

ネットワーク接続組込み機器の位置推定 Location Estimation for Networked Embedded Equipment

松岡 慶一[†] 久保田 稔[†]
Keiichi Matsuoka Minoru Kubota

1. はじめに

ネットワークに接続されたテレビやエアコンといった家電、照明のような組込み機器、ウェアラブルデバイス（以降、WD と呼ぶ）や携帯端末などの機器を連携させることで、ユーザのアイデアに基づく新たな利便性の高いサービスの創出が期待できる。「腕時計型 WD と照明機器を連携し、腕を振り上げると明かりがつく」などがその例である。このようなサービスを機器連携サービスと呼ぶことにする。ネットワーク機器の接続の管理や連携、または制御をする際にはテキストベースで一覧化された機器の中から機器を選択する方式が一般的であった[1]。一覧化された機器の情報には機器の名前や MAC アドレス、機器の持つ機能の情報などがあり、これらからサービスで利用する機器を特定し、制御することができる。ここで同一の機能を持っていたり、同じ名前のものがあったりする場合は、ユーザは MAC アドレス等の情報から機器を特定する必要があり、ユーザが専門知識を持っていない場合はこのような作業は困難となる。

このことから専門知識を持たないユーザが、機器連携サービスを即座に実現することを可能とする環境が必要となる。その環境における基盤技術の一つが、サービスを利用する場所でリアルタイムに利用可能な機器をユーザに分かりやすく提示する機能である。

本稿では機器連携サービス対象の機器が発する電波を受信した際の電波強度から、ユーザと当該機器の位置関係を推定する方式を提案する。以降、対象となる機器を被探索側機器と呼ぶ。また、本方式を検証するため試作した WD について述べ、それを用いた機器の位置推定の評価について示す。

2. 関連研究

音波のドップラー効果を用いた機器の方向推定手法[2]が提案されている。被探索側機器はスピーカを備えているものを想定している。ユーザは手にマイクを搭載した端末を持ってユーザを中心とした鉛直方向を軸とし 180 度回転するユーザ動作によりドップラー効果を発生させる。このとき被探索側機器が発した音波を端末のマイクで取得し、解析することで被探索側機器の方向を推定する。本手法では機器の方向推定は可能であるが、被探索側機器がスピーカを備えている必要がある。

AR 技術によって機器を認識・制御する研究が行われている[3]。一般的に AR により機器情報を示すためには、マーカーとして物理的な特徴量か、位置を示す情報が必要になる。物理的な特徴量として被探索側機器の LED の点滅をマーカーとして扱っている。この手法であれば暗い場所であっても機器の認識が可能であるが、LED を設置するコストがかかる。また LED により外観を損なう場合がある。

[†] 千葉工業大学, Chiba Institute of Technology

屋内において被探索側機器が発した電波強度から機器位置を推定する技術に Fingerprint 手法がある[4]。室内の各地点における電波強度を予め測定しておき、電波強度のパターンにより位置を推定するものである。この手法では各地点の電波強度を予め測定するなどの準備作業が必要である。

電波強度と移動履歴を利用しセンサ情報の可視化を行う方式がある[5]。被探索側機器が発する電波を指向性アンテナによって受信し、その電波強度の偏りから機器位置を推定する。本方式では、大きな反射板を使っており、ユーザが扱うには不便である。

本稿で提案する方式は、小型の指向性アンテナを持たせた腕輪型 WD を用いて、被探索側機器が発する電波強度により機器位置を推定するものである。被探索側機器が発する電波による通信機能さえ有していれば、ユーザからの相対的な機器位置を推定可能であり、被探索側機器に特殊な機能を追加する必要がなく、低コストである。

3. 提案方式

提案方式で使用される電波として、機器間の通信に広く使われる Bluetooth を用いる。Bluetooth は 2.4GHz 帯の通信方式であり、通常は無指向性である。

ユーザの持つ WD がアンテナの向きを変えながら、被探索側機器が発する電波を受信し、その電波強度を解析する。アンテナの向きによる電波強度の差を大きくするために、後述するようにアンテナに指向性を持たせる。機器位置の方向にこの指向性アンテナを向けると受信電波強度が相対的に高くなることを利用し、機器位置推定を行う。

図 1 のように WD と携帯端末を構えてユーザを中心とし、鉛直方向を軸にその場で 360 度回転させ、被探索側機器が発する電波の方向別（角度毎）の強度を測定する。

携帯端末に搭載されたジャイロセンサの値を積分することで、位置推定を開始した地点を 0 度として WD の向いている方向（角度）を算出する。WD は被探索側機器の送信するパケットを受信すると被探索側機器の MAC アドレス



図 1 提案手法の概要

と受信時の電波強度を携帯端末に送信する。携帯端末は受信した情報と現在の推定方向（角度）を関連付けて、被探索側機器毎に位置推定を行う。WD が受信した電波の強度の平均が最も高くなる方向を機器位置と推定する。

4. 実装

携帯端末には Android 搭載スマートフォンを用いた。WD と被探索側機器のアンテナとして nRF51822 を搭載した mbed を用いた。Bluetooth Low Energy により通信を行う。位置関係による機器制御環境の検証のために、被探索側機器には LED を設置した。

アンテナに電波を受信する際の指向性を持たせる手法に反射板を用いたものがある。2.4GHz の電波の 1/4 波長である 3.125cm 離れた位置に反射板を設置することで受信の際の電波強度を高める。反射板は 2.4GHz の電波の 1 波長分である 12.5cm 四方のものが必要である。アンテナから腕を挟んだ位置に反射板を設置することで、できるだけ理想的な環境になるよう試みた。しかし機器方向とは逆方向の電波強度が良くなってしまったり、逆に電波強度が下がってしまう場合があった。これを回避するため、被探索側機器方向以外の電波の遮蔽を試みた。図 1 のように銅箔テープをアンテナの回転方向の延長線になるように配置した。できるだけ被探索側機器方向以外の電波を遮蔽するため、WD の縁のみに銅箔テープ貼り付けた。

被探索側機器は自身の存在を周囲に知らせるためのアドバタイジングパケットを mbed の BLE API の最小値である 0.625ms の周期で送信している。今回の試作ではアドバタイジングパケットを受信した際の電波強度を利用して位置推定を行っているが、常に短い間隔でパケット送信している被探索側機器の消費電力が高くなる。実用の際は位置推定を開始する前に被探索側機器のパケット送信間隔を調整する必要がある。

5. 実験

試作した WD を用いて実験を行った。図 1 のように携帯端末と試作した WD を構え、ユーザを中心とし、鉛直方向を軸に 1 秒間に約 9 度の速度で 360 度回転した。実験環境は研究室における見通し、屋外における見通し、屋外において被探索側機器とユーザの間に金属製障害物ありの 3 通りの場合である。被探索側機器を 2 つ配置し、ユーザと被探索側機器間の距離が 100cm から 500cm まで 50cm 毎の場合について各条件で 5 回ずつ測定した。被探索側機器の

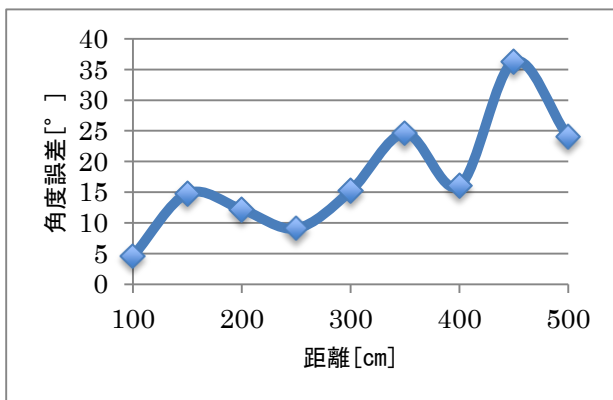


図 2 ユーザ・被探索側機器間の距離別の方向（角度）の誤差平均

目視による実際の角度と推定角度の差を誤差とし、研究室における見通しの各距離の誤差の平均値を図 2 のグラフに示す。

本手法を用いて機器の制御を行った。機器位置推定を行い、被探索側機器の LED1 と LED2 のそれぞれの方向に携帯端末を向けると端末の GUI がそれぞれの機能を制御するものに切り替わり、実際に機器位置関係を利用した制御が可能であることを確認した。

6. 考察

図 2 より、ユーザと被探索側機器の間の距離が 3m 程度までであれば、角度の誤差は 15° 程度であり、概ね機器位置を推定できる結果が得られた。これは一般的な部屋の広さとして 6 帖程度（約 3m×4m 弱の長方形）のスペースであれば十分適用が可能であることを示している。

4m の場合にも 15° 程度の誤差であった。短い距離より長い距離の方が誤差が小さい場合がある。これは周囲の環境による要因のためと推測できる。電波を遮るようなものがユーザと被探索側機器の間にあると推定は著しく困難となる。

今回の実験において、推定結果が実際の方向と大幅にずれてしまっている場合があった。これは周囲の電子機器など、電波状況や環境によるものの他、推定する際のユーザの動きの不安定さや WD から携帯端末への通信や処理の遅延などによるものと推測している。

位置推定の頑健性を高めるためには複数位置からの電波強度の測定や複数箇所に WD を取り付けた推定などの方式やさらなるハードウェアの改良を検討する必要がある。

WD から携帯端末への情報伝達の遅延により、WD を向けている方向の角度とその方向の実際の電波強度が一致しない場合があった。これは推定時の回転速度を抑えることや WD と携帯端末自体の性能の向上や処理の改善により解決できると考えている。

7. おわりに

ユーザが簡単に機器制御と連携を行える環境を実現するための要素技術として、指向性のあるアンテナを持つ WD を用いた電波強度による機器位置推定技術を開発した。またこの技術を応用した位置関係を利用した機器制御環境を実装し、ユーザから被探索側機器間の見通しの距離が約 4m の距離であれば機器連携に利用可能であることを確認した。今後は、新たな位置推定アルゴリズムの考案やハードウェアの改良を行い、推定精度の向上を目指す。また、機器の位置関係を利用することで、機器連携・制御環境の構築を進める。

参考文献

- [1] 水越紀夫 他, “動的ネットワークングのためのサービス生成に関する研究,” 第 73 回情処全大, Vol.2011, No.1, pp.305-306, 2011.
- [2] 西村康孝 他, “音波を使った携帯通信端末間の方向推定,” 信学論, Vol.J95-B, No.11, pp.1404-1413, 2012.
- [3] 佐藤健哉 他, “拡張現実感技術を利用したネットワーク家電制御方式,” 情処研報, Vol.2011-SLDM-149, No.30, pp.1-6, 2011.
- [4] 金丸幸弘 他, “位置推定技術を用いた無線センサネットワーク可視化システムの提案,” 情処研報, Vol.2012-HCI-150, No.12, pp.1-7, 2012.
- [5] 山崎蓮馬 他, “電波強度と表示端末の移動履歴を利用したセンサ情報の AR 可視化,” 第 76 回情処全大, Vol.2014, No.1, pp.23-24, 2014.