

Bluetooth デバイス存在検出手法の考察

新井 イスマイル^{†1} 広 淵 崇 宏^{†2} 藤 川 和 利^{†3}
西 尾 信 彦^{†4} 砂 原 秀 樹^{†3,†5}

Bluetooth デバイスの普及性と低コスト性に着目し、コンテキストウェアサービスのためのデバイス存在検出手法として Bluetooth を活用することを試みた。ユーザが持ち歩く Bluetooth デバイスには仕様上 Inquiry Command に応答しないものがある。一方、MAC アドレスを指定してデバイス名の返答を要求する Remote Name Request Command があり、これはスタックの仕様上、返答時間は長い、全てのデバイスが返答可能といった特徴を持つ。本論文ではそれぞれの要求に対する一般的な Bluetooth デバイスの応答性能について基礎評価を行い、Bluetooth デバイスを活用した位置検出の有効性について述べる。

A consideration of detecting Bluetooth devices

ISMAIL ARAI,^{†1} TAKAHIRO HIROFUCHI,^{†2} KAZUTOSHI FUJIKAWA,^{†3}
NOBUHIKO NISHIO^{†4} and HIDEKI SUNAHARA^{†3,†5}

Taking advantage of spreadness and cost effectiveness of Bluetooth technologies, we apply it to context-aware services. Some ordinary Bluetooth devices that users have would not reply to an Inquiry Command. Also, there is a Remote Name Request Command which offer the Bluetooth devices to reply their names. This command force all devices to reply though the response is slower. In this paper, we describe the effectiveness of Bluetooth device detection by evaluating response time from ordinary Bluetooth devices.

1. はじめに

本研究ではコンテキストウェアサービスに必要なユーザの位置検出機能を低導入性をもって実現することを目的とする。想定するコンテキストウェアサービスはオフィスや研究室内スタッフの在室管理で、例として部屋の入り口のパネルまたは Web 上に座席表を用意し各ユーザのオフィス内の存在有無をセンサによって取得し、動的に表示するサービスが考えられる。

従来このようなサービスに対して、ユーザの存在検出のためにアクティブ RFID (Radio Frequency Identification) タグをユーザに携帯させ、タグの存在をポーリングにより検出する手法が一般的であった。

アクティブ RFID タグは、ユーザが身近に持つデバイスに付属することは稀で普及度が低いため、全てのユーザに新たにアクティブ RFID タグを所持させる必要がありユーザのサービス参加の敷居が高い。一方、Bluetooth は近年多くの携帯電話、ヘッドセット、ヘッドフォンに実装されるようになったことからユーザにとって身近なデバイスとなっているため、アクティブ RFID による存在検出手法よりもサービス参加の敷居が低くなるのが期待できる。しかし、Bluetooth デバイスはアクセス制御設定の多様性から、デバイス存在検出のために用意されている、非同期通信による高速応答性のある Inquiry Command に応答できない、あるいは一般的なユーザにとって有効化設定が困難な場合がある。Inquiry Command 以外の手段として、個々のデバイスに MAC アドレスによって宛先を指定し、直接データリンクレベルでのコネクション要求を送信して、その応答結果によって判断

^{†1} 立命館大学総合理工学研究機構

The Research Organization of Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†2} 産業技術総合研究所情報技術研究部門

Information Technology Research Institute, National
Institute of Advanced Industrial Science and Technol-
ogy

^{†3} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute
of Science and Technology

^{†4} 立命館大学情報理工学部

Department of Computer Science, Ritsumeikan Univer-
sity

^{†5} 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

Graduate School of Media Design, Keio University

表 1 各測位手法の整理

Table 1 Arrangement of location tracking methods

	粒度	速度	コスト	普及度
超音波等			×	×
無線 LAN 等	×			
アクティブ RFID				×

するといった Create Connection Command を利用する方法、またはデバイス名を問い合わせる Remote Name Request Command を利用する方法がある。特に Remote Name Request Command はアクセス制御設定項目がなくどのデバイスでも必ず応答ができるようになっている。したがってユーザが所持する可能性のある、あらゆる Bluetooth デバイスに対して存在検出を効率よく行うには、これら Inquiry Command と Remote Name Request Command による存在検出手法を組み合わせたことが望ましい。

本論文ではさまざまな Bluetooth デバイスの Inquiry Command、Create Connection Command、Remote Name Request Command の応答特性について調査し、在室管理などのコンテキストウェアサービスに必要なデバイス、コマンドパラメータの設計指針を見出す。

以下、2章では既存の無線通信デバイス検出手法について整理し、研究の目的に Bluetooth を活用することが望ましいことを述べ、3章にて、Bluetooth デバイスの存在検出手法を列挙し、それぞれの特性について考察し、最も効率の良いデバイス検出手法について検討する。4章では、取り上げた検出手法をさまざまなデバイスに対して試験し、その結果と考察を述べ、5章にてまとめる。

2. 無線通信デバイス検出手法の現状

コンテキストウェアサービスに必要な位置検出機能は、位置表現の粒度や、応答速度によって性能が示される。また、本研究の目的となる低導入性を考慮した場合、設置コストや普及度が重要な指標となる。その差異は、位置の粒度・応答速度・サービス構築コストや普及度によって見出される。上記の指標を考慮して、現状の位置検出手法を大まかに3つに分けて考察する。

- 超音波、赤外線を活用した測位手法
超音波を活用した Active Bat¹⁾ は部屋内にたくさんの超音波センサを取り付け3点測位をすることによって3cmといった非常に細かい粒度でバッジの位置座標を追従できる。また反応速度も高速である。しかしセンサが膨大に必要なことから設

置コストの問題が無視できない。

それに対して、ALTAIR²⁾ は少数のカメラで赤外線タグを追従することによって、センサ設置コストを緩和しているが、複数のカメラとその画像をリアルタイムに解析するサーバは必要となるため完全に低コストとは言い切れない。

- 通信用デバイスの電波を活用した測位手法
街中の至る所で観測可能な無線 LAN 基地局情報を緯度・経度といった位置座標に基づいてデータベース化し、電波強度を距離に換算した3点測位を基本とする位置推定サービスが、PlaceLab³⁾ や Locky⁵⁾ といった研究に始まり、国内でも、Place Engine⁴⁾ によって事業化が進められている。推定精度は数10m オーダーで、室内の存在検出をする上では不十分な精度である。
インフラは十分に用意されつつあるが、ユーザが常備する無線 LAN クライアントが普及していないためユーザのサービス参加の敷居が高い。ほぼ全てのユーザが常備すると考えられるものに携帯電話があるが、これに無線 LAN を搭載する例は消費電力などの問題によってまだ少なく、今後も全ての携帯電話に搭載される見込みはまだ低い。一方、同じ2.4GHz帯の電波を利用したデバイスとして Bluetooth がある。PCの周辺機器接続手段として普及し、携帯電話への組み込みも徐々に増加している。Madhavapeddy ら⁶⁾ は上記無線 LAN と同様に信号強度によって測位する試みがなされているが、これについては電波伝搬の性質がないため、Bluetooth による3点測位による位置推定は困難であると結論づけている。
- アクティブ RFID タグを活用したデバイスの存在検出手法
アクティブ RFID をユーザに持たせ、存在検出をしたい箇所にリーダを設置することによって、圏内のユーザを発見するといった存在検出手法^{7)~9)} が数多く発表されている。必要な粒度に応じて、リーダの電波伝搬範囲を設定できるため、細かい粒度での検出が期待できる。しかし、Active Bat、ALTAIR ほどではないが、他の目的に流用できない点でアンテナの設置コストは高いと考えられる。同じく他の機能を持たないタグを新たに持ち歩くことはユーザにとって負担となる。

以上をまとめると表1のような体系付けとなる。超音波等を用いる手法は、設置コストが特に高いため非現実的である。無線 LAN は速度・サービス構築コストのバランスがとれているが、粒度に問題があり、対応

デバイスが未だに普及しない問題がある。RFIDは存在検出手法としては最も適した解決手法ではあるが、他の目的に流用することが難しいことから設置コストと普及度に問題が残る。

一方、Bluetoothは携帯電話に搭載される動きが顕著に見られる。したがって、BluetoothをアクティブRFIDタグと同様の存在検出手法のツールとして流用することによって、ユーザにとって導入の敷居が低い、存在検出サービスの実現可能性が高まると期待できる。

3. Bluetooth デバイスの存在検出手法

BluetoothにはInquiry Commandと呼ばれるデバイス探索手段が用意されている。この他にも接続要求やデバイス名取得などの成功の有無によってデバイスの存在を確認する手法がある。それぞれの詳細について以下に述べる。

- Inquiry Command

Bluetoothのスタックに用意されているデバイス発見を主目的とする手法である。Onerilら¹⁰⁾やWireless Rope¹¹⁾もこの機能を活用したコンテキストウェアサービスを開発している。Bluetoothではデバイスの空間密度が上がった時に電波の干渉が多発しないように周波数ホッピングとよばれる、定期的な利用周波数の切り替えが行われている。Inquiry Command時には全ての周波数に対して要求を送信し、発見したデバイスのMACアドレスを取得する。その後、デバイス名やサービス内容などの詳細をさらに問い合わせ、目的のデバイスであった場合にペアリング作業を行う。一般的にInquiry Commandに回答するBluetoothデバイスはPCやPDAなど、細やかな設定が可能な比較的高性能な端末であることが多く、携帯電話やヘッドセット・マウス・キーボード等はペアリング時の必要最低限の時間にしか回答可能にならない場合が多い。

- Create Connection Command

Bluetoothデバイスの通信開始時に実行する手続きである。接続先のデバイスのMACアドレスを指定して、ACL(Asynchronous Connection-oriented)リンクレベル接続を要求し通信を開始する。接続後に、それぞれの目的に応じた通信手順を踏むが、この接続要求が成功した時点でデバイスの存在が確認でき、これで通信を終了することで無駄なデバイス間通信は発生しないと期待できる。ただし、接続に成功するまで周波数ホッピングを繰り返す必要があるため、Inquiry Com-

表 2 実験仕様

Table 2 Specification of the experiment

名目	数	仕様等
デバイス探索用 PC	1	CPU: 1.2GHz, Mem: 1GB, linux 2.6.24, BlueZ 3.30
探索対象 PC(1)	4	CPU: 1.2GHz, Mem: 1GB, windows XP
探索対象 PC(2)	7	CPU: 1.33~2.2GHz, Mem:1~2GB, windows Vista
探索対象 PC(3)	2	CPU: 2.2, 2.6GHz, Mem: 2, 4GB, Mac OS X 10.5
携帯電話	1	Panasonic P902i
ヘッドセット	1	Plantronics M2500

mandと比較すると複数の個々のデバイスの存在検出を想定する場合には非効率な存在検出手法となる。また、Inquiry Commandと同様にペアリングされていないデバイスに対しては接続要求は拒否される場合があり、存在検出手法としては汎用性が低い。

- Remote Name Request Command

Inquiry Command後に得られる情報は、返答のあったMACアドレス群のみである。これでは人にとって理解しづらいため、デバイス名(文字列)を要求し、その名前をユーザに提示し必要なデバイスを判断させる。未接続のデバイスに対してこのコマンドが発せられた場合には、テンポラリーリンク層接続と呼ばれる特殊な接続が確立され、全てのデバイスはこの接続要求を拒否しない。したがって、Bluetoothデバイスに電源が入っていて、MACアドレスが既知であることを前提とできれば、どのBluetoothデバイスでも必ず存在検出対象とすることが可能である。

以上の考察より、Inquiry Commandを十分に活用できることが効率的なデバイス存在検出の実現を意味する。Inquiry Commandに回答しないデバイスについては、Remote Name Request Commandによって回答を確認することで全てのBluetoothデバイスを探索可能となる。

4. 評価実験

本章では、研究室やオフィス等の規模を想定した場合に、十分な性能において存在検出が可能か否かを判断するために、主に応答時間を測定する実験を行った。

本実験環境を表2に示す。デバイスの種類は性質に分けてPC、携帯電話、ヘッドセットの3種類を用意した。全てのPCのBluetoothチップはCSR(Core

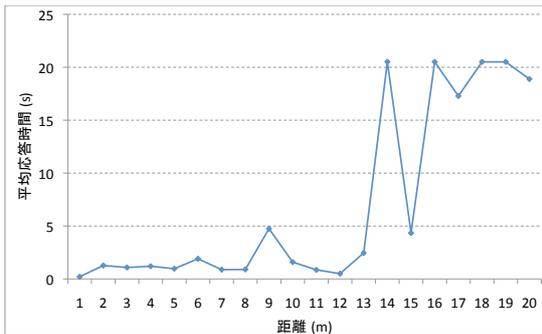


図 1 Remote Name Request Command の平均応答時間 (携帯電話)

Fig.1 Average response time for Remote Name Request Command (mobile phone)

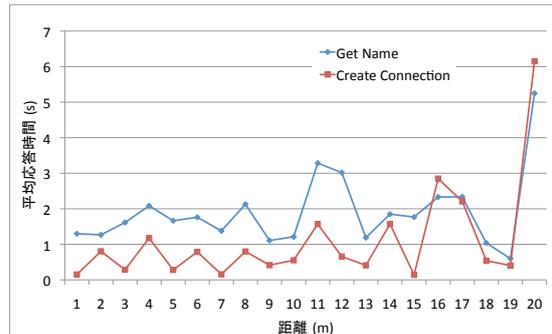


図 3 Remote Name Request Command の平均応答時間 (ノート PC)

Fig.3 Average response time for Remote Name Request Command (Laptop PC)

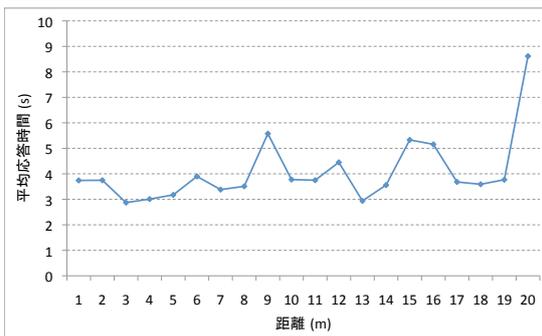


図 2 Remote Name Request Command の平均応答時間 (ヘッドセット)

Fig.2 Average response time for Remote Name Request Command (Head set)

Solution Research) 製である。測定側の PC は Linux 用のオープンソースによる Bluetooth プロトコルスタックである BlueZ によって実装した。

以降、まず 1 デバイスに対しての通信特性について調査した後、複数デバイスのシナリオに基づいて Inquiry Command と Remote Name Request Command を組み合わせた手法とその他の手法の比較実験を行う。

4.1 距離やデバイス種類の変化による応答時間の測定

まず Inquiry Command 以外の存在検出手法がどの程度有効かについて、端末の距離の変化による応答速度を評価することによって判断する。携帯電話、ヘッドセット、ノート PC の 3 種の端末に対して 1m から 20m まで 1m 単位で測定した。全てのデバイスに置い

て Remote Name Request Command による問い合わせを行った。Create Connection Command は一般的な小型デバイスはペアリング済みのものにしか応答しないため、評価がとれたのはノート PC への場合のみとなる。それぞれの問い合わせを 10 回ずつ行った。

図 1 に携帯電話の Inquiry Command に対する平均応答時間を示す。Bluetooth デバイスの有効通信距離は規格上 10m と 100m のものがあるが、ほとんどのデバイスが 10m である。携帯電話の場合は 13m まで安定した応答時間が得られ、規格通りの存在検出システム設計が可能である。

図 2 にヘッドセットの平均応答時間を示す。全般的に 4 秒前後の平均応答時間で携帯電話よりも長くなるが、20m 離れた箇所からも応答していた。VoIP 通信に利用するデバイスのため、親ノードから離れた利用を想定していることが考えられる。したがって、部屋内みのデバイス存在検出を目的とする場合は、部屋外でも検出してしまう恐れがあるため、問い合わせ側の電波出力を調整する必要があることが分かった。

図 3 にノート PC の平均応答時間を示す。20m 時には応答時間が遅くなったが、それでも 6 秒であるためまだまだ長距離の応答が可能であると考えられる。ノート PC は消費電力を他の小型デバイスよりは厳しく制限する必要がないため、強い電波出力が可能であることがいえる。したがって、ヘッドセットの場合と同様、問い合わせ元の電波出力を調整しなければ想定する粒度の位置検出が難しいことが分かる。

この実験においては Create Connection Command にも応答するため、測定を行った。Remote Name Request Command よりも全般的に短い応答時間となった。Remote Name Request Command が用いるテンポラリーリンク層接続よりも、Create Connection Com-

<http://www.csr.com/>
<http://www.bluez.org/>

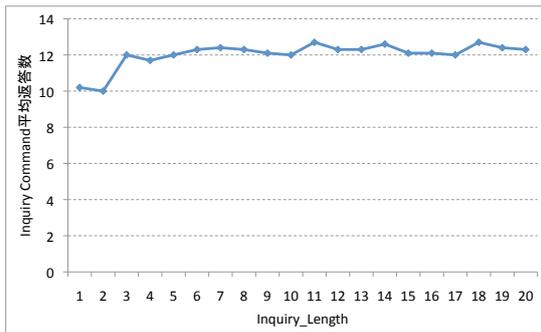


図4 Inquiry Command の返答数
Fig. 4 Numbers of response for Inquiry Command

mand が利用するペーサバンド接続の確立の方が早いことが分かる。しかし、ペアリングをしていないにも関わらず Create Connection Command に応答できる Bluetooth デバイスは、Inquiry Command にも応答すると考えられるため複数デバイスの存在検出を行う場合には Create Connection Command を利用する機会はないと考えられる。

4.2 Inquiry Command の性能測定

前節 2 コマンドと Inquiry Command の性能の差を確認する基礎実験を行った。13 台の Bluetooth 内蔵ノート PC (当研究室内に存在する端末数) を部屋内に設置し、1 台のホストによって Inquiry Command を送信する実験を行った。Inquiry Command は非同期通信であり、応答待ち時間を設定する。Bluetooth の仕様では HCI_Inquiry の Inquiry_Length を指定することによって待ち時間が決定される。Inquiry_Length は 1 につき 1.28 秒となる。すなわち、Inquiry_Length が N の場合は $N \times 1.28$ 秒の待ち時間となる。この Inquiry_Length を 1 から 20 まで可変させて、10 回ずつ Inquiry Command を実行し、応答を受けた数を図 4 に示す。

13 台のノート PC に対しては Inquiry_Length が 3 以上の場合にはほとんど差が発生しないことが分かった。しかし、平均値が 13 になる Inquiry_Length はなく、いくら待ち時間を長く設定してもうまく受信できない場合があることが分かった。対象となる Bluetooth デバイスが潤沢でなかったことから、統計的に不足する情報となったが、Inquiry_Length が 1 のときに平均 10 の応答を得るということは、約 0.1 秒で 1 デバイスを発見できることを意味し、4.1 の実験と比べても Inquiry Command が Bluetooth において最も高速なデバイス発見手段であることが分かる。

5. おわりに

本研究ではユーザの在室管理を目的に、低コスト性・デバイスの普及性に着目し、Bluetooth デバイスを活用する事を試みた。存在検出に一般的に使用される Inquiry Command に応答不可能なデバイスを考慮して Remote Name Request Command を併用するデバイス存在検出手法を提案した。実現可能性を確認するための評価実験を行った結果、Request Name Request Command は Inquiry Command に比べて速度が劣るが、研究室規模ならば十分適用可能であることを明らかにした。今後はより速度を重視した探索を可能とするための工夫として、複数探索ノードを配置するなどの検証を行う。

参考文献

- 1) Addelee, M., Curwen, R. W., Hodges, S., Newman, J., Steggles, P., Ward, A. and Hopper, A.: Implementing a sentient computing system, *Computer*, Vol. 34, No. 8, pp. 50-56 (2001).
- 2) Sakata, M., Yasumuro, Y., Imura, M., Manabe, Y. and Chihara, K.: ALTAIR: Automatic Location Tracking System using Active IR-tag, *IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2003)*, pp.299-304 (2003).
- 3) Schilit, B.N., LaMarca, A., Borriello, G., Griswold, W.G., McDonald, D., Lazowska, E., Balachandran, A., Hong, J. and Irverson, V.: Challenge: Ubiquitous Location-Aware Computing and the Place Lab Initiative, *First ACM International Workshop of Wireless Mobile Applications and Services on WLAN (WMASH'03)* (2003).
- 4) 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇: PlaceEngine:実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス 2006, pp. 95-104 (2006).
- 5) 吉田廣志, 伊藤誠悟, 河口信夫: 無線 LAN を用いた位置推定ポータル Locky.jp と基地局データ収集手法, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム, pp.281-284 (2006).
- 6) Madhavapeddy, A. and Tse, A.: A Study of Bluetooth Propagation Using Accurate Indoor Location Mapping, *UbiComp 2005, LNCS*, Vol.2660, pp.105-122 (2005).
- 7) 椎尾一郎: RFID を利用したユーザ位置検出システム, 情報処理学会研究報告 00-HI-88, pp.45-50 (2000).

- 8) 川島和也, 貝沼達也, 岩男忠重, 藤野信次: ActiveRFID を用いた位置検出方式及び実証実験, 信学技報 NS2003-262, pp.49-54 (2004).
 - 9) 小野昌之, 福井 潔, 柳原健太郎, 福永 茂, 原 晋介, 北山研一: 無線を使った位置検出, 沖テクニカルレビュー, Vol.72, No.4, pp.24-27 (2005).
 - 10) O'Neil, E., Kostakos, V., Kindberg, T., Schiek, A.F., Penn, A., Fraser, D.S. and Jones, T.: Instrumenting the city: developing methods for observing and understanding the digital cityscape, *Ubicomp 2006, LNCS*, Vol.4206, pp.315-332 (2006).
 - 11) Nicolai, T., Behrens, N. and Yoneki, E.: Wireless Rope: Experiment in Social Proximity Sensing with Bluetooth, *Demonstration at Fourth Annual IEEE International Conference (PerCom 2006)* (2006).
-