

停留時 Wi-Fi 電波ログから逐次構築したエリア識別器の 建物構造からみた妥当性

藪 圭輔^{1,a)} 榎堀 優¹ 間瀬 健二¹

概要: ユーザの停留時の Wi-Fi 電波ログからエリア識別器を逐次的に構築することで、絶対位置を用いずに、ユーザにとっての重要な場所 (以下, エリア) を識別可能とする手法がある。一方で、絶対位置や建物・周辺環境の物理構造を考慮せずにエリア識別器を構築するため、A 室と B 室の半分、B 室の残り半分と C 室といった、人間の感覚と異なるエリア識別境界が設定される可能性がある。そこで本研究では、停留時 Wi-Fi 電波ログから構築したエリア識別器の識別境界がどのような振る舞いをするのかを検討した。検討データは名古屋大学 IB 電子情報館南棟 3F の廊下を 2m ごとに観測した Wi-Fi 電波ログおよび、同建物 3F の曲がり角を含む廊下・部屋・オープンスペースなど計 48 地点で観測した Wi-Fi 電波ログである。結果、構築されたエリア識別境界は廊下の曲がり角、部屋の区切りなどに引かれ一部を除いて建物構造からみた妥当性が見られることが確認できた。また、学習の順番を変えても建物構造からみた妥当性が見られる結果となった。

キーワード: 建物構造, 妥当性, エリア識別, Wi-Fi 電波ログ

Validity Judging from the Building Structure of the Area Discriminator Learned in Wi-Fi Log One by One

Abstract: Method for the user to build an area identifier from the Wi-Fi radio logs was observed when a stationary sequentially is one approach to identify the area without using the absolute position. However, the border of the area set in this method is likely to differ from the human sense because the area discriminator is built without considering the physical structure of the absolute position and the surrounding environment. In this paper, We examined where the area border of the area discriminator is set. Study Wi-Fi log was observed in the corridor of IB Building 3F for each 2m and room, open space, corridor including the corner of the same building 3F. As a result, the area border was drawn to corridor corner, room separators, open spaces and corridors of boundary and so on, except for a few exception. Therefore, We concluded that the area border had validity. In addition, we found that the area border had validity even if we changed a turn of the learning of the area identification.

Keywords: Building structure, Validity, Location Estimation, Wi-Fi

1. はじめに

屋外だけでなく屋内においてもユーザの位置を推定するために、Wi-Fi 受信電波強度 (以下, RSSI) を用いた位置推定の研究が多く行われ、さまざまなサービスがすでに公開されている [1-4].

RSSI を用いた位置推定に関する従来の研究は大きく分

けて二つの推定方法がある。一つは、ユーザの位置を緯度や経度などの絶対的なもので一点に推定する方法である [1, 2]. もう一つは、絶対位置ではないが、ユーザにとっての重要な場所 (以下, エリア) にいるかどうかを識別する方法で、本研究もこちらを対象としている [5-10].

エリア識別する研究には、事前にエリアを人為的に設定するものと、Wi-Fi 電波ログを得るごとにエリアを逐次的に構築するものがある。後者の方法は前者に比べエリア構築のコストが低く、各ユーザの生活様態に沿ったエリアが

¹ 名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University
^{a)} yabu@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

自動構築できるなどの利点があるため、本研究もこちらを対象としている。

しかし、エリアを逐次的に構築する手法では絶対位置や建物・周辺環境の物理構造を考慮せずにエリア識別器を構築するため、A室とB室の半分、B室の残り半分とC室といった、人間の感覚と異なるエリア識別境界が設定される可能性があり、実際の運用に適していない状態となることも考えられる。

そこで本稿では、停留時 Wi-Fi 電波ログから構築したエリア識別器の識別境界がどのような振る舞いをするのかについて検討した。検討データは名古屋大学 IB 電子情報館南棟 3F の廊下を 2m ごとに観測した Wi-Fi 電波ログおよび、同建物 3F の曲がり角を含む廊下・部屋・オープンスペースなど計 48 地点で観測した Wi-Fi 電波ログである。

本稿の構成について述べる。第 2 章ではエリア識別の関連研究について述べる。第 3 章では本研究で用いたエリア識別器について述べる。第 4 章では本研究で行った実験について述べる。第 5 章では本稿のまとめを述べる。

2. 関連研究

事前にエリアを人為的に設定したエリア識別の研究として、山田らはプレゼンスシステムの実現に向け、オフィス内をエリア分割しエリアごとに RSSI を検出するアンカーノードを密に配置することで高い確度でエリア推定できることを示した [5]。藤田らは名古屋市営地下鉄の全 83 駅の無線 LAN 基地局情報を収集し、それをもとに駅、フロア、エリアを推定する方法を提案した [6]。事前に駅の構内を「1, 2 番出口エリア」「3 番出口エリア」「改札口エリア」などに分け、エリア間の隣接関係を制約条件としてエリア推定をすることで高い識別精度を得た。

Wi-Fi 電波ログを得るごとにエリアを逐次的に構築したエリア識別の研究として、藤井らは、停留点ごとにエリアを生成する手法では同一室内に膨大なエリアが生成される問題に対し、近くのエリアを適切にひとまとめにする手法を提案した [7,8]。また、断続的にしか観測されない Wi-Fi 電波をエリア識別に使用することで識別精度が低下する問題に対する手法も提案した。坂口らは、藤井らの手法は長期的な運用における、エリアの維持、管理が適切に行えていない問題を指摘し、距離計算式の改善、準備段階と測位段階の 2 段階でエリア管理手法を提案した [9]。Kim らは、意味のある場所を抽出する方法を提案し、訪れた場所を高い確度で認識できることを示した。また、訪れた時間や出発した時間を正確に知らせることが可能であることも示した [10]。

以上のようにエリア識別の多くの研究ではエリアに存在するか判断する精度を対象としている。特にエリアを逐次的に構築したエリア識別における、建物・周辺環境の物理構造は人間の感覚的な空間構造からみたエリア識別境界の

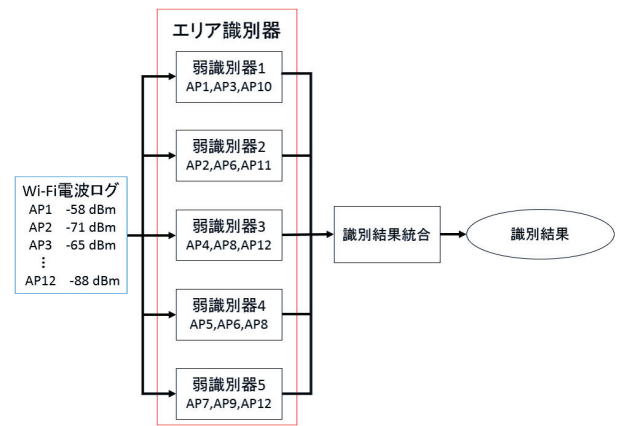


図 1 エリア識別器の概要

Fig. 1 Overview of the area discriminator

妥当性については十分に検討されていない。

3. エリア識別器群の構築

本研究で用いたエリア識別器は以前に筆者らが提案したものにエリア識別器の逐次構築の機能を追加したものである [11]。本章では 3.1 節でエリア識別器の概要を、3.2 節でエリア識別方法を抜粋して記載する。3.3 節でエリア識別器群の逐次構築方法を述べる。その後、3.4 節で新たに追加したエリア識別器の逐次構築方法を述べる。その他のエリア識別器の特徴については [11] を参照されたい。

3.1 エリア識別器の概要

本研究で用いたエリア識別器の概要を図 1 に示す。本研究ではユーザが一定期間にわたり停留していたならば、その場所は意味がある場所（エリア）であり、位置識別を実施する価値がある場所として学習する。これは、Wi-Fi 電波に緯度、経度や建物内での位置といった教師信号が付加されていないためである。

本研究で用いたエリア識別器は 5 つの弱識別器を持たせ、結果を統合させて識別するの boost 手法を用いた。エリア識別器は入力された Wi-Fi 電波ログが同一エリアで観測されたものかそうでないかの 2 値判別を行う。弱識別器の数は予備実験により十分な識別精度を得られた 5 とした。各弱識別器は事前に割り当てられたアクセスポイントのみを使用してエリア識別をする。これにより RSSI が極端に一時的に変動した場合でも、そのアクセスポイントを使用していない弱識別器は識別に影響を受けないため、識別結果の影響を比較的抑えることができる。

弱識別器にエリア識別させるアクセスポイントの割り当てにはアクセスポイントが発信する Wi-Fi 電波から得られる BSSID を使用する。割り当てるアクセスポイントの数は、異なる 3 つの位置からの相対位置が求めれば観測点が一意に決定されるという三点測量の考えに基づき原則 3 つとし、3 つの異なる位置にあるアクセスポイントを用いて

識別した。ただし、観測されたアクセスポイントの数が3つ以下の場合には割り当てられるアクセスポイントが3つに満たない場合もある。

アクセスポイントを割り当てられた各弱識別器は入力された Wi-Fi 電波ログの内、割り当てられたアクセスポイントから発信された Wi-Fi 電波ログのみを使用し、各アクセスポイントごとに RSSI の平均を算出する。RSSI の平均によって算出されたスコアを用いてエリア識別をする。

3.2 エリア識別方法

エリア識別器の入力はある位置で観測した Wi-Fi 電波ログとする。エリア識別器は、5 個の弱識別器の結果を統合し、エリア識別器を生成したエリアで観測された Wi-Fi 電波ログか否かを判別する。各弱識別器はエリア識別器に入力された Wi-Fi 電波ログの内、割り当てられたアクセスポイントから得た RSSI のみを使用し、各アクセスポイントごとに RSSI の平均を算出する。エリア識別器が持つ RSSI の平均 E_{area} とエリア識別器に入力した未識別 Wi-Fi 電波ログを観測した地点で得られる RSSI の平均 E_{loc} からスコア S を式 1 で算出する。

$$S = 100 - |E_{\text{area}} - E_{\text{loc}}| \quad (1)$$

式 1 で求められるスコア S を弱識別器に割り当てられているアクセスポイント別の Wi-Fi 電波ログから算出し、算出されたスコアの平均 \bar{S} を求める。一方で、入力された未識別 Wi-Fi 電波ログ中には、ある弱識別器に割り当てられたあるアクセスポイントの Wi-Fi 電波ログが存在しないことがある。この場合はスコア S を計算せずに平均 \bar{S} から除外した。これは、周辺環境の突発的な変化で Wi-Fi 電波が観測できなかった場合にスコアが不用意に低下するため、識別精度の低下につながる可能性があるためである。また、弱識別器中で算出されたスコア S の中で最大となるものをスコアの平均 \bar{S} の計算から除外した。これは、ある観測地点から遠く離れた別の観測地点でも RSSI が近い値となる場合があり、その際に誤識別の原因となる可能性が最も高いスコアである。最大のスコアを取り除く方法はアルゴリズムが簡単で計算時間が短く、スマートフォンのようなデバイスに適している。

求めたスコアの平均が閾値以上になった場合は入力された Wi-Fi 電波ログが同一位置で観測されたものであるとして弱識別器の出力を 1 とし、閾値より小さい値だった場合は入力された Wi-Fi 電波ログは同一位置で観測されたものではないとして弱識別器の出力を -1 とする。もし、割り当てられたすべての BSSID でスコアが算出されなかった場合は、この弱識別器は結果を判定できないとし、出力を 0 とする。

最後に各弱識別器 $w_i (i = 1 \sim 5)$ の出力 a_i を統合したものを、最終的なエリア識別器の出力 A とする。各弱識別

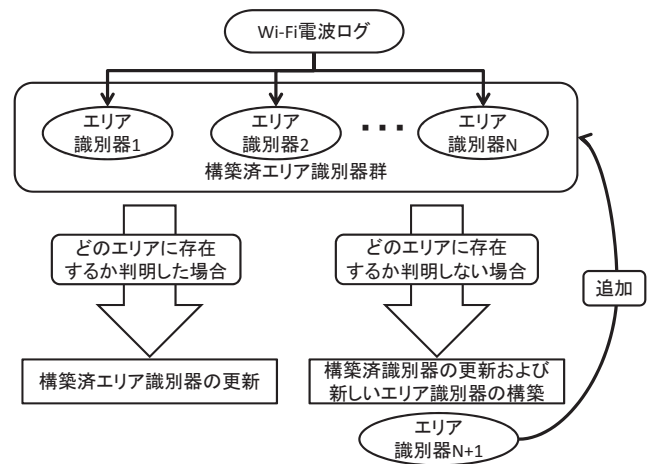


図 2 エリア識別器の逐次構築の概要

Fig. 2 Overview of the area discriminator Sequential Construction

器には重み w_i が付加されている。式 2 で求めた A が正となった場合、入力された Wi-Fi 電波ログは同エリアで観測されたとして、エリア識別器の出力を TRUE する。 A が 0 以下の場合には同エリアで観測された Wi-Fi 電波ログではないとして、FALSE を出力する。

$$A = \sum_{n=1}^5 a_n w_n \quad (2)$$

ただし、出力は 2 値判別であるため、3.4 節で述べるエラー率が 0.5 を超えた場合は A の値を反転する。

3.3 エリア識別器群の逐次構築

3.1 節で述べたように、取得する Wi-Fi 電波ログに、緯度、経度や建物内での位置といった教師信号が付加されていないため、本研究におけるエリア識別器は Wi-Fi 電波ログを得るごとに逐次的に学習する。

エリア識別器群の逐次構築の概要を図 2 に示す。本研究では、まず一つ目の静止期間の Wi-Fi 電波ログから一つ目のエリア識別器を構築する。以後の静止期間の電波ログは、構築済みの全てのエリア識別器でエリア識別を行う。もし、複数のエリア識別器で TRUE が出力された場合は式 2 で求めた A の値が最大となるエリアを観測エリアとして採用する。もし、すべてのエリア識別器の出力が FALSE だった場合には、新たなエリア識別器を構築する。識別結果がでたのち、構築済みのエリア識別器の更新を行う。

3.4 エリア識別器の逐次構築

本節では、3.3 節で述べた手順で振り分けられた Wi-Fi 電波ログから、個々のエリア識別器を構築する手順について述べる。

3.1 節で述べたように、エリア識別器は boost を使ってエリア識別する。弱識別器に割り当てられる BSSID の数は、異

なる3つの位置からの相対位置が求めれば観測点が一意に決定されるという三点測量の考えに基づき原則3つ以上とした。ただし、以下の基準に従い、認識精度に影響を及ぼすほど遠方にあるアクセスポイントは利用しない。また、同一地点に設置されている可能性が高いアクセスポイントは同一の弱識別器にできる限り分配しないこととした。以下、それぞれについて概説する。

3.4.1 遠方アクセスポイントの除去

観測されたアクセスポイントの中から識別に不適切なアクセスポイントを除去する。例えば、受信環境によっては普段は受信できないような受信地点よりも非常に速く離れた地点にあるアクセスポイントの電波を偶然受信する場合がある。このようなアクセスポイントをエリア識別に使用すると識別精度が低下する可能性がある。そこで、本来受信できる回数の半分以下となったアクセスポイントを識別に不適切なアクセスポイントとして、学習から除外した。

3.4.2 同一地点に配置されたアクセスポイントの同一弱識別器への割り当て抑制

近年のアクセスポイントは2.4GHz帯と5GHz帯、または用途別など、異なるBSSIDを持つWi-Fi電波を複数発信していることが多い。同一の弱識別器に同一の地点から発信されたWi-Fi電波をエリア識別に利用するWi-Fi電波として割り当ててしまうと、三点測量の異なる3つの位置との相対位置を求めるという制約を満たさなくなる。通常、BSSIDの先頭24ビットはアクセスポイントを製造したメーカーを表しており、BSSIDを変更しない限りは同じアクセスポイントから発信されるWi-Fi電波を持つBSSIDの先頭24ビットは一致する。従って、BSSIDの非類似度の大きい3つのBSSID同士を弱識別器に割り当てることによって同一地点に設置されている可能性の高いアクセスポイントが同じ弱識別器に割り当てられる可能性を軽減した。割り当てる3つのBSSIDをそれぞれBSSID₁、BSSID₂、BSSID₃とする。非類似度を測る指標として各ビットのユークリッド距離を使用した。ユークリッド距離を用いたのは、異なる3つのBSSIDを決定する指標として、3つのBSSIDのベクトルがなす三角形の面積を使用するためである。

BSSID₁は割り当てられているBSSIDの種類の偏りを軽減するために割り当てに使用するBSSIDの内、弱識別器に割り当てられている数が最も少ないものにした。BSSID₂はBSSID₁とのユークリッド距離が最大となるものとした。BSSID₂を求めた後、BSSID₁とBSSID₂となす三角形の面積が最大となるBSSID₃を式3で表されるヘロンの公式で求めた。a, b, cは三角形の各辺の長さを表し、Sは求める三角形の面積である。

$$s = \frac{1}{2}(a + b + c)$$
$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (3)$$

3つのBSSIDの非類似度が大きいほど三角形の面積Sは大きくなる。したがって、面積を最大にする3つBSSIDは同一地点から発信されたBSSIDである可能性は低いといえる。

3.4.3 観測されたアクセスポイントの数が3個以下である場合のアクセスポイント割り当て方法

3.4.2節で説明したアルゴリズムでは入力されるWi-Fi電波ログの中に含まれるアクセスポイントの数が3種類の場合、全ての弱識別器に同一のアクセスポイントが割り当てられてしまう。また、アクセスポイントの数が2種類以下の場合、弱識別器に3つのアクセスポイントを割り当てることができない。アクセスポイントの数が3種類以下の場合には3.4.2節で説明したアルゴリズムを使用せずに、弱識別器に割り当てるアクセスポイントの数を1~3に変更し、割り当てられたアクセスポイントが同一の弱識別器ができるだけ少なくなるようにアクセスポイントを割り当てる。

3.4.4 観測されたアクセスポイントの数が16個以上である場合のアクセスポイント割り当て方法

3.1節で述べたように、エリア識別器に含まれる弱識別器の数は5つである。そのため、一つの弱識別器に3つのアクセスポイントを割り当てる3.4.2節で説明したアルゴリズムでは観測されたアクセスポイントの数が多いとどの弱識別器にも割り当てられずに識別に使用できないWi-Fi電波ログが発生する。このとき、割り当てられなかったアクセスポイントは、弱識別器に割り当てられるアクセスポイントの数ができるだけ均等になるように弱識別器に割り当てる。

3.4.5 弱識別器の構築

アクセスポイントの割り当て後はアクセスポイントごとにRSSIの平均 E_{area} を計算する。

その後は、各弱識別器に付加されている重み ω を設定する。重みの設定は、学習データとして使うWi-Fi電波ログの内、すでにエリア識別器に入力され、どのエリアで観測されたWi-Fi電波ログなのか識別済みであるWi-Fi電波ログのみを使用する。本研究での重みの付け方はadaboostで用いられている計算式を用いた。使用する全てのWi-Fi電波ログを弱識別器に入力し、弱識別器が正しく識別した回数Sと、弱識別器で識別された回数Tを求め、式4を用いて弱識別器のエラー率 e を算出した。

$$e = 1 - \frac{S}{T} \quad (4)$$

このときエラー率 e が0.5を超えた場合は e の値を $1 - e$ に置き換え、識別器の結果の逆を採用するようにした。このエラー率 e を式5に適用して重み ω を算出し、新たな弱識別器の重みとした。

$$\omega = \frac{1}{2} \log \frac{1 - e}{e} \quad (5)$$

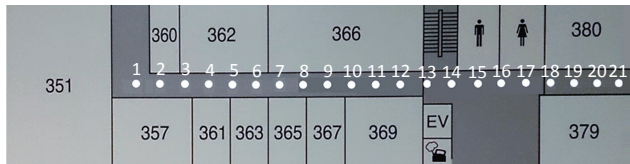


図 3 データ観測点 (1 回目)

Fig. 3 Data observation point (First day)

しかし、この計算方法では十分に Wi-Fi 電波ログのエリア識別が行われていない状況下ではエラー率 e が 0 となり、重み ω が無限大となり正しいエリア識別が行われなくなるという問題があった。そこで、エラー率 e が 0 となった場合は識別器が正しく識別した回数 S を $S - 0.25$ にする補正をかけ、100%の信頼はしないが、一度識別を間違えた弱識別器よりも重みが大きくなるようにした。

3.4.6 エリア識別器の逐次学習

上記のようにエリア識別器を構築したあと、学習データとして新しい観測が行われるごとにエリア識別器を更新する。もし、3.3 節で述べたように学習データの観測エリアに該当した場合は入力された Wi-Fi 電波ログを併せて各アクセスポイントごとに E_{area} を再計算する。また、入力された Wi-Fi 電波ログにどの弱識別器にも割り当てられていない BSSID が含まれていたら、3.4.2 節で述べたアルゴリズムで再度アクセスポイントを割り当てる。その後、3.4.5 節で述べた方法で弱識別器の重みを再計算する。

4. エリア識別境界の妥当性の検証実験

4.1 利用したデータの概要

実験に使用する Wi-Fi 電波の観測にはサムスン電子製の Nexus S を使用して観測した。データの観測は計 2 回行った。最初の観測は 2014 年 8 月 2 日に行い、観測場所は名古屋大学 IB 電子情報館南棟 3F の図 3 の白丸で示す計 21 か所の観測点で行った。各階における各観測点間の距離は 2m である。観測点付近はアクセスポイントの数が多く、常に 10 種類以上の Wi-Fi 電波を観測することができた。この時観測したデータセットをデータセット 1 とする。

ユーザが実際にデバイスを用いてデータを観測する場合は地面からある程度の高さの地点で観測する場合が多い。そこで観測点では図 4 のようにパイプ椅子の上に Nexus S を置いて 30 分間静止させた状態で Wi-Fi 電波を観測した。Nexus S での Wi-Fi 電波のサンプリング周期は 3 秒に 1 回とした。観測地帯の様子を図 5 に示す。

2 回目の観測は 2014 年 9 月 27 日に行った。観測場所は名古屋大学 IB 電子情報館南棟 3F の図 6 の白丸で示す計 48 か所の観測点で行った。この時観測したデータセットをデータセット 2 とする。



図 4 観測点の様子

Fig. 4 View of the observation point



図 5 観測地帯の様子

Fig. 5 View of the observation zone

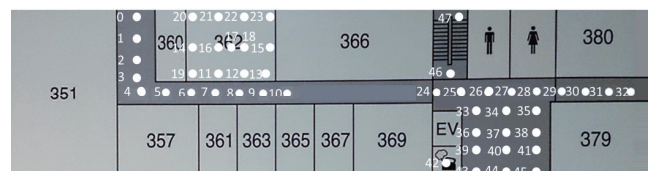


図 6 データ観測点 (2 回目)

Fig. 6 Data observation point (Second day)

4.2 エリア識別境界の妥当性の検証方法

本実験は、ユーザの学習時の移動シナリオを想定して学習したエリア識別器の識別境界がどのような振る舞いをするのか検証した。本実験では、各地点で得られた Wi-Fi 電波ログは時系列順に並べ、学習データとテストデータを 10 分割交差検定で評価した。

学習では、学習地点をデータセット 1 に対して 2 パターン、データセット 2 に対して 1 パターン設定し、各パターンに対して学習の順序が異なる移動シナリオを 3 つ設定して実験をした。想定した移動シナリオを表 1 に示す。移動シナリオの数字は図 3、6 の地点の数字に対応する。なお、学習地点に選ばれなかった地点の学習データはエリア識別器の学習に使用しない。

テストでは、学習地点になった地点に加え、学習地点にならなかった地点も用いた。[11] でも述べたが、提案して

表 1 学習時の移動シナリオ
Table 1 scenario of learning

No.	データセット	移動シナリオ
1.1	1	1 → 3 → 4 → 6 → 14 → 15 → 17
1.2		3 → 16 → 4 → 17 → 1 → 15 → 6
1.3		17 → 3 → 1 → 16 → 15 → 6 → 4
2.1	1	1 → 2 → 3 → 9 → 10 → 12 → 13 → 15 → 17
2.2		3 → 10 → 15 → 9 → 2 → 12 → 17 → 1 → 13
2.3		13 → 1 → 10 → 2 → 15 → 12 → 10 → 17 → 3
3.1	2	0 → 2 → 3 → 4 → 12 → 13 → 27 → 42 → 46
3.2		46 → 2 → 12 → 27 → 13 → 3 → 42 → 4 → 0
3.3		0 → 3 → 12 → 27 → 13 → 4 → 42 → 2 → 46

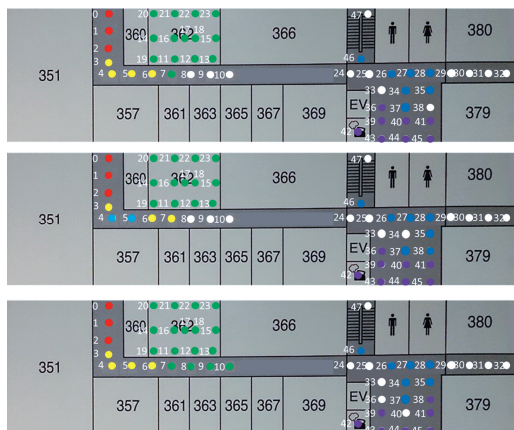


図 7 最終識別結果の例
Fig. 7 example of area recognition

いるエリア識別器は小サンプルの入力によるエリア識別を想定している。従って、本実験ではテストデータを1サンプルごとに分割し、それぞれの入力に対してエリア識別結果を求めた。1サンプルとは1回の観測で得られるWi-Fi電波ログのことである。各地点ごとに、その地点で得られたWi-Fi電波ログを識別し、最も多かった識別結果を最終的な識別結果とした。その例を図7に示す。地点の色は、最終的な識別結果を示し、同色の地点は同じエリアと識別されたことを示している。ただし、白色に塗られた地点は学習時に構築されたどのエリアにも当てはまらなかったことを表す。

交差検定で得られた10個の最終結果から α ブレンドによって得られた図をもとにエリア識別境界の妥当性についての検討をした。

4.3 エリア識別境界の妥当性の検証結果

シナリオ 1.1, 1.2, 1.3 の結果を図 8, 図 9, 図 10 にそれぞれ示す。シナリオ 1.1 とシナリオ 1.3 は4つのエリアに分かれた。赤色のエリアは主に 351 室前から 362 室前、水色のエリアは主に 365 室前、黄色のエリアは男子トイレ前、緑色のエリアは女子トイレ付近を示しており、建物構



図 8 シナリオ 1.1 の結果
Fig. 8 Result of Scenario 1.1



図 9 シナリオ 1.2 の結果
Fig. 9 Result of Scenario 1.2

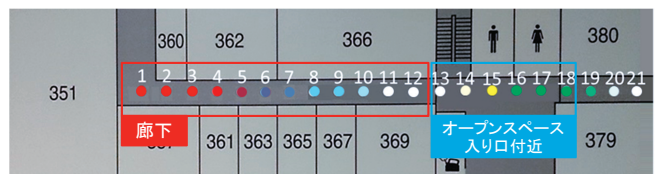


図 10 シナリオ 1.3 の結果
Fig. 10 Result of Scenario 1.3

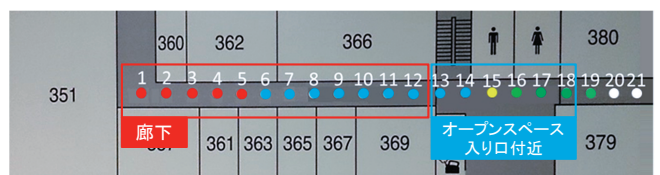


図 11 シナリオ 2.1 の結果
Fig. 11 Result of Scenario 2.1



図 12 シナリオ 2.2 の結果
Fig. 12 Result of Scenario 2.2

造からみて妥当性があると考えられる結果となった。シナリオ 1.2 は3つのエリアに分かれた。水色のエリアが消え、赤色のエリアが主に 351 室前から 363 室前までを示しているが、建物構造からみて妥当性があると考えられる結果となった。

シナリオ 2.1, 2.2, 2.3 の結果を図 11, 図 12, 図 13 にそれぞれ示す。シナリオ 2.1, 2.2, 2.3 はともにほぼ同様の結果となった。赤色のエリアは主に 351 室前から 362 室前、水色のエリアは主に 366 室前からエレベーター前、黄色のエリアは男子トイレ前、緑色のエリアは女子トイレ付

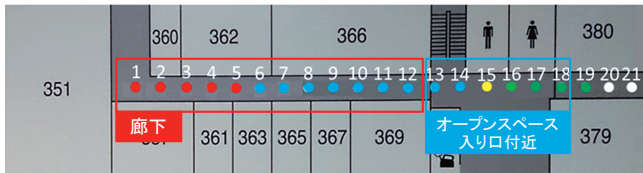


図 13 シナリオ 2.3 の結果

Fig. 13 Result of Scenario 2.3



図 17 オープンスペース

Fig. 17 Open Space



図 14 シナリオ 3.1 の結果

Fig. 14 Result of Scenario 3.1



図 15 シナリオ 3.2 の結果

Fig. 15 Result of Scenario 3.2



図 16 シナリオ 3.3 の結果

Fig. 16 Result of Scenario 3.3

近を示しており、建物構造からみて妥当性があると考えられる結果となった。

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 の結果を図 14, 図 15, 図 16 にそれぞれ示す。シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 はともにほぼ同様の結果となり、赤色のエリアは 351 室と 360 室の間、緑色のエリアは 362 室内については建物構造からみて妥当性があると考えられる結果となった。また、オープンスペースはトイレ前を含む北側の青色のエリアと、南側の紫色のエリアに分割されたが、付近の学習地点は地点 27 と地点 42 とオープンスペース内にないことから妥当な結果と考えられる。しかし、特にシナリオ 3.1 では地点 4, 5 で水色のエリアが黄色のエリアを分断する結果となっており、これは建物構造からみて妥当性を欠く結果となった。

4.4 考察

4.4.1 廊下

シナリオ 1.1, 1.3 では 362 室前でエリアが二つに分かれており、シナリオ 2.1, 2.2, 2.3 でも同様の結果が得られ

た。これは、赤色のエリアは主に 351 室前-362 室前、水色のエリアは 366 室前を表しており、建物構造からみた妥当性があるといえる。シナリオ 1.2 ではエリアが一つにまとめられていた。これは学習順番に起因するものと考えられる。しかし、シナリオ 1.2 の赤色のエリアはシナリオ 1.1, 1.3 のエリアと同じく、主に 351 室前-362 室前を表しており建物構造からみた妥当性があるといえる。従って、学習順番を変えても、建物構造から見て妥当なエリア識別が行われると考えられる。

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 では地点 12, 13 が学習地点であるにもかかわらず地点 9 付近ではどのエリアにも識別されないことが多かった。これは実験時は地点 12, 13 付近にあった扉を閉めていたため扉の前で RSSI が大きく変化したためであると考えられる。

4.4.2 廊下の曲がり角

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 では地点 4, 5 が地点 3, 6 とは別のエリアになることがいくつか見られた。受信された Wi-Fi 電波の RSSI について調べると地点 4, 5 と地点 3, 6 で RSSI の差が 3~5 程度あるものがいくつか見られた。提案した識別器は boost などある程度の数のアクセスポイントで RSSI の変化が大きくなって正しくエリア識別する改良を施していたがこの地点では反映されておらず、今後の課題といえる。

4.4.3 362 室

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 では室内の全ての地点で高い確率で同エリアとなっており、建物構造からみて非常に妥当であった。これは、実験中は 362 室内の全ての扉、窓を閉め切った状態で閉鎖的であったため他の場所と電波環境が異なっていたためであると考えられる。

4.4.4 オープンスペース入り口付近

シナリオ 1.1, 1.2, 1.3 やシナリオ 2.1, 2.2, 2.3 では地点 15 のみで一つのエリアが構築された。これは図 17 のように付近が開放的なスペースとなっており、廊下に比べ環境が大きく変わったために水色のエリアと別エリアとなったと考えられる。さらに、地点 17 はガラスの敷居がちょうどなくなっている部分であり、地点 15 に比べより開放

的であるために緑色のエリアとは別のエリアとなったと考えられる。シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 についてはこのような現象は見られなかったが、これらのシナリオではトイレ付近の学習地点が男子トイレと女子トイレの間の地点 27 しかないためだと考えられる。

4.4.5 オープンスペース

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 ではオープンスペース内が北側と南側で分割されていた。付近の学習地点は地点 27 と地点 42 とオープンスペース内になく、学習時の行動パターンを考えると妥当な結果と考えられる。もしオープンスペース内に学習地点を設定した場合にオープンスペースが一つのエリアとなるかは今後調査する必要がある。

4.4.6 まとめ

シナリオ 2.1, 2.2, 2.3 およびシナリオ 3.1, 3.2, 3.3 はそれぞれほぼ同様のエリア分割となり、概ね建物構造からみて妥当性がある結果となった。また、シナリオ 1.1, 1.2, 1.3 についてはシナリオ 1.2 については結果が他の二つと大きく変わっていたが、建物構造からみた妥当性がある結果になっていた。従って、学習順番を変えても建物構造から見て妥当なエリア識別は行われると考えられる。

シナリオ 3.1, 3.2, 3.3 も 362 室内が同一エリアになるなど建物構造から見て妥当な部分も見られたが廊下の曲がり角など、一部建物構造から見た妥当性を欠くものがあった。これは今後の課題とする。

5. おわりに

屋外だけでなく屋内においてもユーザの位置を推定するために、Wi-Fi 受信電波強度 (以下, RSSI) を用いた位置推定の研究が多く行われ、さまざまなサービスがすでに公開されている。

しかし、エリアを逐次的に構築する方法でエリア識別する多くの研究はそのエリアにいるかどうかの判定を主な対象としている。そのため、人間の感覚と異なるエリア識別境界が設定される可能性があり実際の運用に適していない状態となることが考えられる。

そこで本研究では、名古屋大学 IB 電子情報館南棟 3F のデータを用いて停留時 Wi-Fi 電波ログから構築したエリア識別器の識別境界がどのような振る舞いをするのかを検討した。結果、構築されたエリアの識別境界は、廊下の曲がり角、部屋の区切りなどに引かれ、一部を除いて建物構造からみた妥当性が見られることが確認できた。また、学習順番を変化させた場合にエリアの識別境界が変化する可能性が確認されたが、変化後でも建物構造からみた妥当性が見られる結果となることが確認できた。

今後の課題として、一部の地点については建物構造からみた妥当性を欠く結果となっていた。これは、一部のアクセスポイントで RSSI の変化が大きくなっていったためであり、この解決が必要である。また、今回はオープンスペー

ス内に学習地点を設定しておらず、もしオープンスペース内に学習地点を設定した場合にオープンスペースが一つのエリアとなるのか確認が必要である。また、他の建物でも建物構造からみた妥当性があるエリア分割ができるかの検証もする必要がある。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24700062 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 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, Vol. 2006, pp. 95-104, 2006.
- [2] 河口信夫. Locky.jp: 無線 lan を用いた位置情報ポータルとその応用. ヒューマンインタフェース学会誌= Journal of Human Interface Society: human interface, Vol. 10, No. 1, pp. 15-20, 2008.
- [3] Skyhook apps, enterprise & device. <http://retailnext.net/products/guest-wi-fi-personalization/>.
- [4] Guest wi-fi & personalization. <http://retailnext.net/products/guest-wi-fi-personalization/>.
- [5] 山田直治, 磯田佳徳, 南正輝, 森川博之. プレゼンスシステム実現のための無線 lan を用いた高精度な屋内エリア推定方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 8, pp. 1845-1855, 2009.
- [6] 藤田由, 佐々木威, 河口信夫. 地下鉄構内の制約条件を利用した無線 lan 位置推定手法. 情報処理学会研究報告, Vol. 2008, No. 66, pp. 153-157, 2008.
- [7] 藤井陽光, 坂口拓嗣, 安積卓也, 西尾信彦. 屋内細粒度行動認識のための wi-fi 標本の自動管理機構. 情報処理学会研究報告. UBI,[ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2013, No. 57, pp. 1-7, 2013.
- [8] Nobuhiko Nishio, Yuuki Fukuzaki, and Takuya Azumi. Detecting wi-fi base station behavior inappropriate for positioning method in participatory sensing logs. In *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, pp. 665-672. ACM, 2013.
- [9] 坂口拓嗣, 望月祐洋, 村尾和哉, 西尾信彦. 環境の変化に適応する wi-fi 標本自動管理手法. 情報処理学会研究報告. UBI,[ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2014, No. 1, pp. 1-8, 2014.
- [10] Donnie H Kim, Jeffrey Hightower, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. Discovering semantically meaningful places from pervasive rf-beacons. In *Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing*, pp. 21-30. ACM, 2009.
- [11] 藪圭輔, 榎堀優, 間瀬健二. 停留時 wi-fi 電波ログを用いた物理粒度可変なエリア識別器の構築の検討. 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2014, No. 12, pp. 1-7, 2014.