

屋内歩行軌跡統合に向けた歩行軌跡の分析

杉本 壮¹ 伊藤 信行² 内藤 克浩³ 中條 直也³ 水野 忠則³ 梶 克彦³

概要: 本研究では、複数歩行軌跡の部分一致箇所に基づいた建物構造生成手法の提案と生成に有効な推定歩行軌跡の検討を行う。建物構造情報は屋内位置情報サービスの実現に必要なが、生成にかかるコストや作業量が問題となりあらゆる建物で存在するとは限らない。そこで提案手法では、一般的なスマートフォンで獲得可能な情報のみを用いる。我々はこれまでに、センサ値が一定時間安定している区間に着目した歩行軌跡推定や、その複数の軌跡において部分一致する箇所の推定手法を提案した。本研究ではさらに、検出の信頼性が高い直線区間に基づいた右左折区間の修正により、より建物構造に沿ったノードリンク軌跡へと修正する。次に、部分一致箇所数が多く統合の確実性が高い経路の選択を行い、その軌跡同士を統合する。以降、ボトムアップに生成していく。屋内センシングコーパス HASC-IPSC に対して提案手法を用いた結果、生成された構造は高い適合率が得られたため、手法の有効性が確認できた。しかし、全体の構造よりも小さな構造となった。そこで、全体を網羅した生成のために必要な推定軌跡の検討も行った。

A Study on Analysis of Walking Trajectories for Integration of Indoor Walking Trajectories

SOU SUGIMOTO¹ NOBUYUKI ITO² KATSUHIRO NAITO³ NAOYA CHUJO³ TADANORI MIZUNO³
KATSUHIKO KAJI³

1. はじめに

ナビゲーションに代表される屋内位置情報サービス (Indoor Location Based Services : 屋内 LBS) は、様々な建物で利用されている。ショッピングモールや主要駅では、商用として利用されるため屋内 LBS が実現している。一方、オフィスビルや学校などの建物では避難誘導やヘルスケアといった屋内 LBS への応用が考えられるが、作業コストや投資額は少ないのが現状である。

屋内 LBS の実現には、人がどのように移動可能かを示すノードリンク構造である歩行空間ネットワークが必要である。CAD データや LIDAR による生成手法が提案されているが、コストや作業量が問題である。そのため、オフィスビルや学校では必ずしも存在するわけではない。そのよ

うな建物で屋内 LBS を利用するため、コストの少ない歩行空間ネットワークの生成方法が必要とされている。

そこで本研究の最終目標は、複数人のスマートフォンによるセンサデータのみを用いた、コストの低い歩行空間ネットワークの生成である (図 1)。建物内を歩行したセンシングデータを用いると、人が実際に利用している経路に基づいた生成が可能となる。例えば、大きな荷物や仕切り等で通路が遮断されている場合は除いて生成されるため、間違った誘導経路が表示される可能性が低減してより正確な屋内 LBS の実現が可能である。これまでに、センシングデータのうち生成に必要な部屋間移動部分の抽出手法 [1]、センサ値が一定時間安定している区間 (安定歩行区間) に着目した歩行軌跡の推定手法 [2]、推定された軌跡の高精度化手法 [3] を提案している。さらに、推定された複数の軌跡において同じ通路や階段といった部分一致する箇所の推定も行った [4]。

本研究では、部分一致箇所に基づくボトムアップな歩行軌跡統合手法を提案する。まず初めに検出の信頼性が高い

¹ 愛知工業大学大学院
Graduate School of Aichi Institute of Technology

² 三菱電機エンジニアリング株式会社
MITSUBISHI ELECTRIC ENGINEERING CO.,LTD

³ 愛知工業大学
Aichi Institute of Technology

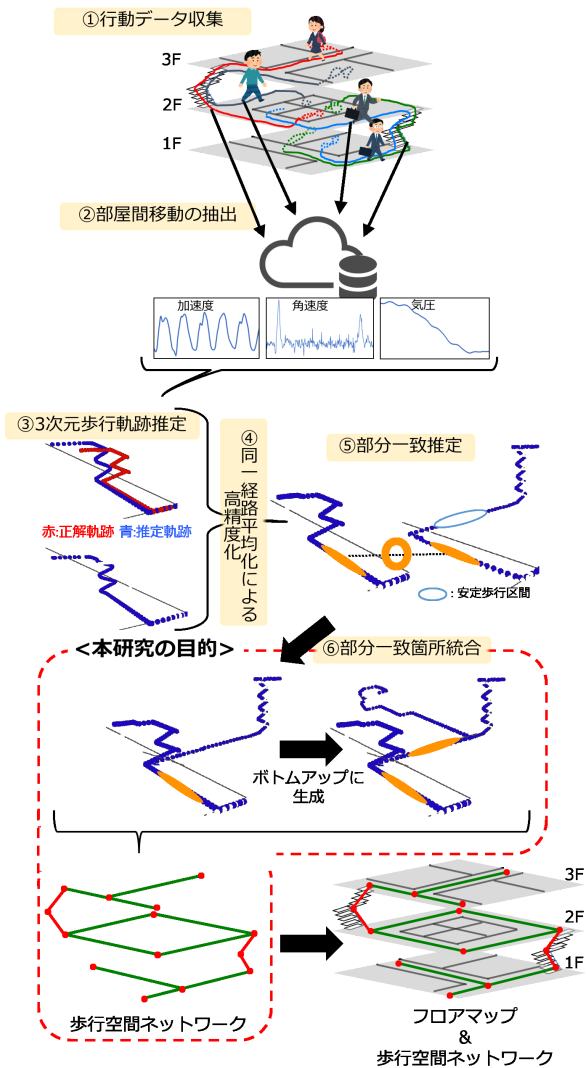


図 1: 部分一致箇所に基づく歩行軌跡統合

直線区間に基づいた右左折区間の修正により、より建物構造に沿ったノードリンク軌跡へと修正する。次に、部分一致箇所数が多く統合の確実性が高い経路の選択を行い、その軌跡同士を統合する。以降、繰り返しボトムアップに生成していく。

本論文の構成は以下の通りである。まず2章では、建物構造情報生成に関する研究を挙げる。3章では、複数歩行軌跡の統合手法を提案する。4章で提案手法の評価と考察を行い、5章でまとめと今後の課題を挙げる。

2. 関連研究

建物構造情報は、屋外における Google Maps[7] のように、多くの屋内 LBS の実現に必要な情報である。主要な建物では、人手とコストをかけて建物構造情報が生成されているため、実際に Google Indoor Map[8] のように屋内 LBS は実現されている。一方、商用目的として利用されにくい建物では、必ずしも建物構造情報があるわけではない。すべての建物の管理者が建物構造情報を屋内位置情報サー

ビスに対してオープンにすれば問題は解決されるが、コスト等の問題のため現実的ではない。従って、そのような建物でも、屋内 LBS を実現するために建物構造情報を生成する手法が必要とされている。

建物自体にセンサを複数追加して設置する生成手法が提案されている [9],[10]。吉貞らは、屋内壁面に複数のレーザスキャナ (LIDAR) を設置し、その位置関係を推定して計測データを統合して生成している [9]。しかし、建物ごとに追加機器の購入・設置が必要であり作業量やコストも多くなってしまふ。

特定センサを所持した測定者又は移動体によって生成する研究が進められている [11],[12],[13]。柏本らは、スマートフォンに超音波センサガジェットを装着し、スマートフォンユーザーが通常通りの行動を行うだけで、屋内フロアマップを自動的に生成している [11]。また、LIDAR やパノラマカメラによる 3D 建物構造の生成手法も様々提案されている [14],[15],[16]。しかし、追加機器の購入・設置や生成したい建物ごとに特定の測定者が必要になってしまう。

公開されているフロアマップを用いた生成手法も提案されている [17],[18],[19][20]。鈴木らの手法では、ユーザーが収集したフロアマップ画像を用いて、自動抽出とユーザーによる修正によって、UGC (User Generated Contents) として構造情報を生成している [17]。しかし、一般的にフロアマップの提供は大型施設などに限定される。そのため、あらゆる建物において適用可能とは限らない。さらに、公開されているフロアマップの更新頻度は高くないと考えられるため、実際には荷物等で通路が遮断されているといったリアルタイムな情報の含有は困難である。

スマートフォンを持つ複数人が建物の中を様々な経路で歩行し、その歩行センシングデータを統合して、部屋と通路の構成といった建物構造情報を生成する研究が進められている [21],[22],[23],[24]。これらの研究では、大量な歩行データをマージすることにより、通路や部屋である確率が高い箇所を推定し構造化して、占有格子地図などを生成している。同様に、本研究でも一つ一つの歩行データをノードリンク化してマージする生成手法も考えられる。本研究で生成するノードリンク構造は一つのノードの違いにより全体の構造が大きく変わってしまうため、より高精度な軌跡が求められる。従って、軌跡一つ一つを直接マージする手法は困難である。

我々も建物構造推定研究に取り組んでおり、歩行軌跡同士の部分一致を推定して、それを手がかりとして歩行空間ネットワーク構造をボトムアップに生成する手法を提案している [6]。この手法では、まずノードの種類 (右折・左折) の並びが一致する部分を抽出し、その共通部分の候補に対し、Wi-Fi の類似度、行動の種類、リンク長の情報を用いて絞り込みを行う。また、坂本らは、リアルタイムに歩行軌跡からノードリンクを生成し、逐次修正が可能な手法を

提案している [25]. ノードの生成にはユーザの進行方向の差分に着目している. 数歩ごとにユーザの移動方向の差分を合計し, 一定以上であれば曲がり道と判定しノードを生成し, リンクはノードを繋げて生成する. これらの研究では, 短時間の動作である右左折の推定ではセンサのノイズや実際に測定を行うときのイレギュラな動作の影響を大きく受けるため, 実際には右左折した箇所を検出できなかったり, 曲がり角でない所を右左折と検出してしまふ可能性がある.

3. 複数複数歩行軌跡の統合手法

本章では, 複数歩行軌跡の部分一致箇所に基づいた歩行軌跡の統合手法を提案する. 本手法は, 安定区間に基づく軌跡推定 [2] と平面・階段区間における大量のデータの平均化による高精度化 [3] がなされているために適用可能となっている. 大量のデータの中でも信頼性が高い軌跡をベースとして平均化された軌跡を使用し, その軌跡同士を統合する. 他にも, 大量の軌跡一つ一つをマージして確率の高い箇所の構造化をする手法も考えられる. しかし, 本研究の生成目的であるノードリンク構造は一つのノードの違いにより全体の構造が大きく変わってしまうように, より高精度な軌跡が求められる. 従って, 軌跡一つ一つを直接マージする手法は困難であると考え.

3.1 建物構造に沿ったノードリンク軌跡生成

これまでの過程で得られている 1 秒ごとに逐次推定された歩行軌跡を元に, より建物構造に沿った軌跡を生成する. 生成目的であるオフィスビルや学校といった建物構造は, 一般的に直線的な通路と曲がり角のみで構成されておりシンプルに表現が可能である. 従って, 各経路の推定軌跡もより建物構造に近いノードリンク軌跡で表現可能であると考え. 建物によっては曲がった通路も考えられるが, その場合はノードリンク構造に曲率などを用いて対応が可能であると考え. また, これまでに推定されている軌跡は, 検出される安定区間に基づいて直線区間が高精度化されているが, 右左折部分においては曖昧である. さらに, 同一通路に複数の直線区間が推定されてしまう場合もある (図 2 左). 加えて, 安定歩行区間に基づいて階段昇降の開始・終了時点を推定しているが, (図 2 右) のように実際のフロア移動区間以外にその前後数秒の区間においてもフロア移動していると判定されてしまう場合がある. これらの改善点も踏まえてノードリンク軌跡の生成を行う.

平面区間におけるノードリンク生成の手順を図 3 に示す. 検出の信頼性が高い直線区間を用いて瞬間的な右左折部分を修正しながらノードリンク軌跡化する. 初めに, 推定軌跡開始地点を最初のノード (A) とする (図 3①). 次に, 同一通路と考えられる通路幅 w [m] を設定し, それを超えたらその地点を信頼座標とする (図 3②). 途中で安定

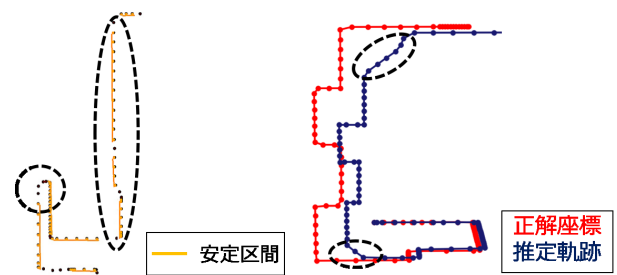


図 2: 高精度化軌跡の現状における改善すべき区間

区間が検出されている場合は, 信頼座標を安定区間座標に更新する (図 3③). 2 つ目の通路においても設定した通路幅 w を超えたら, 1 つ前のノード (A) と信頼座標を用いて新規ノード (B) を生成する (図 3④). 以降, 図 3⑤,⑥ のように同様の手順を繰り返す. 上記のように, 検出の信頼性が高い直線区間を用いて瞬間的な右左折部分を修正しながらノードリンク軌跡化する. 同一経路と考えられる通路幅の設定は手動となるが, 同一建物において通路幅は一般的に変化しない. 従って, 最初に一度設定を行えば良いので大きな作業量にはならないと考える.

階段区間におけるノードリンク軌跡化では, 進行方向のベクトル差に着目する. 階段区間において, 階段前半と後半の平面成分は一般的に隣り合っているため, 前節のような手法の適用は不向きであると考え. 階段区間の手順は, まず最初に高さ変化開始地点を最初のノードとして, 最初の進行方向ベクトルを基準ベクトルとする. その後, 逐次進行方向ベクトルと基準ベクトルとの角度差を確認していき, 角度差が閾値以上となったらその地点を新規ノードとする. 閾値は, 建物知識を用いた階段区間の高精度化が行われている軌跡が前提となるため 60 度以上とする. 以降, 階段区間終了まで同様に繰り返す.

実際には平面区間であるが階段移動区間と誤推定されている問題に対して, 階段と考えられる区間に基づいて修正する. 一般的に折り返し階段は 1 フロア移動する際, 前半部分とそれに対して 180 度反対向きとなる後半部分が対になって構成される. 従って, 対になっておらず階段区間と考えにくい区間に高さ変化がある場合, その区間の高さ変化量を無くして平面化する.

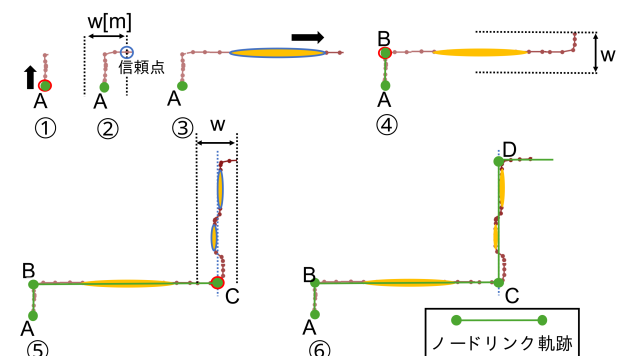


図 3: ノードリンク生成手順

3.2 統合する軌跡の選択と座標系の統一

複数経路の軌跡をボトムアップに統合していくための2経路の選択を行う。経路選択の際には、部分一致箇所数と部分一致箇所同士の直交関係に着目する。部分一致箇所数が多いほど統合の確実性は高くなると考えられるため、部分一致箇所数が最多となる場合を選択する(図4左)。他にも、複数経路において部分一致となるような箇所の選択(図4右)も考えられる。しかし、網羅性は一度に高くなるが、ある一箇所の部分一致箇所への着目では間違った軌跡選択がされてしまう可能性がある。また、部分一致箇所が並行関係にある場合だけでは、その前後関係や方向一致までの推定は困難であり、統合位置の決定ができない。そこで、部分一致箇所同士が直交する場合を含んだ選択をして、その交点を統合位置とする。統合位置と直交する部分一致箇所を元に、2経路が正しい前後関係や向きで統合されると考える。

選択したそれぞれの歩行軌跡は、歩行開始位置からの相対的な推定であるため、2経路の軌跡の座標系を統一する必要がある。一方の経路を基準経路と定め、基準経路と他方の経路の統合位置と部分一致箇所が合わさるように平行移動・回転させる。

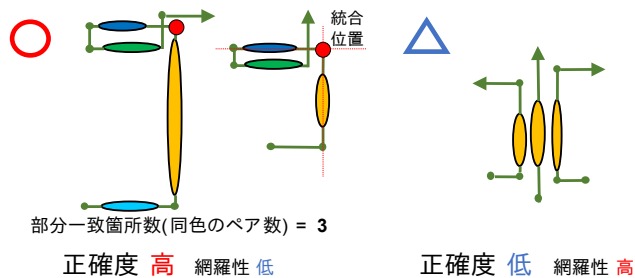


図4: 統合する軌跡の選択

3.3 部分一致箇所とリンク同一判定に基づく統合

安定区間に基づく部分一致箇所とリンク同一判定を用いて、ノードリンク軌跡の統合を行う。統合手順を図5に示す。前節で求めた統合位置を起点として軌跡末端へ向かって順に統合していく。見ているリンク(AB, AB')と一つ先のリンク(BC, B'C')も部分一致同士である場合(図5①)、リンク長を平均して終点ノード(B'')を完全一致させる。次に、一つ先のリンク(CD, C'D')に部分一致箇所が検出されない場合はリンク同一判定を用いる。リンク同一判定にはリンク間のユークリッド距離を用いる。リンク間(α)が同一通路と考えられる幅 w 以内の場合、部分一致していると判定して同様に統合する(図5②)。次に、一つ先のリンク(DE, D'E')は部分一致しない場合(図5③)、必ずしも2つのリンクの終点が一致するとは言えないので、リンク長そのままにノードをそれぞれ2つ生成して統合する(図

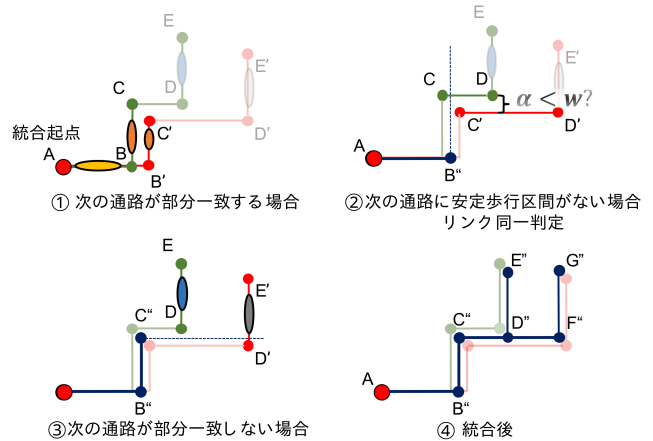


図5: 選択した2経路の統合手順

5④)。さらに、2経路統合後の軌跡において部分一致箇所が最多となる他の経路を選択して同様に統合する。統合を繰り返すと部分一致箇所も増えるため、より大きな構造が生成されていくと考える。

4. 評価実験

提案した複数歩行軌跡統合手法について精度評価を行った。ここでは統合の評価のため、部分一致箇所は正解データを使用した。

4.1 データセット

実験データには、屋内センシングコーパス HASC-IPSC[26]を使用した。実験データの統計を表1に示す。本コーパスは、連結する3つの棟において網羅的に歩いた114種類の経路からなる。被験者は20-60代の幅広い年齢の107人であり、経路データの総数は452となる。また、収録されている歩行経路はすべての曲がり角の角度が90度であり、それ以外の通路は直線である。フロア間移動は全て階段を通じて行われている。

表1: 経路データ統計

被験者数	107
経路数	116
延べ経路数	452
始点・終点の数	32
各経路を歩く被験者の数	Avg:3.92 SD:1.33
1経路に含まれるノード数	Avg: 17.85 SD: 6.36
各経路の時間	Avg: 110.05 s SD: 35.97 s
各経路の長さ	Avg: 103.81 m SD: 32.52 m
1リンクの時間	Avg: 6.53 s SD: 5.07 s
1リンクの長さ	Avg: 6.16 m SD: 6.47 m
1回の観測で得られるWiFi基地局の数	Avg: 32.39 SD: 10.71

4.2 実験設定

歩行軌跡統合の評価には、HASC-IPSC[26] に対して歩行軌跡推定手法 [2] を適用した推定軌跡のうち、信頼性が高い軌跡を使用した。信頼性の高い歩行センシングデータは、安定歩行区間の割合によって検出できると考える。合理的に移動できており、かつセンサの動作も安定している場合、移動のうちの多くが安定歩行として検出される。そこで、歩行センシングデータの時間長のうち、安定歩行区間と検出された時間長の割合がある閾値を上回っている場合、そのデータを正確な歩行軌跡推定が期待できる信頼性の高いデータとみなす。本研究では経験的に、安定歩行区間割合の閾値を6割と定める。高信頼度な経路は49種類の経路を歩いた84データとなった。信頼性の高い軌跡に対して平均化手法 [3] により得られた軌跡において、安定歩行区間の割合の平均は67.5%であった。

統合後のノードリンク構造の評価値として、ノードの次数に着目した適合率、再現率を使用した。さらに、適合率と再現率を総合的に判断するためのF値を使用した。各ノードの次数に着目するが、正しい方向へ繋がっている次数のみを評価する。評価値の算出方法を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{適合率} &= \frac{\text{実際に存在するノード次数}}{\text{推定されたノード次数}} \\ \text{再現率} &= \frac{\text{正しく推定されたノード次数}}{\text{実際に存在するノード次数}} \\ \text{F 値} &= \frac{2 \cdot \text{適合率} \cdot \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \end{aligned}$$

本研究では、間違っただけがされないような正確なLBSの実現を目標としており、構造として誤りが無い建物構造の生成を目指しているため、まず第一に高い適合率が必要と考える。

他にも、ノードリンク軌跡と正解座標のユークリッド距離となる位置誤差の評価も考えられる。しかし本研究では、実際に屋内LBSが実現可能であるために、正しいノードから正しい方向へ繋がっているリンクであるかといった構造自体の正確さに着目した。

4.3 歩行軌跡統合結果

初めに、各経路の推定軌跡を用いたノードリンク軌跡の生成結果を図6に示す。推定軌跡では曖昧となっていた右左折区間や同一直線上に複数推定されてしまっていた直線区間が修正されており、より建物構造に沿った軌跡となっている。また、誤推定されていた階段区間においても修正された軌跡が生成された(図7)。階段区間修正の結果、より建物構造に沿ったノードリンク軌跡となっているが、必ずしも正解軌跡との位置誤差が減少するとは限らない。しかし本研究では、ノードリンクの位置や長さよりもそれぞれの接続性を重視しており、実際の建物により近い構造の

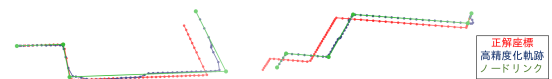


図6: ノードリンク生成例

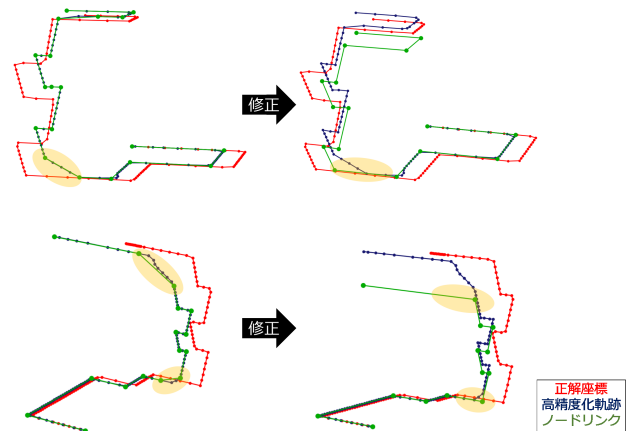


図7: 階段区間修正例

生成を目的としている。従って、図7のような修正は良い結果であると考えられる。

次に、ノードリンク化した各軌跡の内、ボトムアップに統合するための最初の2経路として選択された軌跡を図8左上に示す。最初に選択された2経路における部分一致箇所数は7つであり、直交する部分一致箇所は2組であった。部分一致箇所自体は複数あるが、2経路の座標系統一に必要な直交関係がない場合も多く見られた。また、選択された2経路において直交する部分一致箇所同士を用いて座標系を統一して重ね合わせた様子を図8右上に示す。実際に、統合起点を元に2経路の向きと位置が統一されている。

次に、最初に選択された2経路軌跡の統合結果を図8左下に示す。部分一致箇所数が最大の軌跡同士の統合により、網羅性の上がり方はわずかであるが確実な統合が可能であった。その後、統合後のノードリンク構造と部分一致箇所数が最大となる別の経路軌跡を同様に統合した結果を図8右下に示す。本実験では、ボトムアップな統合を3回繰り返した時点で、直交関係を含んだ部分一致箇所が検出されなくなり統合は終了した。

ボトムアップに統合したノードリンク軌跡の評価を行った結果、適合率は1.0、再現率は0.573、F値は0.729となった。本研究で重視する適合率は高く生成された構造自体に誤りは検出されなかったため、本統合手法の確実性の高さが確認された。しかし、生成された構造が含まれる棟のみに着目しても、まだ再現しきれていない部分は見られた。さらに、実験データ全体の3つの棟から見ると、生成されたノードリンク軌跡はまだごく一部でしかなく再現率は0.193に留まった(図9)。

本実験では、部分一致箇所自体は複数あるが、2経路の

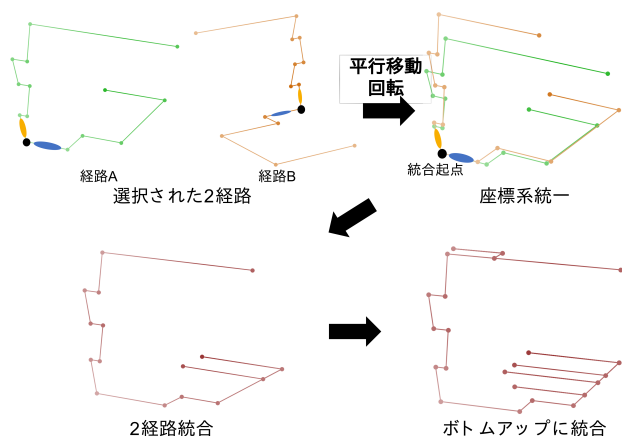


図 8: 実際の軌跡への適用例

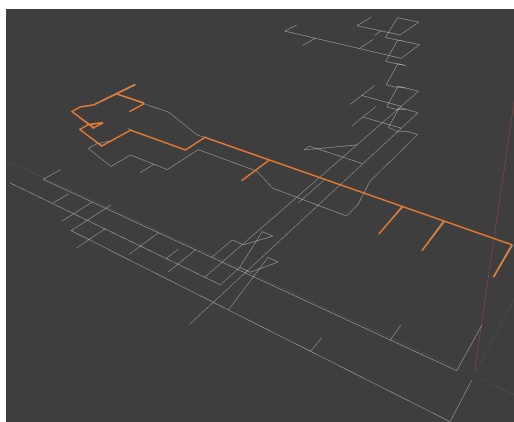


図 9: 推定された構造

座標系統一に必要な直交関係がない場合も多く見られた。これは、実験環境の建物は縦長であり、それが影響していると考えられる。さらに、本実験で実際に選択されて統合が行われた棟に着目する。生成された棟は、メインとなる通路と安定区間が多く検出されて統合の手がかりとなりやすい階段の向きが平行であった。そのため、直交関係となる部分一致箇所が特に検出されにくく、少ない統合回数となってしまったと考える。正方形に近い建物の場合は、直交関係となる場合が検出されやすいと言える。このように、建物自体の形状によっても本手法の精度は変化すると考える。

4.4 実環境への適用可能性の分析

実環境で屋内 LBS に利用可能であるために、全体が網羅された建物構造の生成に必要な歩行軌跡について考える。前節の実験では高い適合率が得られたが、全体の構造から見ると部分一致箇所の発見が少ないため、生成された全体の構造は正解の構造よりも小さな構造となってしまった。しかし、収集データの冗長性と網羅性の向上により、全体が網羅された建物構造により近づくと考えられる。

ここで、本実験で用いたコーパスの全データにおいて、

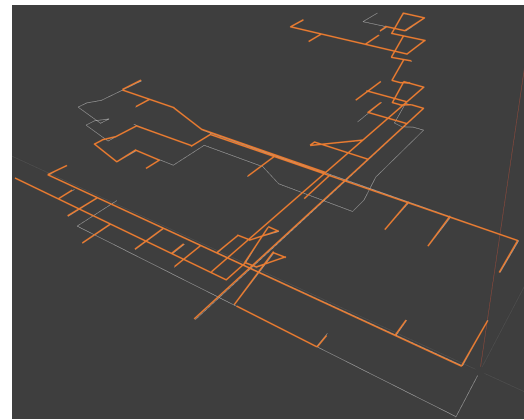


図 10: 正解データを用いた場合に生成される構造

安定区間に基づく部分一致箇所とノードリンク軌跡の生成が正確であると仮定する。452 個の全データに対して平均化手法 [3] により得られた軌跡において、安定区間の割合の平均は 56.7% であった。その場合、3.2 節にあたる最初に選択される 2 経路も本実験とは異なり統合がボトムアップに繰り返された。その結果、収集した建物全体における再現率は 77.9% となり、8 割に近い再現率となる構造が生成可能であると言えた (図 10)。本実験において、全歩行データ数に対して信頼性が高い推定軌跡数は 18.6% であった。従って、信頼性の高い軌跡を用いて 8 割ほどの再現率を得るには、平均 4 つ取得されていた同一経路を歩くデータ数を 4~5 倍となる 16~20 つほど収集して冗長性を向上させる必要がある。また、全経路種類に対して信頼性の高い推定軌跡が含まれる経路の種類は 42.2% となった。そのため、網羅性の向上のためには 2~3 倍の 232~348 種類ほどの経路数となる収集データが必要になると考える。

実際に想定される環境として、例えばオフィスビルでは、同じ部署の人達が会議などのために同じ部屋に向かうと想定される。従って、数日間の収集により必要な冗長性を満たすデータが得られると考える。また網羅性においては、日常的な生活場所はある程度限られており変化が少ないため、長期間の収集のみでは向上しないと考えられる。そのため、再現できていない場所においては、特定人への依頼や建物全体を網羅的に歩行する機会が多い警備員などからデータ収集を行う必要があると考える。

また、生成された建物構造を手動で修正すれば一から構造情報を生成するよりは手間を低減できると考える。従って、建物構造を修正するツールの作成による実環境への適用も考えられる。上記のように高い再現率が得られていれば、ツールによる少しの作業で全体を網羅する構造の生成が可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、複数歩行軌跡の部分一致箇所に基づく歩行軌跡のボトムアップな統合を行った。まず初めに検出の信

頼性が高い直線区間に基づいた右左折区間の修正により、より建物構造に沿ったノードリンク軌跡へと修正した。次に、部分一致箇所数が多く統合の確実性が高い経路の選択を行い、その軌跡同士を統合した。以降、ボトムアップに生成した。屋内センシングコーパス HASC-IPSC に対して提案手法を用いた結果、生成された構造は高い適合率が得られたため、手法の有効性が確認できた。しかし、全体の構造よりも小さな構造となった。そこで、全体を網羅した生成のために必要な推定軌跡の検討も行った。

今後は、クラウドソーシングなどによって得た大量のデータに対し、提案手法を適用して全体的な構造の歩行空間ネットワークの生成を目指す。ノードリンク化可能である信頼性の高い軌跡の増加に伴い部分一致箇所も増加して、より多くの統合が可能ではないかと考える。

参考文献

- [1] 中島 唯博, 四ツ谷 昂亮, 杉本 壮, 伊藤 信行, 内藤 克浩, 中條 直也, 水野 忠則, 梶 克彦: オフィス圏内行動データの収集と部屋間移動部分の抽出, 第 15 回情報学ワークショップ, pp.1-4, 2017
- [2] 梶 克彦, 河口 信夫, 安定センシング区間検出に基づく 3 次元歩行軌跡推定手法: 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp. 12-24, 2016
- [3] Yotsuya, K., Kaji, K. et al.: Method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectories Using a Large Amount of Trajectories, Journal of Information Processing, Vol.28, pp.44-54, 2020
- [4] Sugimoto, S., Ito, N., Naito, K., Chujo, N., Mizuno, T., Kaji, K.: Partial Matching Estimation Method of Walking Trajectories for Generating Indoor Pedestrian Networks, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2018), pp.1-6 2018
- [5] 秋山 征己, 須永 光, 五百蔵 重典, 田中 博: 超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験, 測位航法学会論文誌, Vol.3, No.1, pp. 1-8, 2012
- [6] 梶 克彦, 河口 信夫: 建物内移動情報の部分マッチングに基づく建物構造生成, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム, 2013 論文集, 第 2013 巻, pp. 1413-1420, 2013
- [7] Google maps. <https://www.google.co.jp/maps/>
- [8] Google Indoor Maps. <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>
- [9] 吉貞 洸, 山田 遊馬, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, 高井 峰生: 異なる基点を持つ二次元点群統合による室内マップ生成手法の提案, 情報処理学会 第 86 回モバイルコンピュータシンポジウムとパーベイシブシステム研究会, 2018
- [10] MULTISOUP: iField indoor, <https://www.multisoup.co.jp/service/ifieldindoor>
- [11] 柏本 幸俊, 安本 慶一: YAMATO:ウェアラブル屋内フロアマップ生成システム, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 第 2013 巻, pp. 20-26, 2013
- [12] 根岸 善朗, 三浦 純, 白井 良明: 全方位ステレオとレーザーレンジファインダの統合による移動ロボットの地図生成, 日本ロボット学会誌, Vol.21 No.6, pp.690-696, 2003
- [13] 尾崎 宏樹, 渡邊 賢, 長尾 確: 小型無人移動体を用いた 3 次元地図の自動生成に関する研究, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.74 No.3, pp.3.531-3.532, 2012
- [14] Wang, W., Yamakawa, K., Hiroi, K., Kaji, K., Kawaguchi, N.: A Mobile System for 3D Indoor Mapping Using LiDAR and Panoramic Camera, 情報処理学会 46 回 UBI 研究会, 2015
- [15] Biber, P., StraBer, W.: The normal distributions transform: A new approach to laser scan matching, Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.3, pp.2743-2748, 2003
- [16] 岩科 進也, 山下 淳, 金子 透: LRF 搭載移動ロボットを用いた動的環境における 3-D SLAM, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 2008
- [17] 鈴木 友基, 梶 克彦, 河口 信夫, クラウドソーシングによる屋内構造地図情報の構築と収集, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.296, pp.1-6, 2011
- [18] Wojciech Jaworski, Pawe Wilk, Mateusz Juszczak, Monika Wysoczkańska, Andrew YongGwon Lee: Towards automatic configuration of floorplans for Indoor Positioning System, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2019
- [19] Simon Schmitt, Larissa Zech, Katinka Wolter, Thomas Willemsen, Harald Sternberg, Marcel Kyas: Fast Routing Graph Extraction from Floor Plans, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2019
- [20] Zheng Yang, Chenshu Wu, and Yunhao Liu: Locating in Fingerprint Space: Wireless Indoor Localization with Little Human Intervention, Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking ,pp.269-280, 2012
- [21] Jiang, Y., Yun, X., Pan, X., Li, K., Lv, Q., Dick, P, R., Shang, L., Hannigan, M.: Hallway Based Automatic Indoor Floorplan Construction Using Room Fingerprints, The 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp2013), pp.315-324 (2013).
- [22] Gao, R., Zhao, M., Ye, T., Ye, F., Wang, Y., Bian, K., Wang, T., Li, X.: Jigsaw: Indoor Floor Plan Reconstruction via Mobile Crowdsensing, The 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom2014), pp.249-260, 2014
- [23] Chengwen Luo, Hande Hong, Mun Choon Chan: Pi-Loc: a Self-Calibrating Participatory Indoor Localization System, IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2014
- [24] Shin, H., Chon, Y., Cha, H.: Unsupervised Construction of an Indoor Floor Plan using a Smartphone, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, Vol.42, No.6, pp.889-898, 2012
- [25] 坂本 大輔, 西山 大河, 村尾 和哉, 望月 祐洋, 西尾 信彦: 屋内歩行空間ネットワークの生成支援機構, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム, 2016
- [26] Kaji, K., Watanabe, H., Ban, R., Kawaguchi, N.: HASC-IPSC: Indoor Pedestrian Sensing Corpus with a Balance of Gender and Age for Indoor Positioning and Floorplan Generation Researches, International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Its Application (HASCA2013), pp. 605-610, 2013