

広場通過を考慮した屋内ナビゲーションの手法検討

Phan Duy Phuoc¹ 宮島 智大¹ 枇榔 晃裕^{†1} 安積 卓也^{†1} 西尾 信彦^{†1}

概要: 近年、ナビゲーションのような多くの移動支援サービスが提供されており、屋外だけでなく、測位インフラの整っていない地下街など屋内にもサービスの範囲が広がってきている。地下街など屋内のナビゲーションでは通路よりも広場の通過が問題となる。広場は出入口が多い上に、目印となるランドマークが少なく、ナビゲーションに必要な道路ネットワークは自動生成すると複雑なものとなる傾向がある。本稿では、広場内を最小限の曲がり角で表現する道路ネットワークの自動生成と、天井吊り案内標示を利用した広場通過のナビゲーションの必要条件を検討する。

キーワード: 屋内広場, 道路ネットワーク, 広場通過, ナビゲーション

Pedestrian Indoor Navigation Methods for Non-Corridor Area Traverse

PHAN DUU PHUOC¹ TOMOHIRO MIYAJIMA¹ AKIHIRO BIROU^{†1} TAKUYA AZUMI^{†1} NOBUHIKO NISHIO^{†1}

Abstract: Recently, many navigation services have been provided. These services have been used widely not only outdoor, but also indoor where users can use no positioning technology. As the indoor environment such as a underground center, non-corridor area caused of problems rather than passages. Indoor non-corridor area have many gateways, nevertheless, there are few landmarks. In addition, it is difficult to make road network for a navigation. This paper proposes the mean to generate a road network which has the minimum junction for navigation automatically, and to navigate in an open space with ceiling guidance labels.

Keywords: Indoor non-corridor area, road network, passing through non-corridor area, navigation

1. はじめに

近年、携帯端末での測位で取得したユーザの位置情報から、状況に適した情報を提供する歩行者向けのリアルタイムナビゲーションが普及している。屋外環境でリアルタイムナビゲーションを行う際には、ユーザの位置情報を取得する際に GPS を用いることが多い。しかし、地下街のような屋内では GPS 衛星の電波が受信できないため、現在普及しているリアルタイムナビゲーションのほとんどが使用できない。そこで我々は、測位を必要としない対話型地下街ナビゲーションシステムを提案している。このナビゲ-

ーションシステムは、システムが目的地までの道順と案内文をユーザに示し、ユーザがシステムに地下街内で目印となる店舗や交差点 (以下、ランドマーク) の視認を通知することで、屋内測位のインフラを用いずにユーザ位置情報の把握を行う。

我々のこれまでの研究から、屋内環境でリアルタイムナビゲーションを行うには、通常の通路ではなく、地下街の複数の出入口がある広い空間 (以下、広場。例を図 1 に示す。) が問題となることがわかった。地下街内を案内するため、Straight Skeleton アルゴリズムを用いて道路ネットワークを生成すると、広場付近で道路ネットワークが複雑になり、ナビゲーションに向かない道路ネットワーク情報になってしまった。加えて、広場内で案内を行うにあたり、ランドマークになるものが少ない。そのため、ランド

¹ 立命館大学
Ritsumeikan University

^{†1} 現在、立命館大学
Presently with Ritsumeikan University



図 1 広場の例

Fig. 1 Example of non-corridor area

マークを用いた案内を行う手法では案内するのが難しい。さらに広場内の空間は、通路と比べて歩行者の進む方向が制限されないため目的地までの方向を見失いやすく、ナビゲーションが示す進路と異なる通路へと進んでしまう場合が多々あった。

本稿では、広場内を最小限の曲がり角で表現する道路ネットワークの自動生成と、天井吊り案内標示を利用した広場通過のナビの必要条件を検討した。はじめに、広場や道の境界が複雑な通路に対しても屈折が最小限となる、ナビゲーションシステムに最適化された道路ネットワークを自動生成した。さらに、道路ネットワークを生成する際に作成された広場情報と、地下街の天井に吊るされた看板に記載された施設名称、その施設が存在する方向を利用した、地下街広場内の案内手法の必要条件を検討した。

次の2節において屋内ナビゲーションの現状を説明し、課題を明確にした。その後、3節において本研究の満たす要件を列挙し、4節においてシステム設計について述べた。5節で評価実験について説明し、最後に6節において今後の課題について述べた。

2. 屋内ナビゲーションの現状と課題

2.1 地下街での利用を想定した屋内ナビゲーションシステムの開発

我々は、屋内ナビゲーションシステムとして、「うめちかナビ」[1]の開発を行ってきた。地下街で測位インフラを用いずに、ユーザを目的施設まで案内するための実用性の高い歩行者ナビゲーションの実現を目的としている。「うめちかナビ」では、道に詳しい人が電話で道案内をする流れをモデルとしている。道に詳しい人が道を知りたい人に今何が見えるかを聞き、見えるものからユーザの現在地を推測する。推測された現在地をもとに、どの方向に進むか指示を出し、目的地まで誘導する。このような視認確認を画面上で再現する地下街ナビゲーションシステムを用いることで、測位インフラを用いずに、ユーザを目的地まで案内

することができた。

2.1.1 視認性確認対話ベースナビゲーションの流れ

視認性確認対話ベースの地下街ナビゲーションシステムでは、ルート中の曲がり角から次の曲がり角までを1つの区切りとし、この区切りごとにシステムとユーザがランドマークの視認確認を行うことで現在地を推測し、ユーザへ案内を行う。以下で、「うめちかナビ」の動作の流れを説明する。

- (1) ユーザはシステムに目的地を入力する。
- (2) ユーザはシステムに現在地から見えるランドマークを入力する。
- (3) システムはランドマークを基準としてどの方向に進むかを指示する。
- (4) ユーザは指示に従ったことを画面のボタンをタップすることでシステムに伝える。
- (5) システムは次の曲がり角までに見えるランドマークと曲がる方向を指示する。
- (6) (3) から (5) を繰り返して目的地までの案内を行う。

これまでの研究では、進行方向と広場の出口付近のランドマークを示すことで、広場での案内を行った。ユーザが広場に入ったことをシステムに通知すると、システムは広場の入口からこれから向かうべき方向と広場の出口付近のランドマークが書かれた案内文を表示させた。

2.1.2 地下街ナビゲーションシステムにおける課題

広場は通常の通路より広い空間と複数の出入口がありユーザは通常の通路より自由に動き回ることができる。さらに、広場内にはランドマークとなるものが通路と比べて少ない。そのため、進むべき方向を見失いやすく間違った通路へと進んでしまいやすいことがわかった。これまでの実験から、ユーザはシステムの提示するランドマークを見つけたまで自分が正しく進めているかわからず不安に感じることがわかった。

2.2 道路ネットワーク自動生成における関連技術

ユーザを目的地まで案内するため、ナビゲーションエリア内の道路ネットワークが必要となる。道路ネットワークを手入力で作成するのは手間と時間がかかるため、二次元地図から道路ネットワークを自動生成すると便利である。道路ネットワークを二次元地図から生成する手法として、多角形の中心線を生成するスケルトンオペレータを用いる手法が挙げられる。スケルトンオペレータとは、多角形からその多角形の中心線を生成するアルゴリズムであり、これを用いることで二次元地図から道路ネットワークを作成できることが知られている。

2.2.1 Straight Skeleton

本稿では、二次元地図から道路ネットワークを作成するため、スケルトンオペレータのうち、Straight Skeleton アルゴリズムを採用した。Straight Skeleton アルゴリズム

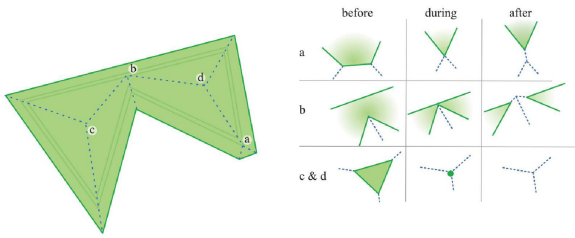


図 2 Straight skeleton
 Fig. 2 Straight skeleton

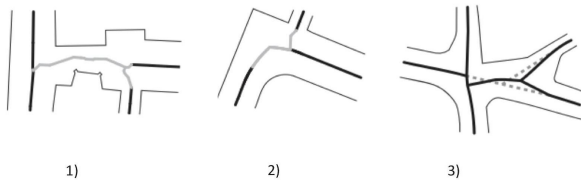


図 3 unnecessaryの屈折が生成される例
 Fig. 3 Examples of derived centerlines

ムは Eppstein と Erickson [2] により紹介され、Felkel と Obdrzalek [3] により実装されたアルゴリズムである。図 2 のように、多角形の各頂点から角の二等分線を引き、各頂点から同一比率で多角形を縮小させて行くことで、スケルトンが生成されていく。二等分線が交わる、もしくは多角形を縮小することで多角形が 2 分割されるときは、その時点で角の二等分線を引き直す。これを繰り返し、スケルトンを生成する手法である。[4]

2.2.2 スケルトンオペレータでの道路ネットワーク自動生成における課題

Straight Skeleton アルゴリズムを用いると、ナビゲーションシステムで使用するユーザの現在地から目的地までの道路ネットワークを構築できる。しかし、地下街内の広場で Straight Skeleton アルゴリズムを用いると、広場内に不必要な屈折を生成してしまうため、1つの曲がり角を複数の曲がり角としてナビゲーションしてしまった。さらに、地下街には、図 3 のように道の境界が複雑な通路が複数個所にある。Straight Skeleton アルゴリズムを用いると、図 3 中の 1) 2) の場合、壁の一部やカーブ内側の境界が Straight Skeleton アルゴリズムに影響し、灰色の線のような不必要な屈折を多数含む道路ネットワークが生成されてしまった。また、図 3 中の 3) のように不必要な屈折は少ないが、最適な道路ネットワークとは言えない場合もあった。

2.3 ランドマークを用いたナビにおける関連研究

渡邊ら [5] は屋内環境を想定した音声ナビゲーションを提案している。従来のナビゲーションに用いる地図情報に加えて、壁の位置やランドマークなどの空間情報を用いる。ランドマークの情報には視認可能な角度や色、大きさ

といった情報が含まれている。これらの情報により、歩行者から見て進行方向に存在し、視認性の高いランドマークを選択し案内を行う。そのため、渡邊らの手法は、視認可能な角度、色などのランドマークの詳細な情報を、ユーザが地図上に登録することを前提としている、しかし、集合知による情報収集では、ランドマークを選択する基準にばらつきが発生するため正確・均質な情報に整えることが困難である。さらに屋内のリアルタイムナビゲーションを想定しているにも関わらず、案内文が再生されるタイミングなどのユーザとのインタラクションについて、論文中には言及されていない。

藤井ら [6] は建物や公園といった地図上で図形として表現されるオブジェクトを対象として、構造化モデルを用いたナビゲーションを提案している。しかし、リアルタイムナビゲーションを想定していないため、目的地までの案内が一度に生成されてしまう。そのため、目的地までの距離が伸びるのに比例して画面に表示される案内文が多くなってしまふ。さらに、迷った時など任意のタイミングでの案内の再生成ができない。リアルタイムナビゲーションを提供する環境は、画面が小さいモバイル端末が想定されるため、一度にすべての案内文が表示されることは望ましくない。

3. 要件

2 節で述べたように、屋内でのナビゲーションには課題があった。そこで、本論文では以下の 3 つの要件を挙げる。

3.1 道路ネットワークの自動生成

ユーザを目的地まで案内するナビゲーションを構築するため、出発地から目的地までの道路ネットワークが必要である。しかし、データベースへ緯度経度やノード間のリンク情報などを手入力し、道路ネットワークを構築するのは、時間と手間がかかる。そのため、道路ネットワークは自動生成できることが望ましい。

3.2 広場内の道路ネットワークを最小限の曲がり角で表現

ナビゲーションシステムで使用する道路ネットワークは、ユーザを混乱させない必要がある。1つの曲がり角が複数の小さな曲がり角として生成されてしまうと、ナビゲーションシステムに用いづら道路ネットワークとなる。しかし現状の道路ネットワーク生成アルゴリズムでは、屋内通路上に不必要な屈折が多数生成されてしまう。そのため、不必要な屈折が生成されやすい箇所においても、屈折が最小となる道路ネットワークとなるアルゴリズムを構成する必要がある。

3.3 進むべき方向をユーザが一意に特定できること

広場は通常の通路より広い空間と複数の出入口があるた

め、ユーザは自由に動き回ることができる。それにより、ユーザは進むべき方向を見失いやすく間違っただけの通路へと進んでしまいやすい。加えて、屋内には測位インフラが整っていないことが多いため、一度誤った道へ進むと通路の訂正を行いにくい。屋内でナビゲーションを行うには、広場内においてもユーザに進むべき方向を一意に特定させることが重要となる。

4. アプローチ

4.1 道路ネットワークの自動生成

屈折の少ない道路ネットワークを二次元地図から自動生成するアルゴリズムとして、5フェーズに分けて実行した。

4.1.1 イメージプロセス

ナビゲーションを行う地域の二次元地図画像をピクセル画像として分析し、道路のエリアとそれ以外のエリアを2値化する。このとき、次のフェーズでノイズとなる地図記号や文字など消去した。二次元地図のイメージ上でこれらのノイズを消すため、二次元地図イメージの横と縦をトラバースして道路の部分の中で太さが x ピクセル以下の記号を消去した。この論文の実装では $x = 3$ とした。

4.1.2 グラフ生成

スケルトンアルゴリズムを用いるために、前フェーズで作成した二次元地図から道路の境界を抽出し、多角形を生成した。具体的には、前フェーズで作成した二次元地図をスキャンし、道路の境界となるピクセルを抽出する。抽出されたピクセル同士を繋げていき、多角形を生成した。

生成された道路境界のグラフは頂点の数が多いため、スケルトンアルゴリズムを適用すると処理に時間がかかる。そのため、Line simplification アルゴリズム [7] を用いて頂点の数を減らしたのち、次のフェーズへ移る。

4.1.3 道の軸生成

スケルトンオペレータの Straight Skeleton アルゴリズムを用いて道の軸を生成した。生成された道の軸は図4のようになった。

4.1.4 広場判定

前フェーズで道路ネットワークが複雑となった地点を修正していく。道路ネットワークが複雑となるのは広場であることが多いため、このフェーズでは広場を自動的に発見する。前のフェーズで生成した道の軸をスキャンし、2軸が交差する点を交差点と見なした。

各交差点から円を生成し、道の境界まで拡大して広場を生成した。つまり、各交差点から広がる円の外周が道路の境界に触れるまで拡大させ、円の内側を広場とした。

円に他の円の中心が含まれる場合、互いの円を統合し、1つの広場として扱った。さらに、2つの広場が近い場合に道の軸が複雑になることがあるため、これらの広場のつながる線も修正する必要がある。円が他の円の外周と重なる場合、隣接した広場と定義した。

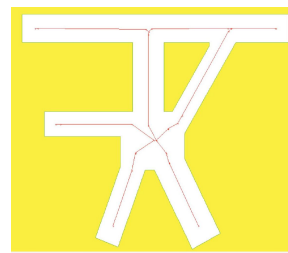


図4 道の軸生成

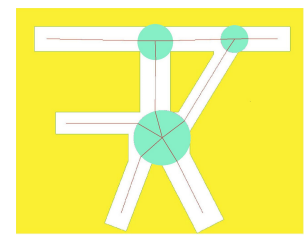


図5 道の軸再生成

Fig. 4 create road network Fig. 5 recreate road network



図6 天井吊りサイン

Fig. 6 a ceiling sign

4.1.5 広場内の軸を再生成

広場判別処理後に、広場内と隣接した広場の間での道の軸を再生成することで、滑らかな道路ネットワークを構築した。広場の内側にある道の軸を消去する。道の軸と広場の接続地点を探し、接続地点から広場の中心点をつなげることで道の軸を再生成する。

隣接した広場の場合、広場間の道の軸を修正する。隣接した広場内の道路ネットワークを消去し、円の中心同士を直線でつなげた。再生成された道の軸は図5のようになった。

4.2 屋内広場案内手法

要件 3.3 を満たす屋内広場案内手法として、広場を通るルートのナビゲーションを行っている状況を想定し、天井吊りサインの情報を用いた。天井吊りサインには施設名称とその方向が記載されている。実際に大阪梅田地下街に存在する天井吊りサインの1つを図6に示す。天井吊りサインに記載された情報を利用して、広場にある任意の入口から任意の出口への案内を行った。天井吊りサインは案内を行うために吊るされているのでユーザにとって見つけやすく、ナビゲーションに利用しやすいと考えられる。本研究では、ナビゲーションを行うエリア内に存在するすべての天井吊りサインの情報をすでに得ていると仮定する。

広場判別処理で作成された広場情報に対し、地下街の天井吊りサインの情報を挿入した。広場内にある天井吊りサインの位置と、天井吊りサインに記載された情報から、ユーザを任意の広場入口から出口まで案内を行った。



図 7 広場内道路補正アルゴリズムを用いない場合 (左) と広場内道路補正アルゴリズムを用いた場合 (右)

Fig. 7 A case for not using an algorithm of revised road network in the place(left) and a case for not using an algorithm of revised road network in the place(right)

表 1 生成したルートの曲がり角の数の評価
Table 1 Result of making road network

ルート	1	2	3	4
広場判定前	10	12	13	7
広場判定後	6	1	5	5
理想的な結果	4	1	3	4

5. 評価

5.1 道路ネットワークの評価

道路ネットワーク生成の評価として、道の境界が複雑な大阪駅・梅田周辺地下街の二次元地図 (株式会社 パスコ製作) を用いて、4 ルートにおける道路ネットワークを生成した。道路ネットワークがナビゲーションシステムに最適化されているかを判断するため、生成された道路ネットワークに含まれる曲がり角の数を評価の指標とした。図 7 の左が場内道路補正アルゴリズムを用いない場合の道路ネットワーク、図 7 の右が提案アルゴリズムを用いた後である。表 1 は評価の結果である。これらの結果から、理想的な結果には劣るものの、従来の手法に比べて曲がり角の数が減少することが確認できた。

5.2 地下街広場内の案内手法の評価

大阪駅・梅田周辺地下街にある 2 カ所の広場において、広場案内提案手法を実践した。評価方法として、広場入口と広場出口の組合せの総数のうち案内可能となる組合せの数を集計した。図 8, 図 9 に提案手法を用いた広場の地図を示す。地図上の赤いピンの位置に看板が存在し、緑の線で天井吊サインの方向を示している。

出口サインと入口サインに共通の施設名称が存在する、もしくは、入口サインが出口サインを指している場合、提案手法で案内可能とし、それ以外の場合を解なしとして評価を行った。その結果、出入口が 5 カ所存在する広場 1 では、全出入口の組合せ 20 通りのうち、提案手法により 10 通りの組合せが案内可能になった。さらに、出入口が 6

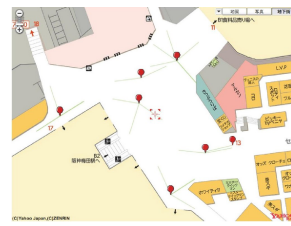


図 8 広場 1

Fig. 8 non-corridor area 1



図 9 広場 2

Fig. 9 non-corridor area 2

カ所存在する広場 2 では、全出入口の組合せ 30 通りのうち、14 通りが案内可能となった。

これらより、提案手法を用いると広場の全出入口組合せのうち約半数が、地下街の天井に吊るされた看板のみで案内可能となった。天井に吊るされた看板はユーザにとって見つけやすいと考えられるため、目印の少ない広場において、ユーザの位置情報を把握するための補助として用いることが可能になる。広場案内提案手法を用いることで、ユーザがシステムと対話的に行う地下街ナビゲーションシステムにおいて案内を改善できると考えられる。

6. おわりに

本研究では、屈折を減少させるため広場判定を用いた屋内道路ネットワークを生成する手法と屋内広場を吊り看板によって案内する手法を紹介した。

屋内道路ネットワーク生成の提案アルゴリズムを用いた場合とそうでない場合の結果を比較したところ、提案アルゴリズムを用いた場合の結果の方が良好であった。よって、提案アルゴリズムの効果が実証できた。しかし広場認識において、複雑な型の広場の場合に未知の境界が外へ突き出た箇所を広場として取得できなかったため、理想的な結果を出すことには至っていない。今後、より効果的な広場認識する方法を考える必要がある。

広場案内手法については、広場入口と広場出口の全組み合わせのうち、天井吊り看板のみで約半数を案内可能にした。しかし、他要素を組み合わせなければ残り半数の組み合わせを案内することができない。今後、より効果的な広場案内提案手法を考える必要がある。

参考文献

- [1] インタラクシオン 2013, 視認性確認対話ベースの地下街ナビゲーションシステム 2013. 新田知之, 宮崎和哉, 吉見駿, 田端亮介, 新井イスマイル, 安積卓也, 西尾信彦
- [2] David Eppstein and Jeff Erickson. Raising roofs, crashing cycles, and playing pool: applications of a data structure for finding pairwise interactions. In SCG '98: Proceedings of the fourteenth annual symposium on Computational geometry, pages 58-67, 1998.
- [3] Petr Felkel and Stepan Obdrzalek. Straight skeleton implementation. In Proceedings of Spring Conference on Computer Graphics, Budmerice, Slovakia, pages 210-218, 1998.

- [4] degeneracy in the weighted straight skeleton(online), 入手先 (<http://twak.blogspot.jp/2011/01/degeneracy-in-weighted-straight.html>) (2011.01.18).
- [5] 渡邊翔太, 梶克彦, 河口信夫. ランドマークの視認性に基づく歩行者向け音声ナビゲーションの提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム, pp. 1897-1903, 2012.
- [6] 藤井憲作, 杉山和弘. 歩行者ナビゲーション支援のための場所案内文生成手法. 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol. 82, No. 11, pp.2026-2034, nov 1999.
- [7] Douglas, D. and T. Peuker, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitised line or its caricature, The Canadian Cartographer, Vol 10, pp. 112-122.
- [8] Mathematical Foundations of Computer Science 1977. 6th Symposium, Tatranska Lomnica September 5-9, 1977. Proceedings
- [9] Raju Chithambaram, Kate Beard, and Renato Barrera. Skeletonizing polygons for map generalization. In Technical papers, ACSM-ASPRS Convention, Cartography and GIS/LIS, volume 2, 1991.
- [10] Proceeding of Spring Conference on Computer Graphics, Bundmerice, Slovakia. ISBN 80-223-0837-4. Pages 210-218. <http://www.cgg.cvut.cz/Publications/felkelsccg98.ps.gz>
- [11] Friso Penninga, Edward Verbree, Wilko Quak, and Peter van Oosterom. Construction of the planar partition postal code map based on cadastral registration. Geoinformatica, 9(2):181-204, 2005.
- [12] Leibniz Universität Hannover, Institute of Cartography and Geoinformatics, Appelstrasse 9a, 30167 Hannover, Germany. Area Collapse and Road Centerlines based on Straight Skeletons. Geoinformatica(2008) 12:169-191, DOI 10.1007/s10707-007-0028-x.
- [13] D. Manandhar, S. Kawaguchi, and H. Torimoto. Results of imes (indoor messaging system) implementation for seamless indoor navigation and social infrastructure platform. In Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2010), pp. 1184-1191, 2010.
- [14] 梶克彦, 河口信夫. indoor.Locky: 屋内位置推定のための無線LAN情報プラットフォーム. Technical Report 1, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋大学大学院工学研究科, nov 2010.
- [15] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦. 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論文集, Vol. 2006, pp. 95-104, 2006.
- [16] 嶋津裕己, 洞井晋一, 和泉順子, 砂原秀樹. ランドマーク情報を用いた歩行者ナビゲーション補助システムの提案. 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol. 2009, No. 2, p. 192, mar 2009.