

Bluetoothスキャナを用いた MACアドレス観測によるOD交通量推定手法

吉井 稔雄¹・西内 裕晶²・塩見 康博³・尾高 慎二⁴・倉内 慎也⁵

¹正会員 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)
E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 長岡技術科学大学助教 環境社会基盤工学専攻(〒940-2188新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail: nishiuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

³正会員 立命館大学理工学部准教授 理工学部環境システム工学科(〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

⁴正会員 (株) オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)
E-mail: odaka@oriconsul.com

⁵正会員 愛媛大学准教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)
E-mail: kurauchi@cee.ehime-u.ac.jp

本稿では、断面交通量とBluetoothスキャナを用いたMACアドレス観測結果に基づいて、観測地点間のOD交通量を推定する手法を考案する。同推定手法は、Bluetooth搭載車両のOD交通量推定と全体のOD交通量推定の2ステップから構成される。具体的には、まず装備率、検知率、捕捉率を定義した後、1)各観測地点におけるMACアドレス観測結果と検知率を用いてBluetooth搭載車両のOD交通量を推定する。続いて、2) 現在パターン法を用いて断面交通量を制約条件としてBluetooth搭載車両のOD交通量を拡大しOD交通量を推定する。

Key Words : bluetooth, OD estimation, present patern method

1. はじめに

近年、Bluetooth通信機能を搭載した車両が普及し、Bluetooth スキャナを用いたMAC (Media Control Access) アドレス観測による経路旅行時間の観測手法が提案¹⁾²⁾されている。これらはAVIによるナンバープレートマッチングから旅行時間を計測する方法と同じく、Bluetoothスキャナを設置した2地点で観測されたMACアドレスのマッチングによって旅行時間を計測するものである。一方、スキャナのMACアドレス検知率が車両走行速度や計測環境に依存することが報告⁴⁾されている。このため、Bluetooth通信を行っている車両、すなわちMACアドレスを持つ車両の各観測地点を通過する全車両に占める割合が一定であると仮定しても、観測地点によってMACアドレスの検知率が異なると考えられることから、同スキャナを用いたMACアドレス観測によるOD交通量推定手法が確立されるには至っていない。そこで、本稿では同

スキャナを用いたOD交通量推定手法の構築に向けて、観測地点によってMACアドレスを持つ車両の割合、検知率ともに異なることを前提として、BluetoothスキャナによるMACアドレス観測結果と断面交通量に基づいて観測地点間のOD交通量を推定する手法を考案する。

2. 装備率・検知率・捕捉率

本稿においては、先行研究⁵⁾にならい以下にて装備率、検知率および捕捉率を定義する。

装備率：Bluetooth搭載車両、すなわちMACアドレスを持つ車両の断面交通量に対する割合
 検知率：Bluetooth搭載車両に対するBluetoothスキャナが検知したMACアドレス数の割合
 捕捉率：Bluetoothスキャナが検知したMACアドレス数の断面交通量に対する割合

このうち、捕捉率については断面交通量とMACアドレスの観測結果から直接求めることが可能である。一方、検知率と装備率は直接観測することが困難である。そこで、検知率に関しては、途中で出入りする事のない閉じた道路区間の両端においてMACアドレスを観測し、式(1)に示すように、一方の端点“Aに設置したBluetoothスキャナが獲得したMACアドレス数に対するマッチングされたMACアドレス数の割合”を以て、もう一方の端点Bに設置したBluetoothスキャナによる検知率を推定することができる。

$$r_B^d = \frac{n_{AB}}{n_A} \quad (1)$$

- n_X : 観測地点Xで獲得されたMACアドレス数
- n_{XY} : 地点X,YでマッチングされたMACアドレス数
- r_X^d : 観測地点Xにおける検知率

装備率に関しても、直接観測可能な捕捉率と式(1)によって推定された検知率を用いて、

$$r^e = \frac{r^c}{r^d} \quad (2)$$

- r^e : 装備率
- r^d : 検知率
- r^c : 捕捉率

にて推定することができる。

2. OD推定手法

(1) 単純にサンプル率で拡大する方法

Bluetoothスキャナによる2つの観測地点A, B間でマッチングされるMACアドレス数の期待値 $E(n_{AB})$ は以下の式で算定される。

$$E(n_{AB}) = N_{AB} \times r_A^d \times r_B^d \quad (3)$$

- N_{XY} : 地点X,Yをともに通過するBluetooth搭載車両の台数 (真値)

このとき、最確値を推定量とすれば、ABを通行するBluetooth搭載車両の台数 (OD交通量) は式 (4)で推定することができる。

$$\hat{N}_{AB} = \frac{n_{AB}}{r_A^d \times r_B^d} \quad (4)$$

\hat{N}_{XY} : Bluetooth搭載車両のODペア=XYの推定交通量

続いて、式(2)から得られる発地点Aまたは着地点Bの装備率を用いて、Bluetooth搭載車両のOD交通量を拡大することでOD交通量を推定することができる。(式(5a), (5b))

$$\hat{T}_{AB} = \frac{\hat{N}_{AB}}{r_A^e} \quad (5a)$$

$$\hat{T}_{AB} = \frac{\hat{N}_{AB}}{r_B^e} \quad (5b)$$

\hat{T}_{XY} : ODペア=XYの推定OD交通量

r_X^e : 観測地点Xにおける装備率

(2) サンプル率による拡大手法の問題点

断面交通量とBluetoothスキャナが観測するMACアドレスからOD交通量を推定する場合、最も信頼できるデータは断面交通量である。そこで、前節の推定手法に基づいて各OD交通量を推定するに際しては、断面交通量を制約条件とすることが望ましい。

ここで、図1に示す道路ネットワークとn箇所の観測地点(図中の太線箇所)を設定し、観測地点を起終点としてOD交通量を推定することを考える。一般にはBluetoothスキャナを設置した断面以外、すなわち図1の網掛け部に相当する道路ネットワーク内(以下“エリア内”)に起終点を持つ交通が存在することから、これらをひとまとめにして、観測地点以外にも一つの起終点(エリア内)を考える。このとき、1観測地点のみで観測されたMACアドレスについては、(i)もう一つ別の観測地点を通過したにもかかわらず、検知されなかったのか、(ii)エリア内に起終点を持つ交通であるのかについて区別することが必要となる。他の情報が得られない場合には、同判別を正確に行うことは不可能である。そこで、表1に於いて、 T_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, n$) に式 (5a) または(5b) から獲得された推定量を代入し、断面交通量として観測されている周辺交通量 (O_i, D_j) から T_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, n$) を差し引くことで、エリアを起終点とするOD交通量(T_{io}, D_{oj}), すなわち(ii)の交通量を評価することでOD表が完成する。

しかしながら、この方法によれば、場合によっては交通量の値が負値になるなど、推定に際して生じた誤差がエリア内に起終点を持つOD交通量に集中してしまうことから、次節によるOD推定手法を考案する。

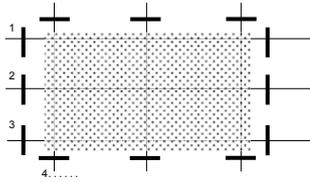


図1 OD推定を行うネットワークと観測地点の例

表1 推定OD交通量

	1	2	3	...	n	エリア	計
1	0	T ₁₂	T ₁₃	...	T _{1n}	T _{1o}	O ₁
2	T ₂₁	0	T ₂₃	...	...	T _{2o}	O ₂
3	T ₃₁	T ₃₂	0	...	...	T _{3o}	O ₃
...
n	T _{n1}	...	...	...	0	T _{no}	O _n
エリア	T _{o1}	T _{o2}	T _{o3}	...	T _{on}	0	
計	D ₁	D ₂	D ₃	...	D _n		

(3) 現在パターン法を用いたOD推定手法

前節に示したように、単純に断面交通量と装備率を用いてBluetooth搭載車両のOD交通量を拡大する方法では、推定誤差が大きくなってしまふ。そこで、以下では、フレーター法などの現在パターン法を用いてOD交通量を推定する手法を考案する。

表2に観測から獲得されるBluetooth搭載車両の交通量ならびに各観測地点での検知率を整理する。ただし、エリアを起終点とするBluetooth搭載車両のOD交通量（図中の網掛け部）は観測されない。また、表中の周辺交通量は、各地点に於いてマッチングされた方向別のBluetooth搭載車両台数を表す。

このとき、調整項を

$$f_{ij} = \frac{1}{r_i^d \times r_j^d} \quad (6)$$

とおけば、式(4)より、

$$\hat{N}_{ij} = f_{ij} \cdot n_{ij} \quad (i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, n) \quad (7)$$

となる調整項 f_{ij} を以下の式(8),(9)の制約の下に求める問題となり、実務で用いられているフレーター法などを用いることで求解可能である。

$$\sum_j \hat{N}_{ij} = \frac{\sum_j n_{ij}}{r_i^d} \quad (i=1, \dots, n) \quad (8)$$

$$\sum_i \hat{N}_{ij} = \frac{\sum_i n_{ij}}{r_j^d} \quad (j=1, \dots, n) \quad (9)$$

続いて、当該地点でのみ観測されたMACアドレスも含めて各地点で観測されたBluetooth搭載車両の全数を検知

表2 観測から獲得されるBluetooth搭載車両の交通量と検知率

	1	2	3	...	n	エリア	計	検知率
1	0	n ₁₂	n ₁₃	...	n _{1n}	n _{1o}	Σ n _{1j}	r ₁ ^d
2	n ₂₁	0	n ₂₃	...	...	n _{2o}	Σ n _{2j}	r ₂ ^d
3	n ₃₁	n ₃₂	0	...	...	n _{3o}	Σ n _{3j}	r ₃ ^d
...
n	n _{n1}	...	...	...	0	n _{no}	Σ n _{nj}	r _n ^d
エリア	n _{o1}	n _{o2}	n _{o3}	...	n _{on}			
計	Σ n _{1i}	Σ n _{2i}	Σ n _{3i}	...	Σ n _{ni}			
	r ₁ ^d	r ₂ ^d	r ₃ ^d	...	r _n ^d			

率で拡大し、上記で求めた \hat{N}_{ij} を差し引くことで各エリアを起終点とするBluetooth搭載車両のOD交通量を評価して、Bluetooth搭載車両のOD表を完成する。

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{oi}}{r_i^d} - \sum_j \hat{N}_{ij} \quad (i=1, \dots, n) \quad (10)$$

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{dj}}{r_j^d} - \sum_i \hat{N}_{ij} \quad (j=1, \dots, n) \quad (11)$$

Bluetooth搭載車両のOD表が完成した後は、観測地点間のOD交通量を現在ODと見なし、各地点で計測した断面交通量を将来の周辺交通量と見なすことで、ここでも現在パターン法を用いて各観測地点間のOD交通量を推定する。

3. おわりに

本稿では、BluetoothスキャナによるMACアドレス観測に基づいてOD交通量を推定するOD推定手法を考案した。今後は、実務への適用を視野に入れ、捕捉率あるいは装備率とODの推定精度との関係を把握しておく必要がある。また、並行して実施している研究により、Bluetoothスキャナの検知率が、交通流状態や道路幅員、さらにはスキャナ設置の向きに依存して変化することが明らかとなっている。そこで、観測地点による差が少なく、また高い検知率が獲得できる調査実施方法を確立していきたい。

参考文献

- 1) Wasson, J.S., Sturdevant, J.R. and Bullock, D.M.: Realtime travel time estimates using media access control address matching, ITE Journal, Vol. 78, No.6, pp.20-23, 2008
- 2) Bhaskar, A. and Chung, E.: Fundamental understanding on the use of Bluetooth scanner as a complementary transport data, Transportation Research Part C, Vol.37, pp42-72, 2013.

- 3) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 管芳樹 : Bluetooth 通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No5, pp501-508, 2014.
- 4) Bakula, C., Schneider, W., IV, and Roth, J. : Probabilistic Model Based on the Effective Range and Vehicle Speed to Determine Bluetooth MAC Address Matches from Roadside Traffic Monitoring, *Journal of Transportation Engineering*, 138(1), 43–49, 2012.
- 5) 尾高慎二, 吉井稔雄, 倉内慎也, 神戸信人 : Bluetooth 通信を用いた一般道における交通流計測の適用可能性の研究, (2015. 7.31 受付)

OD ESTIMATION METHOD BY OBSERVING MEDIA CONTROL ACCESS BY USING BLUETOOTH SCANNERS

Toshio YOSHII, Hiroaki NISHIUCHI, Yasuhiro SHIOMI, Shinji ODAKA,
Shinya KURAUCHI

This paper proposes an OD Estimation method between two observation site by observing Media Control Access address by using bluetooth scanners. The proposed method consists of 2 steps, step 1 estimates the OD of bluetooth equipment vehicles, and step 2 expands it to the general OD. After equipment ratio, detection ratio and obseravation ratio are defined, 1) OD of bluetooth equipment vehicles are estimated by using obseravation results of MAC address at each site and obseravation ratio. Then, 2) general OD volumes are estimated by expanding the estimation results in step 1 by using present pattern method under the conditions of observed traffic volumes.