

感知器交通量データに基づく分岐率を用いた交通流シミュレーション

村木 雄二 狩野 均

筑波大学大学院 システム情報工学研究科

本稿では、感知器交通量データに基づく分岐率を用いた交通流シミュレーションの事例を紹介する。分岐率を用いたシミュレーションでは、広域な道路ネットワークを対象とする場合、分岐率を適切に設定することが困難となる。本研究では、候補となる各リンクの感知器交通量データから推定される速度と、シミュレーションでのリンクの平均通過速度との誤差を分岐率の計算に利用する。また、ファジィクラスティング手法を用いて推定した交通量データを利用することで、分岐率の計算に不足しているデータを補う。道路ネットワークと感知器交通量の実データを用いた実験を行い、渋滞しているリンクの分布について、固定分岐率と本手法によるシミュレーションの結果を比較検討した。

Traffic Simulation Using Divergence Rate Based on Detected Traffic

Yuji Muraki Hitoshi Kanoh

Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba

In this paper, we present a case study of traffic simulations using a divergence rate based on traffic measured by vehicle detectors. In a wide-area traffic simulation, it is difficult to fix the divergence rate appropriately. In this study, the divergence rate of each candidate link is calculated by a gap between the speed derived from the detected traffic of the link and the average speed of vehicles on the link in the simulation. Using actual road maps and detected traffic, the difference of the distribution of congested links was investigated by a comparison between the proposed method and the previously designed divergence rate.

1. はじめに

交通渋滞緩和や環境改善のための道路施策およびITS技術の導入の効果について、交通流シミュレーションによる評価・検討が行なわれている[1,2]。これらの目的でシミュレーションを利用する場合の多くは、施策実施前の交通状況をシミュレーションに精度良く再現する必要がある。広域なシミュレーションを行う場合、交通状況を再現するために必要な入力データを実測調査によって得ることは困難となる[3]。このため、車両感知器などにより得られる情報に基づいて交差点における分岐率やOD交通

量などの交通需要を推定する手法についての研究が期待されている[4]。

本稿では、感知器交通量データに基づく分岐率を用いた交通流シミュレーションの事例を紹介する。感知器から得られる交通量データは、感知器が設置されたリンクのみに限定された情報である。本研究では、感知器の設置されていないリンクについて、古川らが提案したファジィクラスティング手法によるリンク交通量データの補間[5]を行なうことを基本方針とする。これにより、各交差点での分岐率の設定に不足しているデータを補うことが可能となる。

本稿では、はじめに交通流シミュレーションの現状と本研究の位置づけを述べ、次に、補間を行なった感知器交通量データをシミュレーションに適用する方法について説明する。最後に、実際の道路ネットワークと感知器交通量データを用いた評価実験を示す。

2. 研究の概要

2.1 交通シミュレーションの現状と課題

交通シミュレーションに用いられるモデルは、その利用目的に対応して、局所的な区間を対象とするモデルと、面的な広がりをもつ道路ネットワークを対象とするモデルに大別される。また、道路ネットワークを対象とする場合、車両の目的地に応じた経路選択行動を考慮するモデルと考慮しないモデルがある[6]。前者は、道路施策実施後の交通状況の予測など多くの利用目的において、後者に比べて有効なシミュレーションが行えると考えられる。しかしながら、前者の主要な入力データである OD 交通量の入手は一般に困難な場合が多く、対象とする道路ネットワークによっては、経路選択に関わる計算コストも非常に大きなものとなる[7,8]。

一方、経路選択を考慮しないモデルの場合、表面的な交通流の再現となるため、その利用目的は限定される。しかし、この種のモデルでのシミュレーションに必要な入力データは、ネットワーク端点からの発生交通量と交差点での分岐率である。これらは、実測調査により比較的容易に得ることができるデータであるため、経路選択行動を考慮するモデルに比べ、利用者にとって導入しやすいモデルであると考えられる。しかしながら、このような分岐率を用いるシミュレーションでも、広域な道路ネットワークを対象とする場合には、分岐率の値を実測調査によって得ることは困難となる。このよう

な場合、進行先のリンクの道路種別や、直進・右左折などの情報を利用して一律に分岐率を設定する方法が考えられる。しかし、このような分岐率の設定方法では、交通需要の遷移による分岐率の時間変化を表現することができない。また、車両の分布が道路ネットワークの形状に依存してしまい、シミュレーションで得られる交通量が現実のものとは大きく異なる場合があり、適切な分岐率を設定することは難しい[9]。

2.2 ファジィc-means法を用いた交通量データの補間

近年では、感知器の設置により、対象とするリンクのリンク旅行時間が一定の時間間隔で得られるようになった。しかしながら、これらの情報は感知器の設置されたリンクのみに限定された情報である。古川らは、ファジィクラスタリング手法の一種であるファジィ c-means 法 (FCM 法) を利用して、周辺リンクの交通量から感知器のないリンクの交通量を推定する手法を提案した[5]。また、市場らは古川らの手法について、交通量の補間誤差が小さくなるパラメータを遺伝的アルゴリズムによって進化的に獲得する研究を行った[10]。

3. 感知器交通量データのシミュレーションへの適用

3.1 基本方針

本研究では、広域での交通流シミュレーションの容易な実現を目的とした、感知器交通量データに基づく分岐率を用いた交通流のシミュレーションの事例について紹介する。感知器交通量データを分岐率の設定に利用することで、以下の利点がある。

- ・ シミュレーションの対象が広域な場合でも、ネットワークに含まれる全交差点について、容易に分岐率の設定ができる。

- ・ 一定の時間間隔で得られる交通量データを用いることで、交通量の時間変化をシミュレーションに反映することができる。

リンク交通量に基づいて分岐率の設定を行う場合には、各進行先リンクのうち、データの得られないリンクの交通量は、何らかの方法で推定する必要がある。本研究では、古川らが提案したファジィクラスタリング手法によるリンク交通量データの補間を行なうことにより、各交差点での分岐率の設定に不足しているデータを補う。

本研究では、車両1台1台について挙動計算を行うマイクロモデルによりシミュレーションを行う。車両の移動モデルには、各車両について、前車との車頭距離 S の逆数として得られる局所的な車両密度 K から、Greenshieldsの K - V 関係式に従って速度計算を行うモデル[11]を用いる。

3.2 分岐率

本手法では、車両が交差点で各リンクを進行方向として選択する確率を式(1)から計算する。

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{d_i(t)}{\sum_{i \in S} d_i(t)} & (|S| > 0) \\ \frac{1}{n} & (|S| = 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$d_i(t) = V_i^D(t') - V_i^S(t)$$

t : 時刻

t' : 感知器データが得られている時刻のうち、 t 以降で t に最も近い時刻

$P_i(t)$: 時刻 t でリンク i を進行方向として選択する確率

S : $d_i(t) > 0$ となるリンクの集合

$V_i^D(t')$: 時刻 t' での感知器データから推定されるリンク速度

$V_i^S(t)$: 時刻 t のとき、リンク i を走行している車両の平均速度

n : 交差点から出るリンクの数

ここで、本研究に利用した感知器データは、リンクの通過時間のデータであるため、本手法を適用する際、リンク長を通過時間で除することにより、通過速度のデータに変換しておく必要がある。

3.3 端点からの流入、初期配置

本研究では、ネットワーク端点からの流入車両の発生や車両の初期配置についても、感知器交通量データを利用して設定する。各時刻において、ネットワークの端のノードを始点とするリンクの通過速度が、シミュレーションにおけるリンクの平均速度より低い場合、そのリンクの各車線に車両を生成する。

また、シミュレーションの開始時には、対象時間帯の各リンクの通過速度から計算される交通密度に基づいた車両の初期配置を行う。ここで、リンク速度から推定した交通密度を広域道路網でのシミュレーションに利用する場合、関係式から計算される値をそのまま利用することが適切でない場合がある。このような場合には、何度もシミュレーションを行った結果に基づき、経験的に関係式の修正や、係数をかけた値を利用する方法がある[5]。本研究では、推定された交通密度 K からリンクに配置する車両台数を決定する際、配置する車両台数 N_{Set} を式(2)から計算する。式中の L はリンク長、 r は、配置する車両台数を調整するためのパラメータであり、繰り返しシミュレーションを行うことで経験的に値を決定する。

$$N_{Set} = K \times L \times r \quad (2)$$

4. 評価実験

4.1 実験方法

現実の道路ネットワークを対象に、本手法によるシミュレーションと、道路種別や直進・右左折の情報を利用して一律に分岐率を設定した場合（固定分岐率）についてそれぞれ実験を



図1 対象道路ネットワーク（箱崎周辺）

行った。実験に用いたデータ、各パラメータの値、および評価指標について以下に示す。対象とする道路ネットワークを図1に示す。太線で示したリンクは、感知器交通量データが得られるリンクである。

(1) 利用したデータ

- ・ 道路ネットワークデータ：
 - ナビ研S規格のデジタル地図データ[12]
- ・ 対象地域：東京箱崎周辺（約11km×9km）
- ・ ノード数，リンク数：3871，11440
- ・ 感知器設置リンク：2924
- ・ 対象時間：
 - ① 3-4時（渋滞の少ない時間帯）
 - ② 6-7時（渋滞が増加する時間帯）
 - ③ 14-15時（渋滞が多い時間帯）
 - ④ 19-20時（渋滞が減少する時間帯）
- ・ 感知器交通量データ：2003年6月17日(火)

(2) パラメータ

本手法におけるFCM法のパラメータは、市場らの研究[10]により獲得されたパラメータを用いた。また、初期配置に関するパラメータの値は、予備実験から、0.8とした。また、比較する固定分岐率では、候補となる進行先リンクに主要道（国道，主要地方道）が含まれる場合，30%の確率で主要道のみから進行方向の

選択を行う。候補が複数ある場合には，85%の確率で直進，それ以外はランダムに進行方向を選択する。また，車両の初期配置・流入は，本手法と同様に行うこととした。

(3) 評価指標

今回の実験では，本手法と固定分岐率による実験の結果を状態一致率という値により比較した。状態一致率は，感知器交通量データから判断される渋滞・非渋滞の状態と，シミュレーションでの各リンクの状態が一致した割合を示す指標である。本研究では，シミュレーション開始から5分ごとに，すべての感知器設置リンクについての状態一致率 R_{All} と，渋滞しているリンクのみについての状態一致率 R_{Jam} をそれぞれ式(3)，(4)から計算する。

$$R_{All} = \frac{N_1 + N_2}{N_{All}} \quad (3)$$

$$R_{Jam} = \frac{N_1}{N_{Jam}} \quad (4)$$

N_{All} ：感知器が設置されているリンク数

N_{Jam} ：感知器交通量データから渋滞していると判断されたリンク数

N_1 ：感知器交通量から渋滞していると判断されたリンクのうち，シミュレーションでも渋滞しているリンクの数

N_2 ：感知器交通量から渋滞していないと判断されたリンクのうち，シミュレーションでも渋滞していないリンクの数

本研究では，道路種別が高速道路，自動車専用道路，その他の道路について，渋滞と判断する速度をそれぞれ40，20，10(km/h)以下とした。

4.2 実験結果

実験の結果を表1，図2，図3，図4，図5に示す。表1は，各時間帯を対象としてシミュレーションを行った場合の状態一致率の平均値を示している。数字は R_{All} の値，()内の数字

表 1 各時間帯での状態一致率 (単位 : %)

分岐率	3-4 時	6-7 時	14-15 時	19-20 時
本手法	64.7 (49.5)	65.1 (42.6)	56.8 (54.2)	56.2 (51.1)
固定	63.4 (40.2)	63.0 (35.4)	52.7 (43.3)	54.7 (45.2)

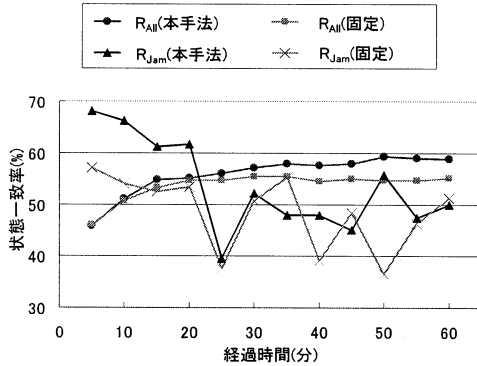


図 2 状態一致率の推移 (3-4 時)

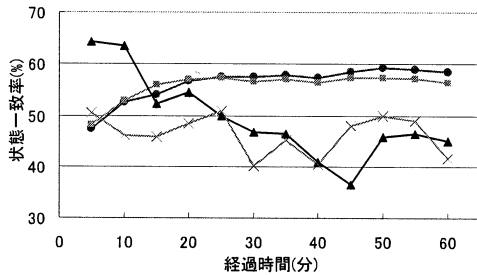


図 3 状態一致率の推移 (6-7 時)

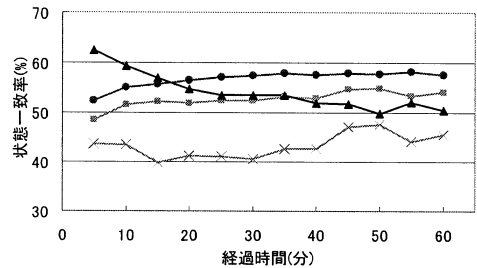


図 4 状態一致率の推移 (14-15 時)

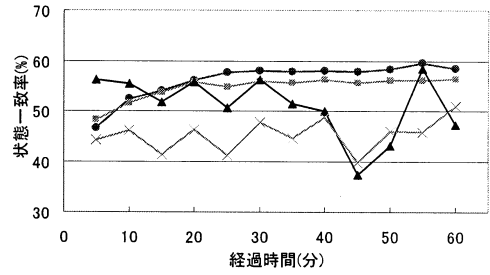


図 5 状態一致率の推移 (19-20 時)

は, R_{Jam} の値である. この表から, どの時間帯を対象とした場合でも, 固定分岐率によるシミュレーションに比べ, 本手法によるシミュレーションでは, 状態一致率が高い値となることがわかる. このことから, 本手法によるシミュレーションでは, 渋滞しているリンクの分布について, 比較手法に比べて実際に近い交通状況が再現できていると考える.

また, 図 2, 図 3, 図 4, 図 5 のグラフは, 各時間帯を対象としたシミュレーションでの, 状態一致率の時間的変化を示している. グラフの横軸は経過時間(分), 縦軸は状態一致率(%)を示している. これらのグラフから, 渋滞しているリンクのみについての状態一致率 R_{Jam} について注目すると, 本手法では, 14-15 時を対象とした場合は 1 時間後までのすべての時点で, その他の時間帯を対象とした場合は半数以上の時点で, R_{Jam} の値が固定分岐率を用いた場合よりも高くなっていることがわかる. しかしながら, 本手法での R_{Jam} の値は時間の経過とともに低くなっていく傾向がみられる. 両手法でのシミュレーション終了時点での車両数を比較したところ, 固定分岐率を用いた場合は, 本手法を用いた場合よりも多くの車両がネットワーク中に残っていることがわかった. これは, 本手法によるシミュレーションでは, 固定分岐率を用いた場合に比べ, ネットワーク外へ流出する車両が多いことが原因であると考え

られる。これらの結果から、本手法を用いて長時間の高精度なシミュレーションを行う場合には、流入量の調整や、時間帯によっては内部発生車両を考慮する必要があると考える。

5. おわりに

FCM 法で補間を行った感知器交通量データを利用して各交差点での分岐率を設定する交通流のシミュレーションの事例を紹介した。本手法では、対象地域が広域な場合でも分岐率の設定が容易であるという特徴がある。実際の道路ネットワークデータと感知器交通量データを用いた実験を行った結果、本手法によるシミュレーションでは、固定分岐率を用いた場合と比べ、感知器交通量から推定される渋滞リンクの分布と近くなることが確認できた。

今後は、感知器交通量データから分岐率への変換方法の改良や、パラメータの調整を行うことでシミュレーション精度の向上を図る予定である。また、感知器によって得られるデータは、データの欠損や短期的に大きな変動を含んでいるため、平滑化などを行う必要があると考えている。

最後に、ナビ研 S 規格フォーマットについてご教示いただいた IT ナビゲーションシステム研究会殿に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 花房, 堀口, 桑原, 田中, 牧野, 大内: 高速道路サグ部における AHS 円滑化サービス評価用交通シミュレータの開発, 第 4 回 ITS シンポジウム 2005 論文集(2005).
- [2] 舌間, 村重, Jian, 赤羽, 堀口: ETC 料金所の効果的な運用方式検討のためのシミュレーションモデルの開発と運用, 交通工学, Vol.41, 増刊号(2005).
- [3] 馬場, 北岡, 棚橋: GA を用いた経路最適化による広域交通流シミュレータ上での交通状況再現手法, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12(2002).
- [4] 社団法人 交通工学研究会編: やさしい交通シミュレーション, (2000).
- [5] 古川, 原, 塚原, 狩野, 西, 黒河: ファジィクラスタリングに基づく道路交通量の予測方式に関する研究, 情報処理学会高度交通システム研究会, ITS-20-9, pp.59-66 (2005).
- [6] 赤羽, 大口, 吉井, 堀口: 交通シミュレーションモデルの実用化に向けての課題, 土木計画学研究講演集, No.20(1), pp.521-523 (1997).
- [7] 佐藤, 堀口, 桑原: 大規模ネットワークにおける動的シミュレーション適用の現在とこれから, 第 29 回土木計画学会発表会講演集, No.29, CD-ROM(2004).
- [8] 玉本, 堀口, 桑原: 交通シミュレーション SOUND の大規模ネットワークへの適用, 第 30 回土木計画学研究発表会(秋大会)講演論文集, CD-ROM(2004).
- [9] 堀口, 小根山: 適用事例を通じた交通シミュレーション利用実態の分析と利用促進への課題, 土木学会論文集, No.709, /IV-56, pp.61-69(2002).
- [10] Ichiba, Hara, Kanoh: Spatial Interpolation of Traffic Data by Genetic Fuzzy System, IEEE 2nd International Symposium on Evolving Fuzzy Systems (EFS 2006), pp. 280-285 (2006).
- [11] 馬場, 棚橋, 北岡, 森, 寺本: 交通流シミュレータ NETSTREAM, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.226-235(2005).
- [12] IT ナビゲーションシステム研究会: Format Guide Book S 規格(Ver.2.2), (1997).