

Bluetooth 通信技術を用いた断面交通量推定手法の開発

愛媛大学 学生会員 ○藤井浩史 愛媛大学 正会員 吉井稔雄
愛媛大学 非会員 坪田隆宏

1 はじめに

適切な交通マネジメントの実施，検討には交通状態の把握が必要となる．交通流は3つの状態量，すなわち交通量と速度，密度によって表現されるが，交通状態の推定には任意の2つの状態量を観測する必要がある．主な観測手法として，固定型センサーと移動体データの活用が挙げられる．固定型センサーは設置断面を通過する車両の交通量と速度が得られるものの，センサーの設置と維持管理に要するコストが高く，発展途上国や地方道への適用には課題がある．移動体データは車両の速度データを安価に得られる一方で，観測対象が情報通信端末を持つ車両に限られる為，交通量の推定が困難であり，移動体の観測による交通状態の把握には至っていなかった．本研究では，移動体観測による交通状態の把握を目指し，移動体データからの交通量推定手法の開発を目的とする．

2 交通量推定手法

本研究では，移動体データとして Bluetooth 機器の発するシグナルの検知サンプルを用いる．Bluetooth を用いた交通流観測手法では，スキャナと呼ばれる Bluetooth 機器の発するシグナルを受信する機器を設置し，車載 Bluetooth 機器を検知する．ただし，スキャナは通過する全ての Bluetooth 搭載車のデータを検知するわけではなく，検知漏れが生じることが報告されている．ここで，交通流に含まれる Bluetooth 搭載車の割合を装備率 r_e ，Bluetooth 搭載車数に対する検知サンプル数の割合を検知率 r_d とし，装備率 r_e ，及び検知率 r_d が一定であると仮定する．このとき，Bluetooth 搭載車数は交通量 q から装備率 r_e を用いて無作為抽出したもの，検知サンプル数は Bluetooth 搭載車から検知率 r_d を用いて無作為抽出したものと考えられる．そのため，交通量 q が同一の条件でも，個々のスキャナが検知するサンプル数は確率的なバラつきを持ち，単一のスキャナによる交通量推定を妨げる一因になっていると考えられる．そこで，本研究では複数台のスキャナによる観測数のバラつきを用いた交通量推定手法を提案する．

スキャナが交通流から検知サンプルをランダムに抽出することを仮定すると，時間帯 $j(j = 1, 2, \dots, l)$ に単一のスキャナにより検知されるサンプル数の平均値 λ は式(1)で表される．時間帯 $j(j = 1, 2, \dots, l)$ にスキャナ $i(i = 1, 2, \dots, k)$ がサンプル数 $n_i(j)$ を観測する確率 $P(n_i(j))$ は平均値 λ を持つポアソン分布に従うと考えられる(式(2))．時間帯 $j(j = 1, 2, \dots, l)$ に k 個のスキャナが検知したサンプル数 $\mathbf{N}_i(j) = [n_1(1), n_1(2), \dots, n_i(j)]$ の尤度は式(3)で表される．尤度関数 $L(q)$ を最大化する交通量 \hat{q} を推定交通量として求める(式(4))．

$$\lambda = q(j)r_d(j)r_e \dots (1) \quad P(n_i(j)) = \frac{\lambda^{n_i(j)}}{n_i(j)!} e^{-\lambda} \dots (2) \quad L(q) = \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^k \frac{(qr_d(j)r_e)^{n_i(j)} \exp(-qr_d(j)r_e)}{n_i(j)!} \dots (3)$$

$$\frac{d \ln L(q)}{dq} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \left[\frac{n_i(j)}{q} - r_d(j)r_e \right] = 0 \Leftrightarrow \hat{q} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \frac{n_i(j)}{kr_d(j)r_e} \dots (4)$$

尚，検知率 r_d については，過去に行われた観測実験¹⁾に基づいて推定する．観測実験は，120m 区間の単路部に Bluetooth 搭載車を複数回走行させ，1 区間走行当たりのスキャナの検知の有無を計測したものである．検知率に対する影響要因としてスキャナの設置条件，車両の通過速度が考慮され，表 1 に示す各条件につ

表 1 実験条件

車両走行速度: v [km/h]	20, 30
スキャナの設置角度: θ [rad]	0, 45, 90, 135
スキャナの設置高さ: d_{height} [m]	1, 4.5
タイムアウト時間: d_t [sec]	3, 5, 10

いて実験が実施された。

スキャナの検知の有無を目的変数とし、2 項ロジットモデルにより検知率の影響要因の分析を行った。検知率のオッズ比は式(5)で表され、モデルの推定結果を表2に示す。

$$\exp\left(\frac{r_d}{(1-r_d)}\right) = \beta_0 + \beta_1 d_3 + \beta_2 d_{height} + \beta_3 t \dots (5)$$

d_3 : タイムアウト時間 3 秒ダミー, d_{height} :

設置高さダミー, t : 通過所要時間[sec], β : パラメータ

各説明変数の係数の符号は、既往研究¹⁾による分析結果と一致した。通過所要時間、及び設置高さダミーの影響が有意に推定されたことから、検知率は交通流の状態、及びスキャナの設置状態に依存することが確認された。

装備率 r_e については式(5)に示す交通量が所与である時間帯 T での交通量に対する Bluetooth 搭載車数の割合で算定し、装備率 r_e は時間帯によらず一定であると仮定する。

$$r_e = \sum_{i=1}^k \frac{n_i(T)}{q(T)r_d(T)} \dots (5)$$

3 観測調査

構築した交通量推定手法の検証を行うため、車両の出入りのない単路部区間で観測調査を実施した。観測概要を表3に示す。観測調査では観測区間内に6つのスキャナを設置し、スキャナの設置高さタイムアウト時間は統一した。観測調査では Bluetooth サンプルの取得に加え、2 地点でビデオ撮影を行い、断面交通量、各車両の区間速度を計測した。

4 推定結果

時間帯 A の交通量が所与の場合、装備率は $r_e = 0.13$ と推定された。この装備率を用いて、時間帯 B、及び時間帯 C の交通量を推定した結果を表4に示す。本分析では、交通量の実測値に対し、誤差 15%以内で交通量が推定された。

5 今後の課題

本研究で行った観測調査は、観測時間が短く、交通流から得られた検知サンプル数が少ない。そのため、交通量推定に際し仮定した「スキャナが交通流からランダムにサンプルを検知する」「装備率は時間帯によらず一定」といった条件の検証を十分に行うことができていない。今後、同一観測地点で複数日に渡り本研究と同様の観測調査を行い、観測される検知サンプルにおいて仮定した条件が成り立つか検証が必要である。

6 謝辞

本研究の遂行に際し、Bluetooth 計測アプリをご提供頂いた(株)地域未来研究所、及び計測機器をご提供頂いた(株)オリエンタルコンサルタンツに深謝の意を表す。

参考文献

1)河野侑奈, 吉井稔雄: 観測条件を反映した Bluetooth スキャナによる MAC 検知確率推定モデルの構築, 2016

表2 検知率推定結果

説明変数	係数
タイムアウト時間 3 秒ダミー	0.66*
設置高さダミー	-1.26*
通過所要時間[sec]	0.17*
定数	-2.09*
ρ^2 値	0.21
サンプル数	285

*5%有意

表3 観測概要

観測時間	時間帯 A 7:00~7:25
	時間帯 B 8:45~9:10
	時間帯 C 9:20~10:00
区間	愛媛県県道 347 号線 一部区間
区間長	450m
車線数	両側 2 車線

表4 推定結果

時間帯	B	C
推定交通量	233.8	374.1
観測交通量	264	432
誤差率	-0.13	-0.15