

移動経路認識のための Wi-Fi 電波標本の生成管理手法

内堀 和哉^{1,a)} 村尾 和哉^{1,b)} 望月 祐洋^{2,c)} 西尾 信彦^{1,d)}

概要: Wi-Fi フィンガープリントによる屋内測位手法では、事前に測位対象空間において絶対座標とその地点で観測される Wi-Fi 電波情報を収集し、電波環境マップを作成する必要がある。しかし、Wi-Fi 基地局は時間経過にともない、追加や移動、撤去される可能性があるため、定期的な電波環境マップの更新または再構築が必要となる。本研究では、ユーザの移動中に所持しているスマートフォンから定期的に収集される Wi-Fi 電波情報を用いて、移動経路を特徴づける標本群を生成し、管理する手法を提案する。

キーワード: 屋内測位, 移動経路認識, Wi-Fi フィンガープリント

1. はじめに

近年、スマートフォンの普及に伴い、ユーザの現在位置に基づいたサービス^{*1*}^{*2}が数多く提供されている。スマートフォンには、様々なセンサや GPS (Global Positioning System), Wi-Fi などの無線通信モジュールが搭載されている。GPS を用いることにより、現在位置推定を行うことができる。また、加速度センサにより歩行状態などの動きを検知することができる。これらの情報を用いることで、ユーザの行動を認識することが可能である。

屋外では、GPS を用いた測位により、高精度に位置情報を取得することが可能である。しかし、ユーザは多くの時間を屋内で過ごし、その間は正常に GPS 信号を受信できず、正確な位置情報を取得することは困難である。屋内における測位手法として、導入コストの低い無線 LAN を用いた手法がある。中でも Wi-Fi 基地局は一般家庭のみならず、オフィスや商業施設などに広く普及しており、さまざまな場所で Wi-Fi 基地局の電波を観測することが可能である。Wi-Fi を用いた屋内測位手法のひとつに、Wi-Fi フィンガープリントによる手法がある [2][1]。この手法では、事前作業として、収集した Wi-Fi 電波情報と収集地点の絶対座標 (緯度・経度) を結びつけた Wi-Fi 電波環境マップを作成する。Wi-Fi 電波情報とは、電波を発信

した基地局の識別子である BSSID や ESSID, 受信した電波の信号強度を表す RSSI などである。そして、実際に観測した Wi-Fi 電波情報と Wi-Fi 電波環境マップを比較することにより、絶対座標を出力している。しかし、測位対象となる空間ごとに、Wi-Fi 電波環境マップを作成する必要があり、システム管理者に多大な負担がかかる。また、Wi-Fi 基地局の追加や消滅、設置場所の変更など、時間経過に伴い電波環境が大きく変化する。そのため、定期的に Wi-Fi 電波環境マップの更新または再構築を行う必要があり、システム開発者の負担がさらに大きくなってしまいう問題がある。

一般的な屋内測位手法では、測位対象空間におけるユーザの絶対座標を出力するが、サービスに利用するためには測位対象空間におけるすべての座標に対し、地域名や施設名などの情報 (以下、ラベル) を結びつけておく必要がある。しかし、リマインダの提示など、提供するサービスによっては詳細な現在位置は不要であり、自宅や大学などのおおまかな現在位置が推定ができれば良い。また、ユーザは行動の中で、自身にとって意味のある地点で長時間留まると考えられる。そのため、測位対象空間における絶対座標の推定は不要であり、ユーザが長時間停留する場所 (以下、停留点) と停留点間の移動経路が認識できれば十分である。この場合、停留点のみにラベルを結びつけるため、システム開発者の負担を軽減することができる。自宅や大学などのラベルが結びつけられた停留点と、停留点間の経路が認識できれば、ユーザの行き先などの行動予測が可能となる。

本研究では、移動経路における Wi-Fi 電波標本の生成管理手法を提案し、評価する。提案手法では、移動期間中に

¹ 立命館大学情報理工学部

² 立命館大学総合科学技術研究機構

a) holy@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

b) murao@cs.ritsumei.ac.jp

c) moma@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

d) nishio@cs.ritsumei.ac.jp

*1 Google Now <https://www.google.com/intl/ja/landing/now/>

*2 NAVITIME <https://www.navitime.co.jp>

収集した Wi-Fi 電波情報から、使用する Wi-Fi 電波情報の選別および標本群の再構築を行うことで、経路を特徴づける標本群を生成する。また、複数経路における共通区間を抽出し、非共通区間と分割することで標本群の効率的な管理を図る。

2. 関連研究

屋内における測位手法のひとつとして、Wi-Fi フィンガープリントによる手法がある。従来の手法では、事前に絶対座標とその座標で観測した Wi-Fi 電波情報を結びつけることにより、Wi-Fi 電波環境マップを作成しているが、システム管理者の大きな負担となる問題があった。本章では、絶対座標とその座標で観測した Wi-Fi 電波情報を結びつけずに、一定期間で収集した Wi-Fi 電波情報から Wi-Fi 電波環境マップを自動生成する研究について述べる。

Hightower ら [3] は、一定期間、類似性の高い Wi-Fi 電波情報が連続して観測された場合、その Wi-Fi 電波情報を観測できる地点は重要な場所であるとして、標本リストに登録する。現在位置推定を行う際は、観測された Wi-Fi 電波情報から標本リストを参照し、類似度の高い結果を出力する。Hyojeong ら [7] は、スマートフォンを用いて Wi-Fi 電波情報を収集するごとに、K-means 法によるクラスタリングをすることで、様々な地点において自動的に標本を生成している。しかし、作成された標本は自動更新されないため、電波環境の変化に対応できない。

Jiang ら [4] は、観測された Wi-Fi 電波情報を用いて、部屋単位の粒度で標本の生成および更新する手法を提案している。屋内における複数のユーザがそれぞれ所持する端末で観測された、Wi-Fi 基地局の BSSID や RSSI などの Wi-Fi 電波情報と加速度計の値をサーバに収集する。そして、ユーザが静止していると判断された時の Wi-Fi 電波情報のみを用いてクラスタリングし、部屋単位の標本を生成する。ユーザが実際に観測した Wi-Fi 電波情報から、ベイズ推定により類似した標本を算出することで、現在位置推定を行う。また、新たに観測された Wi-Fi 電波情報を用いて、標本を更新している。しかし、部屋単位の粒度でしか標本を生成していないため、部屋の内部などの細かい粒度での現在位置推定ができていない。また、ユーザの移動期間において移動経路の認識を行うことができない。この問題に対して、Jiang ら [5] は、部屋単位で生成した標本の類似度から隣接関係を識別し、部屋間を対象としてユーザの移動経路の認識を行っている。

坂口ら [6] は、ユーザの行動特性に着目した標本の自動管理手法を提案している。ユーザの行動中に、スマートフォンを用いて定期的に Wi-Fi 電波情報と加速度センサの値を収集する。そして、加速度センサの値から、Wi-Fi 電波情報を停留期間と移動期間に分類する。加速度センサの三軸合成値を平滑化し、極大値と極小値のピークセットの

差に閾値を設定することで歩数の検知を行う。2 秒以内で歩数が連続して検知された期間を停留期間、それ以外を移動期間としている。それぞれの期間に応じた標本の生成と管理を行い、ユーザ個別の Wi-Fi 電波環境マップを自動生成する。これにより、部屋単位ではなく、デスク間などの細かい粒度で停留点を認識し、標本を生成することが可能である。そして、停留点間における経路を対象としてユーザの移動経路の認識を行っている。停留期間では、他の停留点における既存の標本と仮想距離を計算し、閾値以上の場合のみ標本の生成を行う。仮想距離の計算には、BSSID と RSSI、BSSID の観測回数を用いている。そして、既存の停留点に再び訪れたと判定した場合は、標本に Wi-Fi 電波情報を追加する。また、電波環境の変化に追従するために、過去の Wi-Fi 電波情報を一定期間で削除している。長期間の運用を考えた場合、停留点における標本は無数に生成されると考えられる。そのため、停留期間において認識を行う場合、膨大な計算が必要となる。そこで、定期的に Wi-Fi 電波環境の類似度が高い停留点をサイトとしてまとめることにより、計算対象とする標本を限定している。移動期間では、収集された Wi-Fi 電波情報から時系列に、その経路における既存の標本との仮想距離を計算し、閾値以上の場合のみ標本を生成する。最終的に、各収集時刻で生成した標本を 1 つにまとめることで、移動経路を特徴づける標本群を生成している。ユーザの行動を認識する際には、まず観測された Wi-Fi 電波情報から、サイトの推定を行い、サイトに属する停留点の標本を対象として、現在位置推定を行う。また、現在の停留点を始点とする経路を対象として経路認識を行っている。

3. 提案手法

3.1 問題意識

坂口らの手法では、移動期間において、各地点で収集した Wi-Fi 電波情報の RSSI が 1~K 番目に大きい (Top-K) の BSSID を用いて標本を生成している。実際に観測した Wi-Fi 電波情報と各経路における標本群との最小仮想距離が閾値以上となる割合 (以下、一致率) を算出し、一致率が最も大きい経路を認識結果としている。しかし、予備実験において、実際に坂口らの手法を用いて経路認識を行ったところ、全ての経路で高い一致率が算出された。各経路における非共通部分の割合から考えて、尤もらしい値であるとは言えない。また、始点を同一とする経路が複数あるとき、共通部分が存在する場合があるが、それぞれを独立して扱っている。複数経路における Wi-Fi 電波情報を共通部分と非共通部分に分割することで、効率的に標本を利用することが可能となる。

これらの問題点を解決するために、本研究では実環境を考慮した移動経路における標本群の生成を行う。また、複数経路における Wi-Fi 電波情報から共通区間を抽出するこ

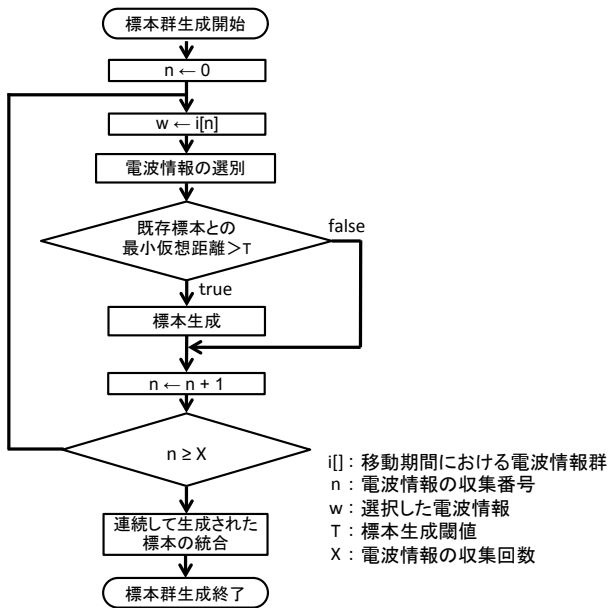


図 1 移動経路における標本群生成の流れ

とにより、標本群の効率的な管理を図る。

3.2 移動経路における標本群生成

本節では、移動経路における標本群の生成手法について述べる。スマートフォンを所持して経路を歩行し、その期間に収集される Wi-Fi 電波情報（以下、電波情報）を用いて、標本群を生成する。ここで、電波情報とは、BSSID、RSSI を指す。BSSID は、電波を発信した Wi-Fi 基地局の識別子である。また、RSSI とは電波を受信した際の信号強度である。

移動期間においては、ユーザによって歩幅や歩行速度が異なるため、収集した電波情報と絶対位置を結び付けることは困難である。そこで、一定の時間間隔で収集される電波情報を利用し、標本を生成する。本研究では、3 秒間隔で電波情報の収集を行った。収集地点を特徴づけた標本を生成するために、収集した電波情報の選別を行う。選別後の電波情報を標本とし、時系列順に標本 ID 番号を付与する。新たに標本を生成する際は、既存の標本と仮想距離を計算し、最小仮想距離が閾値以上の場合のみ標本を生成する。はじめに収集した電波情報の収集時刻から順に、最終収集時刻まで標本生成処理を行う。連続した収集時刻において標本が生成された場合は、電波情報の収集地点間隔が短いということであり、収集できる電波情報に大きな違いがあるとは考え難い。そこで、連続した収集時刻で生成された標本は、それぞれの電波情報を統合し、1 つの標本として再構築を行う。以上の処理で、移動経路における標本群を生成する。標本群生成の流れを図 1 に示す。

3.3 電波情報の選別

経路における収集地点の電波環境の特徴を表した標本を

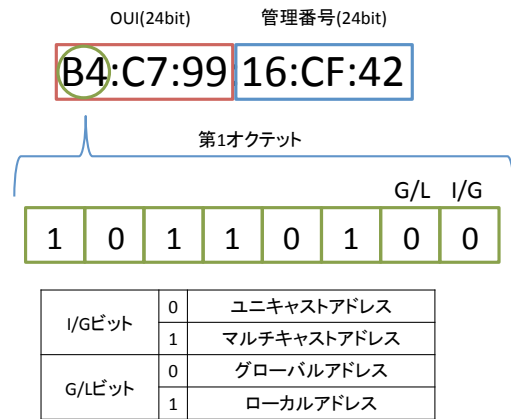


図 2 MAC アドレスの形式

生成するために、以下の 3 項目から、使用する電波情報の選別を行う。

- RSSI を用いた選別
- BSSID を用いた選別
- 同一 Wi-Fi 基地局からの発信される複数電波を考慮した BSSID の選択

3.3.1 RSSI を用いた選別

Wi-Fi 電波にはゆらぎがあるため、障害物による電波減衰や電波同士の干渉によって同じ地点であっても観測できる RSSI は異なる。特に、地下街や複合商業施設などの人通りが多い環境下では、障害物による電波減衰の影響が大きくなる。弱い RSSI が観測されるということは、近くに設置されている Wi-Fi 基地局からの電波だが障害物によって大きく減衰した場合や、収集地点から遠くに設置されている Wi-Fi 基地局の電波である場合が考えられる。そのため、収集地点の電波特徴を表す電波情報として、不適切である。一方、強い RSSI が観測されるということは、Wi-Fi 基地局が収集地点から近くに存在することを表す。そこで、閾値 α 以上の RSSI を観測した BSSID のみを標本生成に使用する。

3.3.2 BSSID を用いた選別

BSSID は、電波が発信されている Wi-Fi 基地局の MAC アドレスと同一である。MAC アドレスの形式を図 2 に示す。具体例として、実際に観測した BSSID を記載している。MAC アドレスは 48bit で構成される。上位 24bit は、OUI(Organizationally Unique Identifier) と呼ばれ、機器を製造したベンダーの識別子であり、IEEE によって管理されている。また、下位 24bit は各ベンダーが製品ごとに一意となるように設定している。これによって、製品同士の MAC アドレスの衝突を防いでいる。

MAC アドレスの第 1 オクテット (上位 8bit) の下位 2bit は、上から G/L ビット、I/G ビットと呼ばれる。I/G ビット = 0 の場合は、ひとつの端末に対して通信を行うユニキャストアドレスであることを示す。また、I/G ビット = 1 の場合は、複数の端末に対して通信を行うマルチキャスト

表 1 観測した電波情報 (上位 44bit による分類)

BSSID	ESSID	RSSI
b4:c7:99:16:44:20	A	-91
b4:c7:99:16:44:23	D	-86
b4:c7:99:16:44:24	E	-93
b4:c7:99:16:07:31	B	-77
b4:c7:99:16:07:32	C	-79
b4:c7:99:16:07:33	D	-80
b4:c7:99:16:c9:b0	A	-54
b4:c7:99:16:c9:b1	B	-81

トアドレスであることを示す。G/L ビット = 0 の場合は、正式に IEEE の承認を受けた OUI であることを表している。一方、G/L ビット = 1 の場合は、局所的に用いられていることを表しており、具体的にはスマートフォンのテザリング機能によるネットワーク等が該当する。テザリング機能による一時的な Wi-Fi 基地局は、常に同じ位置に存在するわけではないため、観測地点の電波特徴を表す Wi-Fi 電波情報として適しているとは言えない。そのため、G/L ビット = 0 の BSSID のみを標本生成に使用する。

3.3.3 同一 Wi-Fi 基地局から発信される複数電波を考慮した BSSID の統合

移動期間においては、ひとつの地点に長時間止まることはなく、短時間で通過すると考えられる。そのため、その地点において複数回の Wi-Fi 電波情報を収集することができない。また、不安定な電波環境においては、電波自体が観測されない場合や、観測されても RSSI が小さいため選別により排除される場合があり、収集した電波情報に漏れが生じる可能性がある。そこで、1 つの Wi-Fi 基地局から周波数やサービスポリシーの違いにより、それぞれ異なる BSSID を付与した複数の電波が発信されている場合があることを考慮する。全ての電波が収集されていない場合であっても、1 つの電波さえ収集されていれば、他の電波情報の収集漏れに対応することができる。そのため、BSSID の特徴から Wi-Fi 基地局に分類し、同一の Wi-Fi 基地局と判定された場合は同様のものとして扱う。同一の Wi-Fi 基地局と判定された電波情報が複数ある場合は、RSSI の最大値をその Wi-Fi 基地局の RSSI として利用する。

実際に観測した電波情報の一部を表 1、表 2 に示す。なお、BSSID の上位 24bit および ESSID の共通部分は、変更して表記している。表 1 より、上位 44bit が共通している BSSID が複数存在していることがわかる。また、表 2 より、BSSID の下位 4bit が共通している項目は ESSID が共通していることがわかる。これらの規則性から、本研究では、上位 44bit が同じである BSSID は同一の Wi-Fi 基地局から発信されている電波であると定義した。

3.4 標本群の生成

移動期間においては、収集地点と収集した電波情報を結

表 2 観測した電波情報 (下位 4bit による分類)

BSSID	ESSID	RSSI
b4:c7:99:16:44:20	A	-91
b4:c7:99:16:c9:b0	A	-54
b4:c7:99:16:07:31	B	-77
b4:c7:99:16:c9:b1	B	-81
b4:c7:99:16:07:32	C	-79
b4:c7:99:16:44:23	D	-86
b4:c7:99:16:07:33	D	-80
b4:c7:99:16:44:24	E	-93

びつけることが困難であるため、3 秒間隔で電波情報の収集を行っている。しかし、歩行速度や周囲の電波環境によっては、連続して収集された電波情報の類似性が高い場合がある。そのため、全ての電波情報で標本を生成した場合、類似度が高い標本が生成される可能性がある。これらの標本を経路認識に利用した場合、ユーザの現在位置と異なる位置で生成された標本との類似性が高くなる可能性がある。そこで、既存の標本と仮想距離を計算し、最小仮想距離が標本生成閾値以上の場合のみ、新たに標本を生成する。仮想距離の計算式を式 (3.4) に示す。仮想距離の計算には坂口ら [6] と同じ計算式を用いた。簡略化したため、表記は異なる。第 3.3 項で示した Wi-Fi 基地局の定義に従って、仮想距離の計算を行う。

$$dist(F_w, F_c) = \sqrt{\frac{\sum (r_{F_w} - r_{F_c})^2}{s_{F_{com}}}} \times \frac{s_{F_w} + s_{F_c} - s_{F_{com}}}{s_{F_{com}}} \quad (1)$$

F_w は観測された Wi-Fi 基地局の集合、 F_c は標本における Wi-Fi 基地局の集合、 F_{com} は F_w と F_c で共通する Wi-Fi 基地局の集合を表す。 r_{F_w} は F_w を構成する F_c と共通する各 Wi-Fi 基地局の RSSI を表し、 r_{F_c} は F_c を構成する F_w と共通する各 Wi-Fi 基地局の RSSI を表す。 s_* は Wi-Fi 基地局の集合における基地局数であり、* は F_w , F_c , F_{com} のいずれかである。

移動期間においては、ひとつの地点において電波情報を複数回収することができない。そのため、共通する Wi-Fi 基地局数を考慮して、Wi-Fi 基地局の組み合わせを重視した仮想距離計算を行っている。共通する Wi-Fi 基地局数が、観測された Wi-Fi 基地局数と標本における Wi-Fi 基地局数に占める割合が大きいほど、仮想距離が小さくなる。これにより、十分な距離を持った標本を生成することが可能である。

3.5 標本群の再構築

仮想距離を用いることにより、標本の生成を制限しているが、連続した収集時刻で標本が生成される場合がある。この時、電波情報の収集地点間隔が短いということであ

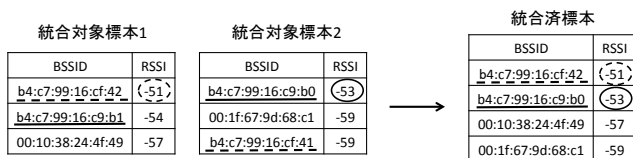


図 3 標本の統合例

り、収集できる電波情報は類似していると考えられる。また、本来観測される電波が観測されなかったため、仮想距離が大きくなり標本が生成された可能性が考えられる。そこで、連続した収集時刻で生成された標本を、1つの標本として統合することで、標本群を再構築する。

統合する際は、第 3.3 項で示した Wi-Fi 基地局の定義に従い、統合対象の標本で共通した Wi-Fi 基地局の電波情報を保持していた場合は、RSSI の最大値を使用する。また、それぞれの標本が固有で保持している Wi-Fi 基地局の場合は、そのまま使用する。例を図 3 に示す。

3.6 標本群を用いた経路認識

実際に観測した電波情報と、各経路ごとに生成された標本群を比較することにより経路認識を行う。第 3.3 項に従って、観測した電波情報の選別を行った後、各経路における全ての標本との類似度である $routeDistance$ を式 (2) に従って計算する。 $routeDistance$ の計算には坂口ら [6] と同じ式を用いた。

$$routeDistance(F_w, F_c) = dist(F_w, F_c) \cdot diff(N_c, N_p) \quad (2)$$

$$diff(N_c, N_p) = \begin{cases} 1 & (N_c - N_p = 0) \\ |N_c - N_p| & (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

$routeDistance$ は式 (3.4) で計算された仮想距離に標本 ID 番号の差分 $diff$ を掛け合わせたものである。式 (3.6) に示す $diff$ は、実際に観測した Wi-Fi 電波情報から選択された標本 ID 番号 N_c と、直前に選択された標本 ID 番号 N_p の差の絶対値である。仮想距離の計算の際には、標本生成時と同様に、第 3.3 項に従って、観測した電波情報の選別を行う。RSSI による選別を行っているが、標本生成時の閾値 α と同じ値は使用しない。標本生成時においては、閾値 α によって RSSI の強い電波を発信している Wi-Fi 基地局のみを用いることで、収集地点の電波特徴を捉えた標本を生成することが可能である。しかし、経路認識を行う際に、実際に観測した電波情報における全ての電波情報の RSSI が閾値 α に満たない場合、全ての電波情報が排除されるため、仮想距離の計算を行うことができない。そのため、閾値 α より値を緩めた閾値 β を用いて選別を行い、仮想距離の計算を行う。ユーザが経路を移動している際に観測した電波情報と、各経路における標本との仮想距離を計

算した場合、最小値として選択される標本 ID 番号は、移動とともに増加もしくは減少すると考えられる。そのため、仮想距離に $diff$ を掛け合わせて、 $routeDistance$ を定義している。 $routeDistance$ を用いて、経路ごとに一致率を算出することで、経路認識を行う。一致率を式 (3.6) に示す。 $matchRate$ の計算には坂口ら [6] と同じ式を用いた。

$$matchRate = \frac{matchCount}{scanCount} \times 100 (\%) \quad (4)$$

$matchCount$ は移動期間において、観測した電波情報における $routeDistance$ が閾値以下の回数を表す。 $scanCount$ は移動期間が開始した時から、終了するまでの電波情報の収集回数を表す。しかし、 $matchRate$ は、一定の閾値を設定しているため、 $routeDistance$ の大小は反映されない。そこで、最新の観測した電波情報までの平均 $routeDistance$ を考慮する。共通区間を持つ複数の経路があった場合、共通区間においては平均 $routeDistance$ が類似している。また、途中で分岐した場合、非共通区間における $routeDistance$ は大きく増加するため、結果として平均 $routeDistance$ は増加する。共通区間が多く存在する場合、 $matchRate$ は類似した値が算出される可能性がある。しかし、平均 $routeDistance$ には、非共通区間の $routeDistance$ が反映される。そのため、実際とは異なる経路の平均 $routeDistance$ は、実際に歩行していた経路の平均 $routeDistance$ に比べて大きな値が算出される。移動経路候補において、平均 $routeDistance$ を比較することで、より尤もらしい経路を選択することが可能である。

3.7 複数経路における共通区間の抽出

それぞれを独立した経路として、標本群の生成を行っているが、始点が同一の経路があるとき、共通区間が存在する可能性がある。移動期間においては、ひとつの収集地点において電波情報の収集を複数回行うことができない。そのため、電波情報の収集漏れが発生する可能性がある。しかし、複数経路における電波情報群から共通区間を抽出することにより、共通区間において複数の電波情報を保持することができる。共通区間と非共通区間を分類し、それぞれをパーツとして扱うことで、効率的な標本群の管理が可能となる。

比較元の経路における電波情報群（以下、比較元電波情報群）の先頭から、比較先の経路における電波情報群（以下、比較先電波情報群）との仮想距離により、比較元電波情報群における共通区間の後尾を決定することで、共通区間の抽出を行う。まず、比較元電波情報群と比較先電波情報群に対して、第 3.3 項に従い、電波情報の選別を行う。また、各電波情報に対して、先頭の収集時刻との差分時間、つまり先頭の電波情報に対する相対的な収集時刻を紐付ける。そして、比較元電波情報群の先頭の電波情報から

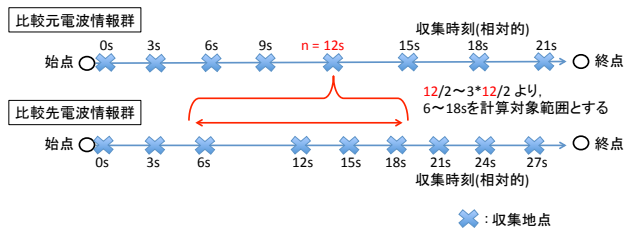


図 4 $n = 12[s]$ における計算対象範囲

順に、比較先電波情報群との仮想距離を計算する。仮想距離の計算には、式 (3.4) を用いる。理想的な仮想距離の変化を考えると、同一地点で観測した電波情報との仮想距離が最小となり、その前後は徐々に上昇していく。しかし、実環境では電波環境の違いにより、同一地点付近との仮想距離が小さくなるものの、最小になるとは限らない。そのため、下位 3 つの平均仮想距離を算出する。この時、比較先電波情報群全てとの仮想距離を計算すると、計算量が膨大になるため、計算対象範囲を制限する必要がある。各電波情報群が、収集された時の歩行速度は同じであるとは限らない。また、電波情報の選別により、ある地点で収集した電波情報全てが抜け落ちる可能性がある。そのため、先頭からの収集番号が同一であったとしても、速度または電波環境によって収集地点が大きく異なる恐れがある。そこで、各電波情報に紐づけられた相対的な収集時刻により、計算対象範囲を制限する。本研究では、比較元電波情報群で選択されている電波情報の収集時刻 $n[s]$ を中心として、前後 $n/2[s]$ の範囲、つまり $n/2 \sim 3n/2[s]$ の範囲の収集時刻が紐付いた比較先電波情報群の電波情報を計算対象とした。 $n = 12[s]$ における例を図 4 に示す。分岐地点周囲の電波環境は類似しているため、共通部分から分岐した直後に平均仮想距離の値が大きく上昇するとは考えにくい。分岐地点から離れるにつれて徐々に増加し、少し離れた地点で大きな値の平均仮想距離が算出されると考えられる。そのため、オフセットを設定し、抽出された共通区間の距離から減算することで、最終的な共通区間とする。

4. 評価

4.1 生成標本群評価

ユーザの移動期間において生成された標本の認識限界性能評価、適正性評価、および標本群による同一経路判定評価を行った。実環境において利用可能か調べるために、公衆無線 LAN 環境が整備されているが人通りが多く電波環境が不安定と考えられる大阪・梅田の地下街を対象として評価実験を行った。実験環境を図 5 に示す。屋内において経路 A, B, C の 3 種類の経路を一定速度で歩行して電波情報を収集し、標本群の生成を行った。経路 A では、移動期間中に 43 回のスキャンが行われ、最終的に標本が 15 個生成された。また、経路 B では、移動期間中に 50 回のスキャンが行われ、最終的に標本が 17 個生成された。そし



図 5 実験環境

て、経路 C では、移動期間中に 54 回のスキャンが行われ、最終的に標本が 17 個生成された。

4.1.1 標本の認識限界性能評価

経路上に標本が生成されなければ経路の判定は不可能である。そのため、どの程度の長さの経路であれば、標本の生成が可能であるのかを評価する。経路 C を歩いた際に、チェックポイントを通過した時刻を記録し、電波情報の収集時刻を元に経路上における標本生成地点と生成時刻の調査を行った。標本の生成地点と生成時刻の調査結果を図 6 に示す。本実験では、2 つの標本を 1 つに統合した場合は、1 つ目の標本生成時刻の 1 秒後を統合後の標本の生成時刻とした。また、3 つの標本を 1 つに統合した場合は、2 つ目の標本生成時刻を統合後の標本の生成時刻とした。標本間の生成時刻の差分は最大 24 秒であり、歩行速度を秒速 1.5m と仮定すると、約 36m 以上の経路であれば経路上に標本を生成することが可能であることがわかる。

4.1.2 標本の適正性評価

生成された標本が、各生成地点における電波情報の特徴



×: 標本生成地点(予測) □: 標本生成時刻(予測) □: チェックポイント通過時刻

図 6 標本の生成地点と生成時刻の調査

を捉えているかを評価する。経路 A, B, C を移動した際に生成された標本の生成地点と生成時刻の調査を行った。その後、標本生成地点と思われる地点にて、1 分間の定点観測 (20 回の電波情報の収集) を行った。経路 A, B, C の各標本生成地点において、標本生成地点番号と同じ標本番号が選択された割合と、前後の標本番号を含めた割合をそれぞれ図 7, 図 8, 図 9 に示す。

標本生成地点番号と同じ標本番号が選択された割合は、平均 40~70% とばらつきが大きい。前後の標本番号を含めた割合は平均 80~90% と高い値を示した。遠く離れた標本が生成されることは少なく、各地点周辺の特徴を捉えた標本が生成されていると考えられる。しかし、標本生成地点番号と同じ標本番号が選択された割合のばらつきが大きいため、各地点の特徴をより捉えた標本を生成するためには、標本の統合範囲を再検討する必要がある。

4.1.3 標本群による同一経路判定評価

各経路において生成された標本を用いた経路判定の評価を行う。新たに経路 A, B, C を移動した際に一致した標本の ID と routeDistance をそれぞれ図 10, 図 11, 図 12 に示す。また、各移動経路における routeDistance の平均

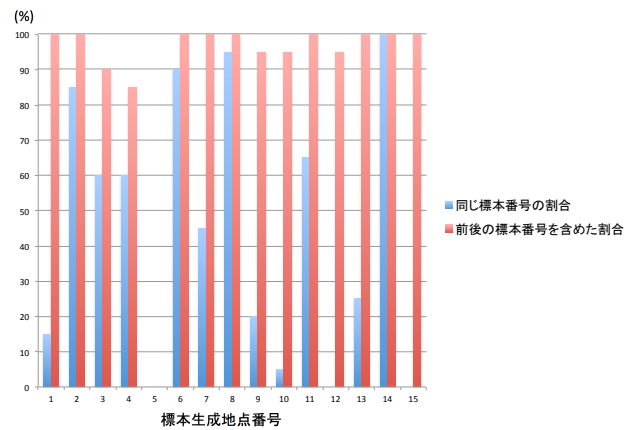


図 7 経路 A の各標本生成地点における選択された標本の割合

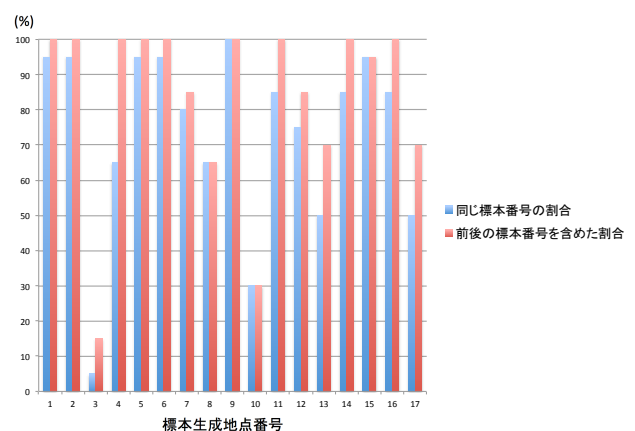


図 8 経路 B の各標本生成地点における選択された標本の割合

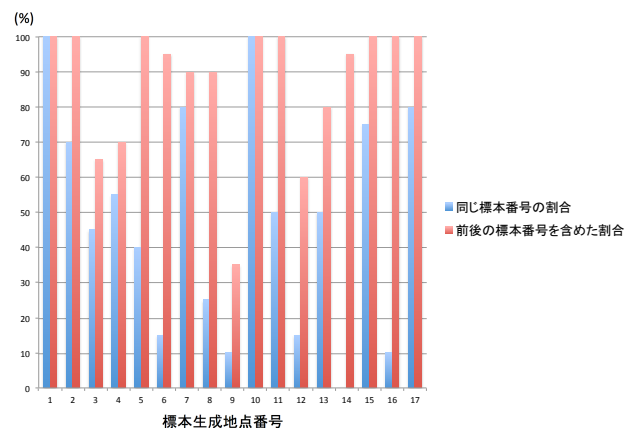


図 9 経路 C の各標本生成地点における選択された標本の割合

値を表 3 に示す。

同一の経路を移動した際に routeDistance のばらつきが少なく、平均値が小さいことがわかる。選択された各経路の標本 ID 番号は徐々に増加しており、ID 番号から経路の進行具合を把握することができる。始点またはチェックポイントで、分岐や合流する経路とは、前後で routeDistance が大きく変化していることがわかる。しかし、図 11 と図 12 における経過時間 15~24 秒のように、同一経路であっても

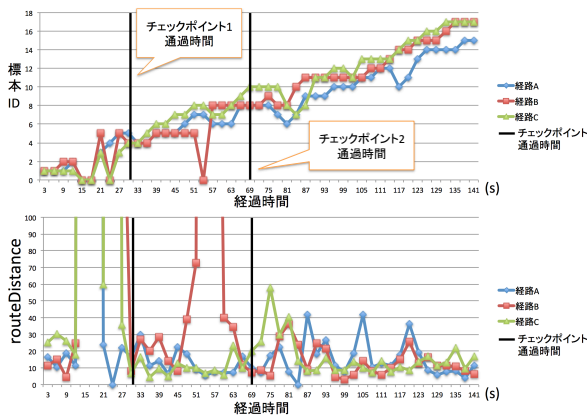


図 10 経路 A を移動した際に一致した標本 ID 番号と標本との仮想距離

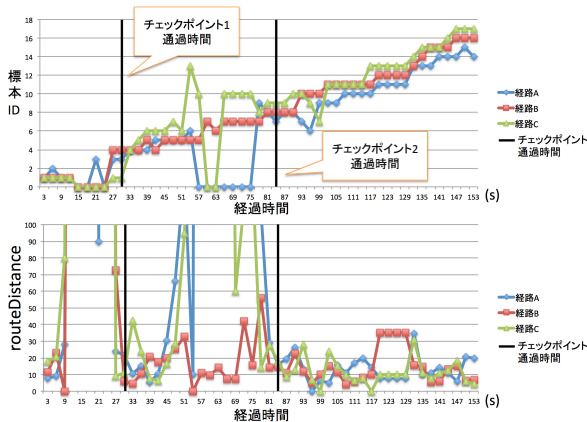


図 11 経路 B を移動した際に一致した標本 ID 番号と標本との仮想距離

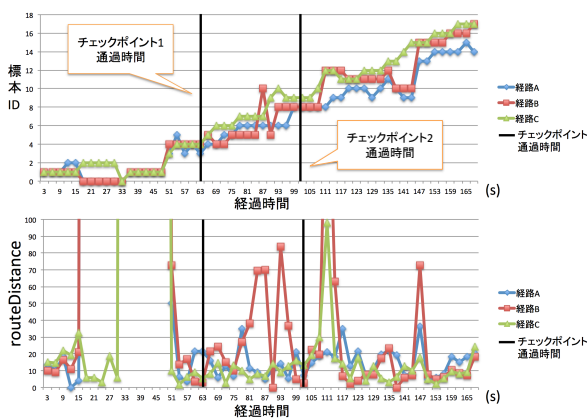


図 12 経路 C を移動した際に一致した標本 ID 番号と標本との仮想距離

routeDistance が大きくなっている場合がある。調査した結果、実際に観測した電波情報が少ないことが原因であった。このような現象は多々見受けられ、*routeDistance* 増加の大きな要因となっていることがわかった。仮想距離を計算する際には、標本生成時に比べて弱い RSSI を使用しているが、閾値の再検討が必要である。

routeDistance が閾値以内となる回数を集計し、全収集

表 3 各移動経路における *routeDistance* の平均値

	routeA(標本)	routeB(標本)	routeC(標本)
routeA	99.2	202.9	143.4
routeB	429.8	191.62	297.30
routeC	315.6	323.6	136.54

表 4 各移動経路における一致率

	routeA(標本)	routeB(標本)	routeC(標本)
routeA	91.48%	63.82%	82.97%
routeB	68.62%	78.43%	66.66%
routeC	69.64%	64.28%	91.07%

回数で除算することで同一経路の一致率を算出する。本研究では閾値を 30 とした。各移動経路における一致率を表 4 に示す。同一経路の一致率は、他の経路との一致率と比べて、10~30%高い値を示している。この結果より、提案手法によって経路を正しく判定できることがわかる。また、表 3 より、一致率に加えて *routeDistance* の平均値を考慮することで、より正確な経路判定が可能であると考えられる。

4.2 複数経路における共通区間抽出評価

複数経路において、共通区間の抽出が正常に行われるか評価する。また、第 3.7 項で述べた、オフセットについての考察を行う。生成標本群評価で用いた 3 つの経路に加えて、新たに 1 つの経路を追加した。また、始点や終点、チェックポイントを分岐点または合流点として、2 つの実験環境を設定した。実験環境 2, 3 を図 13, 図 14 に示す。各実験環境における経路 A~D から、自身を除いた他の 3 つの経路に対して、共通区間の抽出を行う。抽出した先頭から共通区間末尾までの距離と、実際の末尾までの距離を表 5, 表 6 に示す。

秒速 1.5m の等速移動と仮定すると、3 秒間隔で電波情報の収集を行っているため、電波情報の収集間隔は 4.5m である。表 5 より実験環境 2 では、実際の共通区間に比べて、平均 22.5m 先が抽出された。表 6 より実験環境 3 では、実際の共通区間に比べて、平均約 8.3m 先が抽出された。また、実験環境 2, 3 で、実際の共通区間に比べて、平均約 15.4m 先が抽出された。そのため、今回はオフセットを 15.4m とした。

実験環境 2, 3 においてオフセットによる減算を行った結果を、表 7, 表 8 に示す。表 7 より実験環境 2 では、実際の共通区間に比べて、平均約 8.0m 先が抽出された。表 8 より実験環境 3 では、実際の共通区間に比べて、平均約 2.8m 前が抽出された。また、実験環境 2, 3 で、実際の共通区間に比べて、平均約 2.6m 先が抽出された。

5. おわりに

本研究では、移動経路を認識するための Wi-Fi 電波標本



図 13 実験環境 2



図 14 実験環境 3

表 5 実験環境 2 における共通区間抽出結果

	比較先							
	routeA		routeB		routeC		routeD	
	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解
routeA	-	-	76.5	45	22.5	0	22.5	0
routeB	85.5	45	-	-	31.5	0	9	0
routeC	22.5	0	13.5	0	-	-	108	90
routeD	18	0	13.5	0	112.5	85.5	-	-

表 6 実験環境 3 における共通区間抽出結果

	比較先							
	routeA		routeB		routeC		routeD	
	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解
routeA	-	-	31.5	0	99	103.5	0	0
routeB	31.5	0	-	-	27	0	121.5	126
routeC	99	108	22.5	0	-	-	9	0
routeD	0	0	121.5	126	0	0	-	-

表 7 実験環境 2 における共通区間抽出結果 (オフセットあり)

	比較先							
	routeA		routeB		routeC		routeD	
	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解
routeA	-	-	61.1	45	7.1	0	7.1	0
routeB	70.1	45	-	-	16.1	0	0	0
routeC	7.1	0	0	0	-	-	92.6	90
routeD	2.6	0	0	0	97.1	85.5	-	-

表 8 実験環境 3 における共通区間抽出結果 (オフセットあり)

	比較先							
	routeA		routeB		routeC		routeD	
	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解	抽出結果	正解
routeA	-	-	16.1	0	83.6	103.5	0	0
routeB	16.1	0	-	-	11.6	0	106.1	126
routeC	83.6	108	7.1	0	-	-	0	0
routeD	0	0	106.1	126	0	0	-	-

の生成管理手法を提案した。標本生成手法では、まず収集した電波情報から 3 つの項目で電波情報の選別を行い、標

本を生成する。1 つ目に、近くに設置されている Wi-Fi 基地局であると考えられるため、強く観測された RSSI のみを

使用した。2つ目に、局所的な利用を想定している BSSID を排除した。BSSID は MAC アドレスと同様であり、G/L ビット=1 の場合は使用しない。3つ目に、ひとつの Wi-Fi 基地局から異なる BSSID が付与された複数の電波が発信されている場合を考慮して、BSSID の統合を行った。具体的には、BSSID の特徴から Wi-Fi 基地局に分類し、同一の基地局であると判定した BSSID を同様のものとして扱う。また、連続した時刻で収集された電波情報が標本生成に使用されていた場合、標本の統合を行った。一方の標本にしか含まれていない Wi-Fi 基地局であった場合はそのまま追加し、両方に含まれている Wi-Fi 基地局であった場合は、強い RSSI を使用する。管理手法では、始点を同一とする複数の経路において、電波情報から共通区間を抽出を提案することにより、標本群管理の効率化を図った。提案手法によって、約 36m 以上の経路であれば標本生成が可能であり、生成した標本群は平均 80~90% の尤もらしい経路認識結果を得られることを確認した。また、生成した各標本が生成地点の電波環境を捉えているか評価するために、1 分間の定点観測 (20 回の電波情報収集) を行い、標本群とのマッチングを行った。同様の標本番号が選択される割合が平均 40~70% に対して、前後の標本番号を含んだ割合は平均 80~90% となった共通区間の抽出評価においては、平均約 2.6m 先までが共通区間として出力された。

参考文献

- [1] Anthony, L., Yatin, C., Sunny, C., Jeffrey, H., Ian, S., James, S., Timothy, S., James, H., Jeff, H., Fred, P., Jason, T., Pauline, P., Gaetano, B. and Bill, S.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *Proc. of the International Conference on Pervasive Computing (PerCom 2005)*, pp. 116–133 (2005).
- [2] Bahl, P. and Padmanabhan, V. N.: RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, *Proc. of the IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2000)*, pp. 775–784 (2000).
- [3] Hightower, J., Consolvo, S., LaMarca, A., Smith, I. and Hughes, J.: Learning and Recognizing the Places We Go, *Proc. of the 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp. 159–176 (2005).
- [4] Jiang, Y., Pan, X., Li, K., Lv, Q., Dick, R. P., Hannigan, M. and Shang, L.: ARIEL: Automatic Wi-fi Based Room Fingerprinting for Indoor Localization, *Proc. of the 14th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2012)*, pp. 441–450 (2012).
- [5] Jiang, Y., Xiang, Y., Pan, X., Li, K., Lv, Q., Dick, R. P., Shang, L. and Hannigan, M.: Hallway Based Automatic Indoor Floorplan Construction Using Room Fingerprints, *Proc. of the 15th International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2013)*, pp. 315–324 (2013).
- [6] Sakaguchi, T., Mochizuki, M., Murao, K. and Nishio, N.: Automated Wi-Fi Sample Management System considering User Trajectory, 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO 2016) シンポジウム論文集, pp. 1229–1235 (2016).
- [7] Shin, H. and Cha, H.: Wi-Fi Fingerprint-Based Topological Map Building for Indoor User Tracking, *Proc. of the 16th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA 2010)*, pp. 105–113 (2010).