

知的マルチエージェント交通流シミュレータにおける 協調行動モデルの構築と検証

人間環境学専攻 2007年3月修了
56788 関 計哉
指導教員 吉村 忍 教授

Computer simulation as the substitution of experiment can demonstrate its advantage in respect of cost and time restriction in a field of traffic phenomena where a lot of elements crosswire. In the multi-agent based simulation of the past, agent's cooperation is rarely considered though an individual agent has autonomy. The present study aims at improving the reproduce ability of reality by adding car agent's cooperative behavior to the framework of intelligent multi-agent based traffic simulator being developed in our laboratory.

Key Words : Cooperative Behavior, Multi-Agent Model, Traffic Simulator, Intelligent Agent

1. はじめに

近年交通量の増加によって、都市部の交通渋滞が激しくなっているが、この問題に対し、抜本的かつ効果的な対処はなされていない。渋滞の経済活動や環境への影響を考えると、この問題の解決は急務となっている。

多くの要素が複雑に絡み合う交通分野において、実験の代替としてのシミュレーションはその利点を最大限に発揮できると考えられる。なぜなら交通分野において実験を行うことは、コストや時間的制約・安全性の面から、非現実的であり、計算機による数値実験では、このような制約から逃れることが比較的容易だからである。近年ではITSの導入も本格化しており、その有効性の分析など、道路交通シミュレータの重要性も増すと考えられる。

我々が交通流シミュレータに求める要件として以下のことが挙げられる。

- ・ 動的な状況変化に応じた運転を再現
- ・ 動的な経路探索を再現
- ・ 車の多様性の確保
- ・ 適用領域の汎用性
- ・ 詳細なモデル化（現実との整合性）
- ・ 交通情報の利用による効果の評価

従来のマルチエージェント交通流シミュレータにおいて、上記の要件の初めの4つを満たすものは存在しているが、「詳細なモデル化」と「交通情報の利用による効果の評価」についてはまだ発展途上にあるといつてよい。

また、このような従来のシミュレーションモデルにおいて、個々のエージェントは自律性を持っているものの、エージェント同士の協調が考慮されておらず、実際の車線変更時にみられるような協調行動を厳密な意味で再現しているモデルは少ない。しかし、現実の道路交通をモデル化し、シミュレーションする上でエージェント同士の協調行動は考慮されるべき重要な事象である。つまり協調行動の再現は現実的で詳細なモデル化を目指す上でなくてはならないものであると考えられる。

2. 目的

知的マルチエージェント交通流シミュレータのフレームワークに自動車エージェント同士の協調行動を追加し、シミュレーションモデルをより精緻化し、現実の再現性を高める。また、シミュレーションを現実社会に適用し、協調行動モデルの効果を検証することを本研究の目的とする。

3. 手法

3.1 知的マルチエージェントモデル

車の運転手は周囲の車、道路等の環境からセンサによって情報を取得し、何らかの行動を起こす。それゆえに交通とは全体を構成する個々のエージェントの動きが全体に影響し、それがさらに個々の動きに影響を与えるという複雑系現象として捉えられる。

本研究では、情報を知覚しそれを基にして自律的に行動を起こす主体を「知的エージェント」、またそれを取り巻く世界を「環境」と定義し、マル

チエージェント技法をフレームワークとしたマイクロモデル交通流シミュレータの簡単なモデルを構築した(Fig.1)。ここで知的エージェントは自動車であり、環境は道路にあたる。

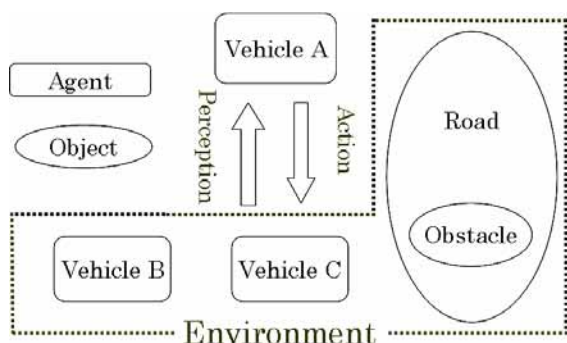


Fig.1 Definition of Agent and Environment

本研究では特に微視的な車両挙動の再現に重きを置いて、エージェントを設計している。自動車の自律運転を達成するために我々がエージェントに与えるべき知識・能力は多数挙げられるが、まずは協調行動の導入に際して最低限必要と思われるものを優先して考えた。

3.1.1 環境の定義

本研究での環境とは道路構造とそれに含まれる情報である。本研究での協調行動は、合流レーンにおける合流挙動に焦点を当てて導入するため、道路構造は本線二車線に合流車線を加えた道路を用いることとする。なお、自動車は仮想走行レーンと呼ばれる予定軌道上を走行するものとしている。

3.1.2 知的エージェントの定義

本研究では特に微視的な車両挙動の再現に重きを置いて、エージェントを設計している。我々は仮想走行レーンモデルを採用しているため、通常走行時の操舵についてはエージェントに定義を行う必要はない。自律運転を達成するために我々がエージェントに与えるべき知識・能力は多数挙げられるが、実地域に適用するために最低限必要と思われるものを優先して考えたものを以下に挙げる。

- ・ 交通規則に関する知識
- ・ 速度決定ルール
- ・ 車線変更の判断・実行ルール

速度決定ルールと車線変更の判断ルールについては、最適速度(OV)モデル¹⁾を用いた追従走行理論を採用している。

OVモデルは車両の挙動を、先行車両との相対距離に応じた最適(安全)距離への調整と考え、ある車両の位置を式(1)で表す。

$$\frac{d^2x_n(t)}{dt^2} = \alpha \left\{ V_{opt}(\Delta x_n(t)) - \frac{dx_n(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

ここで $x_n(t)$ は n 番目の車の位置、 x は前方の車との車頭距離である。また、 α は感応度(sensitivity)と呼ばれ、速度差に対してどれくらい鋭敏に応答するかを与える。車頭距離によって運転を制御する情報としてOV関数 $V_{opt}(x)$ というものを導入した。本研究では、追従実験を行った文献²⁾によって得られた以下の方程式を用いて最適速度関数を表す。

$$V_{opt}(\Delta x) = \frac{V_{max}}{2} \left\{ \tanh\left(2 \frac{\Delta x - d}{w}\right) + c \right\} \quad (2)$$

V_{max} は最高速度、 $d=25.0\text{m}$ 、 $w=23.3\text{m}$ 、 $c=0.913$ である。この式により、車両の走行挙動を現実に近い形で再現することが可能となった。

3.2 協調行動の実装

協調行動の定義にはいくつかあるが、本研究における定義は、「エージェントが個々の利益追求行動を制限することで、集団での共通の利益保持を可能にすること」とする^{3),4)}。

この定義での協調行動をマルチエージェント型のシミュレーション上で考える際、エージェント個々の利益と、複数から構成されるエージェント集団全体の利益とが非線形なものであるため、どのようにマッピングを行うかが最も重要な問題となる。また、交通流シミュレーションの場合、エージェントの数が膨大となるため、全てのエージェントに対して利益を考慮させて動かすことは、計算負荷の面からも好ましくない。これらの点を考慮してモデルを構築しなくてはならない。

そこで、本研究では、RoboCupサッカーのシミュレーションにおける協調の手段の一つとして用いられている協調グラフ(Coordination Graphs)^{5),6)}を参考にし、交通分野に適応したモデルにすることでエージェント間の協調を図る。

3.2.1 協調グラフ(Coordination Graphs)

エージェント同士が協調行動を行う場合、近くに他のエージェントの小さな集まりと協調しなければいけないことが多い。この小さな集合の効用を、エージェント同士の局所的な線状のつながりに分解し、依存関係を引き出す。そしてつながりのあるエージェントのみの協調を考えることで局所空間での効用を最大化する。

3.2.2 導入方法

協調グラフを交通流シミュレータにおけるエージェントに導入した際の過程を以下に示す。

調行動が必要となる状況が発生する。

ある程度の範囲のエージェントにそれぞれ役割を設定する。

役割を設定したエージェントの置かれた状態をそれぞれ定義する。

協調グラフの範囲を絞り、状況の場合分けする。

エージェントの行動の種類を設定する。

エージェントの行動パターンごとの効用関数を定義する。

効用最大となる行動パターンを選択し、各エージェントが行動に移す。

上記の手順による協調行動の実行をシミュレーション1ステップごとに繰り返す。これにより、協調する範囲も挙動によって変化することが可能になっている。

協調グラフをマルチエージェントモデルに適用することによる利点は次の通りである。

- ・ 局所的な協調に焦点を当てることで無駄な計算を省くことができる
- ・ 新たなルールや法則を追加しやすい
- ・ 環境の変化に対応できる（動的な環境に適している）

4 . モデルの検証

4.1 対象領域と入力データ

自動車の交通において、協調行動が最も顕著に表れると考えられる「合流部」で検証を行う。対象領域は首都高速都心環状線内回り神田橋入口の合流部とし、平成12年11月2日でのシミュレーションを行った。合流部の直近上下流地点で収集された車両感知器データによって、合流前後の5分間交通量、5分間通過平均速度が得られている⁷⁾。

これらの情報を元に、5分間ごとに本線走行車線、本線追越車線、合流車線の各端点における車両発生データを作成した。

各端点において、実測およびシミュレーションの時間帯別の流入交通台数、流入速度の平均の比較を行ったところ、各端点とも定量的にも誤差率が10%未満となり、よく一致した結果となった。これにより、シミュレーションと実測の流出データを比較するのに十分な再現性が取れていることが確認できた。

4.2 再現性の検証

シミュレーションにおける流出交通量、流出速度の出力データと、実環境における車両感知器データを比較し、シミュレーションの再現性の検証を行う。また、シミュレータに協調行動モデルを入れた場合と入れなかった場合での出力データの比較も行い、協調行動モデルの感度解析を行う。

さらに、交通量、速度といったマクロな比較だけでなく、車両一台に注目し、その車両の旅行軌跡を追うことで、協調行動モデルの有無によりどのような挙動の違いが生まれるかを観察し、ミクロな面からの再現性の検証を行った。

4.2.1 マクロ指標での検証

協調行動モデルを入れた場合、入れなかった場合、実測の3つのパターンにおいて、走行車線での流出交通量をFig.2、追越車線での流出交通量をFig.3に、流出車両の平均速度をFig.4に示す。

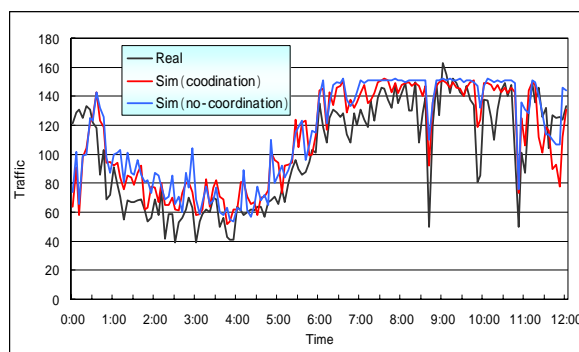


Fig.2 Comparison simulation with real by car volume at driving lane

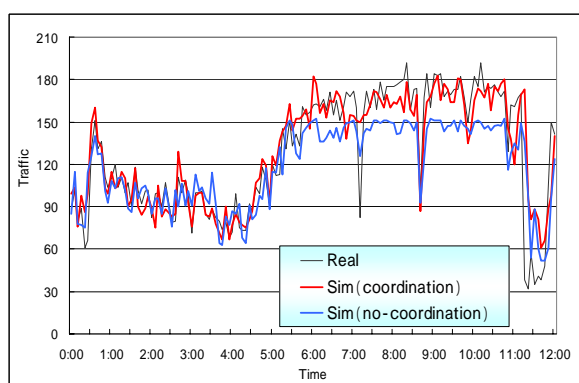


Fig.3 Comparison simulation with real by car volume at passing lane

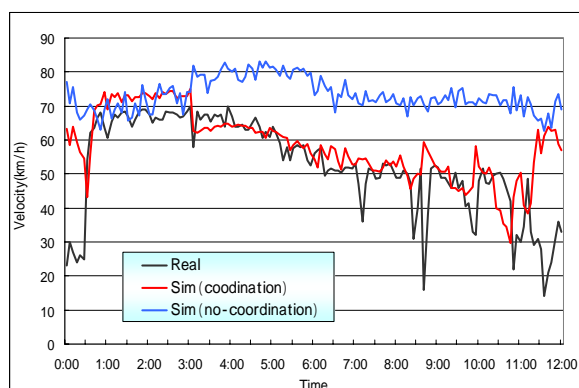


Fig.4 Comparison simulation with real by average of cars' velocity

4.2.2 考察

交通量、速度ともに、午前は協調行動モデルの効果が大きく、実測値にかなり近い値を示している。しかし、昼の12時前後と夕方から深夜の時間帯は実測値と離れた値を示しており、特に午後における速度の誤差率はモデルの有無に関わらず80%と非常に高くなっている。このことは、シミュレーションの適用領域に起因する。

本研究では、流入データだけを入れた適用領域の範囲内だけのシミュレーションをしている。よって、適用領域より先の区間での渋滞は考慮していない。適用領域である首都高速神田橋入口は、16時台から深夜にかけて先詰まり渋滞を生じる区間である。つまり、先詰まりの渋滞は再現することができず、流入値だけが正確な値になるため、交通量が減り、結果的に流出速度が上昇するということになる。そのため、先詰まり渋滞が発生する時間帯は、シミュレーションの再現性が低くなる。また、11時台に見られる交通量の低下は、文献⁷⁾によると適用領域の約5km先の車両故障による渋滞が伝播したもので、先詰まり渋滞と同じと考えられる。

この先詰まり渋滞の時間を除外して、シミュレーションの再現性を確認すると、1時から8時での流出速度の誤差率は7.9%となっており、高い再現性が得られている。

今後、先詰まりの渋滞も含めることができるような大規模なシミュレーションを行うことで、協調行動モデルを入れることによる効果が期待できると思われる。

4.2.3 ミクロ指標での検証

合流部において、協調行動モデルを入れた合流車両が本線へ合流する挙動の位置の軌跡を、ステップごとにプロットした (Fig.5)。協調行動が発生することにより、合流車線長の範囲での車線変更を行う車両が多くなることが分かった。一方、協調行動モデルを入れない場合では、合流車線長の終わりでの車線変更が多く見られた。

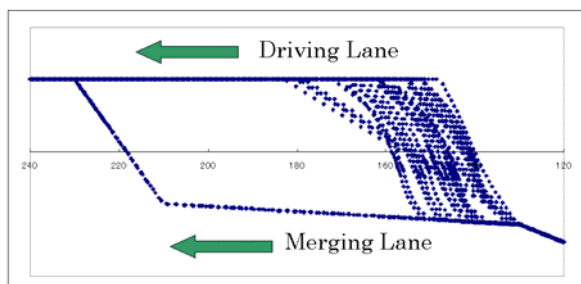


Fig.5 Movement locus of merging vehicles

これにより、協調行動モデルを導入することで、エージェントの挙動に及ぼす影響を定性的に確認することができた。モデル導入時の挙動の様子をFig.6に示す。

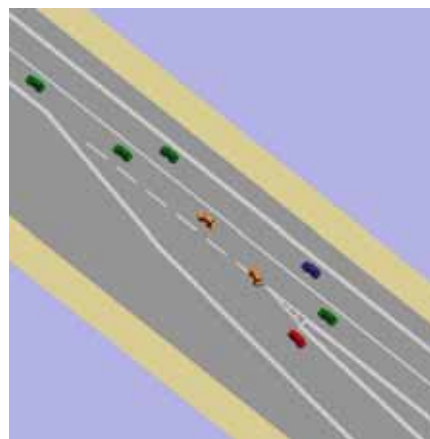


Fig.6 Behavior in the confluence road

5 . 結論

本研究では、知的マルチエージェント交通流シミュレータのフレームワークに、協調グラフの手法を用いたエージェント間の協調行動を促すモデルを構築した後、実地域においてシミュレーションを行うことでモデルの検証を行った。

シミュレータの領域内で再現されている交通流に関しては、協調行動モデルを導入したシミュレーションにおいて、エージェントの挙動の精緻化が実現できたといえる。

本研究では、実地域の適用領域の範囲外での渋滞の影響により、協調行動モデルの検証が行えなかった部分があったため、今後の課題として、適用領域を拡大して大規模なシミュレーションを行い、協調行動モデルによる効果をさらに検証することが求められる。

文献

- 1) M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, Y. Sugiyama : Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation, *Physical Review E*, **51**, 1035-1042, (1995)
- 2) 只木進一 : 高速道路交通流の実測データと二車線模型, *応用数理*, **12-2**, 119-127, (2002)
- 3) 大内, 山本, 川村 : マルチエージェントシステムの基礎と応用, コロナ社, (2002)
- 4) 橋田浩一 : マルチエージェントと協調計算, *日本ソフトウェア科学会 MACC 94*, (1995)
- 5) C.Guestrin, S.Venkataraman, D.Koller: Context Specific Multiagent Coordination and Planning with factored MDPs, *AAAI Spring Symposium*, (2002)
- 6) Jelle R.Kok, Matthijs T.J.Spaan, Nikos Vlassis: Non-communicative multi-robot coordination in dynamic environments, *Robotics and Autonomous Systems*, **50**, 99-114, (2005)
- 7) (社)交通工学研究会 : 「交通容量データブック 2006」, 丸善, (2006)