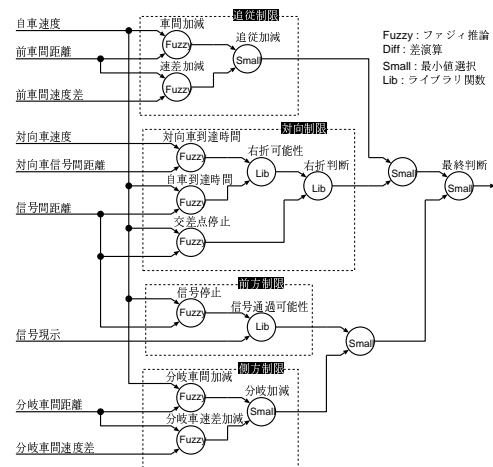


図 2 交差点走行の運転動作モデル
Fig. 2 Model of maneuvering around intersection

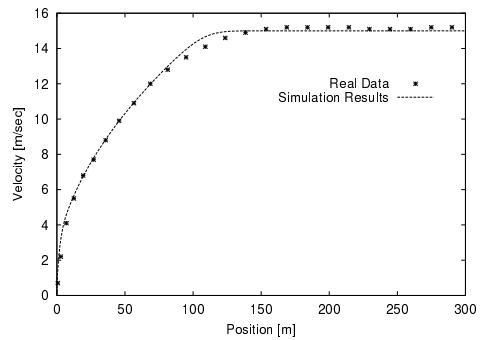


図 3 加速状態と自由走行状態
Fig. 3 Accelerating state and free running state

ように様々な交通要因の影響を考慮する複雑な運転動作を細分化して構築することでモデル全体としての見通しが良くなる。

3.2 車両単独での挙動の検証

他の車両からの影響を受けずに単独で走行する車両の挙動は、車両の持つ固有な加速限界や法規の遵守による最高速度の制限が支配的となる。図 3 は位置 0[m] において停止状態にあった車両が加速して安定した自由走行へ向かう時の速度の変化を実データとシミュレーション結果の比較である。加速状態、安定走行状態ともにシミュレーション結果が実データとよく合致している。ここで示した結果は、任意に選択した実データと、それに基づいて調整を施したシミュレーションの一例である。他の実データに関してもこれと同様に整合性のあるシミュレーション結果が得られている。

3.3 近傍車両間での挙動の検証

運転者は近傍を走行する車両との間に事故が起こら

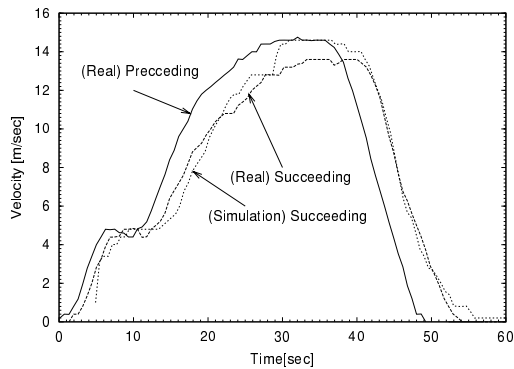


図 4 追従運転の検証

Fig. 4 Verification of succeeding

ないように注意を払い、必要であれば減速などの操作を行う。ここでは信号交差点において運転者に対して影響を与え得る要因が正しく反映されていることを検証する。なお、分岐車の要因による側方制限と信号による前方制限は仮想車両との追従状態としてモデル化しているため、ここではその核となる追従制限と対向制限の各モデルを検証する。

3.3.1 追従制限の検証

追従制限の検証を行うために、実交通での実験で得た追従状態にあると思われる先行車と追従車の速度の変動の記録を元に、同様の状況をシミュレータ上で再現する。シミュレーションでは実データの先行車の動きをそのまま取り込み、それと同じ初期条件でモデル化した追従車両を発生する。挙動を比較するため、実データの先行車と追従車、そしてシミュレートした追従車の速度の測定結果を図 4 に示す。この実験では実交通の先行車両は時間 0 [sec] の初期状態において速度が 0 [m/sec] であり、実交通の後続車も同様の初期速度である。そして先行車と後続車の車間距離の初期値は 1 [m] である。グラフでは実データとシミュレーション結果にはほとんど違いが無く、実交通の追従車の挙動を精度良く再現できていることが分かる。

3.3.2 対向車制限の検証

対向制限論理を検証するために現実の右折車両の運転動作を観測し、同様の交通をシミュレーションで再現した結果との比較を行う。実交通での観測は東京都調布市に実在する信号交差点で、その詳細は表 1 に示す。この測定地において右折車両が右折を開始してから対向車が交差点を通過するまでの時間を測定した。これは右折待ちをする運転者がどれくらいの時間的余裕で右折開始を判断したのかを表す値である。以上の条件のもとで右折車両 100 台について測定を行い、それらを集約した結果を表 2 に示す。一方、測定状態と

表 1 右折車両観測環境

Table 1 Right-turn vehicles observation environment

測定場所	東京都調布市 多摩川住宅入口交差点
信号サイクル	70 [sec]
有効スプリット	38 [sec]
対向車平均速度	30.4 [km/hr]
右折車交通量	205 [台/hr]
対向車交通量	426 [台/hr]

表 2 右折余裕時間の測定結果

Table 2 The results of right-turn margin time

	平均値	最小値	中央値
実測データ	6.68	3.58	6.27
シミュレーション	5.93	2.25	5.90

ほぼ同じ条件下で構築したモデルを用いたシミュレーションの結果も同表に示す。

両者を比較すると測定データの方がやや大きめで、実際の運転者がより慎重なことがわかる。しかし、全体的に類似の特性が得られており、モデルが実態を表していると言える。

3.4 統計的特性の検証

図 5 に示す形状の東西南北に 4 流入路を持つ十字型信号交差点を定義する。この交差点に南北方向からの流入路に対して 1000 [台/時] の交通量を与え、同じく東西方向に 500 [台/時] を与える。信号のサイクルが 60 [秒] という条件で信号のスプリットを変化させた場合の交差点全体の総遅れ時間および流入路毎の遅れ時間を計測する。なお、各流入路ともに交差点において車両の進路選択は左折:直進:右折が 1:2:1 の比となるように設定する。

計測した総遅れ時間の結果を図 6 に示す。結果は 20 分間 (20 サイクル分) の計測結果を 1 サイクルあたりの平均で示している。

一般に信号スプリットは非飽和交通流状態においては進入路の飽和度の比で分割したものが最適とされている。本稿では全ての路線で交通容量が一定と仮定しているので信号サイクルを交通量の比でスプリットするのが理論的な最適解となる。シミュレーション結果の最適解はほぼ理論通りの結果となっている。

以上の結果は、本稿で構築した交差点交通モデルが現実の交差点交通を精度良く再現できていることを示している。このことから、構築した運転動作モデル全体が正しく機能しているといえる。

4. 右折専用現示の最適時間

現実の交通における右折専用現示の最適な時間設定は右折専用車線長と右折交通量、対向直進交通量およ

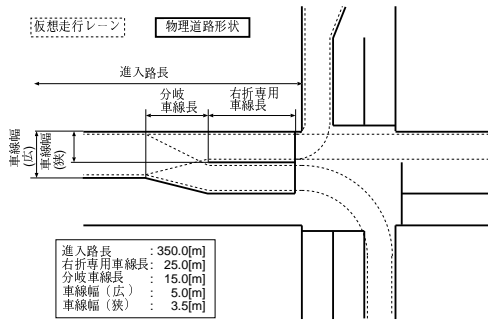


図 5 交差点道路設計
Fig. 5 Designed road status

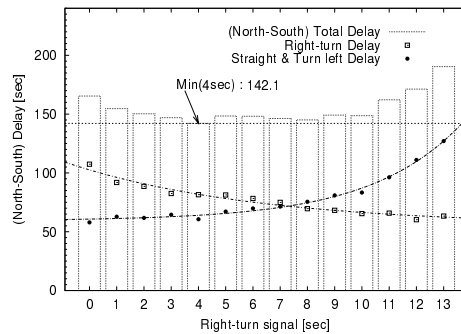


図 7 右折信号時間と総遅れ時間
Fig. 7 Relations between right-turn signal time and total delay

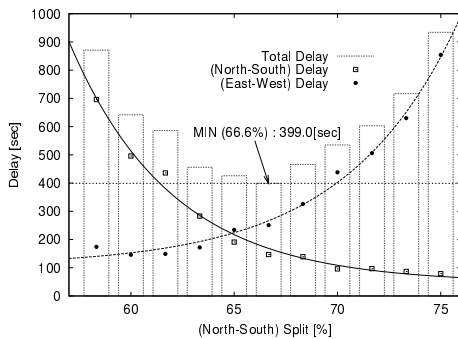


図 6 信号スプリットの変化と総遅れ時間
(車両発生割合: 南北 1000[台/時], 東西 500[台/時])
Fig. 6 Signal split and total delay
(Vehicle generating rate:
North-South 1000[veh/hr], East-West 500[veh/hr])

び到着タイミング等が複雑に絡み合うために計算で求めることが困難である。そのため、専門技術者による現場調整作業で最適時間を決定する方法が一般に行われてきている。また右折交通量の変動が大きい交差点では右折感応制御を実施して右折専用現示の最適化を行っている。先述の分析で送れ時間を最小とするシミュレーション結果が一般的理論値に合致することが確認されたので、右折専用現示の最適時間をシミュレーションで求めた。その結果は図 7 に示すとおり、右折専用現示に 4 秒を配分することで遅れ時間を最小にできることが分かる。

この様にシミュレーションを用いることで、専門技術者の経験や勘にたよることなく比較的容易に右折専用現示の最適時間を求めることが可能である。

5. おわりに

本稿では信号交差点での交通をモデル化し、微視的道路交通シミュレータ MITRAM によって再現した。車両の挙動を決定する運転動作モデルは交差点付近の

交通要因を分離して、それらを考慮した運転動作を運転者の視点で個別にモデル化した。これにより、複雑な判断を必要とする信号交差点での運転動作を見通し良く構築でき、拡張や調整が容易な汎用性を持たせることができた。そして、車両単独での挙動、近傍車両間での挙動、統計的特性に関するシミュレーションでは実交通との比較により、構築したモデルの妥当性を示す結果が得られた。さらに信号制御設計のなかでも解析的に最適解を求めるのが難しく、専門技術者の経験や勘を必要としていた右折専用現示の時間設定に関して、本シミュレータを用いて最適値を導くことが可能であることを示した。以上のことから、MITRAM は渋滞の原因と密接な関係にある信号交差点の交通を詳細な交通環境も反映したシミュレーションが可能であると言える。そして、実交通における信号制御等の設計に有効に利用できるシミュレータであることも実証できた。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 猪飼 國夫, 石川 亮, 本多 中二, 板倉 直明: 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などのシミュレーションと渋滞解析, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol.42, No.SIG14(TOM5), pp90-97(2001)
- 3) 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)