

マルチエージェントシミュレーションによる 車両挙動と車々間通信特性のモデリングと評価

愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科

中村 慎吾 井手口 哲夫 田 学軍 奥田 隆史

1 はじめに

ITS(Intelligent Transport Systems)は、情報通信技術を用いて、人、道路及び車両に関する情報を結び、それらを一体として構築するシステムであり、その目的は大きく分けて安全、環境、快適・利便の3つに分けられ、快適・利便の面では既にVICSやETC等が実用化されている^[1]。安全運転支援システムは、車両から直接見ることでできない範囲の交通情報を、路上に設置された機器と車載器間で通信を行う「路車間通信」及び、車載器間で通信を行う「車々間通信」の活用が期待されている。このような路車間通信や車々間通信を用いた安全運転支援システムでは、移動環境における確実な情報伝達が重要となり、様々な道路環境下においてどの程度通信が可能であるか予測するためには、フィールド実験に加えて、計算機によるシミュレーションが費用や再現性の面で優れていると考えられている。

道路交通環境下における通信特性を再現するアプローチとして通信系シミュレータを利用した手法がとられている^[2]。しかしほとんどの通信系シミュレータではITSを対象システムに入れずに設計されているため、移動体モデルが提供されないなどの問題があり、その機能を拡張しなくてはITSの通信システムシミュレーションを効率的に行うことができない。また、機能拡張の方法が研究者ごとによって異なるため、同一のシミュレータを用いた評価結果であっても直接比較することができないなどの問題が存在する。

本論文では、車々間通信特性を再現するため、「車両制御」、「通信評価」という二つの行動規則を持つエージェントを定義し、マルチエージェントシミュレータ上に実装することで、特定道路環境上での車々間通信特性を再現することを目的とする。

2 モデル要件

ITSに用いられる通信のシミュレータでは評価対象の運転支援システムの目的によって多少の差は存在するが共通して求められる機能がある。安全運転支援システムに用いられる通信の特徴としては、

- (1) 送受信者が高速に移動する
- (2) 比較的狭域において多数の送受信者が存在する
- (3) 通信環境(道路環境)が複雑である

などを挙げることができる。

(1)、(2)においては特に大型の交差点などを対象とした支援システムである場合、特定の送受信車両の周囲に多数のノードが存在し、かつ通信の干渉エリアに高速で出入りしていることが考えられるためであり、(3)では、車両がおかれている周囲の道路の構造によって通信の干渉エリアに存在する車両台数が変化することが考えられるためである。

したがって運転支援評価シミュレータで必要とされる

機能として、以下の項目が挙げられる。

- I. 車両の初期速度を任意に変更可能であり、車両の速度が周辺環境によって可変的である
- II. 車両台数を任意に設定でき、渋滞時などの高トラフィック時における通信特性が再現できる
- III. 評価を行う道路構造を任意に設定することが可能である

また、既存の通信シミュレータを拡張する方法では1回のシミュレーションに膨大な時間が要するという問題がある。運転支援システムの評価を行う際には様々なケースでのシミュレーションを行う必要があるとされ、可能な限り短時間で車々間通信品質の解析・評価が可能な形でのモデル化を行う。

3 モデリング

3.1 車両挙動モデル

前章をふまえて以下のようにモデリングを行う。

- ① IVC エージェント: 車両挙動の制御と通信評価を行う。周囲のIVCエージェントと通信を試みるだけでなく、衝突回避を行いながら移動する。
- ② Objectポイント: 道路構造を構成する要素であり、車両制御を行う上での局所的な行動目的を示す。

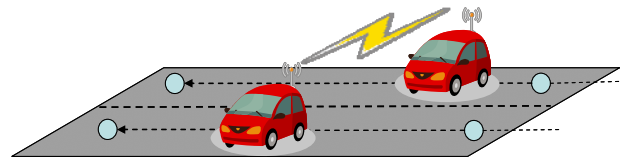


図1:モデル概要

IVC エージェントは生成されてから目的地までの経路をObjectポイントの順番で記憶する。Objectポイントに「一時停止」、「徐行」といった属性を持たせ、これらの組み合わせによって交差点や一時停止規則付T字路などの道路パターンを生成することを考える。

表1: ポイントにおける行動規則例

ポイント種別	ドライバーの行動
直進	前方車両との衝突回避
一時停止	安全に停止できる距離から減速し、停止
条件付一時停止	周辺車両との位置関係によって一時停止するかを決定
速度制限地点 (減速地点)	安全な速度以下での走行

車両挙動における主要な制御パラメータとして、車両速度が挙げられ、その制御には Treiber らの提唱する IDM (Intelligent Driver Model)^[3]を用いることにした。

IDM とは追従走行時における加速度の制御モデルであり、次式によって定義される。

$$\frac{dv_i(t)}{dt} = a \left\{ 1 - \left(\frac{v_i(t)}{v_{\max}} \right)^4 - \left(\frac{\sigma}{\Delta x_i(t)} \right)^2 \right\} \quad \dots (1)$$

$$\sigma = \Delta x_{\min} + \left\{ v_i(t)T + \frac{v_i(t)(v_{i+1}(t) - v_i(t))}{2\sqrt{ab}} \right\} \quad \dots (2)$$

式(1)の σ は必要とされる車間距離であり、式(2)で定義される。 Δx_{\min} は先行車と自車両との安全とされる車間距離で、 T は安全とされる最小車間時間である。 $v_{i+1}(t)$ は先行車両の速度 $v_i(t)$ は自車両の速度で、 a と b はそれぞれ最大加速度と最大減速度である。

このモデルでは先行車がいる場合は自車両の速度が先行車の速度に近づくときに加速度はある値から 0 まで減少する。また、先行車との車間距離 $\Delta x_i(t)$ が σ に近づくとき加速度は 0 に減少する。

3.2 通信特性モデル

通信を用いた安全運転支援システムをシミュレートするには個々のドライバーの運転行動、交通流、通信の互いに影響しあう 3 つの動作を同時にシミュレートしなければならないため、計算量が問題となる。そこで、本モデルでは車々間通信サービスの通信方式である、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) の理論モデルである p-persistent モデル^[4]を用いることで計算量の削減を試みる。具体的には p-persistent モデルによって、式(3)によって定義される特定パケットの平均送信成功率に基づいて、「送受信車両に対しキャリアセンスが働く範囲下の CSMA/CA 通信特性」の再現を行う。

$$P_a = \pi_0 P'_s + (1 - \pi_0) P_s \quad \dots (3)$$

式(3)において P'_s とは Busy Period の最初の TP (Transmission Period) において、送信が成功する確率であり、 P_s とは Busy Period の 2 回目以降の TP において送信が成功する確率であり、 π_0 とは TP 中にパケットが到着しない確率である。

車々間通信においてはブロードキャスト通信により不特定多数の車両に情報を配信することが想定されているため、送信車両の送信エリア内に存在する全ての車両に対し、個別に通信の成否を判定することにした。

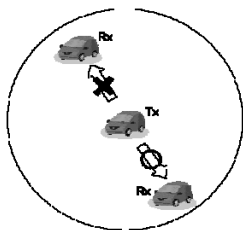


図 2: 通信判定

4 評価

4.1 シミュレーション概要

シミュレーションを行う道路環境として、200m 四方の空間に丁字型の合流地点が 2 箇所ある道路を構築した。

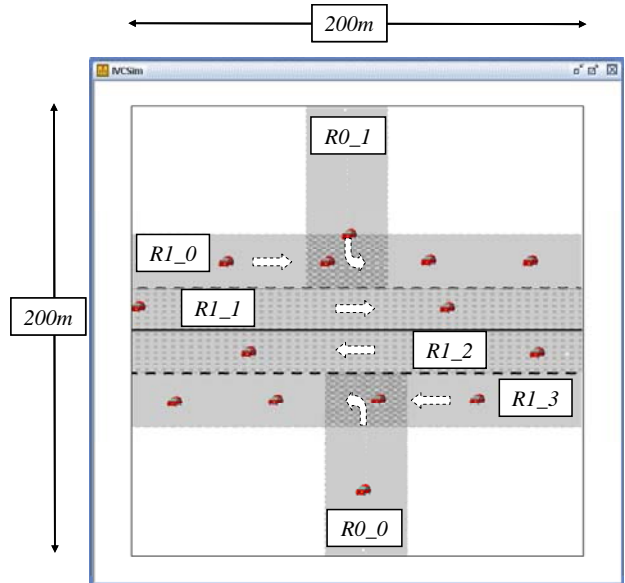


図 3: シミュレーション道路環境

該当エリアにおいて、車両の流入量を変化させ、エリア内での到達率を求める。ここで、到達率とは次式によって定義される。

$$\text{到達率} = \text{送信成功回数} / \text{総送信判定回数} \quad \dots (4)$$

通信パラメータとして、送信されるデータのサイズを可変パラメータとし、送信周期を 100 ms、送信範囲を半径 100m に設定し、伝搬遅延については考慮しないものとした。車両の流量については、混雑が発生していない場合としてエリア内車両台数が 10 台前後の時と、やや混雑が発生している 25 台前後の二つの場合を想定する。シミュレーションの終了条件として、該当エリア内での送信判定回数が 10 万回行われた時点とし、シミュレーション回数 10 回の平均をとった。

表 2: シミュレーション通信環境

項目	値
通信規格	無線 LAN, IEEE802.11 p
通信範囲	200m
送信周期	100msec
送信データサイズ	50~1500byte
シミュレーションエリア	200 m ²
エリア内道路環境	片側 2 車線の幹線道路に対し、生活道路が T 字型で交わる地点(図 3)
交通量	15 台前後, 25 台前後
制限速度	40km/h

4.2 シミュレーション結果

結果より、送信されるデータサイズが大きくなるにつれて到達率が減少する傾向にあり、車両台数が多い場合にその影響が大きいということが確認できる。

車々間通信では周期的に位置や速度などのデータが送信されることになっている。そのため、データ送信期間が長くなる、あるいは通信参加者が多くなるにしたがって通信路の飽和度が高まり、データの送信成功率が低下する傾向がある。作成したモデルにおけるシミュレーション結果は、このような車々間通信の特性を反映しているとおもわれる。

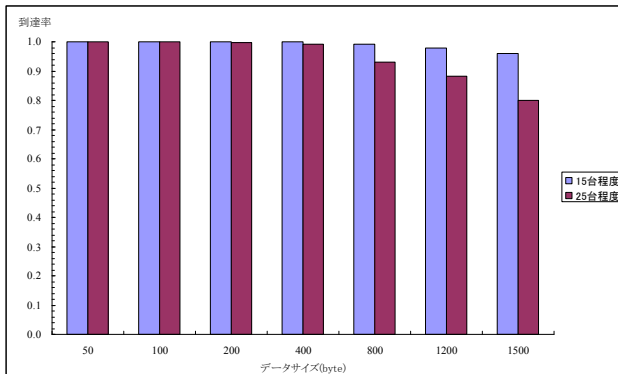


図4：シミュレーション結果

また、シミュレーション終了時に生成される通信ログを用いて個別車両ごとの通信品質についても考慮することが可能となっているため、通信範囲を変化させた際の個別車両における通信品質について、エリア内の車両台数が25台程度、送信データサイズ1500byte、制限速度40km/hとし、通信範囲が100mと200mの2つのケースでシミュレーションを行った。

評価には送信周期1周期分での総送信対象者数、送信失敗対象者数、総受信対象者数、受信失敗対象者数の平均値、分散値、最頻値を用いた。

表3：個別車両における通信品質評価

A: 通信範囲 100m

	Ave	Var	Mode
Send Total	15.770	12.488	18
Send Miss	1.299	1.746	0
Receive Total	15.768	12.485	18
Receive Miss	1.299	1.745	0

B: 通信範囲 200m

	Ave	Var	Mode
Send Total	24.311	2.136	24
Send Miss	8.471	8.289	9
Receive Total	24.314	2.140	24
Receive Miss	8.473	8.289	9

結果より同一送信周期、送信データサイズでの通信であっても通信範囲を絞り込むことで通信品質の改善を行うことが可能であることが考えられる。

通信範囲200m時における送信失敗対象者数の分散値の高さは通信が不安定であることを表し、通信範囲100m時における総送信対象者数の分散値が高くなっているのは、

交差点中央の車両密度が高い箇所に向かうにつれて送信対象者が増加するためとみられる。

5 まとめと今後の課題

本稿では交通流、ならびに通信特性を再現するための道路構造並びに車両挙動制御モデル、通信モデルをエージェントベースでのモデル化を行った。また、作成したモデルをマルチエージェントシミュレータ上に実装し、車々間通信の特性が再現されていることを確認した。

今後はシミュレーション可能な道路環境の拡張、並びに車両台数の増加、安全運転支援システムの評価シミュレータとして、本シミュレータを用いた安全運転支援システムの評価、シミュレータのインターフェース面の充実などを行うとともに、複数のマルチエージェントシミュレータを同期させて使用することで、より広域を対象とした車々間通信特性のシミュレーション環境の実現も考えていきたい。

参考文献

- [1] 総務省: ITS 無線システムの高度化に関する研究会報告書 (2009-6)
- [2] 機械システム振興協会: 安全運転支援システムの通信系シミュレータに関するフィージビリティスタディ (2009-3)
- [3] Martin Treiber, Ansgar Hennecke, and Dirk Helbing. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. Phys. Rev. E 62, 1805–1824
- [4] 今井悟史, 宇式 一雅, 川崎 健, 藤野 信次: 車々間通信サービスにおける通信品質の解析—通信特性のモデル化—, 情報処理学会 ITS 研究会, 2008-11-7, pp.85–92
- [5] 中村慎吾, 井手口哲夫, 田学軍, 奥田隆史: 車々間通信における通信とアプリケーションの整合性評価ツールの提案, 平成 21 年度電気関係学会東海支部連合大会, 愛知工業大学 (2009-9)
- [6] ※予定: 中村慎吾, 井手口哲夫, 田学軍, 奥田隆史, 車々間通信を利用した運転支援システムの評価シミュレータの構築, 創立 50 周年記念全国大会第 72 回全国大会, 東京大学 (2010-3)