

パーティクルフィルタを用いた交通流シミュレーションモデルの オンラインパラメータ推計について

Online Traffic Parameters Estimation for traffic simulation model Based on particle Filter

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 藤井涼 (Fujii Ryo)

北海道大学大学院工学研究科 正員 中辻隆 (Nakatsuji Takashi)

1. 背景

現代社会において自動車交通は経済活動や日常生活を支える重要な役割を担っている。しかしその弊害である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、多くの主要都市において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。これに対する効果的と考えられる解決手段としては、効率的に交通運営と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。高度な交通管理システムとは、既存のシステムと ETC や VICS などの ITS 技術との連携・融合をはかることによって実現する。効率的に交通運営と交通システムの制御を行う高度な交通管理システム ATMS (Advanced Traffic Management Systems)や同時に利用者により有効的な情報を提供する高度な交通情報システム ATIS (Advanced Traveler Information Systems)などが例として挙げられる。

現在我が国では、警察庁がITSの一環として、「交通管理の最適化」を目指した新交通管理システム(UTMS)の研究開発及び実用化・整備を推進している。これらの高度な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、ネットワークの交通需要、車両の各種パラメータを正確に把握する技術が必須であるといえる。¹⁾

これまでのシミュレーションによる予測手法は、データとしてパーソントリップデータ等の統計情報を利用してきたが、現実の交通流は、日種による変動(平日、休日)を既存の統計情報から読み取り、シミュレーターの入力データとなるOD、パラメータ、交通状態を予測することは容易ではない。その一方で、交通感知器等のセンサーから得られる観測リンク交通量、速度等の観測データは、曜日や時間による交通状況の変動を直接とらえているため、これら観測データを利用して逐次シミュレーションを行えば、より正確に再現できるものと期待される。そのため、様々な研究^{1) 2)}において観測データからOD、交通量、パラメータ、交通状態を推計する手法が提案されているが、ネットワークが大規模な場合には、十分に対応できないと

いう問題があった。原因としてはネットワークが大きくなるにつれて未知数が膨大になり、推定に費やす時間が多くなることや様々な感知器、プローブデータ等の情報の欠損や精度のなど様々な問題が挙げられる。以上の問題を解決することができればより精度が高い交通状態、パラメータ、OD推計手法を構築できると考える。

2. 研究目的

そこで本研究ではトライアンドエラーではなくフィードバック推定手法である Particle Filter と交通シミュレーターとして Aimsun を用いてパラメータを予測する新たな手法の構築を目的とする。ここでシミュレーション中にシミュレーターからデータを取得、修正する必要があるが、初期設定では不可能なので、その部分を AimsunAPI によってシミュレーターに新たな機能を付与することで、可能にできると考えシステムの構築を行った。

3. 研究方法

本研究のフローを図1に示す。本研究の特徴はフィードバック推定法を AimsunAPI によって Aimsun に組み込みシミュレーターのデータの受け渡しを行うことと、感知器等から得られる様々な属性のデータを融合して使用することにある。

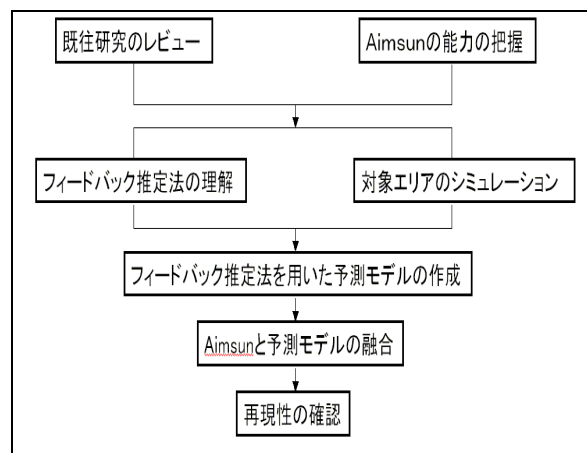


図1 研究フロー

4. フィードバック推定法

この手法は交通の分野において、直接計測することが難しい交通密度や空間平均速度などの交通変数を推定するために適用される。現時点では交通流率、時間平均速度、プローブ GPS データなどの交通変数はリアルタイムに計測することが容易である。しかし一般的に直接利用できる交通変数の量は推計に必要なものには遠く及ばない。よって交通状態推計の主たる役割は、利用できるデータをネットワーク全体から抜粋することにある。以下にフィードバック推定法概念図を示す。(図2)

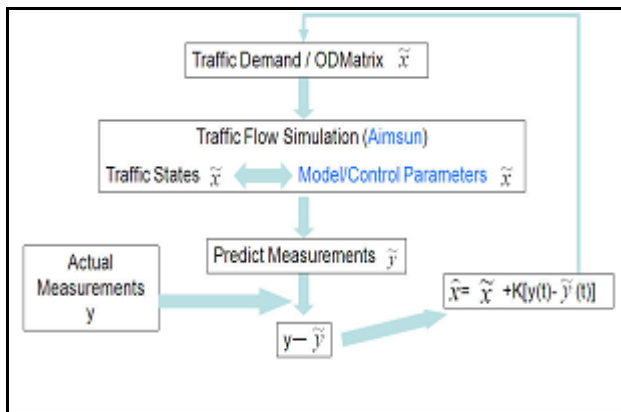


図2 フィードバック推定法概念図

6. Particle Filter

交通推計手法として多く用いられている Unscented Kalman Filter と Extended Kalman Filter はその方程式の中に制約を持っている。それは、カルマンフィルターシステムがガウス分布の動的システムでのみ適用できることである。それに対し Particle Filter はガウス過程ではないものも扱う能力がある。

Particle Filter は、現状態から起こりうる多数の次状態を、多数(数百 or 数千)のパーティクル(粒子)に見立て、全パーティクルの尤度に基づいた重みつき平均を次状態として予測しながら追跡を行っていくアルゴリズムである。以下に、処理の流れを示す。

- ① リサンプリング: 前状態における尤度(重み)に基づいて、パーティクルを選び直す。
- ② 予測: 各パーティクルについて、前状態から現状態の予測を行う。
- ③ 重み付け: 現状態における各パーティクルの尤度を求める。
- ④ 観測: 結果を出力するために(例として全パーティクルの重みつき平均を現状態として)観測する。

5. 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活かつリアルな環

境を作り出すことができる。

さらに AimsunAPI を使用すれば Aimsun 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ことができる、そして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。そのシステム概略を以下の図3に示す。またその構造は6つの大きな関数で構成され、以下に示す各段階で処理を挿入する形式となっている³⁾。その概略図を以下の図4に示す。



図3 AimsunAPI 概念図

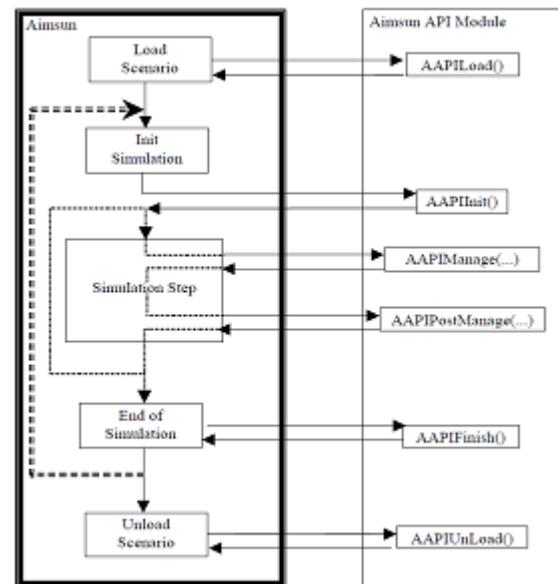


図4 AimsunAPI 構造図

- I. AAPILoad(); この関数はそのモジュールがロードされるときに Aimsun によって呼び出される
- II. AAPInit(); この関数は Aimsun がシミュレーションをスタートする時に呼び出され、設定を初期化するためには、このモジュールを必要とする
- III. AAPIManage (double time, double timeSta, double timeTrans, double cycle); この関数はそれぞれのシミュレーションステップのサイクルの最初に呼び出され、ディテクターの計測値、車両情報等をコントロール、マネジメントを実行するために取得することができる
- IV. AAPPostManage (double time, double timeSta, double timeTrans, double cycle); この関数はそれぞれのシミュレーションステップのサイクルの最後に呼び出され、ディテクターの計測値、車両情報

等をコントロール、マネジメントを実行するために取得することができる

- V. AAPIFinish(): この関数は Aimsun がシミュレーションを終了するときに呼び出され、終了するためには、このモジュールを必要とする
- VI. AAPIUnLoad(): この関数はそのモジュールが Aimsun によって取り除かれるときに必要とする

6. 既存研究

今回フィルタリング手法の選定にあたって Freeway Traffic Estimation Within Particle Filtering Framework⁴⁾ についてレビューを行った。この研究で著者は Particle Filter によって高速道路網における、交通状態のリアルタイムの時間推定問題を定式化している。さらに Unscented Kalman Filter と Particle Filter を予測の正確さとそのアルゴリズムの複雑さの観点から比較を行っている。対象地域としてベルギーの高速道路を用いて、統合的な現実の交通データを使用することで Particle Filter の評価を行っている。

結果として筆者はベルギーのネットワークへ Unscented Kalman Filter と Particle Filter を適用し分析することでその正当性を立証することができたとしている。さらにその結果から Particle Filter の方がより正確に追跡能力に優れていると判断している。今回フィードバック推定手法の選定に際して、上記の結果を基に Particle Filter の使用を決定した。さらに既存研究の調査を通じてこのような交通現象推定手法で用いているシミュレーターは全てオリジナルのもので既存のシミュレーターを使用しているものは、存在しないということが分かった。

さらに本研究ではパラメーター推定を行うにあたって全てのパラメーターを推定することは難しいため、シミュレーション結果に最も影響を及ぼし動的な変化が大きいパラメーターを検証しそのパラメーターに関して推定を行うこととする。そこで今回 A PRACTICAL PROCEDURE FOR CALIBRATING MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION MODELS⁵⁾ についてレビューを行うことで対象パラメーターを決定した。この論文で著者は交通ミクロシミュレーターのモデルのキャリブレーションプロセスはいくつか提案されているが依然未完成のままである。またシミュレーションされる交通の変化におけるミクロモデルパラメーターの影響もまた鮮明に定量化できているとはいえないという背景を述べ、これらの問題を扱うために交通流モデルの感度分析に基づいた手法を提案している。本研究では、パラメーターの影響を定量的に比較することで、対象パラメーターを決定したいと考えていたのでこの研究のレビューを行った。

分析手法として著者はまず使用するミクロシミュレーター (Aimsun) のモデルパラメーターの予備調査を行っている。そこで Aimsun の交通流モデルは 4 つのグローバルパラメーターと 7 つの車両パラメーターを包含していることと、現実的にキャリブレーションを行うにあたって 8 パラメ

ーターが限界であると述べている。そしてそのパラメーターに分散分析 (ANOVA) を適用することで感度分析を行っている。

その結果本研究の対象パラメーターとして設けた基準に最も適合しているパラメーターは Reaction Time ということが分かった。その結果を以下の表 1 に示す。

表 1 分散分析結果

a) TRAFFIC COUNTS		VARIANCE of the model outputs explained by each parameter (%)				
		MEASUREMENT SECTIONS				
PARAMETERS	All Sections	Pinetina(VMS)	Downstream Portici	Castellammare	Upstream Portici	
1 % Overtake	0.06%	0.04%	0.04%	0.25%	0.05%	
2 % Recover	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
3 Reaction Time	80.37%	57.85%	85.27%	51.88%	54.51%	
4 Reac. Time at Stop	1.80%	2.80%	0.97%	3.07%	0.80%	
5 Speed Acceptance	8.04%	8.17%	4.78%	5.23%	15.61%	
6 Max Acceleration	4.61%	3.96%	6.35%	5.61%	2.50%	
7 Normal Deceleration	0.45%	1.00%	0.11%	1.00%	0.24%	
8 CV	17.01%	16.68%	13.86%	19.54%	16.33%	
Reac. Time x Speed Accept.	0.85%	0.29%	1.22%	0.23%	1.15%	
Reac. Time x Max Acc.	1.45%	1.41%	1.39%	2.11%	1.06%	
Reac. Time x CV	0.43%	0.83%	0.52%	0.32%	1.68%	
Speed Accept. x Max Acc.	0.10%	0.11%	0.19%	0.03%	0.10%	
Speed Accept. x CV	1.94%	1.59%	2.81%	2.56%	1.68%	
Max Acc. x CV	0.05%	0.16%	0.01%	0.03%	0.01%	
Error	2.06%	3.38%	2.27%	3.65%	3.16%	
TOTAL Sensitive Param.	94.66%	91.08%	95.07%	87.47%	94.95%	
b) AVERAGE SPEED		VARIANCE of the model outputs explained by each parameter (%)				
		MEASUREMENT SECTIONS				
PARAMETERS	All Sections	Pinetina(VMS)	Downstream Portici	Castellammare	Upstream Portici	
1 % Overtake	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	
2 % Recover	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
3 Reaction Time	39.74%	6.50%	3.97%	60.64%	48.69%	
4 Reac. Time at Stop	0.25%	1.25%	0.14%	0.05%	2.12%	
5 Speed Acceptance	26.04%	35.22%	53.28%	11.70%	22.84%	
6 Max Acceleration	5.21%	0.02%	6.73%	10.17%	4.68%	
7 Normal Deceleration	0.24%	0.24%	0.19%	0.31%	0.99%	
8 CV	22.96%	47.55%	27.71%	8.46%	12.49%	
Reac. Time x Speed Accept.	0.56%	0.02%	0.11%	1.33%	0.60%	
Reac. Time x Max Acc.	0.48%	0.04%	0.41%	1.97%	0.23%	
Reac. Time x CV	0.06%	0.64%	0.50%	0.33%	0.96%	
Speed Accept. x Max Acc.	0.01%	0.00%	0.53%	0.17%	0.05%	
Speed Accept. x CV	1.57%	4.47%	3.42%	0.32%	1.00%	
Max Acc. x CV	0.01%	0.01%	0.69%	0.17%	0.08%	
Error	1.15%	1.58%	1.80%	3.46%	2.15%	
TOTAL Sensitive Param.	87.58%	94.45%	97.38%	95.15%	93.57%	

7. システム構成

以下に今回最終的に構築するシステムの概念図を示す (図 5)。

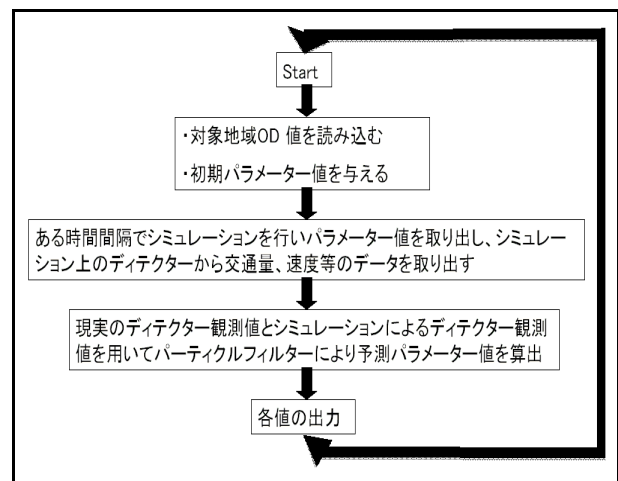


図 5 システム概念図

図 5 のフローにおけるパラメーターは Reaction Time を用いる、さらに各値の読み込み、修正は AimsunAPI によって Aimsun に必要な機能を付与することで実現する。

本研究はこれまでの研究のようにオリジナルシミュレーターを作成せず、既存シミュレーターの API を用いてい

ることが最大の特徴といえる。この特徴を明示するためシステムを対象地域に適用する前に API システムによって交差点の半感应制御システムを作成し、その結果の比較を行った。以下に構築した対象とするネットワーク図 6 を示す。ネットワークは単独交差点で南北方向に 30m の右折車線を設置した。また停止線から 15m の位置にディテクターを設置しそのデータを基に単位延長青時間、初期青時間を決定している。これらの値は土木工学ハンドブック⁶⁾を基に決定した。

また OD の起点、終点は 4 点とし、その値は全ての 100 台/h としている。またネットワーク、車両パラメーターは全てデフォルト値を用いている。以下にシミュレーション比較結果を示す。(図 7,8)

図 7、8 の結果より半感应式信号制御を採用した方が遅れ時間、総旅行時間共に改善されていることがわかる。このように AimsunAPI を用いれば静的な設定では不可能な動的なシステムの検証やシミュレーション中のデータの取得、修正が可能となるので分析対象、その交通現象に対する分析方法の幅が大きく広がると言える。

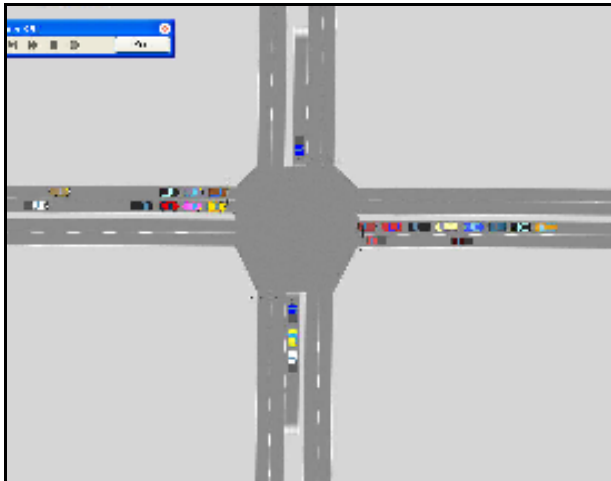


図 6 ネットワーク図

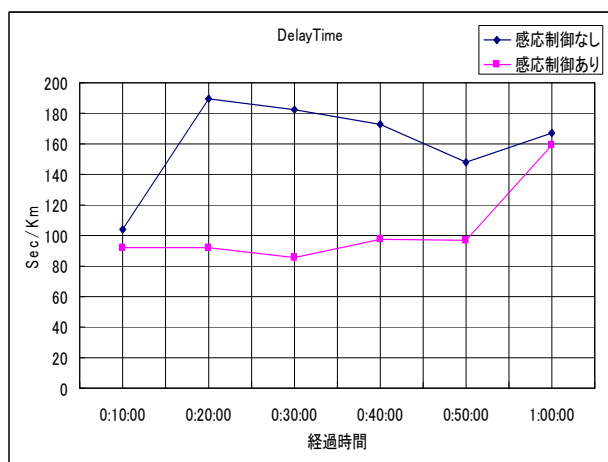


図 7 遅れ時間比較

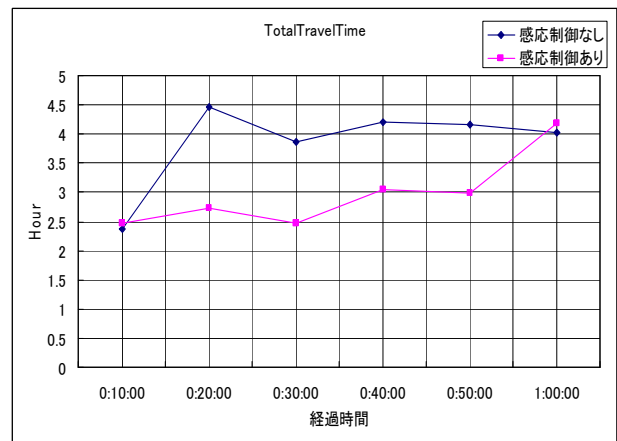


図 8 総旅行時間

8. 対象地域

本研究の対象地域は現在検討中であるが、阪神高速道路の大阪市の環状線分岐（夕陽丘付近）から松原市の松原 JCT へ至る路線である松原線もしくは札幌中心市街地を候補として挙げている。

今回のシステムは OD とディテクターのデータが既知であることが前提なので、データの状況を見て決定したいと考えている。

9. 終わりに

今後の予定は、システムの骨組みは既に出来上がっている状態なので、まずデータを検証し対象地域の選定を行ってこうと考えている。対象地域が決まればそれに応じてデータ整理、システムの調整を行いシステムを完成させ、結果を考察していこうと考えている。

10. 参考文献

- 1) 上出祐次；非集計ロジットによる経路選択モデルを内在した OD 交通需要・交通状態の動的推定に関する研究 土木計画学研究・講演集 vol.38 2008
- 2) Okutani, I. (1987) The Kalman Filtering Approaches in Some Transportation and Traffic Problems, Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 397-416.
- 3) Aimsun users manual
- 4) Lyudmila Mihaylova, Rene Boel, Andreas Hegyi ; Freeway Traffic Estimation Within Particle Filtering Framework Automatica Volume 43, Issue 2, February 2007, Pages 290-300
- 5) John Hourdakisl, Panos G. Michalopoulos, Jiji Kottommannil ; A PRACTICAL PROCEDURE FOR CALIBRATING MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION MODELS TRB 2003 Annual Meeting
- 6) 土木工学ハンドブック 2001 (社) 交通工学研究会