

大規模エージェントベース交通シミュレーション

加藤 整, 山本 学, 水田 秀行

日本アイ・ピー・エム株式会社 東京基礎研究所

概要

大都市圏レベルの交通をミクロレベルでシミュレートすることは、都市の交通施策を評価する上で重要な課題である。我々は、東京基礎研究所が開発した大規模エージェントシミュレーション技術を基に、大規模交通シミュレータを開発した。これにより 100 万台規模の異質な自動車が同時に走行する交通状況のミクロシミュレーションが可能になり、従来、市レベル程度の交通しかシミュレートできなかったミクロ交通シミュレーションを大都市圏レベルまで大規模化することに成功した。本稿では、大規模エージェントベース交通シミュレータのアーキテクチャーとその適用事例について解説する。

Large-scale Agent-based Traffic Simulation

Sei Kato, Gaku Yamamoto, Hideyuki Mizuta

IBM Research, Tokyo Research Laboratory

Abstract

Simulating traffic in a large metropolitan area has significant meaning in evaluating traffic policies of a city. To simulate a metropolitan scale traffic in microscopic, we have developed a large-scale traffic simulator based on the massive agent-based simulation technology. Our simulator has the ability to simulate up to one millions of vehicles, each of which has own driving characteristics. In this paper, we report the architecture of our traffic simulator and its application results to the Kyoto City traffic.

1 はじめに

モータリゼーションは、移動時間の短縮、移動範囲の拡大、輸送サービスの向上といった利便性を現代社会にもたらしたが、他方で、交通渋滞、交通事故、大気汚染、騒音、地球温暖化など様々な社会問題を引き起こしている。このような交通に起因する社会問題を解決するために、道路網の整備、高度道路交通システム (ITS) の導入といったハード施策から、パークアンドライド、ロードプライシング、カーシェアリング、モビリティマネジメントなどに代表されるソフト施策まで様々な交通施策が取り込まれている。このような交通施策が都市全体でどのような影響を及ぼすかをシミュレートすることは、施策を立案、評価する上で、必要不可欠であり、大都市圏レベルの交通をシミュレートできる大規模交通シ

ミュレータへの要求が高まりつつある。

従来このような大規模交通をシミュレートする交通シミュレータとして、微視的スケールと巨視的スケールの中間スケールで粗視化したメゾスコピックシミュレータによる大規模シミュレーションが研究されてきた [11, 8]。このようなメゾスコピックシミュレータは広域道路ネットワークの扱いが可能ではあるが、車両の特性が 20m 単位のブロックで粗視化されてしまうため、車両一台一台が持つ異質性、個性が平均化されてしまい、例えば、運転者毎の動的な経路選択の性質、高齢者、若年者による運転特性などといった運転者の動的な挙動、異質性を表現する上では表現力が乏しい。

一方、計算機処理能力の向上を背景に、車両一台一台を構成要素として扱うミクロ交通シミュレータ、特にエージェント技術を利用したエージェントベー

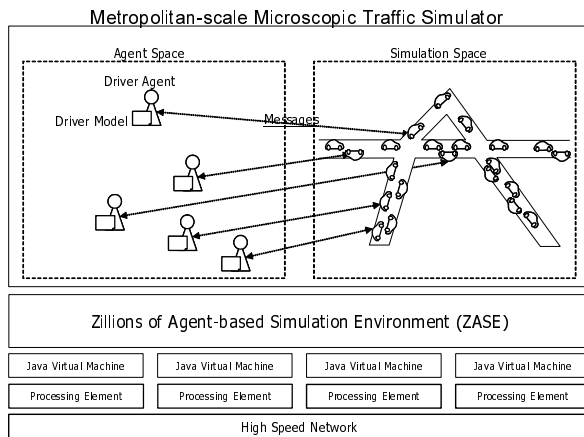


図 1: シミュレータアーキテクチャー .

スのマイクロ交通シミュレータが近年、着目されつつある。現状、これらエージェントベース交通シミュレータで扱える車両台数は高々10万台規模であり、東京、ロンドン、ニューヨークといった大都市圏レベルの交通を微視的にかつ包括的に扱おうとするには規模が不足している。

我々は、このような大都市において、様々な異質な特性を持つ運転者が、それぞれ異なる運転性特性に基づいて経路を動的に選択し、運転挙動を決定する際の交通をシミュレートするための実行環境として、大規模エージェント技術を用いた交通シミュレータを開発した [2]。本稿では、現在開発中の大都市圏レベルのマイクロ交通シミュレータのアーキテクチャーと適用事例を紹介する。

2 シミュレータアーキテクチャー

図 1 に交通シミュレータのアーキテクチャーを示す。我々の交通シミュレータは、日本アイ・ビー・エム東京基礎研究所において開発された大規模エージェントベースシミュレーション (MABS) 実行基盤“ZASE” [7] をシミュレーション実行環境として利用している。ZASE は、数 100 万個以上のエージェントを用いたシミュレーションを行うための基盤であり、エージェント管理、ログ管理、シミュレーションサイクル管理などの機能を提供している。我々の交通シミュレータはこのような MABS 実行基盤を利用することにより、100 万台規模の交通を微視的にシミュレートすることを実現した。

交通シミュレータは各自動車の交通を管理するシミュレーション空間 (図 1 左上) と、エージェントの

挙動を管理するエージェント空間 (図 1 右上) の二つの空間から構成されている。シミュレーション空間では、道路網情報、信号、全ての自動車の各シミュレーションサイクルにおける位置、速度、車間などの交通情報が管理され、時間ステップを更新する度に運転者エージェントに対して送信、受信した判断結果に基づいて次のシミュレーションサイクルにおける各自動車の位置、速度、経路が定まる。

エージェント空間は運転者エージェントの挙動を管理する。各運転者エージェントは自身の挙動を表す運転者モデルをそのロジックとして保持し、シミュレーションサイクルを更新する度にシミュレーション空間から送信された自身の位置、速度、前方の車両との車間、交通信号機の表示などの交通情報を受信、自身の持つロジックである運転者モデルと照らし合わせ、次の速度、選択経路などを返すように設計されている。現時点では、送受信されるメッセージとしては、速度を決定する“NextSpeedMessage”、次のリンクへの進入スピードを決定する“EnterSpeedMessage”、次の経路を選択する“NextRoadMessage”、現在走行中のリンクから出るか、次のリンクに入るかを決定する“ExitRoadMessage”、“EnterRoadMessage”、出発するかを決定する“StartMessage”が用意されている。

これらの空間の間ではインターフェースが規定されており、両者が明確に分離されている。シミュレーション空間から交通情報を得る為のアプリケーションプログラミングインタフェース (API) が提供されており、この API を使用して独自に開発した運転者モデルをインポートすることで、ユーザーは独自の運転者モデルでの交通状況を再現することが可能になる。

3 運転者モデル

これまでのエージェントベース交通シミュレータにおける運転者の速度決定には追従モデルやセルラオートマトンモデルが採用されいた [10, 5, 1]。これらは、微分方程式系もしくは超離散系の数理モデルを含むものであり、エージェントが主体となって能動的に速度を決定するというエージェントベースシミュレーションの精神からすれば、エージェントベースの運転者モデルに置き換わるのが望ましい。

これまで運転行動の個別性の解析に関するいくつかの報告がなされている。小澤らはドライビングシミュレータから観測されたアクセルペダル位置の時系列データを基にケプストラム分析を行い、個人識

別を行うことに成功している [3]. また、田中らはドライビングシミュレータで取得された運転者信号と操作ルールから操作モデルを獲得各被験者の性質の違いを操作ルールと優先順位で表現している [6, 9]. 更に認知科学の観点から運転動作と判断を統合した運転者モデルに関する研究なども報告されている [4].

各々違う個性を持つ運転者が相互に作用する多体系としての交通をシミュレートするには、このような各個人の運転者信号から何らかの運転者モデルを構築されることが望ましい。本研究における運転者モデルでは、前方の車両との車間を基に次の速度を決定し、現時点での位置と目的地の方角から経路を選択する運転者モデルを採用した。速度決定ロジックには、文献 [3] の図 2 におけるデータを参照し、速度と車間距離の分布は第一次近似として、線形に回帰され、個性はその回帰係数の差として現れるとした。

4 解析事例

我々は、ボトルネックが生じる簡単な道路ネットワークと京都市街の道路ネットワークに対して交通シミュレータを適用した。運転者モデルには、3章で述べたモデルを採用し、法定速度のそれぞれ 1.2 倍、1.0 倍、0.8 倍の速度を自らの希望巡航速度とする 3 種類の運転者エージェントを一様にランダムに生成することにより、運転者の多様性を表現している。本章では、これら二つのネットワークにおいてシミュレートした結果を示す。

4.1 ボトルネック道路

図 2 に解析に用いた道路網を示す。ボトルネックが生じる道路網は 3 つのノードと 2 つのリンクから構成され、上流のリンク [0, 990] の法定速度は 60km/h、下流のリンク [990, 1000] の法定速度は、40km/h である。この道路網において、上流側から交通需要 3600 台/h の交通を発生させるとボトルネック区間において渋滞が発生し約 160 秒間で全区間に渋滞が伝播する (図 3)。この後進波の速度は 22.5km/h であり、観測される結果 20km/h と良く一致する。区間 [700, 800] において、各シミュレーションサイクル i で測定した車両密度 ρ_i と交通流量 q_i を図 4 に示す。図において車両密度の低い相においては交通流量が車両密度に比例して増加するものの、車両密度の高い相においては、車両密度が増加するほど、交通流量が減少しており、更に自由流から伸びる直線は 3

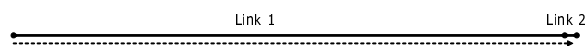


図 2: ボトルネックを生じる道路網。図で点線は各自動車の進行方向を示す。

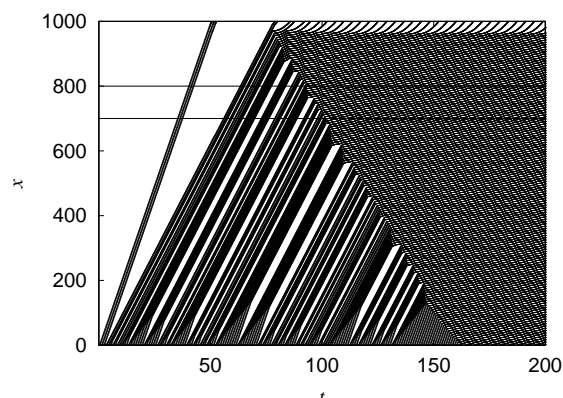


図 3: 車両の時空間プロット。縦軸は車両の位置、横軸は経過時間、細い線は一台の車両の軌跡を示す。車両密度、交通量は実線 $x = 700, 800$ で挟まれた区間にて観測した。

角形の頂点より右上に伸びていることが解る。これは、この系において我々の交通シミュレータは多重安定状態を示す自由流から渋滞流への相転移を表現することが可能であることを示している。ここで臨界車両密度は 0.06[台/m] 程度であり、高速道路での観測値 0.04[台/m][12] と比べると 50%程大きな値を示す。

4.2 京都市街

次に我々は、32,654 本のリンクと 22,782 個のノードから構成される京都市街の道路網に対して、交通シミュレータを適用し、交通状況を解析した。この道路網に対して、シミュレーション開始時刻にそれぞれに独自の起点と終点を持つ 894,802 台の自動車を生成した。計算の時間刻みは 0.1 秒で時刻 0 から 6 秒までの間を計算している。計算には、IBM xSeries 335(プロセッサ: Intel Xeon 2.8GHz, 主記憶容量: 4GB) を使用した。図 5 に解析に用いた道路網と計算開始後 4.1 秒後の自動車の位置を示す。計算に要した時間は 180 秒であり、実時間との比で 3 倍程度の計算時間で計算可能である。

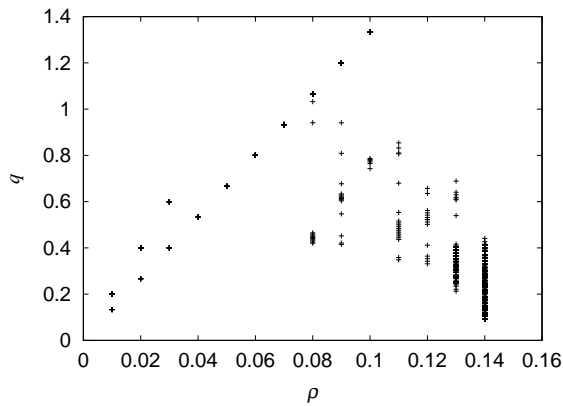


図 4: 各シミュレーションサイクル i における (ρ_i, q_i) の散布図. 縦軸は交通流量 [台/sec], 横軸は車両密度 [台/m] を示す.

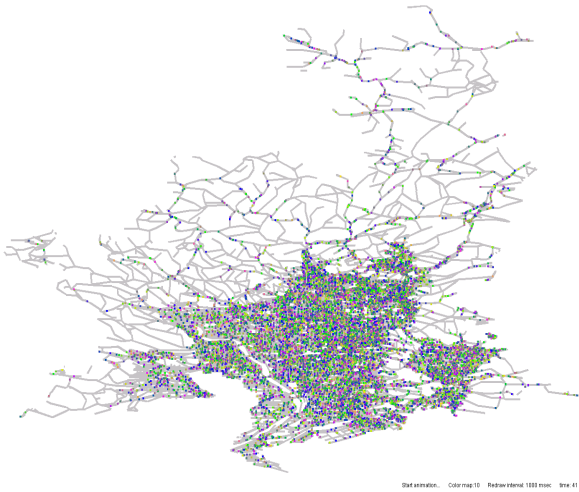


図 5: 京都市街の道路網と各自動車の位置. 異なる色の粒子は各車両の位置を示す.

5 まとめと今後の課題

我々は、大都市圏レベルの交通を微視的にシミュレートする交通シミュレータを開発した。この交通シミュレータの特徴は、同時に 100 万台の異質な自動車が走行する交通状況を微視的にシミュレートすることができる大規模性にある。現在、本交通シミュレータの性能解析、検証、交通シミュレータを用いた渋滞解消施策の検討などが行われており、これら研究結果に関しては別稿にて報告する。

本研究は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の助成により行われた。

参考文献

- [1] <http://transims.tsasa.lanl.gov/>.
- [2] S. Kato, G. Yamamoto, and H. Mizuta. Simulating whole city traffic with hundred millions of driver agents. 2007. (submitted).
- [3] K. Ozawa, T. Wakita, C. Miyajima, K. Itou, and K. Takeda. Modeling of individualities in driving through spectral analysis of behavioral signals. In *International Symposium on Signal Processing and its Applications*, 2005.
- [4] D. Salvucci, E. Boer, and A. Liu. Toward an integrated model of driver behavior in a cognitive architecture. *Transportation Research Record*, Vol. 1779, pp. 9–16, 2001.
- [5] P. M. Simon and K. Nagel. Simplified cellular automaton model for city traffic. *Physicale Review E*, Vol. 58, pp. 1286–1295, 1998.
- [6] Y. Tanaka, Y. Nakajima, H. Hattori, and T. Ishida. A driver modeling methodology for traffic simulation. In *Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents*, 2007.
- [7] G. Yamamoto, H. Tai, and H. Mizuta. A platform for massive agent-based simulation and its evaluation. In *Proceedings of the Sixth Intl. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2006.
- [8] 玉本学也, 堀口良太, 桑原雅夫. 交通シミュレーション sound の大規模ネットワークへの適用. 土木計画学研究発表会, 2004.
- [9] 田中祐介, 中島悠, 石田亨. 仮説推論を用いた運転者モデルの学習. 人工知能学会, 2007.
- [10] 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. 3, 2004.
- [11] 飯島護久, 福本大輔, 桑原雅夫. 首都圏ネットワークにおける動的シミュレーションの適用可能性. 日本道路会議, 2007.
- [12] 杉山雄規. 交通流の物理. *ながれ*, Vol. 22, pp. 95–108, 2003.