交通流シミュレータのパラメータチューニングの自動化

A Method of Auto-Tuning of Parameters for Traffic Simulation

古川誠**, 山崎徹**, 吉井稔雄***, 赤羽弘和****, 桑原雅夫*****
by Makoto FURUKAWA, Toru Yamasaki, Toshio YOSHII, Hirokazu AKAHANE, and Masao KUWAHARA

1. はじめに

近年、VICS、ETCをはじめとするITS技術の開発研究が進んでいる。一方、交通環境改善策などの政策に対する費用対効果分析の必要性が認識されている。このような背景のもと、施策の効果が容易に見られる交通流シミュレーションの利用機会が多くなるものと考えられる。しかし、その実用化にあたってはまだまだ多くの課題を抱えている。シミュレーションの実行にはリンク交通容量などネットワークに関する多くのパラメータが必要であり、交通状況の再現のためにこれらパラメータの微調整が必要となる。現在、パラメータのチューニング作業は人手による作業により行なわれているが、パラメータの微妙な違いがシミュレーション結果に大きな差を生むこと、そしてその調整方法が確立されていないことから、熟練した技術者さえも多大な労力が必要とする。

本研究は、シミュレーション利用者の負担を軽減できるよう、パラメータのチューニング作業手順およびその方法を提案することを目的としている。

2. 本方法の概要

シミュレーションの対象ネットワーク上には多数のリンクが存在し、これら全てのリンクに関するパラメータを調整することは困難である。シミュレーションの結果に大きな影響を与えるパラメータは主にボトルネックリンクの交通容量であると考えられるので、ボトルネック交通容量をチューニングの対象とする。また、都市高速道路では合流部がボトルネックとなることが多いことから、ボトルネックとなる合流部の合流容量比もチューニングの対象とする。

次に再現性検証の指標であるが、本方法ではボトルネック通過のための旅行時間を用いる。図2.1のように渋滞が生じる上流リンクからボトルネックまでを「旅行時間計測区間」、ボトルネックに渋滞が発生して解消するまでの時間帯を「旅行時間計測時間帯」とし、旅行時間計測時間帯にボトルネックを通過する車両が旅行時間計測区間を通してなるに必要とする旅行時間を一定時間間隔（例えば5分）ごとにサンプリングしこれらの総和を評価指標とする。この値の観測値とシミュレーション値を比較することによりパラメータを推定する。

図2.1.旅行時間計測区間・時間帯

パラメータの推定の際には、まず、道路の車線数や線形などの幾何構造や交通状況から推定されるパラメータを初期値として与える。

シミュレーション実行後に旅行時間の観測値とシミュレーション値を比較し、新しいパラメータを推定する。新しいパラメータを用いて再度シミュレーションを実行に帰還する。その結果に適合する2つのリンクがともに適合している場合には、合流後のリンクに流入可能なそれぞれの交通量の比
3. ボトルネックの特定方法

ボトルネックの位置、旅行時間計測時間帯および旅行時間計測区間を車両感知器のデータより特定する方法について述べる。本研究では、各リンクの各時間帯ごとに渋滞・非渋滞の判定を行ない、上流から下流に向かって渋滞から非渋滞に変わる状態が30分以上続くリンクをボトルネックとする。現在、渋滞リンクの判定は、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団でそれぞれ40km/h, 20km/h, 30km/hという閾値速度を設定して行なわれている。しかし、渋滞判定速度となる臨界速度は地点ごとに異なるはずであり、リンクごとに渋滞判定閾値速度を設定する必要がある。渋滞閾値の設定方法として、大津の閾値設定法の利用した方法があるが、大津の方法をネットワーク上の全てのリンクに適用することはできない。なぜなら、ネットワークには1日中渋滞が発生しない地点が多数存在し、大津の方法ではこのような地点についても渋滞閾値が設定されてしまう。その速度以下となる時間帯は渋滞していると判定されてしまうからである。本章では非渋滞リンクの存在を考慮した渋滞閾値設定法を提案する。

図3.1がそのアルゴリズムである。速度変動が30km/h以下のリンクは、1日中非渋滞のリンクとする。渋滞が発生するリンクでは自由流速度よりかなり小さな速度領域が存在するからである。次に大津の方法の適用条件を判定する（図3.1の条件1,2)。渋滞が発生する時間帯がわずかであれば速度の幅数分布は双峰形とはならない。このようなリンクについて大津の方法を適用すれば、かなり速い速度が閾値となってしまう。大津の方法の適用が適当でないと判定された場合には、断面交通量も利用することにより速度-交通量の回帰2次曲線を推定し、その曲線の輪を閾値として利用することとする。

本方法を平成10年5月21日0:00～24:00、首都高速道路全線の車両感知器データに適用した。地点数は1232である。

本方法の妥当性を検証するために、全地点のq,vほとんどどの地点において、閾値の設定の分類が正しく行なわれていることがわかる。本方法で設定された渋滞判定閾値速度を用いて各リンクの渋滞判定を行い、ボトルネックの特定を行なった。その結果、葛西JCTや箱崎JCTなど一般にボトルネックであるといわれる箇所を含め30箇所程度のボトルネックを抽出できた。

4. パラメータの推定方法と適用結果

ここで用いるシミュレーションは、吉井・原らによるモデルを首都高速道路全線に適用し、平成7年9月21日のOD交通量を入力値としたものである。シミュレーション値と比較する観測値およびボトルネックの特定には同日の車両感知器によるデータを用いた。
(1) 単路部の場合
ここで、評価指標であるボトルネック通過のための旅行時間の絶対値はボトルネック交通容量の減少関数であるとする仮定する。この性質を利用してボトルネック容量の推定を行う。
まず、ボトルネック容量に道路構造から得られる初期値を与え、シミュレーションを実行する。この結果、ボトルネック通過のための総旅行時間のシミュレーション値が得られる。もし総旅行時間のシミュレーション値が観測値より小さければ、ボトルネック容量を微小値減少させる。逆の場合には増加させる。こうして得られた容量値を用いて、再度シミュレーションを実行する。

4 回目のシミュレーション実行後には、4-1、4 回目に用いた容量値そのときの総旅行時間を利用し、図 4.1 のように外挿もしくは内挿することにより 5 回目のシミュレーションに用いる容量値を推定する。評価指標が観測値に十分に近い値となった時点で容量値を確定させる。

図 4.1. パラメータの推定方法
3 の方法により特定されたボトルネック（図 4.2）に本方法を適用した結果が図 4.3、4.4 である。

図 4.2. 単路上のボトルネック
このボトルネック通過の総旅行時間は 800[× 10 sec.]であった。5 回のシミュレーションを実行し
た結果、総旅行時間は収束しボトルネック交通容量が求められた。なお、収束条件は総旅行時間の観測値との差が 5%以内とした。

(2) 合流部の場合
本節では、合流部がボトルネックと場合の合流容量比の推定方法について述べる。

図 4.5. 合流部のボトルネック
図 4.5 のようにリンク G1, G2 がともに渋滞している場合、経路 1,2 には、(リンク A の容量)×(リンク G1 の合流容量比)の容量が割り当てられる。まず、経路 1,2 のそれぞれに単路部の方法を適用し、それぞれの経路に割り当てられる容量を推定する。求められた容量の比からリンク G1 の合流容量比が、和からリンク A の交通容量が求められる。なお、合流部の容量推定に用いる旅行時間計測時間帯はリンク G1, G2 がともに渋滞している時間帯とする。

本方法を 6 号三郷線と中央環状線の合流部である小菅 JCT に適用した。川口東 JCT→小菅 JCT を経
路 1、三郷 JCT→小菅 JCT を経路 2 とする。両経路
がともに渋滞していた時間帯は 6:00-10:15 である。初期値としてボトルネック容量に 6900[veh/h]、合
流容量比に 0.52：0.48 を与えた。両経路の総旅行時間の観測値はともに 100[×1000sec.]であった。
本方法の適用結果が図 4.6、4.7 である。各経路の総旅行時間は 9 回目のシミュレーション実行後に収束し、ボトルネック容量が 5059[veh/h]、合流容量比が 0.54：0.46 と推定された。

図 4.6. 総旅行時間の推移

図 4.7. 各経路に割り当てられた容量の推移

5. まとめ

本研究では、交通流シミュレータに用いられるパラメータの自動チューニング方法の提案し、ボトルネックが単独であるケースへの適用を行なった。また、その前段階として、チューニングすべきパラメータの選定として、車両感知器のデータを用いたボトルネック特定方法の提案および適用を行なった。ボトルネック特定法では、経験的知られているボトルネックのほとんどを特定することができた。しかし、交通集中による渋滞以外に交通事故が原因となっているボトルネックを抽出している可能性が強く、これら交通事故によるボトルネックをチューニングの対象から除くことが今後の課題といえる。
ボトルネック容量および合流容量比の推定では、ボトルネックが単独のケースであれば、現況に近い再現結果が得られるパラメータの推定が可能であることがわかった。今後は、互いに影響を及ぼし合う複数のボトルネックのパラメータのチューニング方法を考案する必要がある。また、本方法で得られたボトルネック容量および合流容量比は、道路幾何構造から推定される値である初期値とは大きく異なる値が得られた。この原因は、今回対象としたパラメータ以外のパラメータ、OD 交通量に含まれる誤差、および、シミュレーションモデル自身による問題であると考えられる。今後は、OD 交通量やモデル自身による誤差を考慮し、かつ、他のパラメータの推定も含めたパラメータの自動チューニング方法についても研究が必要である。

補足：大津の閾値設定法
クラス間分散が次式で与えられるとき、c_{i}最大となるk(1<k<n)閾値とする。

\[ \sigma^2_B = \frac{[\mu \cdot \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1-\omega(k)]} \]

\[ \omega(k) : \text{ヒストグラムの} \text{0次累積モーメント} \]

\[ \mu(k) : \text{ヒストグラムの} \text{1次累積モーメント} \]

\[ \mu : \text{平均値} \]

N : ヒストグラムのレベル数

[参考文献]
(1)大津展之, “判別および最少 2 乗基準に基づく自動化しきい値設定法”, 電子通信学会論文誌, Vol.63-D No.4, 1980
(2)首都高速道路公社・(社)交通工学研究会, “平成 2 年度 路線制御システムに関する研究(その 2)”, 平成 3 年 2 月
(3)吉井篤雄・森元雅夫・森田総之, “都市高速道路における通便ネットワークシミュレーションモデルの開発”, 交通工学, Vol.30, No.1, 1995
(4)首都高速道路公社, “第 22 回首都高速道路起終点調査 報告書”