

モデルパラメータのオンライン推計のための交通流シミュレーターAPIと

パーティクルフィルタの統合環境について*

Integrated Environment of Traffic Simulator API and Particle Filter for Online Traffic Parameter Estimation *

藤井涼**・中辻隆***

By Ryo FUJII**・Takashi NAKATSUJI***

1. はじめに

現在多くの主要都市において交通渋滞によって多大な時間的損失や環境問題が引き起こされ、深刻な問題となっている。既存の社会基盤を効果的に利用する手法がこれらの問題を解決する手段として有効であると考えられ、その確立が期待されている。これに対し効果的と考えられる解決手段としては、効率的に交通システムの制御を行う高度な交通管理システムが挙げられる。このシステムにおいては、直接観測することが難しい現在及び将来の交通状態、交通需要、各種パラメータを動的に把握する技術が必須である。

現在、これらの直接計測することが困難である交通変量を比較的計測が容易な車両感知器データ等を用いて間接的に推定しようとする手法としてフィードバック推定法が用いられている。この手法の既存研究としては中辻ら¹⁾²⁾による交通需要の動的推定手法としてUnscentedカルマンフィルタに自作のマイクロシミュレーターを組み込み、その推定値を検証することで、有用性を実証している研究などがある。

このように、現在のフィードバック推定法は、自作の交通シミュレーターを組み込むケースしか存在しなかった。しかし自作の交通シミュレーターは再現性の面で、現在使用されている高性能の市販のシミュレーターには遠く及ばない。それにもかかわらず市販のシミュレーターを交通シミュレーターとして使用している例は存在しない。その理由として市販のシミュレーターは動的に制御することが難しいなどの問題点が挙げられる。

*キーワード：情報処理、フィードバック推定法

**正員、日本工営株式会社

(東京都千代田区麹町4-2、TEL:03-3238-8342、

E-mail:a7012@n-koei.co.jp)

***正員、工博、北海道大学工学研究院

(北海道札幌市北区北13条西8丁目 TEL: 011-706-6215、E-mail:naka@eng.hokudai.ac.jp)

よってこの問題点を解決し、このような推定手法に高性能な市販のシミュレーターを適用することができれば、これまでの推定手法を精度・汎用性の面で改善することができると考える。

本研究では、この問題点を解決するために市販の交通シミュレーターのAPI(Application Programming Interface)の適用を試みた。APIは交通シミュレーターに外部アプリケーションとのインターフェース機能を与えるもので、

現在多様化している交通施策、道路条件、交通状況を再現するための強力な拡張ツールである。

最近になり交通シミュレーターAPIは感应制御信号制御システムの構築³⁾やインターチェンジにおける交通状況の再現等へ適用されてきたが、その事例はごく僅かであり、実務レベルには至っていない。

そこで本研究ではフィードバック推定手法であるパーティクルフィルタと市販の交通シミュレーターとしてAimsunを用いて、直接観測することが難しい交通変量である交通流モデルパラメータを推定する新たな統合環境の構築を目的とする。ここで上記した動的制御の問題点をAimsunAPIを適用することで解決することを試みた。

2. 動的パラメータ推定

(1) 動的推定の必要性

交通シミュレーターによる推定結果は中で用いられるパラメータに大きく依存することがある。またそれらのパラメータの中には交通状況によって変化するものもあると予想される。しかし交通の状況を表現する各種パラメータは直接観測することが難しいためリアルタイムで推定していくことが難しい。そこで現在、動的なパラメータ推定手法の確立が期待されている。

(2) ベイズ推定法によるリアルタイム推定

ベイズ推定法とは結果に対する原因の確率を推定す

る手法である。この手法を用いてある状態のリアルタイム推計を行う場合。対象となる状態に依存した新たな観測値 $y(k)$ を得ると、式(1)に従って確率分布の事後分布が更新される。

$$p[\mathbf{x}(k) | \mathbf{Y}(k)] = \frac{p[y(k) | \mathbf{x}(k)]p[\mathbf{x}(k) | \mathbf{Y}(k-1)]}{p[y(k) | \mathbf{Y}(k-1)]} \quad (1)$$

$\mathbf{Y}(k)$: 観測値 $[y(1), y(2) \dots y(k)]$

$\mathbf{x}(k)$: パラメータ

さらにベイズ推定法によるパラメータの推計手法としてよく用いられるカルマンフィルタは正規分布現象しか扱うことができない。しかし現実には発生する現象は正規分布に従わないことも多い。そこで様々な確率分布を扱うことができるパーティクルフィルタを用いれば、推定精度を向上できると期待される。

(3) パーティクルフィルタによるパラメータ推定方法

本研究で用いるフィードバック推定法であるパーティクルフィルタによってパラメータを推定する場合、交通シミュレーター(Aimsun)から得られるデータを観測値の予測値としてパラメータ推定を行う。以下にその推定過程を示す。

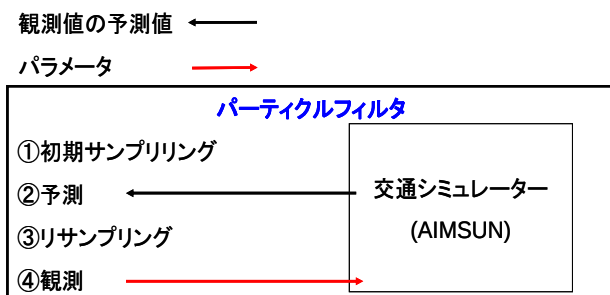


図1 状態推定フロー

(4) 高性能交通シミュレーターの必要性

前記した通り、現在多くの実務の場面で使用されている市販の交通シミュレーターは高性能で、個人が独自に開発したものとは比べると再現性、拡張性、分析対象のバリエーションなどの面ではるかに優れている。しかし動的に制御することが難しいため、これまでパラメータなどの動的推定手法に用いられることはなかった。しかしより正確な推定を行うためにはこのようなシミュレーターのシステムへの組み込みが不可欠であると言える。

3. 推定手法

(1) パーティクルフィルタ

この手法は、ある確率分布をモンテカルロ法によって近似させ、多数の実現値（粒子サンプル）を発生させ、ベイズの発想を基にそれぞれの粒子がモデルに従ってどのように変化するかシミュレートすることによって予

測分布の計算を実現する。

- ①初期サンプリング：ある確率分布に従ったパーティクル（初期サンプル）を発生させる。
- ②予測：各パーティクルについて、ある確率分布に従って前状態から次状態へ変化すると仮定し予測を行う。
- ③リサンプリング：前状態における観測値とシミュレーションから得られた観測値に基づいて、パーティクルを選び直す。この手法はいくつか提案されているが。今回はMultinomial Resamplingを用いることとする。
- ④観測：結果を出力するために(全パーティクルの重みつき平均を次状態として)観測する。

(2) Multinomial Resampling

この手法はシンプルな構造でリサンプリングとしてよく用いられている。その構造は観測値とシミュレーション観測値の差から重みを計算し、それに基づいて古いパーティクルのセットから新しいパーティクルのセットを作り上げていく。

(3) Aimsun

Aimsunはスペインで研究開発され欧州を中心に南米、オセアニアそしてアジアへと普及してきたマイクロシミュレーター環境ツールである。このソフトはアニメーション機能に特化しておりテクスチャマッピング技術を採用し3次元アニメーションにおいては軽快かつリアルな環境を作り出すことができる。今回数多くの導入実績を持ちAPI機能を搭載しているなどの拡張性の広さから本研究でのAimsunの使用を決定した。

(4) AimsunAPI

AimsunAPIは前記した通り、外部アプリケーションとのインターフェース機能を与えることができる、さらにその外部アプリケーションはAimsunがシミュレーションしている間にシミュレーションデータまたはコントロールシステムにアクセスできる。

本研究ではAimsunAPIに外部アプリケーションとしてパラメータ調整、データ取得、反応時間の動的修正のインターフェース機能を組み込むことで、観測データと観測データの予測値の取得、更新結果を任意の時刻で動的にシミュレーションに反映させることを可能にした。

(5) 計算フロー

図2に構築した統合環境の計算フローを示す。この図は、AimsunAPIによって構築したパーティクルフィルタに観測交通量と予測した観測交通量を取り込み、パラメータを調整し、調整後のパラメータをAimsunに与える手順を示したものである。ここで通常フィードバック推定法ではパーティクルフィルタの中に交通シミュレーター

を組み込むが、AimsunAPIの制約上、本研究ではAimsunAPI（交通シミュレーター）の中にパーティクルフィルタを組み込む構造とした。

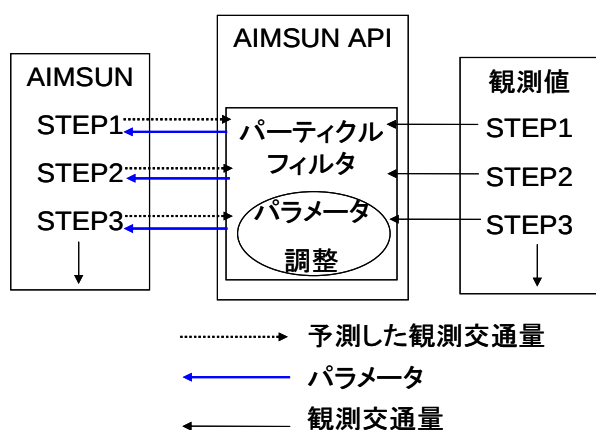


図2 システム外略図

4. 数値解析

(1) 対象パラメータ

今回7個のグローバルパラメータと4個の車両パラメータを持つAimsun交通流モデルパラメータから交通状況に応じて動的に変化し、結果に大きな影響を及ぼすようなパラメータを検証したところ、反応時間が最もこの条件に適合していたため今回は反応時間を推定の対象とするパラメータに決定した。⁴⁾⁵⁾

(2) 対象ネットワーク

本研究では流入リンク中間点に感知器を設けた単独交差点の仮想ネットワーク（図3）を対象として2パターンの分析を行った。

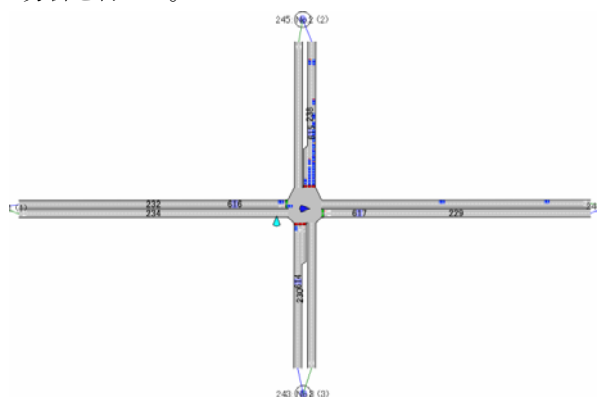


図3 対象仮想ネットワーク

①東西南北の流入リンクの中間に感知器を設け5分間交通量を取得し、同じ間隔でそれぞれのリンクでパラメータとして反応時間を推定し、更新する。交通需要は時間に応じて増加させ、全てのリンクで同じ値を設定する。（図4）

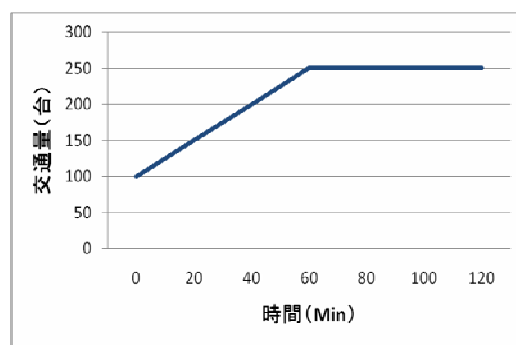


図4 交通需要の変化の推移

②感知器、リンクは①と同じように設定し、交通需要の変化の推移を東西と南北方向で変化させる。以下にその変化の推移を示す。（図5）

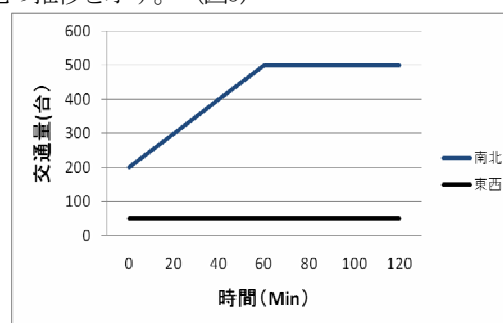


図5 交通需要変化の推移

(3) 観測データ

今回対象としているのが仮想ネットワークであるため実際の観測交通量を得ることができない。よって別の交通シミュレータによって同じネットワークを作成し、同様の手法で観測交通量を取得する。今回は、その交通シミュレータとしてTsis⁷⁾を用いる。

ここでTsisのパラメータはAimsunと同じ値を設定した。ただし一般的に交通量の増加に応じて反応時間は減少していくがTsisでは反応時間を直接変更することができない。よって反応時間と相関関係にあるドライバーの特性を交通量の増加に応じて攻撃的に変化させることで反応時間の変化を表現した。（図6）

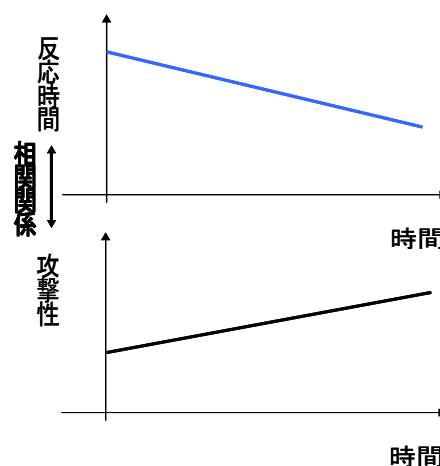


図6 反応時間とドライバー特性

(4) 推定手順

図7に今回の解析で用いた計算手順を示す。今回は確率分布として一様分布から正規分布を近似することとした。

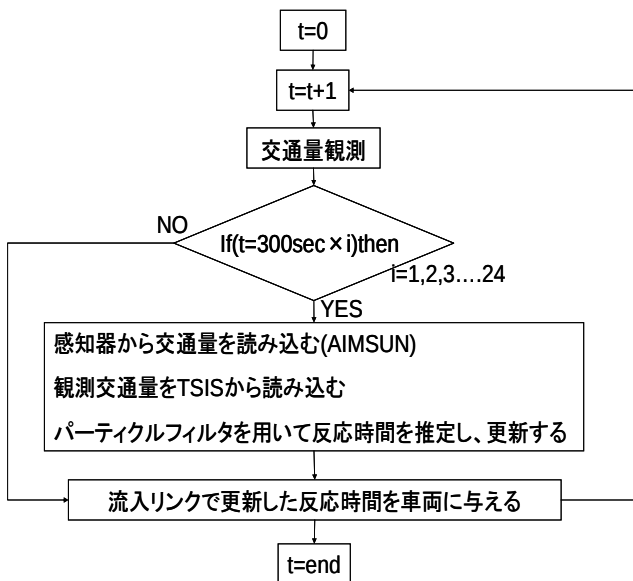


図7 計算手順

(5) 分析結果

以下の図8にパターン①の反応時間更新結果を示す。この結果から交通量が増加し反応時間が減少する観測データに追従して、反応時間が減少傾向にあることが見てとれる。

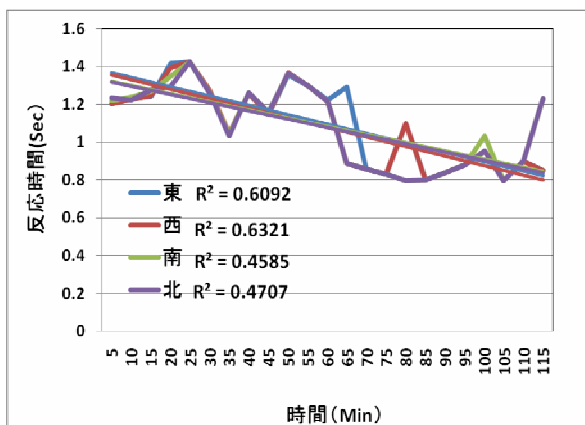


図8 パターン①反応時間更新結果

さらに以下の図9にパターン②の反応時間更新結果を示す。この結果から交通量が増加し反応時間が減少する南北方向の観測データに追従して、南北方向の更新結果は減少傾向を示していることがわかる。さらに交通量が一定で反応時間が一定な東西方向の観測値に追従して東西方向の更新結果は一定に推移していく傾向を示していることが分かる。

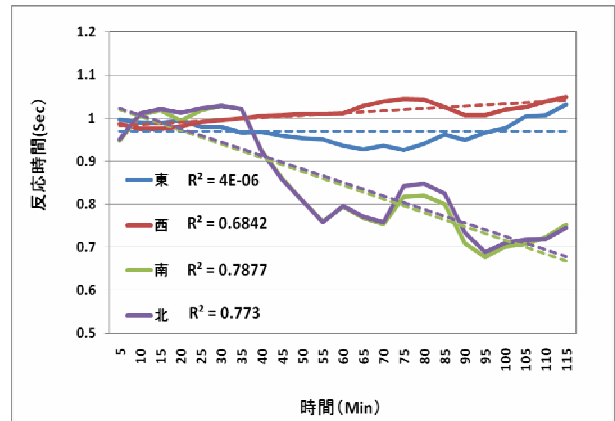


図9 パターン②反応時間更新結果

5. まとめ

結果からAimsunAPIを用いて、市販のシミュレータとパーティクルフィルタを融合した新たな動的パラメータ推定手法を構築し、実際のネットワークへの適用の可能性を示すことができた。

今後の課題として実際のネットワークへの適用、大規模ネットワークへの適用と推定対象として交通需要や交通状態について検討していく必要があると考える。

参考文献

- 1) R. Pueboobpaphan 他: OD交通量のオンライン推定法の新たな展開、土木計画学研究・講演集、Vol. 33、2006 (CD-ROM)
- 2) 近藤竜平他: ミクロ交通流モデルを組み込んだOD交通量の動的推定に関する研究: 土木計画学研究・講演集、Vol. 36、2007 (CD-ROM)
- 3) F.C.Fang, Lily Elefteriadou: Capability-Enhanced Microscopic Simulation With Real-Time Traffic Signal Control, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 9, NO. 4, DECEMBER 2008
- 4) S. Iorkowski, P. Wagner; Parameter Calibration of Traffic Models in Microscopic Online Simulations, Proc. TRB Annual meeting, 2005 (CD-ROM)
- 5) V. Punzo, B. Ciuffo, V. Torrieri; How Parameters of Microscopic Traffic Flow Models Relate to Traffic Dynamics in Simulation: Implications for Model Calibration, Proc. TRB Annual meeting, 2009 (CD-ROM)
- 6) Aimsun User Manual (Ver. 6), TSS
- 7) Tsis User's Manual (Ver. 6), FHWA