

# 階層認識の高度化とシームレス測位の効率化

西山 大河<sup>1</sup> 望月 祐洋<sup>3</sup> 村尾 和哉<sup>2</sup> 西尾 信彦<sup>2</sup>

**概要:** スマートフォンなどの携帯端末のセンサを活用した位置情報サービスやコンテキストウェアサービスの提供が期待されている。本研究では屋内外シームレスな測位手法において GPS の無駄な動作の削減を目的として、スマートフォンに搭載された Wi-Fi や GPS, 気圧センサなどのデバイスを組み合わせることにより、建物の階層間の高さや Wi-Fi 基地局設置階層が既知の建物では高精度な階層推定手法を、未知の建物では屋外と接続された階層かどうかを学習・推定する手法を提案する。既知の建物における階層推定手法では Wi-Fi と気圧センサを組み合わせることで平均 96% の精度で階層を推定できることを示した。未知の建物における屋外と接続された階層かどうかを学習・推定する手法では、同一階層に設置された Wi-Fi 基地局を学習し GPS 受信状態からラベル付けを行うことで推定が行えることを示した。

NISHIYAMA TAIGA<sup>1</sup> MOCHIZUKI MASAHIRO<sup>3</sup> MURAO KAZUYA<sup>2</sup> NISHIO NOBUHIKO<sup>2</sup>

## 1. はじめに

スマートフォンには、Wi-Fi や Bluetooth などの通信デバイス、GPS 受信機などの測位デバイス、加速度センサ、角速度センサや気圧センサなどのセンシングデバイスが搭載されており、これらのデバイスから得られるデータを活用した位置情報サービスやユーザの状況を考慮したサービス（コンテキストウェアサービス）が期待されている。スマートフォン搭載デバイスを使用する測位技術は様々な手法が存在し、屋外測位技術として GPS 測位が広く普及している。屋内測位技術としては Wi-Fi 測位 [1][2] や PDR (Pedestrian Dead Reckoning) [3] などの手法が提案されてきた。また、複数の測位技術を組み合わせることで屋内外をシームレスに測位する手法（以下、シームレス測位）も提案されてきた [4]。岡崎ら [4] の手法では、GPS 測位と PDR 測位を非排他的に動作させることにより屋内外を問わない測位を試みている。具体的には、PDR による測位を主として動作させ、PDR の測位による移動軌跡と GPS の測位による移動軌跡の類似度から GPS 測位の信頼

性が高いと判定されたときにのみ GPS で得られた位置と方向によって PDR を補正する。これにより、屋外の GPS 測位の精度が良い場所では GPS と PDR の軌跡が一致するため GPS による補正が高頻度で行われるが、屋内や GPS の測位精度が悪くなる建物の近くでは GPS の補正が行われず、PDR だけで測位が行われる。この手法における問題として、GPS を常に動作させるため、消費電力が大きくなってしまふという点が挙げられる。GPS はデバイスの中でも特に消費電力が大きいことが知られており、屋内外で GPS の動作頻度を変更し省電力を図る研究 [5] が行われてきた。しかし、屋内で移動をした場合に屋内に滞在し続けても GPS 測位の再開が多発する場合や屋外に出てもすぐに GPS を再開できない場合がありシームレス測位に適用する上で問題となる。そこで、米田ら [6] は、気圧センサを用いて階層推定をすることで、地上と接続していない階層（非接続階層）で GPS を停止させ消費電力の削減を図る手法を提案した。この手法では、建物の 1 階では GPS が動作するため、1 階から屋外に出た場合に GPS が停止して利用できないといった事は発生しない。一方で、この手法は、接続階層が 1 階であることを前提としているほか、階層間の高さやシステム開始時の階層（初期階層）があらかじめ与えられている必要がある。実環境では、複数の階層が外と接続されている場合があるほか、階層間の高さや初期階層が取得できるとは限らない。

本研究では、シームレス測位において GPS の無駄な動作を減らし消費電力削減を図るために、接続階層・非接続

<sup>1</sup> 立命館大学大学院 情報理工学研究科  
Graduate School of Information Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

<sup>2</sup> 立命館大学 情報理工学部  
College of Information Science and Engineering, Rit-  
sumeikan University

<sup>3</sup> 立命館大学 総合科学技術研究機構  
Research Organization of Science and Technology, Rit-  
sumeikan University

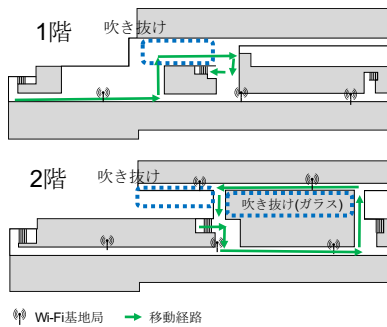


図 1 予備実験：歩行ルート

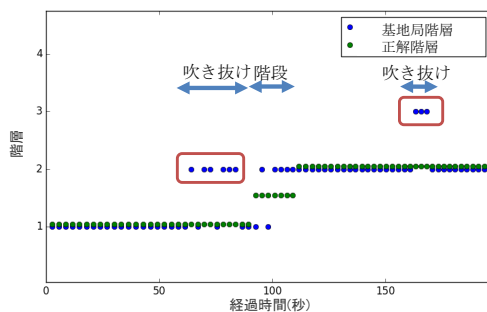


図 2 予備実験：最も RSSI の大きい基地局が存在する階層と実際にユーザがいた階層

階層の認識を行う。建物の高さおよび Wi-Fi 基地局設置階層が取得可能な建物（既知の建物）では、Wi-Fi による絶対階層推定と気圧センサを用いた相対的な階層推定を組み合わせることにより、初期階層を必要としない階層推定手法を提案する。また、そういった情報が得られない建物でも接続階層・非接続階層の認識を行えるように、GPS、Wi-Fi、気圧センサを用いて接続階層かどうかを学習・推定する手法を提案する。

本稿は、2 節で関連研究を紹介し、3 節で提案手法について述べる。4 節で本手法の評価と考察について述べ、5 節で本研究をまとめる。

## 2. 関連研究

本節では、本研究に関連する研究について紹介する。

### 2.1 階層推定に関する研究

Wi-Fi 基地局の設置階層が分かれば、Wi-Fi の観測結果から現在の階層を推定することができる。一方で吹き抜け構造の場所ではユーザが現在いる階層とは異なる階層の Wi-Fi 基地局の電波が観測されてしまうため、現在階層推定に誤りが生じるおそれがある。予備実験として、筆者らの所属する立命館大学情報理工学部研究棟を図 1 のように 1 階から 2 階へ階段を経由して移動した際に観測した電波の RSSI が最も大きい基地局が存在する階層と実際にユーザがいた階層の関係を調べた。実験結果を図 2 に示す。1

階から 2 階に階段で移動している間の正解階層は 1.5 階としている。経路上には吹き抜け構造が 2 箇所あり、赤枠で囲った箇所のように、吹き抜け付近で異なる階層の Wi-Fi 基地局の RSSI が最も大きくなることが分かった。一方、米田ら [6] は気圧センサを用いて階層移動を認識し、過去にいた階層から何階移動したのかを推定することで相対的に階層を推定する手法を提案した。この手法における問題として、初めに初期階層を与える必要があることや、補正手段をもたないため一度階層推定に誤りが生じると以降の階層を正しく推定できないこと、階層認識が階層移動の終了を検知してから行われる認識遅延が生じることが挙げられる。

### 2.2 シームレス測位に関する研究

岡崎ら [4] は GPS 測位と PDR 測位を非排他的に動作させ、屋内外をシームレスに測位する手法を提案した。この手法では、PDR による測位を主として動作させ、PDR の測位による移動軌跡と GPS の測位による移動軌跡の類似度から GPS 測位の信頼性が高いと判定されたときに GPS による位置と方向によって PDR の補正を行う。この手法における問題として、GPS を常に動作させるため、消費電力が大きくなってしまおうという点が挙げられる。GPS は屋内では測位が行えなかったり測位精度が悪くなることが多いため、屋内の GPS の利用が困難な場所で GPS を停止させることができれば、消費電力の削減を図ることができる。武田ら [5] は GPS の受信状態や加速度センサによる移動・停留判定から屋内外で GPS の動作頻度を変更する省電力機構を提案した。しかし、屋内で移動をした場合に屋内に滞在し続けても GPS 測位の再開が多発する場合や、屋外に出てもすぐに GPS 測位を再開できない場合があった。そこで、米田ら [6] は、屋内外という区別ではなく、地上と接続している階層（接続階層）と地上と接続していない階層（非接続階層）を定義し気圧センサを用いて階層推定を行うことで、非接続階層で GPS を停止させ省電力と測位を両立させる手法を提案した。しかし、米田らの手法は接続階層が 1 階のみであることを前提としているほか、建物の各階層間の高さを事前に調査しておく必要があるという問題がある。

## 3. 提案手法

本節では、3.1 節で建物情報および Wi-Fi 基地局情報が既知の建物における階層推定手法について述べ、3.2 節で建物情報および Wi-Fi 基地局の設置位置が未知の建物において地上と接続された階層かどうかを学習・推定する手法について述べる。

### 3.1 既知の建物における階層推定手法

事前に建物建物の情報や Wi-Fi 基地局の設置階層が分

かる環境では、気圧センシングによる相対的な階層推定と Wi-Fi 基地局を用いた絶対的な階層推定を併用することでユーザがいる階層を推定し、接続階層がどうかを判定する。

本手法では、以下の 2 種類の情報があらかじめ与えられることを前提とする。

- 建物情報：建物の標高、各階層間の高さ、各階が接続階層かどうか
- Wi-Fi 基地局情報：Wi-Fi 基地局の BSSID および設置階層

建物の標高や各階層間の高さは気圧センシングによる階層推定において気圧差から階層差を算出するために用いる。Wi-Fi 基地局情報は絶対階層を推定するために用いる。

### 3.1.1 気圧センシングによる相対的な階層推定

気圧は天候や気温により刻々と変化するため、気圧の絶対値からの階層推定は困難である。したがって、階層移動に伴って発生する気圧変化から階層移動数を推定し現在階層を推定する。米田ら [6] は階層移動の開始・終了を検知するたびに、その間に発生した気圧変化量から階層移動数を推定していた。しかし、この手法は階層移動の終了を検出するまで現在階層が切り替わらないほか、踊り場などで階層移動の終了を検出すると階層推定に誤りが発生する恐れがある。そこで、本手法では、現在階層を推定するために、基準となる階層（基準階層）と気圧（基準気圧）を保持し、気圧センサの値を取得する度に現在気圧と基準気圧の気圧差から階層差を算出し、現在階層を推定する方法を取る。気圧センシングによる相対的な階層推定は、以下の 3 つの処理から構成される。

- 基準値の初期化
- 現在階層の推定
- 基準値の更新

階層推定の開始時に、基準値の初期化を行う。Wi-Fi 観測結果から最も RSSI が大きい Wi-Fi 基地局が存在する階層を基準階層として初期化する。加えて、階層推定開始時の気圧を基準気圧として初期化する。吹き抜けで初期化が行われた場合は他階層の Wi-Fi 電波を強く観測し、ユーザが実際にいる階層と異なる階層で初期化されることも考えられる。これについては、3.1.2 節で述べる Wi-Fi 基地局を用いた絶対的な階層推定手法で対処する。図 3 (a) に初期化の例を示す。例では、ユーザが 1 階にいたため基準階層が 1 階、基準気圧はその際に観測された  $1000.1\text{hPa}$  として初期化されている。

基準値の初期化が完了すると、気圧センサから値を取得し現在階層を推定する。現在階層は、現在気圧と基準気圧の気圧差と階層間の気圧差（理論値）から現在階層と基準階層との階層差を算出し、基準階層に加えること推定する。図 3 (b) に現在階層推定の例を示す。この例ではユーザが 3 階に移動したため、現在気圧と基準気圧との気圧差は  $-1\text{hPa}$  となっている。この建物では各階の階層間気圧差

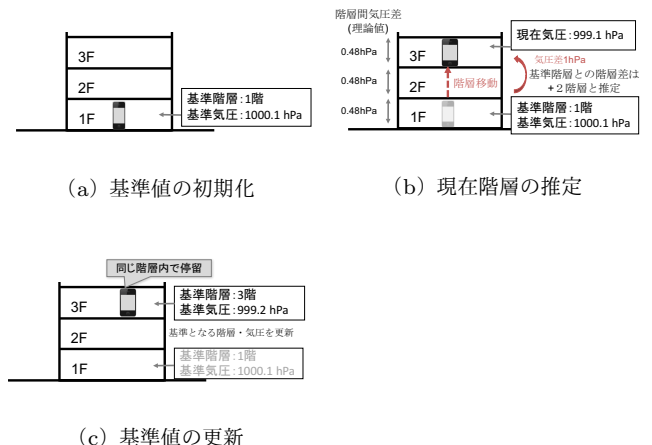


図 3 気圧センシングによる相対的な階層推定の動作例

が  $0.48\text{hPa}$  だったため、基準階層に対して +2 階層の差があると算出し現在階層を 3 階と推定している。従来手法と異なり、現在階層の推定が行われても基準値は即座には更新されない。したがって、図 3 (b) の例では、この直後に 4 階に移動した場合、基準値は依然として 1 階の階層と気圧であり、この基準値から相対的に現在階層の推定が実施される。

気圧は刻々と変化するため、同一の基準気圧を階層推定に使用し続けると基準気圧と実際の基準階層での気圧の値に乖離が生じ、推定精度が悪化する。そのため、一定時間、同じ階層に留まっていると判定した場合に、その時点での現在階層と現在気圧で基準階層と基準気圧を更新する。同じ階層に留まっていると判定する条件は気圧変化量が一定時間閾値以下の時とする。本手法ではこの判定を 20 秒ごとに実施し、経験的に、基準を 20 秒間の気圧変化量が  $0.1\text{hPa}$  以下だった時とした。図 3 (c) に基準値の更新の例を示す。この例では 3 階に留まっていたため、基準階層が 3 階、基準気圧が  $1000.2\text{hPa}$  と更新された。

### 3.1.2 Wi-Fi 基地局を用いた絶対的な階層推定

気圧センシングによる階層推定は天候や空調の影響で短時間に気圧が大きく変化した場合に誤推定が発生する恐れがある。加えて、相対的な階層推定のため一度誤推定が発生すると以降の階層推定もすべて誤ってしまう。そのため、絶対的な階層による補正が必要となる。そこで、Wi-Fi 基地局に十分に近づかないと観測されないような RSSI で設置階層が既知の Wi-Fi 電波を観測した時のみ、当該 Wi-Fi 基地局が設置されている階層を現在階層とみなし補正を行う。Wi-Fi 基地局と端末との距離毎の RSSI の値を事前に計測し、5 メートル以内に近づかないと観測されないような値として、RSSI の閾値を  $-45\text{dBm}$  と設定した。

## 3.2 未知の建物における接続階層の学習・推定手法

建物情報や Wi-Fi 基地局情報が未知の建物において、地

上と接続されている階層（接続階層）かどうかを学習・推定する手法を提案する。建物情報や Wi-Fi 基地局情報が未知の建物ではユーザが何階から建物に侵入したのかや、階層移動を行った際に何階分移動を行ったのかを知ることができないため、ユーザがいる階層が何階かを識別することは困難である。そこで本手法では、ユーザがいる階層を推定することなく、現在の階層が接続階層なのか非接続階層なのかを推定する方法を取る。この手法は、学習フェーズと推定フェーズから構成され、学習フェーズでは GPS モジュール、Wi-Fi モジュール、気圧センサを用いて、接続階層・非接続階層の学習を行い、推定フェーズでは、Wi-Fi モジュールと気圧センサを用いて接続階層・非接続階層の認識を行う。

### 3.2.1 学習フェーズ

学習フェーズは、以下の 3 つの処理から構成される。

- 同一階層にある Wi-Fi 基地局のグルーピング
- GPS 受信状態を用いた Wi-Fi 基地局グループの接続階層・非接続階層のラベル付け
- 建物の識別

まず、Wi-Fi モジュールと気圧センサを用いて同一階層にある Wi-Fi 基地局をグルーピングする（以降、グルーピングされたものを Wi-Fi 基地局グループと呼ぶ）。RSSI が閾値以上の Wi-Fi 電波を受信した時、当該 Wi-Fi 基地局がデータベースに登録済みかを調べ、未登録の場合データベースに登録する。この閾値は、3.1.2 と同じものを用い、-45dBm とする。同時に、気圧センシングにより階層移動検出を行う。階層移動検出手法は、米田ら [6] の手法を用いる。米田らの手法では、約 30Hz で取得した気圧データを 1 秒毎に中央値を算出し 1Hz の気圧データに変換し、 $0.018hPa/s$  以上の気圧変化が 3 秒連続した場合に階層移動が行われたとみなす。階層移動が検出されるまでに連続してデータベースに登録された Wi-Fi 基地局は同一階層に存在するとしてグルーピングする。図 4-図 6 に建物内の 1-2 階を移動した際の Wi-Fi 基地局および Wi-Fi 基地局グループの学習例を示す。

図 4 では、まず始めに Wi-Fi 基地局 1 の電波を観測し、現在グループが不明のため新しくグループ 1 を生成し Wi-Fi 基地局 1 を登録している。加えて、現在グループをグループ 1 に変更している。その後、Wi-Fi 基地局 2, 3 の電波を観測したため、これらも現在グループであるグループ 1 に登録している。図 5 では、階段により階層移動を行ったため、現在グループの状態を不明に変更している。図 6 では、図 4 と同様、2F において新しいグループの生成と Wi-Fi 基地局の登録を行っている。このように、現在グループが不明の状態而未登録の Wi-Fi 電波を観測した場合は、まず新しく Wi-Fi 基地局グループを生成し現在グループに設定したのち、検出した Wi-Fi 基地局を新しく生成したグループに属するものとしてデータベースに登録する。現在

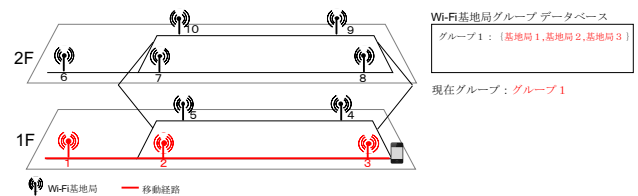


図 4 Wi-Fi 基地局のデータベースへの登録

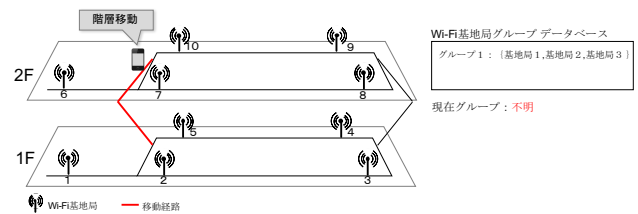


図 5 階層移動の発生

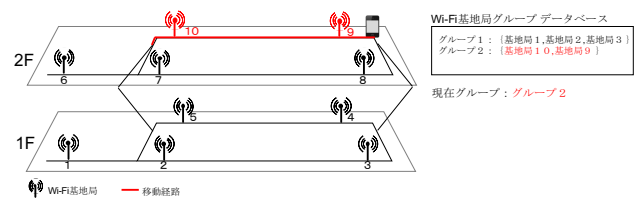


図 6 Wi-Fi 基地局グループの生成

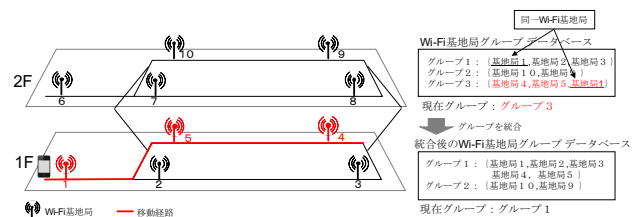


図 7 Wi-Fi 基地局グループの統合

グループが不明の状態に既に登録済みの Wi-Fi 電波を観測した場合は、現在グループを当該 Wi-Fi 基地局の属するグループに設定する。検出した Wi-Fi 基地局が既にデータベースに登録済みで、現在グループと検出した Wi-Fi 基地局の属するグループが異なる場合、Wi-Fi 基地局グループの統合を行う。図 7 に統合の例を示す。ユーザは 1F に階層移動し、Wi-Fi 基地局 4, 5, 1 を順に観測しグループ 3 に登録している。ここで、Wi-Fi 基地局 1 は既に登録済みであり、現在グループと Wi-Fi 基地局 1 が属するグループが異なるため、統合を行っている。ユーザが建物内をくまなく移動した場合、Wi-Fi 基地局グループの生成と統合が繰り返され Wi-Fi 基地局グループの数は建物の階層数に収束する。なお、テザリング機能を持つスマートフォンやモバイル Wi-Fi ルーターを Wi-Fi 基地局として学習してしまうと、異なる階層にある Wi-Fi 基地局グループ同士を誤って統合してしまう恐れがあるため、国立情報学研究所が運用し全国の高等教育機関で導入されている eduroam と主要な移動体通信事業者が設置している Wi-Fi 基地局のみを学習対象とする。

次に、GPS 受信状態を用いた Wi-Fi 基地局グループの

接続階層・非接続階層分類を行う。屋外から屋内に移動し、階層移動が行われる前に認識した Wi-Fi 基地局グループを接続階層とみなしラベル付けを行う。屋外・屋内状態の判別方法として、GPS 測位を行った際に測位精度の指標として得られる Accuracy を用いる。一般に、屋外では GPS の Accuracy は小さくなり屋内では GPS の Accuracy が大きくなるか、測位自体が行えなくなる。本手法では、屋外判定基準として GPS の Accuracy が 15 以下で 60 秒以上測位が行えた時とした。学習終了時に、接続階層とラベル付けされていない Wi-Fi 基地局グループは非接続階層とラベルを付ける。

これらの学習は建物単位で行う。したがって個々の建物を識別する必要がある。Wi-Fi 基地局グループを生成する際に、現在の建物が不明の場合、新しい建物をデータベースに登録し、Wi-Fi 基地局グループは登録した建物に属するものとする。現在の建物が認識できている場合、新しく生成された Wi-Fi 基地局グループはその建物に属するものとする。GPS の受信状態からわずかでも屋外に出た可能性があるかと判断された場合、現在の建物を不明とする。外に出ると GPS 測位がほぼ必ず動作すること、建物間の移動に 20 秒以上要することを前提として、この基準を GPS の Accuracy が 30 以下で GPS で 20 秒以上連続して測位が行われた時とした。Wi-Fi 基地局グループの統合処理と同様、Wi-Fi 基地局の BSSI をキーとして現在建物が既に登録済みの建物と同一であることが判明した場合、建物の統合を行う。建物の識別における屋内外判定基準は、接続階層・非接続階層分類に用いる屋内外判定基準より低い基準を設ける。そのため、建物内でも窓際などにいた場合はこの基準を満たし、同一建物内の各 Wi-Fi 基地局が異なる建物に属するようにデータベースに登録されるおそれがある。しかし、これは建物および Wi-Fi 基地局グループの統合が機能することにより、最終的には一つの建物と建物の階層分の Wi-Fi 基地局グループ数に近い数まで収束するものとする。

### 3.2.2 認識フェーズ

現在建物、現在グループを状態として保持する。認識フェーズ開始時は、現在建物および現在グループは不明とする。Wi-Fi 電波を観測し、RSSI が閾値以上の電波を受信した時、当該 Wi-Fi 基地局が学習済みかどうかを調べる。学習済みであった場合、その Wi-Fi 基地局が属する建物と Wi-Fi 基地局グループを参照し、現在建物および現在グループに設定する。同時に、気圧センサを用いた階層移動認識を行う。階層移動を検知した時、現在階層を不明に設定する。現在グループが接続階層である場合 GPS 測位を動作させ、非接続階層である場合、GPS 測位を停止させる。

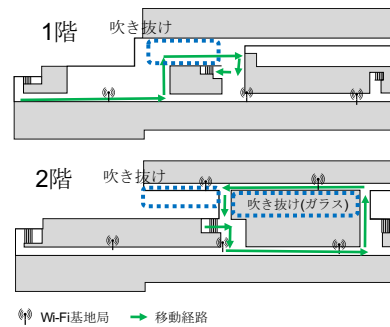


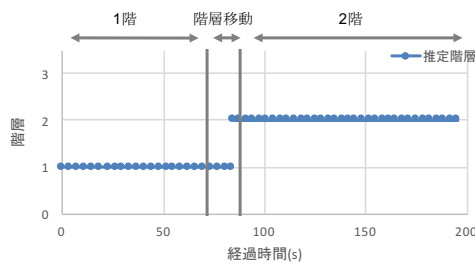
図 8 階層推定：歩行ルート

## 4. 評価

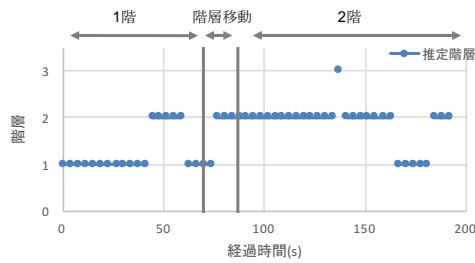
本節では、3.1 節で述べた階層推定手法および、3.2 節で述べた接続階層の学習・推定手法に関して実施した評価について述べる。本評価実験では Android 端末である Nexus5 を使用した。Nexus5 に搭載されている気圧センサは Bosch Sensortec 社の BMP280 である。加えて、Wi-Fi 電波の観測間隔は平均約 3.5 秒であった。

### 4.1 既知の建物における階層推定手法の評価

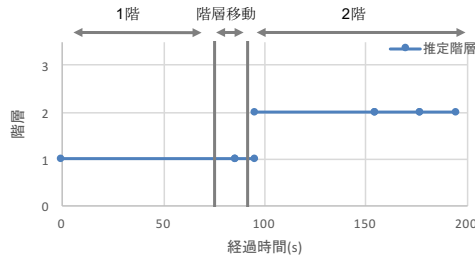
立命館大学情報理工学部研究棟（階層間の高さ 4.2m）を図 8 のように 1 階から 2 階を階段を用いて 1 階層移動し、階層推定が正しく行えるか評価する。比較対象として、Wi-Fi の観測結果から RSSI が一番大きい Wi-Fi 基地局の設置階層を現在階層と推定する手法（以下、比較手法（Wi-Fi））および、米田ら [6] の気圧センサのみを用いた階層推定手法（以下、比較手法（気圧））を用いる。比較手法 2 は相対的な階層推定手法のため、初期の階層は入力によって与えるものとする。それぞれの手法を動作させた状態で、計 5 回実験を繰り返した。図 9 に 5 回の実験のうちの 1 回目の階層推定結果を示す。青色のマークがそれぞれの手法での推定階層を示している。実験結果より、比較手法（Wi-Fi）では、経過時間が 50 秒付近や 140 秒付近、160 秒から 180 秒の間で階層推定に誤りが生じている（図 9 (b)）。比較手法（気圧）は概ね正しく推定できているが、2 階と認識されるまでに階層移動を終了してから約 4 秒の遅延が発生している（図 9 (c)）。一方、提案手法では 1 階、2 階のそれぞれで正しく階層を推定することができた（図 9 (a)）。残りの実験結果については、提案手法は 3 回目、4 回目で基準階層の初期化を誤り、1 階にいるにも関わらず基準階層を 2 階と初期化した。基準値の初期化を行ったスタート地点は、吹き抜けは存在しないが、階段の近くであることや建物の端であることなどから他階層の Wi-Fi 基地局をユーザが実際にいる階層の Wi-Fi 基地局より強く観測したためと考えられる。比較手法（Wi-Fi）については、残りの 4 回の実験結果においても同様に階層推



(a) 提案手法



(b) 比較手法 1 (Wi-Fi のみ)



(c) 比較手法 2 (気圧のみ)

図 9 階層推定結果

定に誤りが生じた。比較手法(気圧)については、2回のみ階層推定を誤り、それ以外は1回目と同様に正しく階層を推定した。2回目では、1階から2階に階層移動した際に、踊り場で階層移動の終了を検出し、1階-踊り場、踊り場-2階をそれぞれ個別の階層移動として階層移動数の算出を行い、いずれも1階層分移動したと誤推定した。梶ら[7]は、比較手法として米田らの手法[6]を評価する際に、前の階層移動の終了時刻と次の階層移動の開始時刻の間隔が3秒以内のとき、同一の階層移動とみなして補正を行っていた。本実験結果に対してもそのような手法を適用することが可能である一方、踊り場で3秒以上滞在した場合は失敗してしまう。本提案手法でも踊り場に20秒以上滞在すると踊り場を基準階層としてしまう問題があるが、Wi-Fi基地局を用いた絶対的な階層推定により基準値の補正を行うことができる。階層成功率\*1は提案手法は平均96%、比較手法(Wi-Fi)は平均82%であった。

次に、提案手法について、現在値や基準値がどのように変化していったのかについて詳しく見る。図10に基準階層の初期化を誤った3回目の提案手法の実験における基準値および気圧センサによる基準値の更新とWi-Fiによる基準値の更新のタイミングを示す。気圧センサによる基準値

\*1 階層移動区間を除いた全体の階層推定回数のうち正しく階層を推定した回数

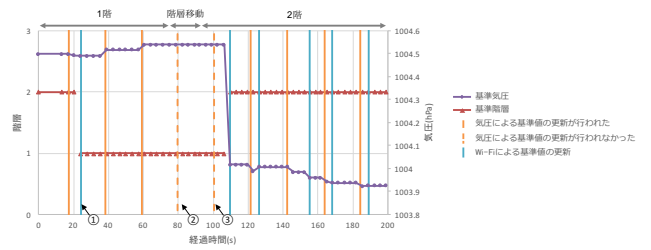


図 10 基準値と基準値の更新タイミング

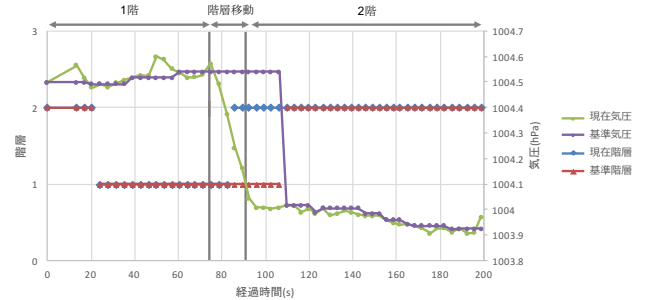


図 11 現在値および基準値の推移

の更新は、気圧センサの値から一定時間同じ階層に留まっていると判定された場合に実施されるものである。また、Wi-Fiによる基準値の更新は、3.1.2節で述べたWi-Fi基地局に十分に近づいて絶対的な階層推定が行われたときに実施されるものである。気圧センサによる基準値の更新は、約20秒間隔で階層移動を行っている区間(図中②、③)以外のすべての地点で行われていることが分かる。図10より、初めの基準階層が2階となっており初期化を誤ったが、経過時間が24秒の地点のWi-Fiによる基準値の更新(図中①)が有効に動作し、基準値を1階に補正されたことが分かる。図11に現在値および基準値のグラフを示す。図11より、階層移動を行っている区間では基準値の更新が行われていないが、現在階層を正しく推定できていることが分かる。

#### 4.2 未知の建物における接続階層の学習・推定手法の評価

本節では、接続階層・非接続階層の学習・推定が正しく行われるかを評価する。実験環境として、立命館大学情報理工学部研究棟の1階-7階を用いる。研究棟には、eduroamというESSID名のアクセスポイントを持つWi-Fi基地局が計33個設置されている。また、一つのWi-Fi基地局はeduroamのアクセスポイントを2つ保持していたため、アクセスポイントは計66個存在している。

##### 4.2.1 学習に関する評価

建物の外から図12の2つの経路で1回ずつ移動を行った。ルート1は建物内の各階の通路をできるだけ網羅するように歩くルートであり、ルート2は、ルート1と異なる入り口から侵入し、2階から7階にかけては直線の廊下

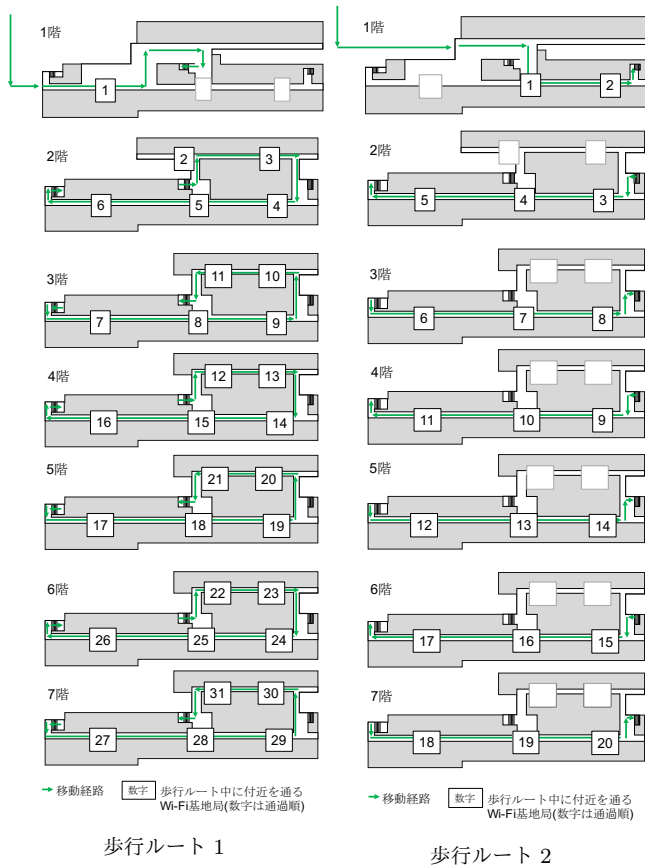


図 12 学習：歩行ルート

表 1 ルート 1 移動後の学習結果

階層	学習 AP 数	総 AP 数	学習基地局数	総基地局数
1	2	2	1	1
2	7	10	4	5
3	6	10	4	5
4	10	10	5	5
5	6	10	5	5
6	9	10	5	5
7	6	10	5	5
全階層	46	62	29	31

のみを歩くルートである。外で端末を起動させ、1分以上経ってから建物内に侵入するようにした。歩行は一定速度で立ち止まらないように行うこととした。ルート 1 を歩行したのち、学習状態を引き継いだままルート 2 を歩行して学習を行った。図中の番号は、各ルートにおいて近くを通過する Wi-Fi 基地局を示しており、通過順に番号を振っている。

まず、ルート 1 を移動後の学習結果について述べる。表 1 に各階層で付近を通過した Wi-Fi 基地局と学習した Wi-Fi 基地局数および、付近を通過したアクセスポイント数、学習したアクセスポイント数を示す。学習基地局数は、Wi-Fi 基地局が発する Wi-Fi アクセスポイントのうち一つでも学習した場合に学習基地局としてカウントしている。1 階、4 階、5 階、6 階、7 階は全ての Wi-Fi 基地局を検出し、学習

表 2 ルート 2 移動後の学習結果

階層	学習 AP 数	総 AP 数	学習基地局数	総基地局数
1	5	6	3	3
2	7	10	4	5
3	8	10	5	5
4	10	10	5	5
5	6	10	5	5
6	9	10	5	5
7	7	10	5	5
全階層	52	66	32	33

を行った。2 階や 3 階では、一部 Wi-Fi 基地局の検出に失敗した。これは、ユーザの歩く速度や端末の Wi-Fi スキャン間隔と Wi-Fi 基地局付近を通過するタイミングなどが影響していると考えられる。次に、生成した建物数および Wi-Fi 基地局グループ数について述べる。本建物では、1 つの建物が生成され Wi-Fi 基地局グループが各階 1 つ、計 7 個生成される事が理想だが、建物は 7 個、Wi-Fi 基地局グループは 12 組生成された。同じ階層で複数の Wi-Fi 基地局グループが生成された原因は、わずかでも外に出たと GPS 受信状態から判定され、現在建物および現在 Wi-Fi 基地局グループが不明の状態にリセットされたためである。建物の高階層ほど窓際に行った際に遮蔽物が少なく GPS 測位が行える状況が増えたためこのように判定されたのだと考えられる。次に、接続階層・非接続階層のラベル付けについて述べる。1 階の Wi-Fi 基地局グループが接続階層としてラベル付けされ、他の建物の Wi-Fi 基地局グループが接続階層としてラベル付けされないことが理想だが、本実験では、いずれの Wi-Fi 基地局グループもラベル付けされなかった。原因として、屋外では GPS 受信状態が屋外であると判定されたものの、屋内に侵入した際の気圧の変動で階層移動が誤検出されたため、それ以降に 1 階で生成された Wi-Fi 基地局グループが接続階層とラベル付けされなかったためであると考えられる。

次にルート 2 を移動後の学習結果について述べる。表 2 に各ルートの経路付近を通過した Wi-Fi 基地局数と学習した Wi-Fi 基地局数および、付近を通過したアクセスポイント数、学習したアクセスポイント数を示す。ルート 2 で新しく付近を通過した Wi-Fi 基地局は 1 階の 1 番、2 番のみである。1 番の Wi-Fi 基地局のアクセスポイントを 1 つ、2 番の Wi-Fi 基地局のアクセスポイント 2 つが新たにデータベースに登録された。また、ルート 1 で学習に失敗したルート 2 において 3 階、7 番の Wi-Fi 基地局のアクセスポイント 2 つ、7 階、18 番の Wi-Fi 基地局のアクセスポイント 1 つが新たにデータベースに登録された。次に、生成した建物数および Wi-Fi 基地局グループ数について述べる。本実験では、生成された建物数は 5、生成された Wi-Fi 基地局グループ数は 13 であった。建物の統合が 2 度行われたため、建物数が減少した。また、52 個のアクセスポイン

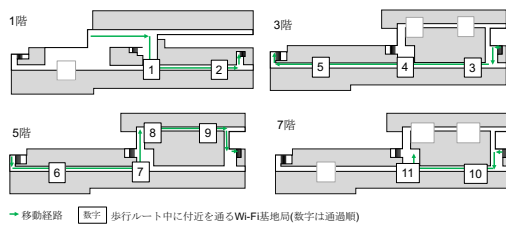


図 13 推定：歩行ルート

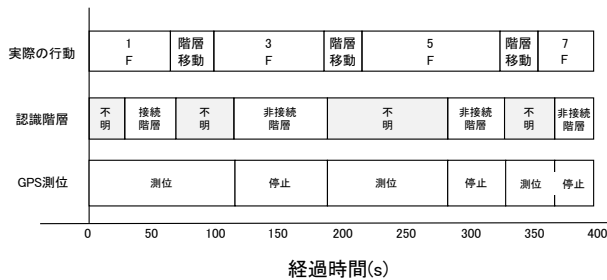


図 14 接続階層推定結果

トのうち 48 個は同一建物に属すると学習された。次に、接続階層・非接続階層のラベル付けについて述べる。ルート 2 において 1 階 1 番, 2 番の Wi-Fi 基地局グループが接続階層の Wi-Fi 基地局としてラベル付けされた。本実験では Wi-Fi 基地局グループの統合が行われなかった。これは、ルート 1 で大半の Wi-Fi 基地局を既に学習してしまっていた事、1 階に関しては、ルート 1 とルート 2 で共通して付近を通過するような Wi-Fi 基地局が存在しなかった事が理由として挙げられる。

#### 4.2.2 推定に関する評価

前節で学習したデータを用いて、接続階層・非接続階層の推定が行えるかを評価する。図 13 の経路で移動し、階層推定結果を収集した。図 14 に階層推定結果を示す。1 階では接続階層と認識したため GPS 測位が動作していた。3 階では、図 13 の 3 番の Wi-Fi 基地局を検出したため非接続階層と推定し、GPS 測位を停止させることができた。5 階では、図 13 の 6 番, 7 番の Wi-Fi 基地局を通過したにもかかわらず検出されず、8 番の Wi-Fi 基地局を検出し非接続階層と推定された。本実験結果より、Wi-Fi 基地局のそばを通る場合は、階層推定が正しく動作すると見込めることが分かった。一方で、実環境でのユーザの行動においては Wi-Fi 基地局のそばを通らない事も考えられるため今後、階層推定手法について検討が必要である。また、Wi-Fi 基地局グループや建物の統合や接続階層・非接続階層のラベル付けが十分に行われていない場合、階層認識が困難となると考えられる。例えば、1 階には、2 つの Wi-Fi 基地局グループが生成されているが、一方の Wi-Fi 基地局グループは非接続階層としてラベル付けされているため、この Wi-Fi 基地局グループを認識した場合、実際には接続

階層にいるにも関わらず GPS 測位を停止してしまう問題が発生する。

## 5. おわりに

本研究では、シームレス測位における消費電力の問題を挙げ、建物情報が取得可能な建物（既知の建物）とそうでない建物（未知の建物）に大別し、それぞれで階層認識手法を提案した。既知の建物では気圧センシングによる階層推定と Wi-Fi による階層推定を組み合わせた階層推定手法を提案した。未知の建物では、同一階層にある Wi-Fi 基地局をグループ化し接続階層かどうかをラベル付けを行うことで、接続階層・非接続階層を学習・認識する手法を提案した。評価実験より既知の建物における階層推定手法は平均 96%の精度で正しく階層を推定できることを確認した。また、一度階層推定に誤りが発生しても正しい階層に補正することができることを確認した。未知の建物における接続階層かどうかの学習・推定手法については、建物内の各フロアを網羅的に歩いた結果、建物内に設置された 33 箇所の Wi-Fi 基地局のうち 32 箇所を学習し、限定的に接続階層のラベル付けが行えることを示した。今後は、より構造が複雑な建物での検証を行う。また、接続階層・非接続階層を学習・認識する手法では、現状では認識において Wi-Fi を用いる必要があるため、今後は学習時や認識時に Wi-Fi 基地局グループ間の気圧差を収集し Wi-Fi 基地局グループ同士の関係を知ることで、気圧センサのみを用いた認識が行えるようにする。

## 参考文献

- [1] 藤田 迪, 梶 克彦, 河口信夫: Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, pp. 1069-1081 (2011).
- [2] Victor Bahl, V. P.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2000).
- [3] 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之: 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 558-570 (2011).
- [4] 岡崎 翔, 岸田敏希, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦: GPS と PDR を適応的に併用する屋内外シームレス測位, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2015 論文集, Vol. 2015, pp. 326-333 (2015).
- [5] 武田恭典, 安積卓也, 西尾信彦: 端末ローカル情報のみで実現する GPS センシング省電力機構, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2011 論文集, Vol. 2011, pp. 1467-1475 (2011).
- [6] 米田圭佑, 望月祐洋, 西尾信彦: 気圧センシング技術を用いた行動認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 1, pp. 260-272 (2015).
- [7] 梶 克彦, 河口信夫: 安定気圧区間に基づくフロア間移動推定, 第 77 回全国大会講演論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 7-8 (2015).