

(6) 移動体データ取得のためのBluetooth MAC アドレス検知の指向性に関する基礎分析

西内 裕晶¹・塩見 康博²・倉内 慎也³・吉井 稔雄⁴・菅 芳樹⁵

¹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

²正会員 立命館大学准教授 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

³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番)
E-mail: kurauchi@cee.ehime-u.ac.jp

⁴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番)
E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

⁵非会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003 大阪府大阪市堂島1丁目5-17堂島グランドビル)
E-mail: suga@refree.jp

本研究は、わが国の地方都市やアジア諸都市のようなセンサーインフラが充実していない地域における交通流モニタリング手法の構築に資するために、新たな移動体データ収集のツールとして注目されるスマートフォンやカーナビから発信されるBluetoothのMACアドレスに着目し、その検知特性を把握する。具体的には、MACアドレスを受信する際に、受信機の置き方、発信機からの距離、角度といった設置方法の違いが受信精度に与える影響を把握し、交通流観測のためのMACアドレス受信機設置方法について考察する。データ分析の結果から、MACアドレス検知に際しては、発信機と受信機間の距離と受信機正面の角度がMACアドレス検知率に影響を与えることが示された。これにより、MACアドレスを検知する際には、受信機側の指向性を考慮することが重要であると結論づけられる。

Key Words : bluetooth, MAC address, directivity

1. はじめに

アジアの諸都市における経済の発展と共に慢性化する交通渋滞が問題となっている。しかしながら、これらの都市では道路交通流を観測するセンサーインフラの整備が十分に行われておらず、増加する交通需要に対して十分な交通施策が実施されていないのが現状である。また、わが国においても地方都市では、一般道路をはじめとする各種道路上に車両感知器等が十分に設置されておらず、交通渋滞や交通事故等の問題が未だ残っているのが現状である。よって、これらの問題を解決するため、道路交通流モニタリングのためのセンサーインフラが十分に整備されていない地域においても道路交通流をモニタリングし、動的な交通マネジメント施策を検討する方法を構築する必要がある。

そんな中、新たな移動体データとしてスマートフ

オンやカーナビから車両の走行データを収集し、動的な交通マネジメント施策の実施を検討する研究が増えてきている^{1), 2)}。また、スマートフォンやカーナビの多くの機器に搭載されているBluetoothから発信されるMAC(Media Control Access)アドレスを路側から観測し、交通データとして分析する例も見られる。特に交通データとしての収集例としては、ある観測地点間を通過したBluetooth搭載車両から受信したMACアドレスをマッチングさせ、地点間の旅行時間やOD交通量を推定している例が見られる^{3), 4)他}。これにより、車両感知器等の交通流モニタリングセンサーが十分に設置されていない場合においても、対象区間における交通状態推定方法の構築が期待される。一方で、MACアドレスの受信に際しては、その検知特性が明らかになっていないことが問題視されている。北澤ら⁵⁾は、BluetoothのMACアドレスを計測・記録して旅行時間を計測するための調査シ

システム構築を検討し、実環境で容易に利用可能な計測ツールを開発している。その中で、開発したツールを用いて、屋内においてMACアドレスを取得する実験を行い、受信機側がBluetooth搭載機器を探索する時間とMACアドレス取得率の関係を分析し、約70%のMACアドレス検知率を確保できたことを示している。また、佐藤ら⁶⁾は、歩行者ナビゲーションシステム構築のために、Bluetoothが発信する電波強度とBluetooth受信機との距離に着目して、Bluetooth発信機の位置を推定する実験を屋外で行い、場所による電波強度の違いがあるものの、Bluetooth発信機の位置の特定を可能としている。しかしながら、依然としてBluetoothのMACアドレス受信機が、発信されるMACアドレスを受信する際の指向性は明らかになっていない。特に、移動体の移動方向の把握が重要になる交通流をモニタリングするために、MACアドレス受信機の設置方法によって、より正確にMACアドレスを検知できるのかについては、考察がなされていないのが現状である。

そこで本稿では、北澤ら⁵⁾が開発したMACアドレス検知ツール(以下、RFRCスキャナ)を用いて、それがMACアドレスを検知する際に有する指向性を調べる。具体的には、複数台のMACアドレス発信機を設置し、地面に対するスキャナモニター画面の向き(水平/垂直)、発信機からRFRCスキャナ設置位置までの距離、さらにはスキャナモニター画面が発信機となす角度を考慮し、これらの要因がMACアドレス検知精度に与える影響を分析する。

2. MACアドレス検知実験の概要

本章では、MACアドレス検知実験に用いたMACアドレス検知ツールならびに実験の概要を示す

(1) MACアドレス検知ツールの概要

MACアドレスデータの収集には、株式会社地域未来研究所で開発されたBluetoothのMACアドレス検知するRFRCスキャナを用いた。RFRCスキャナは屋外で利用することを考慮してスマートフォンもしくはタブレット上で動作するよう設計されたアプリである。OSはAndroid(バージョン2.0以上)とした。本スキャナは、MACアドレスを取得するために、まず、近隣に存在するBluetoothを探索するAPI(Application Programming Interface)を発行する。発行後、APIがタイムアウトするまでの間、不定期に返信されてくる近隣に存在するBluetooth機器からのMACアドレスをタイムスタンプと共にファイル

に出力する。通常は、約12秒程度で自動的にタイムアウトが発生するが、このツールでは、タイムアウトまでの時間を自由に設定することを可能である。また、探索用APIを発行してからMACアドレスが返ってくるまでの経過秒も同時に保存される。

(2) MACアドレス検知実験の概要

図-1には、MACアドレス検知実験に用いた機器の設置方法を示す。RFRCスキャナとBluetoothのMACアドレス発信機の間には l [m]の間隔においてRFRCスキャナを2台設置する。1台は、RFRCスキャナを地面に対して垂直に設置し、もう1台は地面に対して水平に設置する。次に、ある距離 l において実験を実施する際に、RFRCスキャナのモニター画面とMACアドレス発信機のなす角について、スキャナを垂直に設置した場合では5個($\theta = 0$ 度, 45度, 90度, 135度, 180度)、水平に設置した場合では3個($\phi = 0$ 度, 45度, 90度)の組み合わせを設定し、それぞれの実験で5分間MACアドレスを検知した。なお、RFRCスキャナでは、MACアドレスを検知した際の電波強度も併せて取得することが可能であるため、次章では、その結果も分析した。

MACアドレスの検知実験は、2015年3月4日(水)に愛媛県松山市にある石手川南緑地のソフトボール用グラウンドにて実施した。周囲には高層の建物は存在しておらず、Bluetooth発信機とRFRCスキャナの間にはBluetoothの電波を妨害し得る人や障害物が入らないように注意して実験を行った。

(3) MACアドレス検知率 r の定義

RFRCスキャナで検知されるMACアドレスは、10秒間に1回の頻度でファイルに出力されるよう設定した。また、同じ10秒間でも同じMACアドレスが複数検知される場合も見られた。なお、本研究では、機器間の距離 l ならびにRFRCスキャナのモニター画面がMACアドレス発信機となす角ごとに、RFRCスキャナを地面に対して垂直に設置した実験を5回、水平に設置した実験を3回実施し、それぞれ5分間で検知されたMACアドレス数について分析を行う。ここで、RFRCスキャナが、5分間で検知したMACアドレスを出力するタイミングを、実験実施者の時計と受信機内の時計とで同期することができないため、最初と最後に検知されたMACアドレス数にばらつきが見られた。そこで本稿では、各実験で5分間の内、最初と最後に出力されたMACアドレスは検知数にカウントせずに、以下の式(1)の通りにMACアドレス検知率を定義し、分析を進めた。

ここで、式(1)は、ある実験における各MACアド

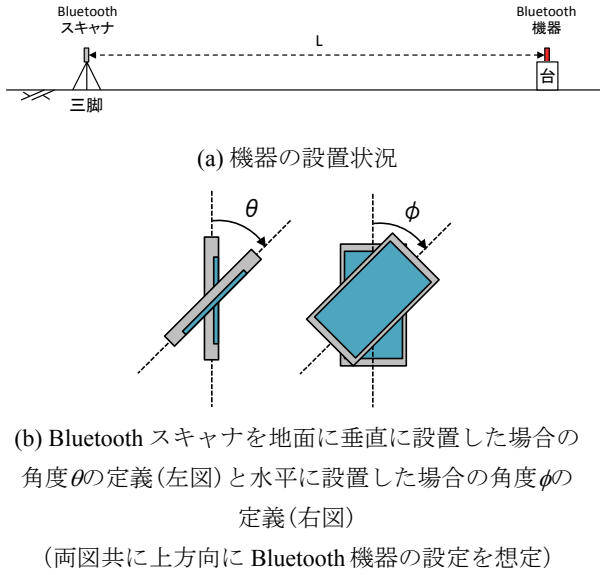


図-1 MACアドレス検知実験機器の設置方法

レスのスキャンインターバルで用意した発信機のMACアドレスが検知される度合いを示している。用意した発信機は計7台であるため、MACアドレス発信機数 n に7を代入している。さらに、前述の通り、ある5分間の実験で出力されたMACアドレスの内、最初と最後に出力されたMACアドレスは、スキャンインターバルのタイミングを実験実施者の時計と受信機内の時計の同期が十分でなく、分析の対象から除いたため、ある実験におけるMACアドレスの総スキャン数 I から2を引いている。

$$r(s, l, a) = \frac{\sum_{i=2}^{I-1} h(s, l, a, i)}{n(I-2)} \quad (1)$$

$r(s, l, a)$: ある実験(設置方法 s ; 垂直or水平, 発信機と受信機間の距離 l , 受信機正面の発信機に対する角度 a ; θ or ϕ)における対象MACアドレスの検知率

$h(s, l, a, i)$: ある実験においてあるスキャンインターバル i で検知された対象MACの個数

I : ある実験におけるMACアドレスの総スキャン数

n : MACアドレス発信機数

3. MACアドレス検知実験の結果

(1) 設置方法別距離別角度別MACアドレス検知率

図-2と図-3は、RFRCスキャナを地面に対して垂

直に設置した場合のMACアドレス検知率 r と同じくMACアドレスを検知電界強度のある実験における平均値を示している。図-4と図-5には、RFRCスキャナを水平に設置した場合における上述の二つの指標を示している。各図より、MACアドレス発信機からRFRCスキャナまでの距離が離れば、MACアドレス検知率 r が低くなり、MACアドレスを受信した際の電界強度も弱くなることから分かる。

次に、MACアドレス発信機とRFRCスキャナがなす角に着目すると、RFRCスキャナを垂直に設置し、MACアドレス発信機に対してモニター画面を裏面に設置した場合($\theta = 90^\circ$)に、設置距離 l が遠くなれば、MACアドレス検知率 r が顕著に低くなるなどの結果が得られた。一方で、側面を向けて設置することにより($\theta = 0^\circ$ or 180°)、MACアドレス検知率 r と電界強度は高くなり、RFRCスキャナを0度や45度に設置すると、MACアドレス検知率 r と電界強度は相対的に高くなる傾向を示した。また、135度や180度の角度を付けた場合でも、0度~45度における検知率 r ほどではないものの、裏面(90度)より高い検知率 r を示した。さらに、RFRCスキャナを水平に設置した場合でも、同様に、 $\phi = 45^\circ$ 程度とした場合に高いMACアドレス検知率 r を示した。よって、BluetoothのMACアドレス検知率 r は、設置方法や設置の向きに影響を受けるとの結果が得られた。

(2) 重回帰分析による距離と角度の影響分析

MACアドレス受信機の指向性について、受信機と発信機の距離 l と、それぞれがなす角の影響をより明確にするために、MACアドレス検知率 r を目的変数として重回帰分析を行った。表-1には、RFRCスキャナを垂直に設置した場合、表-2には、水平に設置した場合の結果を示す。両表より、RFRCスキャナの設置方法によらず、MACアドレス発信機とRFRCスキャナの距離 l ならびに両機器のなす角度のいずれも有意にMACアドレス検知率 r に影響を与えるとの結果を得た。すなわち、検知率 r に関して受信機が指向性を有することが示された。

4. おわりに

本稿では、Bluetooth機器が発信するMACアドレスに着目し、MACアドレス受信機の有する指向性を屋外実験により把握した。実験で得られたMACアドレス検知率を分析した結果、受信機の置き方(水平もしくは垂直)に関わらず、MACアドレス発信

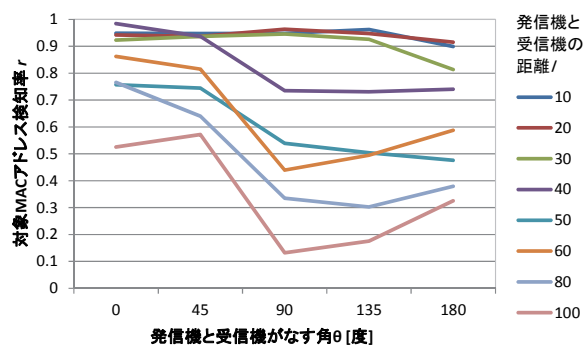


図-2 スキャナ垂直設置時のMACアドレス検知率 r

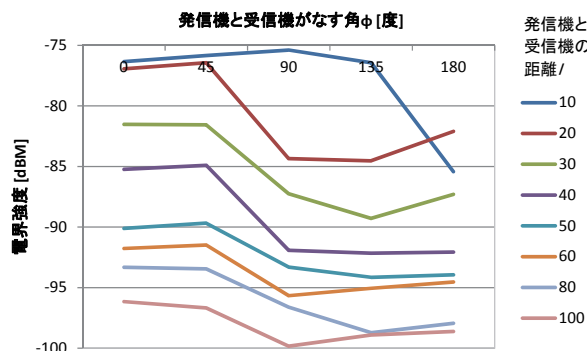


図-3 スキャナ垂直設置時のMACアドレス検知電界強度

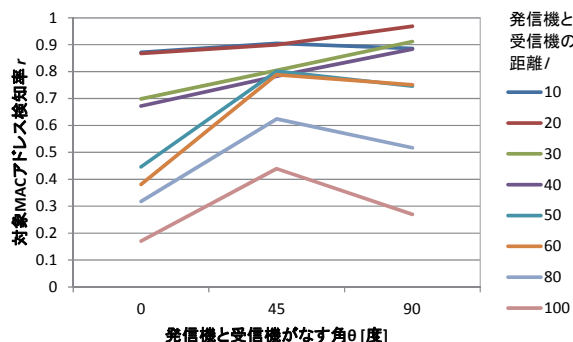


図-4 スキャナ水平設置時のMACアドレス検知率 r

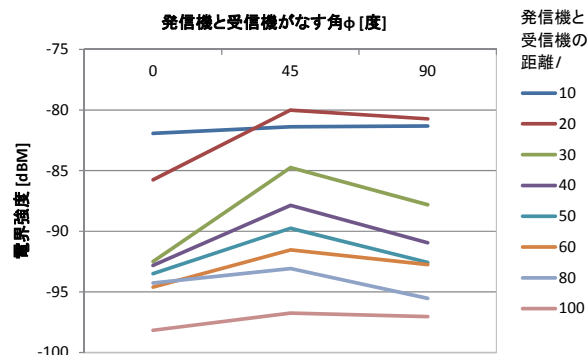


図-5 スキャナ水平設置時のMACアドレス検知電界強度

表-1 MACアドレス検知率 r に関する重回帰分析
(RFRCスキャナを垂直に設置した場合)

変数	偏回帰係数	P値	判定	R ²
機器間の距離[m]	-0.0072	0.0000	**	0.906
機器の角度 ($\cos(\theta)$)	0.1092	0.0000	**	
定数項	1.0641	0.0000	**	

表-2 MACアドレス検知率 r に関する重回帰分析
(RFRCスキャナを水平に設置した場合)

変数	偏回帰係数	P値	判定	R ²
機器間の距離[m]	-0.0068	0.0000	**	0.900
機器の角度 ($\cos(\phi)$)	-0.1502	0.0092	**	
定数項	1.1014	0.0000	**	

機と受信機の距離が長いほどMACアドレス検知率が下がることが分かった。また、受信機のモニター画面を発信機に対して正面に設置するよりも、左右に角度を持たせて設置した方が、MACアドレス検知率が高くなることも把握した。さらに、発信機と受信機との距離とそれぞれの機器がなす角度が、BluetoothのMACアドレス検知率に影響を及ぼすことを重回帰分析により分析し、MACアドレス受信機は指向性を有することを示した。

今後は、実際の交通流の進行方向とMACアドレス検知率の違いを分析し、MACアドレス情報を活用した動的な交通状況把握手法を検討する。

謝辞：本研究を遂行するために、また、愛媛大学大学院の藤井浩史氏、安原弘貴氏、立命館大学の高倉功氏には実験遂行のための準備等でご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Juan C. Herrera and Alexandre M. Bayen: Incorporation of Lagrangian measurements in freeway traffic state estimation, *Transportation Research Part B*, Vol. 44, pp.460-481, 2010.
- 2) 塩見康博, 西内裕晶, 吉井稔雄: スマートフォンの所持形態を考慮した二輪車・四輪車の車種判別に関する研究, 第12回 ITS シンポジウム論文集, Vol.12, 2014.
- 3) Wasson, J.S., Sturdevant, J.R. and Bullock, D.M.: Real-time travel time estimates using media access control address matching, *ITE Journal*, Vol. 78, No.6, pp.20-23, 2008.
- 4) Bakula, C., Schneider, W. 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*, Vol.138, No.1, pp.43-49, 2012.
- 5) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 菅芳樹, 萩原武司: 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 (土木計画学) Vol. 70, No. 5 p. I_501-I_508, 2014.
- 6) 佐藤智美, 小宮山哲, 下田雅彦, 劉渤江, 横田一正: Bluetooth の電波強度を用いた位置推定方式の検討, *Proceedings of the 3rd Forum on Data Engineering and Information Management*, online, 2011.