

# ネットワーク交通のシミュレーション

伊藤伸泰<sup>1,2,3</sup>, 稲岡創<sup>2,3</sup>, 今井哲郎<sup>2,3</sup>, 内種岳詞<sup>2,3</sup>, 村瀬洋介<sup>2,3</sup>, 藤井秀樹<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>2</sup> 理化学研究所計算科学研究機構

<sup>3</sup>JST CREST

## 概要

交通シミュレータMATES を改良し都市道路網を念頭においたネットワーク交通の計算機シミュレーションを試みた結果、人口100 万人程度の都市であれば、現在の計算機のCPU 1コアの性能でリアルタイムシミュレーションを行うことができた。さらに領域分割による並列処理も容易で、大都市圏やさらに広域の交通シミュレーションも可能で、必要であれば地球上全体の自動車交通シミュレーションも難しくないと考えられる。一方、地図・信号・起点終点データなどの整備・取得が課題であり、また実データとの同化および最適化の際にはパラメータ空間の大きさが問題となる。これに対し、有機的に関連するこうした諸課題の取り扱いを簡便・確実とするためのシミュレーション実行・管理マネージャOACIS の開発も進めている。OACIS・MATES を使った交通最適化の例として信号網の最適制御を試みた。

## Simulation of network traffic

N. Ito<sup>1,2,3</sup>, H. Inaoka<sup>2,3</sup>, T. Imai<sup>2,3</sup>, T. Uchitane<sup>2,3</sup>, Y. Murase<sup>2,3</sup>, H. Fujii<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

<sup>2</sup>RIKEN Advanced Institute for Computational Science

<sup>3</sup>JST CREST

## Abstract

A traffic simulation software, MATES, is improved to achieve better performance, and network traffic is simulated. Real-time update speed is achieved for a city with million population using a single core of a current CPU. Geometrical parallelization also works and metropolitan or wider area will be feasible. Global scale simulation also be in scope with current supercomputers. On the other hand, major difficulty is how to prepare data of road map, signal control and origin-and-destination, and a mass execution and management software, OACIS, is developed to challenge such difficulty. An optimization of traffic signal network is given as an example using OACIS and MATES.

## 1. はじめに

個々の自動車の動きをモデル化したエージェントに基づく交通の扱いは確立し、現実の交通渋滞の研究は現象論的には深化した。少なからぬ数の走行車のGPSデータを使うなど、交通状況の観測手法も高度化した。

さらに計算機の高性能化とあいまって、交通問題に加えて社会的問題の解決も視野に入れた交通シミュレーション研究が一層重要となっている。特に道路ネットワーク上の交通特性の理解と再現とが必要となる。

最も単純な1レーン直線路を走行した場合の基本図(密度・流量の関係)に象徴されるような非線形特性こそが交通現象の特徴であることから明らかなように、ネットワーク交通の問題は非線形ネットワークの問題として近似されよう。特にネットワーク上の渋滞分布は、多重安定な関係にあり、実現する状態は各自動車の経路選択に依存している。そして経路選択自体、ヒステリシス・個別性があり、結局、普遍的な理解とは程遠いとも考えられる。

そこで現状、現象を良く見て種々の仮説・モデルでの説明を丹念に試みるという科学の基本に忠実に研究を続けることが大切であろう。この観点からも交通シミュレーションの重要性は高まっていると考えている。

これまでも交通状況の可視化やシミュレーションは試みられてきたが、現実のネットワーク交通に関わるパラメータ空間は極めて大きく、また離散的な構造を持っている。例えば、信号制御や事故は典型的な離散事象であり、それだけで事象のツリー構造は幾何級数的に巨大化する。自動車がそれぞれの出発地点から目的地までの経路選択もユニークには決まらない。

こうした状況下で研究の生産性を向上するために、スーパーコンピュータ向きの交通シミュレータおよびシミュレーション実行・管理マネージャーを開発している。

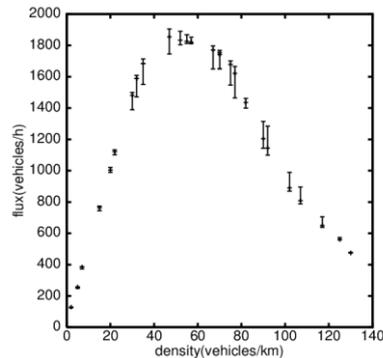


図1: MATESによる交通流の基本図

## 2. 交通シミュレータ MATES

交通シミュレータとして、東京大学工学系研究科吉村研究室で開発が進められているMATES (Multi-Agent based Traffic and Environment Simulator)の高性能化を試みた。MATESはC++言語により構築されており、ワークステーションからスーパーコンピュータまで幅広く実行可能であるが、実行速度と並列化とは未だ発展途上である。各自動車は地図に与えられた走行レーン上を運動し、走行レーンは交差点では進行可能な各方向に分岐させてある。また各自動車は隣接する走行レーンが空いていれば車線を変更することができる。図1にMATESの1レーン交通の基本図を示す。制限速度時速50Km、自動車の長さ5mの場合である。

経路探索およびシミュレーション地図の最適解の結果、Open Street Mapに基づく道路地図を使った神戸市(交差点11,712ヶ所、単路24,259個)の都市交通をCPU1コアで実時間でシミュレートすることができた。シミュレーションのスナップショットを図2に示す。赤い矢印が自動車である。

各自動車は予定した経路を外れるたびにA\*法により経路の再探索を行うため、シミュレーションに要するCPU時間は交通状況により左右され、ネットワーク形状にも大きく影響をうけるが、数万UPS(毎秒数万台の自動車を1ステップ更新する実行速度)である。この性能は本研究以前のMATESでの実行速度に比べて100倍以上の高速化を実現している。

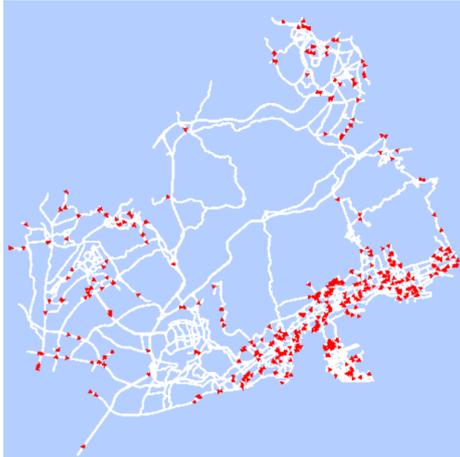


図2:神戸市の交通をシミュレートした例

改良した点は、まず複数車線の道路を走る自動車が車線を変更しようとする際に、スピードを落とすようにした。これにより直前の信号待ち以降に隣接車が完全に並走を続けることにより車線変更に失敗し、経路探索をやり直すことによるオーバーヘッドが軽減された。

さらにシミュレーションの際に必要な諸検索をハッシュアルゴリズムを使って最適化したことも高速化に寄与している。

こうした改善前はA\*探索が計算時間の 93%を占めており、シミュレーションのボトルネックとなっていたが、改善後は30%に抑えられた

曲線路は分岐の無い交差点を仮想して折れ線で近似をするが、自動車交通だけであれば、曲線全体を直線で置き換え、代わりに曲率に応じたゲージ因子を考慮することによって実行速度はさらに向上する。

現状、地図の用意が最も手間を要し時間がかかる部分として残っており、今後、標準的な道路地図データからの自動生成システムの完成度をさらに高めたい。

MATESを地図を領域分割して並列化も試みている。ただし現状では経路探索の並列化は実装していないため、各計算ノードの記憶容量が取り扱えるシミュレーション領域(ネットワークの大きさ・複雑さ)に対する制約となる。

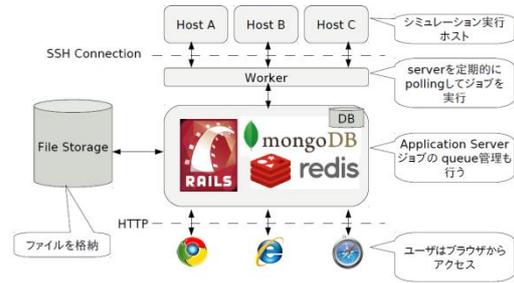


図3:OACISのシステム構成図

### 3. シミュレーション実行・管理マネージャ OACIS

計算機シミュレーションに際しては、モデルのパラメータ空間を探索するために、多数のパラメータ値でのシミュレーションを系統的に繰り返す必要がある。離散的なものも含めて莫大な数のパラメータをもつネットワーク交通シミュレーションでは多様な探索方法自体を競わせることも必要である。こうしたタスクを確実に処理するために、登録したシミュレータを操作する実効・管理システムを開発している。

OACISと名付けられたこのシステムは、どのようなパラメータで実行するかをユーザーあるいはユーザーアプリケーションが指定すれば、利用可能な計算資源にネットワークを介して実行し、実行結果を含めてその記録をデータベースに管理し、多数の実行結果をまとめて解析し可視化する。構成を図3に示す。

OACISはオブジェクト指向スクリプト言語Rubyおよびフレームワーク Ruby on Rails を使って構築されており、データベース部分には mongo DB を使っている。エンジンシミュレーションから社会シミュレーションまで広く活用でき、また手元のワークステーションによるシミュレーション解析からスーパーコンピュータまで対応している。

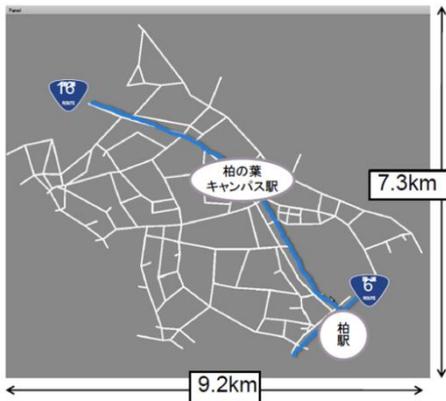


図4: 柏市

#### 4. 例: ネットワーク交通の最適化

MATES+OACISによるネットワーク交通シミュレーションの例として、信号制御の最適化を試みた。図4のような交差点数117ヶ所の千葉県柏市の主要道路上にODを固定した自動車群を仮定し、与えられた信号パターンの下でMATESにより交通をシミュレートし、平均旅行時間を求める。一方、平均旅行時間を最小化するような信号パターンを探す最適化プログラムを遺伝的アルゴリズムによって用意し、遺伝形の示す信号パターンの表現形をOACISを介してMATESを操作させるようにした(図5参照)。

この最適化システムを小規模な計算機クラスターにより試行した結果、11分5秒であった初期値として与えた制御パターンでの平均旅行時間から、10分33秒のパターンを見つけることができ、想定した機能を果たしていることが確認された。

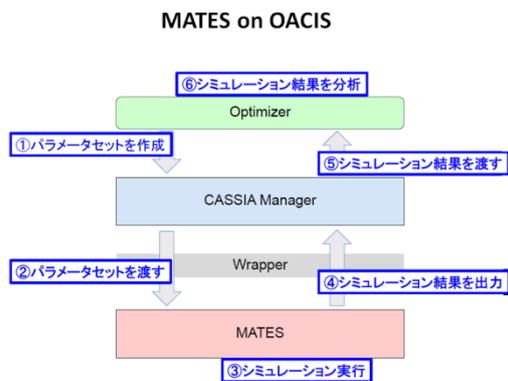


図5: OACISによる最適化システムの構築

#### 5. 今後の課題

以上、交通ネットワークを計算機シミュレーションにより扱うアプリケーション整備の現状を紹介した。現在、標準的なCPUの1コアあたり、毎秒 $10^6$ 台・ステップ程度の性能を期待され、まだ1桁以上の実行速度の向上余地がある。、並列化も容易であろう。次世代のエキサスケールスーパーコンピュータが $10^8$ コア程度となることを考えると、世界中のすべての交通を実時間の $10^3$ 倍の速度でシミュレートすることが可能となろう。

この程度の速度が実現すれば、実際に走行している自動車のGPSデータを実時間で同化し、的確な交通予測・制御が力づくで実現してくると予測される。

あわせて交通ネットワークシミュレーションからは1レール走行より大きなスケールでの交通流モデルの確立も期待したい。これにより、交通に限らず社会システム全体の、実時間での高度な最適化へと途が拓かれると期待される。

一方、その実現に向けては、自動車交通流と歩行者流・鉄道流ほかとの統合が不可欠であり、さらに個人・法人の社会ネットワークのダイナミクスおよび経済活動のエージェントモデル研究も期待される。

こうした科学技術的な進展によりも個人々々から公共まで便益が期待されるようになると、その実現に向けた個人・法人・行政情報の活用を可能とする精密な法整備も不可欠である。現在の情報保護法体系では、技術革新に既に取り残されつつあるとの感も否めない。

いずれにせよ人間とその社会とは、技術革新と共進化し続けるものである。一方、人間とその社会のダイナミクスを一定のパラメータ空間内で議論すると、潜在的な可能性に目を塞ぐこととなりかねない。融通無碍に広がるパラメータ空間で、現状を最適化し続けることこそが真に新しいものを産み出すのであろうが、エキサスケールを迎えるスーパーコンピュータはその実現のための中核技術となるのではないかと。

本研究は、JST CREST CASSIAプロジェクトの助成を受けて行われたものである。