

広域道路交通シミュレータの開発とその応用

Development and Application of Wide-Area Microscopic Traffic Simulator

● 北川英志 ● 池田拓郎 ● 藤田卓志 ● 森松映史

あらまし

地球環境問題への社会全体の取組みの一環として、交通分野における道路渋滞や交通事故の防止、車両からのCO₂排出低減を目指し、様々な交通施策によって交通円滑化を図る試みがなされている。効果の高い交通施策を開発するためには、交通施策の事前評価が不可欠であるが、費用面や安全面から実道路での評価実施が困難であるため、事前評価にはシミュレータが利用されている。交通施策の事前評価は、エリア全体や個々の車両での効果の客観的な評価だけでなく、利用者視点での主観的な評価も重要である。これには広域道路における運転体験が有効だが、膨大な計算をリアルタイムで行う必要があり、従来のシミュレータでは実現できなかった。

著者らは、広域道路において緻密な車両挙動計算を行うミクロ交通シミュレータに運転体験の機能を追加して、これら両方の評価を可能とした広域道路交通シミュレータを開発した。リアルタイムでの広域運転体験機能を実現するために、分散環境において数万台の精密な車両挙動をリアルタイム計算するとともに、ドライバーの操作入力や運転場面の映像生成をリアルタイムで処理する機能を開発した。これらにより、広域交通シミュレータの任意の車両に仮想的に乗車して、シミュレーション対象エリアのどの道路でも運転することを可能にした。また、交通施策例である無停止走行支援サービスの評価に本シミュレータが有効であることを示した。

Abstract

Improving the flow of traffic is becoming increasingly important in preventing traffic congestion and accidents, as well as in reducing automobile-related CO₂ (carbon dioxide) emissions. Various new traffic management measures are being studied to resolve these issues. However, the huge computational complexity involved makes simulating a driving experience in real time over a wide area difficult, though this is necessary for evaluating large-area traffic management measures. We have developed a wide-area traffic simulator featuring a virtual driving experience to evaluate and improve these traffic management measures from both subjective and objective perspectives. The virtual driving experience requires two real-time processes: one is the real-time simulation of tens of thousands of vehicles using parallel computing, and the other is real-time video generation of the traffic situation from the driver's viewpoint according to the driver's operation. We applied real-time synchronization in a parallel computing simulation that considered the interaction between the vehicle driven by the driver and other vehicles. We also added a driving simulation function to a microscopic traffic simulator that we had developed. As a result, the simulator provided a driving experience in a wide-area road network. Finally, our simulator was shown to be effective by evaluating a non-stop driving assistance service which is an example of a traffic management measure.

まえがき

近年、地球環境問題への社会全体の取組みとして、様々な交通施策が提案されている。道路交通の円滑化を行う交通施策は、道路渋滞や交通事故防止、CO₂排出低減を目指し、具体的には、VICS、ETC設置、高速道路料金見直しなどが施行されている。さらに、信号情報の事前通知やロードプライシングなど、ドライバーの行動を変える新しい交通施策が検討されている。

効果の高い交通施策を開発するには、施策の事前評価が不可欠である。交通施策は、適用場所や交通状況によって効果の変化が大きいことから、様々な条件での検証が必要であるが、実道路での事前評価は、費用面や安全面から困難である。このため、仮想環境上で交通状況や運転環境を再現し、交通施策の効果や影響を評価できる交通シミュレータとドライビングシミュレータが使われていた。しかし、従来の交通シミュレータは、エリア全体や個々の車両での効果を客観的に評価できたが、交通施策を利用者視点で主観的に評価することが困難であった。一方、ドライビングシミュレータは、狭い地域での限定的な運転体験を提供するもので、交通施策の全体的な効果を評価するものではなかった。

交通施策の評価においては運転行動の影響が大きいので、広い範囲で現実に近い交通を再現し運転評価を行う必要がある。したがって、交通シミュレータで運転体験しながら交通施策の効果や問題点を正しく評価するには、少なくとも数km四方の市街地道路で、数千～数万台の車両の詳細な挙動をリアルタイムに再現する必要がある。今まで、限られた範囲で運転体験ができる交通シミュレータ⁽¹⁾は存在したが、広域道路では、ドライバーの運転行動、車体の物理運動、車両間の相互作用など、膨大な量の計算が必要となるため、従来の交通シミュレータではリアルタイムに計算ができず、広域での運転体験の実現は困難であった。

本稿では、これまで開発した広域ミクロ交通シミュレータ⁽²⁾、⁽³⁾を拡張し、広域道路で数万台規模の交通状況における運転体験を可能にしたので報告する。

運転体験可能な広域交通シミュレータ

著者らは、これまで開発していた広域ミクロ交通シミュレータを拡張し、広域交通シミュレーションと運転体験の両立を可能にした。これにより、一つのシミュレータで交通施策を様々な側面から評価できるようになった(図-1)。

これらを実現するために、本シミュレータは、大きく二つの機能モジュールから構成され、それぞれで以下に述べる技術開発を行った(図-2)。

(1) 交通シミュレーションモジュール

広域道路の交通状況を生成するため、1台1台の車両挙動を、人間の意思決定を模擬した階層的な車両挙動計算モデルで計算する(図-2①)。また、計算周期や参照範囲を階層的に制御する車両挙動計算フレームワークで、計算量削減を図る(図-2②)。さらに、評価のスケラビリティを確保するため、必要な評価規模に応じて道路領域を分割して複数の計算機に割り当て、同期しながら車両挙動計算を行う並列計算に対応する(図-2③)。

(2) 運転環境模擬モジュール

広域道路での模擬運転環境を提供するため、ハンドルやペダルデバイスで入力されたドライバーの操作を交通シミュレーションモジュールに伝えて車両の相互作用をリアルタイムで計算するとともに、表示部でドライバー視点の映像を生成する(図-2④)。これにより、ドライバー操作と画面表示の同期を図る。表示部では複数のカメラ位置とカメラ方向を設定することができるので、用途に合わせて、ドライバー視点の3画面表示や上空からの俯瞰表示などを利用することができる。

次章以降で個々の開発技術について詳細を述べる。

車両挙動計算モデル

本シミュレータは、滑らかな車両挙動によるリアリティの高い運転体験を提供するため、従来のミクロ交通シミュレーションよりも個々の車両挙動を物理的に精緻に計算する車両挙動計算モデルを用い、車両挙動計算を60 fps (frames per second) の頻度で行う。

車両挙動計算モデルは、ドライバーの意思決定を模擬するドライバーモデルと、車両の物理運動

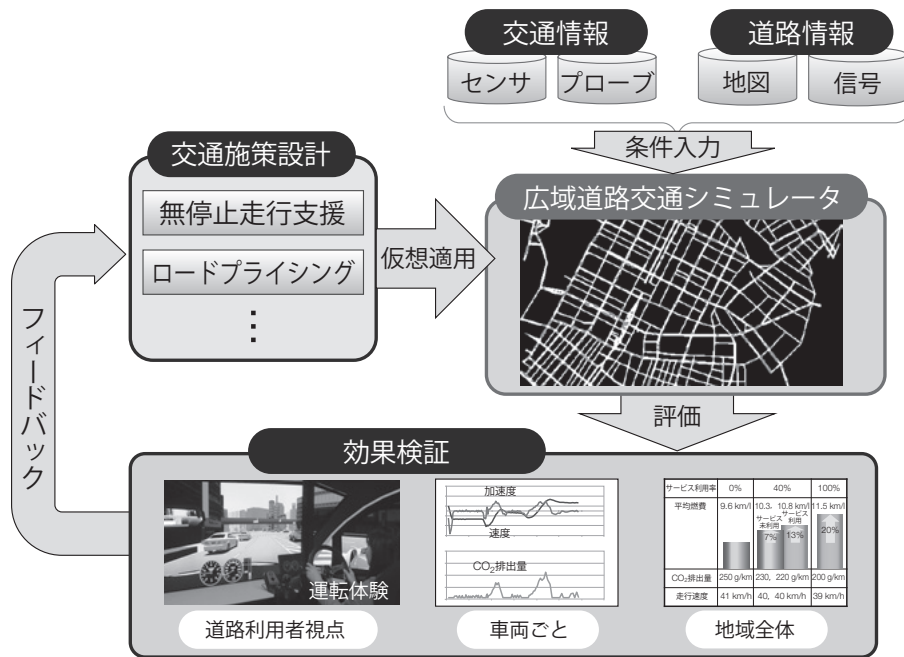


図-1 広域交通シミュレータによる交通施策の効果検証
Fig.1-Evaluation of traffic management measures using wide-area traffic simulator.

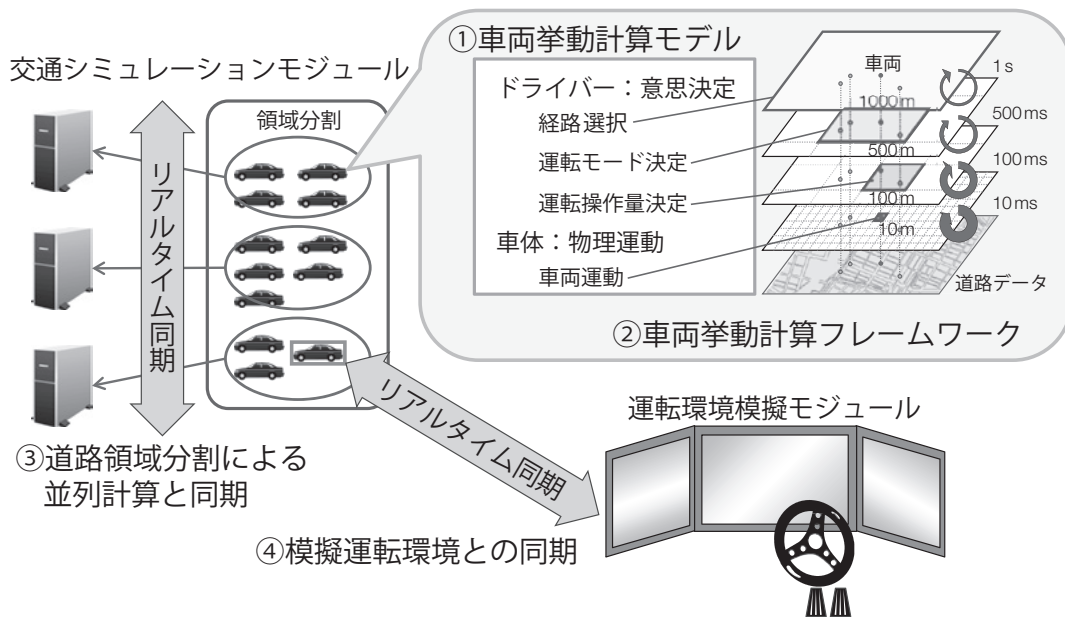


図-2 技術概要
Fig.2-Overview of technologies involved.

を計算する車体モデルから構成される。

ドライバーモデルは、戦略層（経路選択）、戦術層（運転モード決定）、操作層（運転操作量決定）の3層から構成される。経路選択では、車両の目的地と道路状況（混み具合、距離など）を考慮して走行経路を決定する。運転モード決定では、運転

モードごとに用意されるサブモデルが周囲の状況に合わせて行動要求を発生し、それらの中から行動調停によって一つの行動要求を選択する。運転モードには、自由走行、追従走行、信号停止、追突回避、右折時の対向車回避、右左折・カーブでの減速・停止、車線変更などがある。運転操作量

決定では、戦術層で決定された行動要求の目標値に従い、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作量を決定する。

車体モデルは、ドライバーモデルで決定された操作量に従い、車体の物理運動を計算する。ここでは、車体の特性や道路の傾斜などを考慮して、物理的に矛盾のない車両位置（速度、加速度）と向きを計算する。

なお、ドライバーモデルや車体モデルとして、様々な方式・精度のものを利用可能な構成としている。これにより本システムでは、新しいモデルの利用を含め、目的に応じた適切なモデルを利用できる。

計算量の削減とスケーラビリティ確保

前述の車両挙動計算を効率的に行うため、階層的な車両挙動計算フレームワークを開発した。前述したように、車両挙動計算モデルは、ドライバーモデル（3層）と車体モデル（1層）を合わせた4層から構成される。ドライバーモデル内の上位層ほど広い範囲の周辺情報を必要とするが、計算周期は長くてもよい。一方、下位の物理運動計算は、60 fpsの頻度で計算を行うが、狭い範囲の周辺情報で計算できる。階層的な車両挙動計算フレームワークは、階層ごとに適した参照範囲で分割してデータを管理するとともに、階層ごとに適した計算周期で処理を実行する機能を提供する。これらにより、すべての車両挙動計算を一定時間間隔で計算するよりも計算量を削減できる。

また、シミュレーション対象の道路領域を分割することで、複数の計算機による並列計算を実施する。計算機を増やすことで広域、かつ、数万台規模のシミュレーションにスケーラブルに対応できる。

運転体験のためのリアルタイム処理

運転体験の実現には、車両挙動計算の精細化とリアルタイム処理の両立が必要となる。本シミュレータでは、すでに車両挙動計算の精細化を実現しているため^{(2), (3)} 並列計算における車両挙動計算のリアルタイム同期と、模擬運転環境との操作入力・表示におけるリアルタイム同期を行った。

(1) 車両挙動計算のリアルタイム同期

分散環境で並列計算を行う際に、ネットワーク負荷を抑えつつ車両挙動計算のリアルタイム同期をとるため、車体運動の計算周期で各計算機内のリアルタイムクロックと同期をとりながら、計算機間はこれよりも長い時間間隔で同期をとる方式を開発した。

(2) 模擬運転環境とのリアルタイム同期

被験者が交通シミュレータ内の車両を運転できるようにするため、被験者が仮想的に乗り込む車両（以下、被験者車両）が所属する計算機に、模擬運転環境における被験者の操作情報を伝え、車体運動計算を行う。被験者車両も周囲の車両からは通常の車両と同様に観察されるため、被験者車両の挙動は、周囲の車両挙動にも影響を及ぼす。

また、計算された各車両の位置などの情報は、運転環境モジュールの表示部に送出されるが、被験者車両の周辺車両だけを送出対象とする。これにより、表示部で60 fpsの画面描画を実現する。

道路データと街並みデータ

車両の走行経路や位置を決める道路ネットワークデータとして、全国の道路ネットワークが網羅されている市販の道路データを利用可能としている。また、市街地の運転体験のリアリティを向上する街並みデータについても、市販のデータを利用可能としている。シミュレーションに必要なデータを入手しやすくしたため、利用者が希望する地域での交通シミュレーションを素早く実施することができる。

無停止走行支援サービスの評価

本シミュレータを用いた具体的な交通施策の評価例として、無停止走行支援サービスを評価した。このサービスはグリーンウェーブ走行とも呼ばれ、つぎの信号を青信号で通過できる速度（推奨速度）を通知することで信号停止に伴う加減速を制御し、CO₂を削減する。著者らの今までの実験により、比較的単純な構造の道路ネットワークにおいて、ドライバーが推奨速度に的確に従った場合、CO₂排出量の削減効果が高いことが既に分かっている⁽⁴⁾。しかし、現実のドライバーは次々と変化する推奨速度に必ずしも的確に反応できるとは限らないため、

サービスによるCO₂削減効果が変化すると考えられる。今回、新たに開発した運転体験機能によって、サービスに対する被験者の反応を確認した。

実験には、東京の中央通りで、銀座から北へ2 km程度の区間を用いた。上空からの俯瞰画面を図-3 (a) に示す。被験者は運転体験中に指示される推奨速度にできるだけ従うように走行した。実験中の運転体験の様子を図-3 (b) に示す。このとき、推奨速度はメータ付近にHMI (Human Machine Interface) 画面で通知される (図-4)。推奨速度の通知を、交差点手前で行う場合と交差

点を過ぎた地点で行う場合、またHMI画面で推奨速度と現在速度との差分表示を行う場合と行わない場合など、推奨速度の通知タイミングや付加情報の有無を変えて実験を行った。

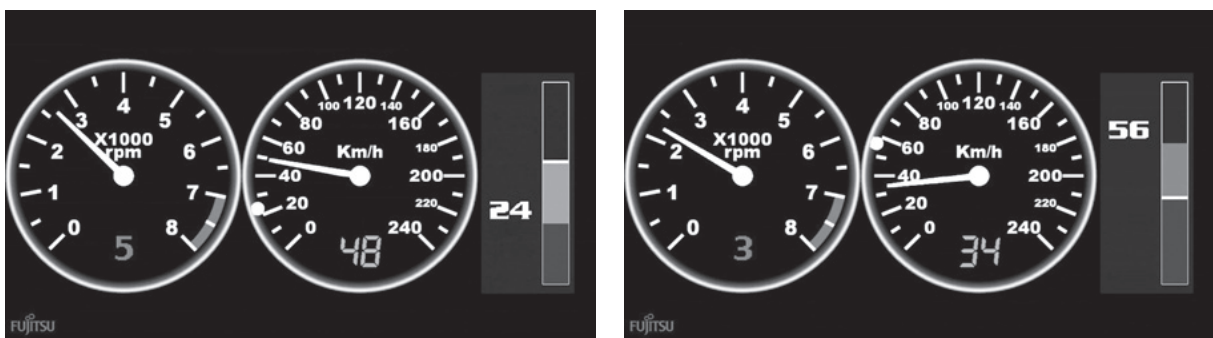
実験の結果、推奨速度の通知方法や通知タイミングによって運転のしやすさが変化することが分かるとともに、通知方法の改善を短期間で行うことができた。また、広域道路で長い距離を走行していると、道路や信号パターンによっては有効な推奨速度が決められない場合があるが、そのような場合の情報提示方法が運転行動に影響を与える



(a) 上空からの俯瞰画面 (丸印が運転体験車両位置)

(b) 運転体験の様子

図-3 運転体験の様子
Fig.3-Driving experience experiment.



(a) 現在の速度 (48 km/h) が推奨速度 (24 km/h) より速い場合の通知画面

(b) 現在の速度 (34 km/h) が推奨速度 (56 km/h) より遅い場合の通知画面

図-4 推奨速度通知のHMI画面
Fig.4-HMI screens of recommended speed notification.

ことも分かった。これらは広域道路の運転体験によって確認された知見であり、無停止走行支援サービスの評価に対して本シミュレータが有効であることを示している。

む す び

本稿では、これまでの広域マイクロ交通シミュレータを拡張して、広域道路で数万台規模の交通状況における運転体験を可能にした広域道路交通シミュレータについて報告した。運転体験に必要な精度の車両挙動を計算するために、精緻な車両挙動計算モデルと分散環境に対応して計算量を削減する階層的な車両挙動計算フレームワークを用意した。また、リアルタイムで運転体験を行うため、分散環境でのリアルタイム同期方式と、模擬運転環境における被験者の操作や運転画面生成をリアルタイムで処理する方式を開発した。これらにより、広域交通シミュレータで模擬される車両の任意の1台に仮想的に乗車して、シミュレーション対象エリアのどの道路でも運転することを可能にした。また、交通施策の評価例として無停止走行支援サービスの評価を行い、本シミュレータが有効であることを示した。

今後は、都道府県や地方規模での広域交通施策の検証への適用を目指し、シミュレーション範囲の広域化を行う。

参考文献

- (1) T. Shiraishi et al. : Development of a Microscopic Traffic Simulation Model for Interactive Traffic Environment. *Proc. of the 11th ITS World Congress*, Nagoya, 2004.
- (2) E. Kitagawa et al. : Development of precise and large-scale traffic simulator for estimating CO2 emission. *Proc. of the 16th ITS World Congress*, Stockholm, 2009.
- (3) 北川英志ほか：大規模交通流シミュレーションのための運転者行動と物理法則を考慮した車両挙動決定分散アーキテクチャの提案. 2008年秋季大会学術講演会前刷集, 名古屋, 自動車技術会, 2008, No.112-08, p.15-18.
- (4) T. Ikeda et al. : Environmental Evaluation of Non-stop Driving Assistance Service by High Spatiotemporal Resolution Traffic Simulator. *Proc. of the 17th ITS World Congress*, Busan, 2010.

著者紹介



北川英志 (きたがわ えいじ)

ソフトウェアシステム研究所ソーシャルソリューション研究部 所属
現在, 交通シミュレーション技術の研究開発に従事。



藤田卓志 (ふじた たくし)

ソフトウェアシステム研究所ソーシャルソリューション研究部 所属
現在, 交通シミュレーション技術, およびその応用技術の研究開発に従事。



池田拓郎 (いけだ たくろう)

ソフトウェアシステム研究所ソーシャルソリューション研究部 所属
現在, 交通シミュレーション技術の研究開発に従事。



森松映史 (もりまつ えいし)

メディア処理システム研究所 所属
現在, 動画処理技術, およびITS分野を中心とした応用システムの研究開発に従事。