

MAC アドレス検知率推定モデルを用いた交通量推定精度の検証

(株) オリエンタルコンサルタンツ 藤井 浩史

1. はじめに

Bluetooth 搭載カーナビの普及に伴い、Bluetooth を用いた交通流観測が試みられている。Bluetooth を用いた交通流観測は、Bluetooth スキャナ（以下「スキャナ」）を用いて、車両に搭載された Bluetooth 機器の MAC アドレス（機器識別 ID）・検知時刻を獲得し、同データを分析することで交通流状態を推測するものである。既往の Bluetooth を用いた交通流観測では、2 地点間の旅行時間の計測が行われているものの、交通量が計測されるには至っていない。交通量の計測には MAC アドレスの検知数をサンプルレート（検知率）で拡大する必要があるが、Bluetooth 機器を持つ車両が通過した際にスキャナの検知率にバラツキがある事が知られている。検知数のバラツキは系統誤差と偶然誤差に分けられると考えられるが、統計的に拡大処理を行うためには、検知率に影響を与える要因を特定して系統誤差を取り除くことが求められる。また、スキャナにより得られる MAC アドレスを用いた交通量の推定事例が少なく、MAC アドレスから交通量を推定する手法についても検証が必要である。そこで、本研究は 3 段階に分けて分析を行った。まず、ロジスティック回帰モデルを用いて、観測条件がスキャナの MAC アドレス検知確率に与える影響を分析する。次に、MAC アドレスから交通量を推定する手法を構築する。そして、実道路で交通量推定手法を適用し、その推定精度を確認する。

2. 実験概要

スキャナの MAC アドレス検知確率に影響を与える要因として、タイムアウト時間[sec]、車両の通過時間[sec/m]、スキャナとの距離[m]、スキャナの Bluetooth 機器に対する相対角度[度]、車両の進行方向を考慮し、計測実験を行った。なお、タイムアウト時間はスキャナの探索用電波の発信間隔を示す。

計測実験の実施イメージを図 1 に示す。実験では、車両の観測区間を 120m に設定し、その中間地点を観測地点とした。観測地点には、スキャナ 4 台（2 台は地上高さ 1.0m、残る 2 台は地上高さ 4.5m）を地面に対して垂直に設置し、スキャンを行う。一方、Bluetooth 接続をオンにしたカーナビ搭載車両に同観測区間を走行させた。観測区間の始時点には、ビデオカメラを設置し、画像内に電波時計の映像

を含めることで車両の通過時刻を計測した。上記の各要因については、表 1 に示す実験条件を設定し、車両走行速度、スキャナの設置角度、タイムアウト時間の組み合わせ、計 24 通りの異なる観測条件を設定した。

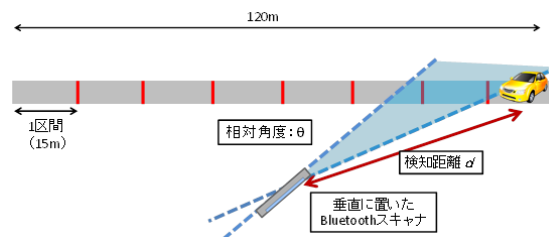


図 1 計測実験イメージ（設置角度 45° の場合）

表 1 想定した要因と実験条件

想定した要因	実験条件
車両走行速度	20km/h, 30km/h
スキャナの設置角度	0°, 45°, 90°, 135°
タイムアウト時間	3 秒, 5 秒, 10 秒
スキャナの設置高さ	1.0m, 4.5m

3. MAC アドレス検知確率推定モデル

観測実験で得られたデータを基に、MAC アドレス検知確率推定モデルを構築した。

MAC アドレス検知確率推定モデルには、観測区間を 15m 毎 8 等分した各区分での MAC アドレス検知の有無を被説明変数とするロジスティック回帰式(1)を用いた。走行時間は 120m の観測区間の通過に要する時間を示す。検知距離はスキャナから各区分の中央地点までの距離とし、検知角度は、図 1 に示すように、スキャナの表面と車両方向とのなす角度である。

$$\hat{f}_d = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 d_3 + \beta_2 d_{height} + \beta_3 t)} \quad (1)$$

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 : 所要時間

MAC アドレス検知確率推定モデルを用いて得られた推定値を表 2 に示す。1 区間の通過時間が長くなると検知確率が上がると考えられることから同変数の係数が正值、また検知距離が長くなると検知確率が下がると考えられることから、設置高さダミーの係数が負値を示している。また、

タイムアウト時間を短く設定することにより Bluetooth 機器の探索間隔が短くなることから、タイムアウト時間 3 秒で最も検知確率が高くなることが示された。

表 2 推定結果

説明変数	パラメータ	P 値
タイムアウト時間 3 秒ダミー	0.66	0.03
設置高さダミー	-1.26	0.00
所要時間 (秒)	0.17	0.00
定数	-2.09	0.00
ρ^2 値		0.21
サンプル数		285

4. 交通量推定手法

交通量の推定手法の構築にあたり、以下の仮定を設ける。

- 仮定①:計測区間のスキャナは同じ検知率を持つ。
仮定②:車両は計測区間にランダムで到着する。

車両が自由走行状態であるとき、ある時間帯における到着台数はポワソン分布に従う。単位時間あたりに MAC アドレスが検知される確率 $P(n)$ は、単位時間あたりの MAC アドレスの平均取得数を用いて、(2)の式で表される。

$$P(n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda} \quad (2)$$

n : 時間帯あたりに検知される MAC アドレス数の合計

λ : 時間帯あたりにスキャナ 1 台が検知する MAC アドレス数の平均値

また、単位時間あたりの MAC アドレス検知数の平均値と交通量、及び検知率、装備率は(3)の関係で表される。

$$\lambda = q(j)r_a r_e \quad (3)$$

$q(j)$: 時間帯 j における交通量

r_e : Bluetooth 機器の装備率

(全交通量に対する Bluetooth 装備車の割合)

r_a : 検知率

(2)(3)の関係から、単位時間あたりに n 個の MAC アドレスを検知する確率は(4)の式で表される。

$$P(n|r_e) = \frac{(q(j)r_a r_e)^n \exp(-q(j)r_a(j)r_e)}{n(j)!} \quad (4)$$

尤度最大化した際の装備率を推定装備率 \hat{r}_e として用いる。

$$\hat{r}_e = \operatorname{argmax} L(r_e) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k n_i(j)}{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k q(j)r_a(j)} \quad (5)$$

MAC アドレス検知の平均値は、交通流率を用いて、(6)の式で表される。

$$\lambda = \lambda_Q r(j) T \quad (6)$$

λ_Q : 交通流率

ここで、

$$r(j) = r_e r_a(j) \quad (7)$$

$r(j)$: 時間帯 j における MAC アドレス検知数に対する交通量への拡大率

尤度最大化した際の λ_Q を決定する。

$$\lambda_Q = \operatorname{argmax} L(\lambda_Q) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k n_i(j)}{krT} \quad (8)$$

単位時間当たりの交通量 q を(9)式で推定する。

$$\hat{q} = \lambda_Q T \quad (9)$$

5. 観測調査

交通量推定手法を適用するために、観測調査を実施した。観測調査はスキャナを観測区間の両端に設置し、観測区間は単路部とした。

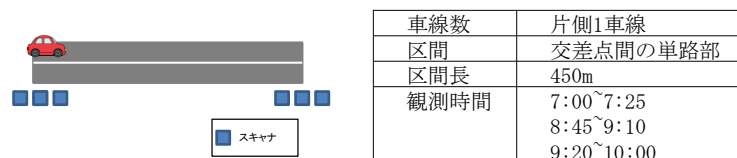


図 2 観測調査区間イメージ図と調査区間の概要

6. 推定結果

交通量推定の際、装備率の推定のため交通量を用いる。各時間帯の交通量より推定された装備率を用いて、交通量を推定した。結果を表 3 に示す。

表 3 交通量推定結果

時間帯	7:00~7:25		8:45~9:10		9:20~10:00	
	推定値 \hat{q}	実測値 q	推定値 \hat{q}	実測値 q	推定値 \hat{q}	実測値 q
7:00~7:25			233.8		374.1 (0.13)	432
8:45~9:10	378 (-0.13)	333		264	421.1 (0.03)	
9:20~10:00	387.6 (-0.16)		270.1 (-0.02)			

7. 課題

本研究における観測調査の実施期間が短く、装備率と MAC アドレス数の分布について十分な検討ができていない。装備率が一定だと考えられる区間で長期的な調査を実施することで、検知される MAC アドレスと装備率、交通量の関係について更なる知見が得られると考えられる。