

# 安全運転支援システム評価のための マルチエージェント交通流シミュレーション Multi-agent-based Traffic Simulation for Evaluation of Driver Safety Support System

藤井 秀樹\*<sup>1</sup>  
Hideki Fujii

吉村 忍\*<sup>2</sup>  
Shinobu Yoshimura

\*<sup>1</sup> \*<sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
School of Engineering, The University of Tokyo

Vehicular safety systems using ITS technologies have been proposed for supporting driver's cognition and reducing traffic accidents. To test the effectiveness of the proposed systems by simulation, the coordination of multiple simulators such as a radio propagation simulator, a network simulator, and a traffic simulator is needed. This paper describes the overview of ITS integrated simulator and improvement of the microscopic traffic simulator considering driver's error of visual cognition.

## 1. 緒言

### 1.1 安全運転支援システム

交通分野における情報通信技術の進歩はめざましく、自動車を取り巻く環境は急速に変化している。特に GPS (Global Positioning System) を利用したカーナビゲーションシステムや ETC (Electronic Toll Collection) の普及が顕著である。これら高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) は、さらに高度な自動車交通社会の実現を目指し、安全運転の支援、自動走行の支援、道路・車両や物流の管理等のための車車間通信や路車間通信の実用化が進められている。特に安全運転支援および事故予防の分野では研究が活発に行われ、わが国でも実証実験による有効性の検証が行われている。

交通事故を類型別に分析すると、追突事故が 31%、出会い頭事故が 26% と、この 2 種類で交通事故全体の半数以上を占めており [ITARDA 05]、さらに追突事故の当事者のうち 77% [ITARDA 03]、出会い頭事故の当事者のうち 79% [ITARDA 05] に運転手の認知過程のエラーが関与していることが分かっている。

これに対し、ITS の高度化により自動車が運転者の認知エラーをカバーすることは技術的には可能であり、このような機能を持つ先進安全自動車 (Advanced Safety Vehicle: ASV) による交通事故の予防が期待されている。

ASV が備える安全運転支援システムは自動車同士が行う無線通信 (車車間通信) を前提とする。これには非常に高い信頼性が要求される一方、送受信点が移動体であること、周囲の建造物や走行中の他車両により見通し (Line Of Sight: LOS) が遮られる可能性があること、自動車の移動によって状況が刻々と変化することなど、無線通信にとって好ましい環境とは言えない。このような中で安全運転支援システムが実用に耐えうる通信性能を発揮するかどうか実証実験によって調査するには多大なコスト、時間、労力が必要であり、実験の代替あるいは実験の前段階としてのシミュレーションが有効となる。

安全運転支援システムを評価するシミュレーションについて、それを構成する個々の交通流シミュレータ、電波伝搬シミュレータ、通信シミュレータ等は数多く存在するが、自動車が走行して

いる実環境に近い状態での電波伝搬・通信の評価を行うためにはそれらを統合したシミュレータを整備する必要がある。加えて、安全運転支援技術の有効性を議論するためには、システムによって運転者が何をどのように認知・判断し行動するか、あるいは自動車がどのように運転者の認知・判断を支援し、それに従って運転者が事故を回避するためにどのように行動できたかという点について評価できることが望ましい。そのためには、個々のドライバの行動を認知・判断のレベルから扱えるシミュレーション環境が求められる。

### 1.2 本研究の目的

上記を踏まえ、安全運転支援システムを評価可能なシミュレータとして、交通流シミュレータ、電波伝搬シミュレータ、通信シミュレータ、安全運転支援アプリケーション、およびドライバの認知・判断・行動モデル (ドライバモデル) の全てを統合してシミュレーションを行える環境の構築を目指す。本論文では、そのうち交通流シミュレータとドライバの認知・判断・行動モデルについて紹介し、その適用例として建造物による視界の遮蔽を考慮したシミュレーションを実施する。

## 2. ITS 統合シミュレーション環境

安全運転支援システム評価のためのシミュレーション環境を整備するため、交通流シミュレータ、電波伝搬シミュレータ、通信シミュレータ、安全運転支援のアプリケーションシミュレータ、ドライバモデルの統合を行う。上記のモデル、シミュレータが統合されたシミュレーション環境 (図 1) を ITS 統合シミュレーション環境と呼ぶ。

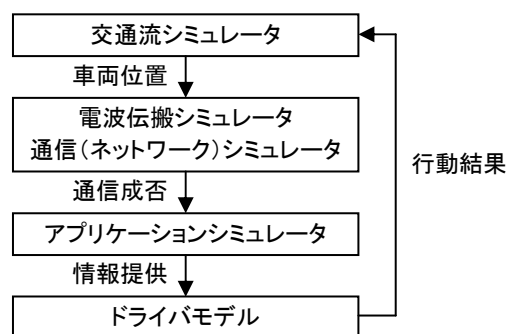


図 1 ITS 統合シミュレーション環境

ここで、交通流シミュレータは、ドライバーの行動を反映して車両の動きをシミュレートする。

電波伝搬シミュレータは、車両の位置を送受信アンテナの位置として受け取り、電波の伝搬について計算する。その際、建物による遮蔽や電波の回折などを計算するモデルや、これまで蓄積されてきた統計情報に基づいて電波の伝搬損失を理論式より算出するモデルなどが用いられる。

通信シミュレータは、各種通信プロトコルの動作や、通信の衝突回避、再送処理、電波の干渉による信号の損失など、通信に関するシミュレーションを行う。

これらの通信結果に基づき、安全運転支援のアプリケーションが動作し、運転者への情報提供を行う。

ドライバモデルは、通信によって得られた情報と自身の認知している視界からの情報をもとに行動を決定する。

ITS 統合シミュレーション環境では、この一連のプロセスに沿って、それぞれのシミュレータが計算を行うこととなる。

先行研究[Hikita 08]ではプラットフォーム上でデータベースの読み書きを介した統合シミュレーションが実現されているが、プログラム同士を直接リンクした ITS 統合シミュレーション環境が構築されると、全体の計算が高速化され、より大規模な問題への適用が可能となると期待される。

前章に述べた通り、本論文ではこのうちのドライバモデルと交通流シミュレータを対象とするが、ITS 統合シミュレーション環境に組み込まれることを前提として実装を行う。

本研究で用いるドライバモデルおよび交通流シミュレータとして必要な機能として以下を挙げる。

- ・ 複雑な交通流を再現可能であること
- ・ 様々な道路交通条件でシミュレーション可能であること
- ・ 実際の運転行動(認知・判断・操作)を模擬できること
- ・ ドライバの運転行動の誤りに起因する交通事故を再現できること
- ・ 外部のアプリケーションと連携可能であること

ここでは、著者らが開発中である知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES (Multi-Agent-Based Traffic and Environment Simulator)[吉村 04, 藤井 06, 吉村 09, 小橋 10]をベースに、新たなドライバモデルを追加実装することによって上記機能を実現するものとする。

### 3. モデルの実装

#### 3.1 ドライバモデルの作成

ドライバーの認知機構を詳細に扱うため、UDM (Universal Driver Model)[古川 09]の概念の一部を利用した新たなモデルを MATES に実装した。

自動車を運転する行為は、認知、判断・予測、操作・行動という3つのフェーズに大別され、運転中は認知→判断・予測→操作・行動→認知→判断・予測→…というループが絶えず繰り返されている。この3フェーズのうちいずれか(あるいは複数)が適切に行われなかった場合に交通事故が起こる可能性が生まれる。これをエラーと呼び、フェーズに合わせて認知エラー、判断エラー、操作エラーなどと分類される。

UDM では運転の3フェーズを明確にモデル化した上で、認知フェーズと判断フェーズの橋渡しの際に「外部世界モデル」を構築し、外部環境の情報を一旦外部世界モデルに蓄えるものとしている。図2にUDMの基本アーキテクチャを示す。

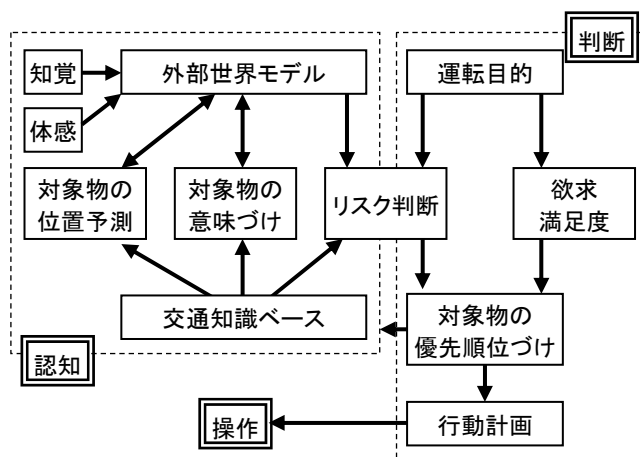


図2 UDM (Universal Driver Model) の基本アーキテクチャ

UDM における認知エラーとは外部環境の情報を外部世界モデルに反映させる際に発生するコピーエラーとして表現され、判断エラーは外部世界モデルを参照する際の精度の悪さによって表現される。

参考文献[古川 09]ではエラーは確率的に発生するとされているが、本論文では、見通し計算アルゴリズムの結果から与えられるものとした(図3)。安全運転支援システムとは、目視によって認知できない対象物を通信によって認知できるようにすることで事故の発生を抑制するシステムであり、見通し、通信の成否とも自車両と認知対象となる車両および遮蔽物としての建造物や他車両の位置関係をもとに物理的な計算によって一意に定められるためである。

#### 3.2 見通し計算アルゴリズム

既報[藤井 09]では画像処理モデルを提案したが、本論文では計算時間および他のアプリケーションとの連携を考慮し、ある2つのオブジェクトを結ぶ線分と障害物としての壁面との交点が存在するか計算することによって見通しの成否を判定するアルゴリズムを採用した。ITS 統合シミュレーション環境では、2つの車両がお互いを視認可能かどうかだけでなく、電波が反射や回折することなく到達可能かどうか判定するためにも利用できる。

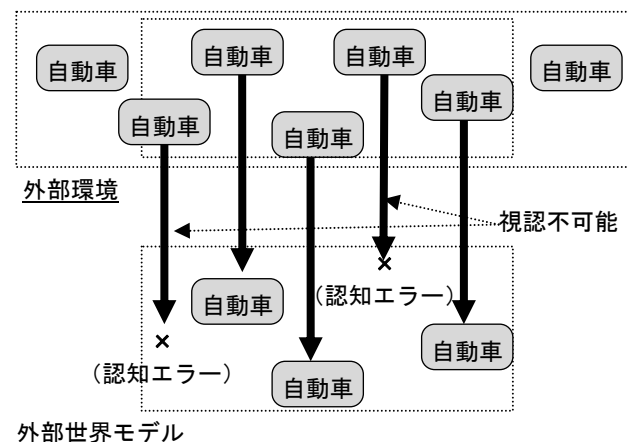


図3 本研究における外部世界モデルと認知エラー

本研究における見通し計算には、木村らが作成したライブラリを利用した。本ライブラリは壁面が鉛直であると仮定し、四分木によって車両や建物のオブジェクトを管理することで使用メモリ量と計算量の双方の削減を図るものである[JARI 10]。

なお、分割されたあるノードから別のノードに車両が移動する場合には木構造を辿って再配置する必要があり、計算コストがやや大きくなる。そのため、ライブラリには建造物を管理する静的な四分木と車両を管理する動的な四分木の 2 つが用意されている。前者はシミュレーション開始時に作成し、後者は各ステップにおいて毎回更新するものとした。

### 3.3 見通し計算とドライバモデルとの関係

見通し計算の結果は交差点付近の車両の認知に影響する。

車両が交差点に進入する際、同じく交差点に接近する車両を認知し、衝突を避ける必要がある。認知すべき車両 1 台 1 台についての見通し計算の判定結果を受け取り、見通しが成立しない車両は外部世界モデルにコピーしないものとした(図 4)。

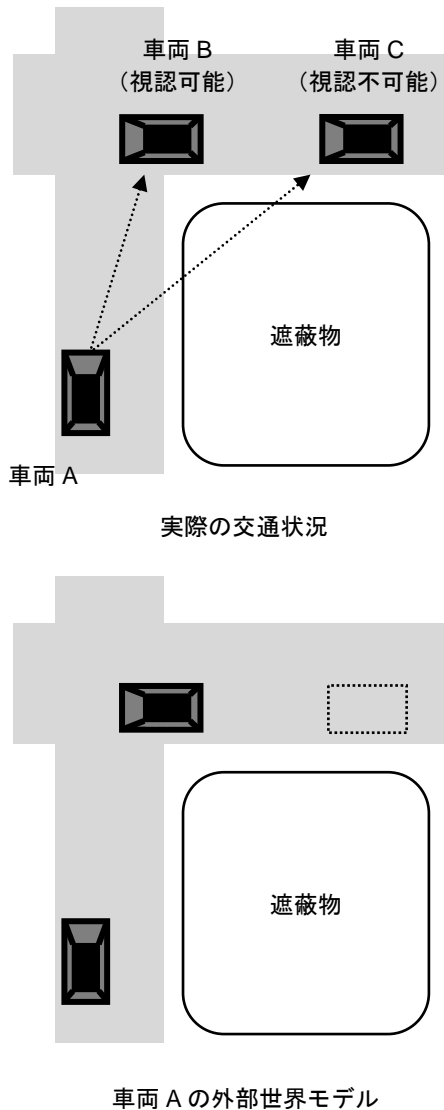


図 4 見通し計算結果を参照した外部世界モデル

ドライバは構築された外部世界モデルの情報をもとに次のタイムステップでの加速度、速度、移動量を決定するため、視認不可能な車両の存在が挙動決定に影響を及ぼすことはない。

ただし、現実のドライバは見通しの悪い交差点に進入する際には認知した車両が存在しなくとも危険予測運転を行うはずである。これは本来判断・予測フェーズに分類される機構であり、本論文のモデルには未実装である。

新たなドライバモデルを実装した MATES のシミュレーションフローを図 5 に示す。

### 3.4 シミュレーションの動作確認

モデルの挙動を確認するため、構築したシミュレータを用いて単純な十字路の一角に障害物を置いたシミュレーションを実施した。図 6 にアニメーションのスクリーンショットを示す。

図 6 の右と下の端点から車両が流入するシナリオであり、交差点進入の直前までお互いに認知不可能であるために衝突を回避できない様子を動画によって確認した。同時に、小規模道路領域においては十分な計算速度を達成できることも確認した。

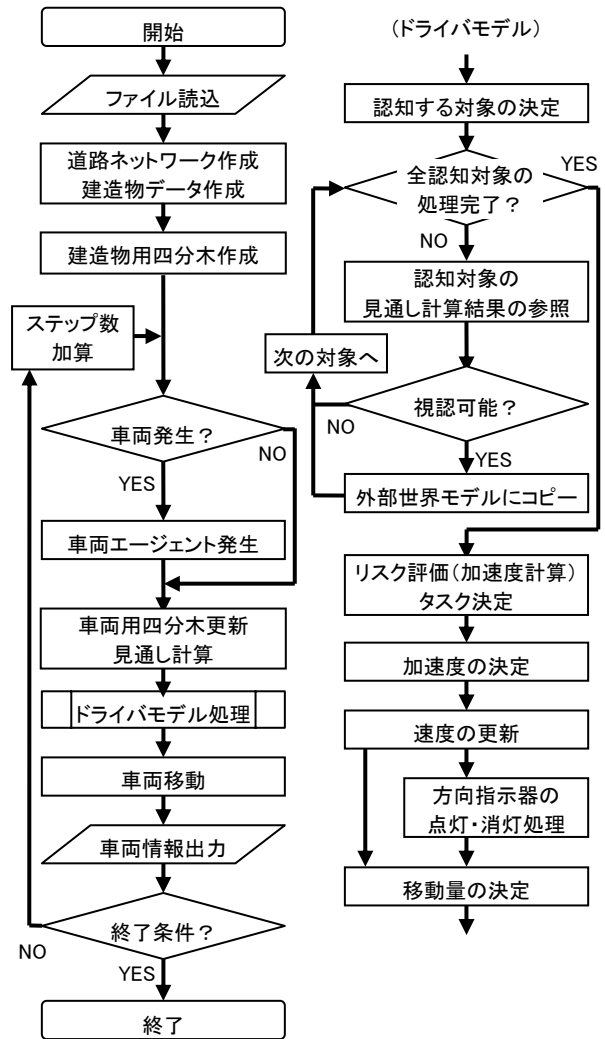


図 5 MATES のシミュレーションフロー

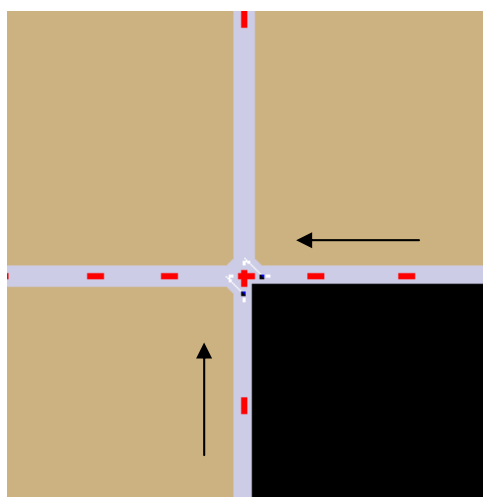


図 6 事故発生の瞬間のスクリーンショット

#### 4. 結言

本論文では、ITS 統合シミュレーション環境の構築に向けて交通流シミュレータの改良を行った。

具体的には、交通流シミュレータ MATES に対し、UDM の概念に基づく運転行動モデルを組み込んだ。その上で、シミュレータ上の道路環境と、視認によりドライバーの中で構築される環境情報(外部世界モデル)に誤り(認知エラー)が生じることで、交通流シミュレータの中で事故が発生する基本的な仕組みを作成した。

3.3 で述べた通り、本研究の認知モデルでは、ドライバーが視認できない対象物はそのドライバーにとって存在していないのと同義である。しかし現実のドライバーは突然の状況変化に備え、対象物の存在を認知する前にあらかじめ危険を回避するような運転を行う。従って認知モデルだけでなく判断モデルについても高度化する必要がある。判断モデルには心理学的な影響あるいは個人の特性が反映されると考えており、これらをどのようにモデルに反映するかが重要となろう。

#### 謝辞

本研究は財団法人日本自動車研究所 ITS 統合シミュレーション環境構築検討委員会の中での議論をもとに遂行した。関係各位に対しここに謝意を表する。

#### 参考文献

- [藤井 06] 藤井秀樹, 仲間豊, 吉村忍: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発(第二報:歩行者エージェントの実装と歩車相互作用の理論・実測値との比較), シミュレーション, Vol.25, No.4, pp.274-280, 2006.
- [藤井 09] 藤井秀樹, 高野悠哉, 吉村忍: マルチエージェント型交通流シミュレーションによる交通事故の再現, Joint Agent Workshop and Symposium 2009, pp.55-62, 2009.
- [古川 09] 古川修, 関馨: 安全運転支援システムの効果評価のための UDM を用いた交通シミュレータの開発, 自動車技術, Vol.63, No.2, pp.104-107, 2009.
- [Hikita 08] Toshiro Hikita, Toshinori Kasai, and Akira Yoshioka: Integrated Simulator Platform for Evaluation of Vehicular Communication Applications, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and SafetyColumbus, pp.323-327, 2008.
- [ITARDA 03] ITARDA (財)交通事故総合分析センター: ITARDA Information, 2003.
- [ITARDA 05] ITARDA (財)交通事故総合分析センター: ITARDA Information, 2005.
- [JARI 10] JARI (財)日本自動車研究所: 安全運転支援システムの統合シミュレータに関するフィージビリティスタディ報告書, 2010
- [小橋 10] 小橋敏浩, 文屋信太郎, 藤井秀樹, 吉村忍: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の並列化, 日本計算工学会論文集, Vol.2010, 20100003, 2010.
- [吉村 04] 吉村忍, 西川紘史, 守安智: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発, シミュレーション, Vol.23, No.4, pp.228-237, 2004.
- [吉村 09] 吉村忍, 関計哉, 藤井秀樹: 高速道路合流部の知的マルチエージェントシミュレーション, 交通工学, Vol.44, No.1, pp.81-90, 2009.