

Bluetooth通信を用いた行列内での位置推定手法

山本 修平 西出 亮 高田 秀志
立命館大学 情報理工学部

1 はじめに

我々の都市生活において、行列で発生する待ち時間は我々に大きな不満を与えている。この不満の理由の一つに、待ち時間が予測できないことがあげられる。待ち時間を提示することで、顧客の不満を軽減する取り組みは様々な場所で行われているが、待ち時間を推定するための人員や、特殊な機器を配置する必要があり、利用できる場所は限られている。

そこで、本研究では、ユーザの保有している携帯端末を用いて待ち時間の推定を可能にすることを目的とする。顧客一人一人の待ち時間を動的に推定するためには、各顧客が行列内でどこに位置しているかを把握する必要がある。

本稿では、Bluetooth通信で得られる行列内の各端末間の電波強度 (RSSI) を用いてグループを構成し、グループに順序関係を付与することにより、待ち行列内の各端末の位置を推定する手法を提案する。また、提案手法の有効性を検証するために実施した評価実験の結果についても述べる。

2 関連研究

Bluetooth の RSSI 特性に注目し、ユーザ同士の相対的な位置情報を推定することで、ユーザに有益な情報を提供する手法についての研究が行われている。前川らは、ユーザの保有する端末で受信した RSSI を用いて、電車におけるユーザの乗車車両および混雑度の推定を行っている [1]。この研究では、電車の扉、距離、人体遮蔽による電波強度の変化に着目することで、他ユーザが電車の同一車両にいるか、あるいは隣接した車両に存在するかの推定を実現している。また、樋口らは、イベント会場等、多くの人々が集まる環境で、RSSI とユーザの歩行軌跡を集約することで、相対的な位置関係を認識する手法を提案している [2]。6m 以上の距離になると、強い RSSI が観測されていないという特性を活かすことにより、近帯にいる端末とそうでない端末を高い精度で判別している。

上記のような研究では、距離、人体遮蔽、障害物などによって変動する RSSI の特性に着目して、相対的な位置を推定している。しかし、行列での RSSI の特性についての検証は行われていない。そこで、RSSI 特性および行列という環境を考慮した上で、位置推定を行う手法について検討する。

3 行列内の位置推定手法

本手法ではユーザ保有の Android 端末、および、位置情報を保有するサーバを用いて位置推定を行う。本手法では、図 1 に示すように、行列内の各端末を順序



図 1: 行列内の位置推定

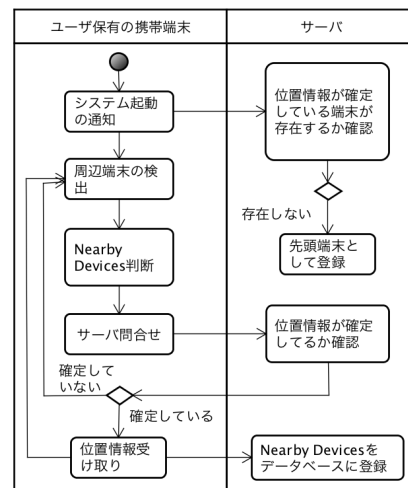


図 2: 位置推定手法

関係が付与されたグループに分類することで、相対的な位置を把握する。

次に、位置推定手法を図 2 に示す。位置推定には、基準となる先頭端末が必要なため、図 2 に示すように、システム起動時に位置情報が確定している端末が存在するかを確認する。存在しない場合、その端末を先頭端末とする。先頭端末は、周辺端末を検出し、2番目のグループとして検出端末をサーバに登録する。さらに、この操作を 2 番目のグループの端末が行い、3 番目のグループを決定するという操作を連鎖的に行うことで、図 1 のような位置の把握を実現する。

周辺端末の検出には、Bluetooth の端末検出機能を用いる。この機能を用いると、約 5m 以上離れた端末も検出可能である。しかし、5m 以上離れている端末を自身の後ろのグループとして登録してしまうと、一つのグループに属する端末数が多くなりすぎるため、精度の高い位置推定とは言えない。

そこで、各端末の近くにいる端末とそれ以外の端末を区別するために、検出された端末のうち、近くの端末のみを Nearby Devices(近隣端末群) とし、後ろのグループに追加するものとする。Nearby Devices の判断には各端末間の RSSI を使用する。

RSSI は自由空間では距離の二乗に反比例して低下するが、行列内では人体遮蔽による信号減衰、ユーザ保有の携帯端末の機種や OS の違い、周辺の環境が大きく影響する。したがって、ある一定距離内に存在する Nearby Devices を判断するためのしきい値を決定することは不可能である。

A Position Estimation Method Using Bluetooth Communication in a Line of People
Shuhei YAMAMOTO
Ryo NISHIDE
Hideyuki TAKADA
Department of Information Science, Ritsumeikan University

そこで、本研究では相対的に RSSI を用いることとする。行列内で検出している端末の RSSI を取得し、平均 RSSI を算出する。この平均 RSSI の高い上位 4 端末を Nearby Devices と判断する。これにより、各端末は自身の前後 2 端末を Nearby Devices と判断することとなる。ただし、先頭端末は前にいる端末が存在しないため、上位 2 端末のみを Nearby Devices として判断する。Nearby Devices の判断を行うことで、一つのグループに属する端末数を制限し、精度の高い位置推定を実現することができる。

4 評価実験

4.1 実験方法

提案手法では、行列内に一定の間隔でシステムを起動している端末が存在すれば、位置推定を行うことができる。しかし、今回は提案手法の有効性を検証するため、全端末がシステムを起動することとしている。実験は屋外で行い、ユーザ 6 名に Android 端末を手に持ってもらった状態で、0.5m の間隔で一列に並んでもらった。実験の環境上、同一機種 of Android 端末を用意できなかったため、異なる端末を使用している。端末の並び順は先頭から、Galaxy Nexus, Nexus 5, Xperia A, Nexus S, Galaxy Nexus, Galaxy Nexus である。先頭端末は事前にサーバに登録しておき、各端末でシステムを起動する。全端末の位置情報がサーバに登録されるとシステムを終了する。この操作を 7 回行った。

4.2 Nearby Devices の判断の正確さ

自身の端末から前後 2 端末を Nearby Devices として正しく判断できているかを確認する。このために、各端末で、Nearby Devices として判断した端末情報をサーバ上で集約し、正解データと照合する。照合には、位置推定に必要な Nearby Devices の判断を行っている先頭から 5 端末目までの端末のデータを使用する。

照合の結果を表 1 に示す。欠損は Nearby Devices として判断しなければいけないにもかかわらず、Nearby Devices として判断できなかったとき、誤検知は前後 2 端末よりも遠い端末を Nearby Devices として判断してしまったときをそれぞれ表している。

4.3 位置推定の正確さ

提案システムが正しく動作した場合、表 2 のようなグループの分類が行われる。表 2 の位置情報と、実際の実験でサーバ上に決定された位置情報を比較した結果を表 3 に示す。ただし、先頭端末は事前に登録されているため、結果を省略している。また、2 番目のグループ、および、3 番目のグループの推定試行回数と、4 番目のグループの推定試行回数が異なるのは、グループに含まれる端末数の違いによるものである。

2 番目のグループと 3 番目のグループに関しては 100 % の確率で推定できた。逆に 4 番目のグループは 2 回、3 番目のグループとして認識されてしまった。これは、2 番目のグループの端末が、最後尾の端末を Nearby Devices として判断してしまったことが原因となっている。結果を統合すると、約 94 % の精度で正しい位置推定を行うことができた。

表 1: Nearby Devices 判断結果

欠損が起きた回数	誤検知した回数	試行回数
4	10	35

表 2: 実験行列でのグループ分類

	含まれる端末
1 番目グループ	先頭端末
2 番目グループ	2,3 番目の端末
3 番目グループ	4,5 番目の端末
4 番目グループ	6 番目の端末

表 3: 位置情報推定結果

	正しく推定できた回数	推定試行回数	精度
2 番目グループ	14	14	100 %
3 番目グループ	14	14	100 %
4 番目グループ	5	7	約 71 %
合計	33	35	約 94 %

4.4 考察

提案手法を用いることで、行列内の相対的な位置を推定できることを確認した。しかし、間違った Nearby Devices の判断を行ってしまうケースも存在した。これは RSSI の分散が原因であると考えられる。人体遮蔽が存在する行列内での RSSI は分散が大きいため、遠い端末の方が近い端末よりも RSSI が高いということも起こりうる。そのため、評価実験で、位置推定を誤るケースが発生したと考えられる。

5 おわりに

本稿では、行列における RSSI の特性から Nearby Devices を判断し、各端末の位置を推定する手法を提案した。また、今回実施した評価実験の環境においては、約 94 % の精度で位置情報を推定できることが確認できた。今後の課題として、位置推定精度の向上および、実環境への適用性を高める必要がある。

参考文献

- [1] 前川勇樹, 内山彰, 山口弘純, 東野輝夫: 鉄道における Bluetooth RSSI 特性を用いた乗車車両および混雑の推定手法, 情報処理学会論文誌, vol.55, No.6, pp.1614-1624 (2014).
- [2] 樋口雄大, 山口弘純, 東野輝夫: デッドレコニングと Bluetooth の受信電波強度を用いたスマートフォンユーザ間の位置関係認識, 情報処理学会論文誌, vol.54, No.8, pp.2048-2060 (2013).
- [3] Bulut, Muhammed Faith, et al. "LineKing: Crowdsourced Line Wait-Time Estimation using Smartphones." Mobile Computing, Applications, and Services. Springer Berlin Heidelberg, pp205-224 (2013).