

迷いにくい可視ランドマークに基づく 屋外歩行者ナビゲーションシステム

竹田 健吾^{1,a)} 柳澤 政生¹ 戸川 望^{1,b)} 新田知之² 進藤大介² 田中清貴²

概要: 近年, 移動通信網の発展や計算機の小型化・高性能化により携帯端末が普及してきた. 個人利用可能な GPS 測位精度の向上と併せて, カーナビゲーションに代わり携帯端末での移動通信サービスを使った屋外歩行者用経路案内の研究が活発化した. 歩行者ナビゲーションの分析研究の中で, 既存の経路案内には迷いやすさを生む問題点が指摘されている. 本稿では迷いやすさの原因を解決する特性を持ったナビゲーション手法として, 可視ランドマークに基づく屋外歩行者用ナビゲーションを提案する. 歩行者ネットワーク上からの可視ランドマークを可視グラフによってグラフ表現する. まず歩行者ナビゲーションの迷いやすさを調査し, 続いて, 可視グラフの利点と生成アルゴリズムを提案する. そして, 携帯端末上で可視グラフに基づく屋外歩行者ナビゲーションアプリケーションを構築する. 実際にナビゲーションアプリケーションを実験地域に適用しナビゲーションを行った結果, 可視情報に基づく案内文を地図表示することによって, 効果的な歩行者ナビゲーションが実現されることを確認した.

キーワード: 屋外歩行者ナビゲーション, 可視グラフ, ランドマーク

An Outdoor Pedestrian Navigation System Using Visible Landmarks

KENGO TAKEDA^{1,a)} MASAO YANAGISAWA¹ NOZOMU TOGAWA^{1,b)} TOMOYUKI NITTA²
DAISUKE SHINDOU² KIYOTAKA TANAKA²

Abstract: As mobile communication networks have been developed and small portable devices have become much popular, outdoor pedestrian navigation systems have attracted more attentions. However, existing navigation systems still include some problems which cause users to get lost. In this paper, we propose an outdoor pedestrian navigation system based on *visibility graphs*. By effectively using visibility graphs, we can obtain many informations that we can see from a current position. Based on them, we can construct an effective outdoor pedestrian navigation system. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed system.

Keywords: outdoor pedestrian navigation, visibility graph, landmark

1. はじめに

近年, 移動通信網の発展や計算機の小型化・高性能化により携帯端末が普及している. 個人利用可能な GPS 測位精度の向上と併せて, 携帯端末での移動通信サービスを使った屋外歩行者用経路案内も普及している. 国内では屋外歩行者用に GPS を用いた研究が特に盛んである [1]. 経路案内手法は測位方法・位置推定・案内文の伝え方・ラン

ドマークの使用・地図のグラフィック表示方法といった案内に含まれる要素によって分類することができる. 中でもランドマークを用いたナビゲーションは GPS の精度劣化に影響を受けにくく, 平面地図を読むのが苦手な人間にわかりやすいナビゲーションである.

ランドマークの可視情報を表す手法の一つに可視グラフがある. 地上の任意の二点間において, 一点に人間が立ちもう一点を見ることが出来る場合その二点間を結んだリンクを可視枝と呼ぶ. 中間案内地点ノードおよびランドマークの視認対象ノードの集合とノード間の可視枝の集合を可視グラフと呼ぶ. 歩行者用ネットワーク上に中間案内地点ノードを複数個設定し, 地図上で高い視認性を持つランド

¹ 早稲田大学

Waseda University

² 株式会社ゼンリンデータコム

ZENRIN DataCom Co., LTD.

a) kengo.takeda@togawa.cs.waseda.ac.jp

b) togawa@togawa.cs.waseda.ac.jp

マークを視認対象ノードとして生成された可視グラフは、目視可能な目印のみを中間目的地とした案内経路の生成に利用できるうえ、現在位置から視認可能なランドマーク情報を提供することで位置推定の性質も持つ。

ランドマークを用いると歩行者にとって迷いにくい案内文を生成できる。文献 [2] では、効果的な歩行者ナビゲーション支援のための案内文生成手法として、案内文中に建物や公園といったランドマークとの相対的な位置関係を用いることが提案されている。[2] は、人は視覚により対象間の相対的な位置関係を把握する傾向があり、日本人の提供する案内文を分析するとランドマークと目標物との相対的な位置関係が最も多く用いられることを示している。

以上から、可視ランドマークを用いた屋外歩行者ナビゲーションの実現には、(A) 中間案内地点ノードからのランドマークの可視情報を自動生成できること、(B) その可視情報に基づいて地図の表示とランドマークベースの案内文を提供すること、の 2 つの要素が要求される。ランドマークの可視情報を生成する既存手法には、3 次元的に可視なランドマークの視認性を計算して地図上に視認度の高い建物を表示する手法 [3], [4], 可視と判定した建物を地図上でハイライト表示する手法 [5], 可視情報を利用して歩行者の位置推定を行う手法 [6] などが存在する。屋外歩行者の案内方法に焦点をあてた既存研究には、分かりやすい経路案内の表示や案内文を比較検討する研究 [2], [7], [8] などがある。[3], [4], [5], [6] に代表される手法は (A) を満たすが、効果的な歩行者ナビゲーションの案内文を考慮した手法ではない。また [2], [7] に代表される手法は (B) を満たすが、選択されるランドマークの可視性を考慮していない。実用的なナビゲーションアプリケーションの構築には、(A), (B) を同時に満たす必要がある。

本稿では、迷いにくいナビゲーションの一手法として可視グラフに基づく屋外歩行者ナビゲーションを提案する。提案手法では可視ランドマークに基づいたランドマーク表示と案内文を提供することで (A), (B) 両方を満たすナビゲーションを可能とする。特に都市部で一般道に沿った建物をランドマークとした可視グラフの生成を想定する。まず可視ランドマークに基づく経路案内の迷いにくさを明らかにする。次にナビゲーションの全体構成と可視グラフの生成手法を提案し、実際にアンドロイドアプリケーションとして歩行者ナビゲーションを実装する。最後に、実装した歩行者ナビゲーションを実験地域で適用して効果的なナビゲーションが行えることを確認する。

2. 歩行者ナビゲーションの迷いやすさ

本章では既存の屋外歩行者向けナビゲーションの問題点と、人間の持つ方向感覚の 2 点を明らかにする。迷いやすい人間が持つ特徴を知ること、道迷いの原因を補う理想的なナビゲーションとは何かを考えることができる。

2.1 既存ナビゲーションに指摘される道迷いの原因

文献 [9], [10], [11], [12] によれば、経路案内における迷いやすさの原因は、以下の 2 点に集約される：

原因 1 GPS の測位誤差により、経路中の分岐点を間違える可能性がある

原因 2 正しい経路を歩いているか歩行者が不安を感じる

原因 1 について、都市部での GPS 電波の受信状況の悪さなどから、あらゆる地点で 100% の精度で自位置を特定するのは不可能であり数～数十メートルの測位誤差が発生する [13]。多くの既存の屋外ナビゲーションでは GPS を利用した測位を行っているが、マップマッチングを施し正しい自位置を知ることが重要である。迷いやすい人に対して測定誤差のあるナビゲーションを行うと、自分の位置や進むべき方向を補正できず、道迷いが発生すると考えられる。原因 2 について、正しい経路を歩いているかの不安は、ナビゲーション中の案内の視覚的情報がデフォルメ化された地図や俯瞰地図であるため、実際見える風景と齟齬が発生するところにある。

2.2 方向感覚と道迷い

方向感覚とは目的地にたどり着くための能力であり、特に重要な能力は、

- ランドマークを覚える能力
- 空間関係を把握する能力
- 様々な一般的知識を利用した問題解決能力
- 認知的活動を把握する能力

であると考えられている [14]。

屋外歩行者ナビゲーションにおいては特に、ランドマークを覚える能力と空間関係を把握する能力が迷いにくさに直結すると考えられる。方向感覚の良い人は道の形状や道幅などの全体的特徴と、曲がり角にあるランドマークをよく覚える傾向にある。一方、方向感覚の悪い人は団地の棟番号のような印象に残りにくい目印や見た風景をそのまま覚える傾向にある [15]。

方向感覚の観点から、迷いにくい人は特に曲がり角のランドマークを覚えることで認知地図が正しく作られ、一般的知識や認知的活動によって自分が正しい道を進んでいるか確認しながら歩行できる人だといえる。

2.3 可視グラフの持つ迷いにくさ

ランドマークベースな経路案内は、従来のメトリクスベースな案内からセマンティックな案内へ改良することが可能である [2], [7]。セマンティックな案内とは例えば「直進し、劇場を通り過ぎ、交差点まで歩いてください」という案内方法であり、ランドマーク情報を利用することで可能になる案内である。GPS の測定誤差による距離の計算や地図上への自位置表示のずれに強く、視認性の高いランドマークを選択できれば迷いにくい案内文になる。

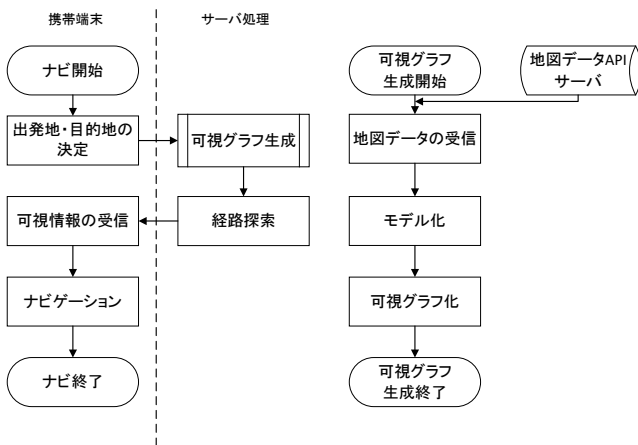


図 1 ナビゲーションの全体構成フロー。
Fig. 1 Flowchart of the navigation.

2.1 節で述べた 2 つの道迷いの原因からは、測位位置の誤差に影響されない分岐点の指示と、歩行中の経路を確認できる経路案内が求められることが分かった。2.2 節からは、特に曲がり角のランドマークを表示し、歩行者の認知地図作成の助けになる経路案内が求められることが分かった。以上から、迷いにくい屋外歩行者ナビゲーションに求められる要素は、(1) 細かな測位位置誤差に影響されずに正しい曲がり角の案内文を表示すること、(2) 正しい経路を歩いているかが確認でき不安を覚えないこと、(3) 自分が歩行中の経路を空間的に認知しやすいこと、に集約される。可視ランドマークに基づく経路案内は、対応してそれぞれ以下の特徴を持つことで迷いにくい案内を実現できる。

- (1) 歩行者に具体的なランドマークを用いて右左折するポイントを指定できる
- (2) 直線歩行中でも可視ランドマークを確認することで歩行中の経路の正しさを確認できる
- (3) 地図上で可視ランドマークを選択・表示し、その見える相対的な方向を用いた案内文を生成できる

3. 可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーション

可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーションの全体構成を図 1 に示す。可視グラフの生成は 4.1 節で示すように端末上では実行時間が長く実用性に欠くため、サーバ処理を行う。可視グラフの生成には障害物情報と可視枝の終始点の作成が必要である。建物などの障害物をオブジェクト、可視枝を引く点をノードと呼ぶ。地図データからオブジェクトとノードを作成する過程をモデル化と呼ぶ。モデルから可視グラフを生成する過程を可視グラフ化と呼ぶ。モデル化は 3.1 節、可視グラフ化は 3.2 節で提案する。ナビゲーションの流れは以下となる。

- (1) 出発地・目的地をユーザーが端末上で決定する
- (2) サーバが地図データの要求領域を決定する

表 1 レイヤの種類。

Table 1 Layer types.

ポリゴンデータ	公官庁施設、公官庁建物、教育施設、学校、病院、レジャー、交通、宿泊建物、商業建物、目標建物、その他目標物、一般建物、駅舎、駅建物
文字データ	公官庁名称、教育施設名称、厚生施設名称、文化施設名称、レジャー施設名称、交通施設名称、宿泊施設名、商業施設名称、宗教施設名、ファーストフード、ファミリーレストラン、食事、コンビニ、ガソリンスタンド、駐車場、銀行、その他施設名称

- (3) サーバが建物データ・地図データを受信し解析する
- (4) サーバが必要領域内で可視グラフを生成する
- (5) 端末がサーバから受け取った可視ランドマーク情報を基にナビゲーションを行う

3.1 モデル化

モデル化には建物データ・歩行者ネットワークデータの 2 種類の地図データを用いる。建物データのうち可視グラフ生成に必要なのはオブジェクトの外周をなぞったポリゴンデータと、緯度経度に紐付けられた施設名称の文字データである。データは種類別にレイヤとして管理されており、抽出対象とする地図データのレイヤを表 1 に示す。建物データには高さ情報も含まれている。歩行者ネットワークデータからは一般道・横断歩道・駅構内通路などが種類・階層情報と共に与えられ、地上 1 階の階層に含まれるネットワークデータをすべて歩行可能な経路として扱う。

3.1.1 モデル化範囲の決定

可視グラフを生成する地図の範囲は、ユーザーが決定した目的地・出発地を基に決定する。目的地・出発地の二点を端点とした長方形の範囲を含む地図データを解析する。

3.1.2 オブジェクトの作成と視認対象点の設定

地図データから生成されたオブジェクトは、カテゴリ・高さ・外周をなす座標列で構成されるオブジェクトクラスで表現される。座標列はプログラム内においてデータを扱いやすくするため、モデル化領域の左上を原点として緯度・経度の差をとって 100 万倍し整数値にキャストした正規化座標として扱う。地図データから得られた座標列のままでは建物の角にしかノードを持たず、可視枝を引くための対象ノードをオブジェクトのどこにするかが問題となる。理想的にはファサード^{*2}、広告、看板、特徴的な色といった点を対象ノードとしたいがデータとして取得するのは難しい。そこでオブジェクトを構成する外周の各線分の中心に新しくノードを作成する。建物の隙間を向いた面にできたノードなどへ可視枝が引かれる可能性を排除するために、オブジェクトの辺のうち道路に面している辺を選択し視認対象点を作成する。道路に面しているかを判断するには、

^{*2} 建物の特徴的な外観やそのデザイン、建物正面全体のことをファサードという。

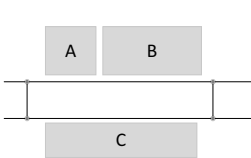


図 2 元のネットワークデータ。

Fig. 2 Original network data.

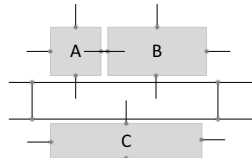


図 3 道路に面した外周線の判定。

Fig. 3 How to detect lines facing streets.

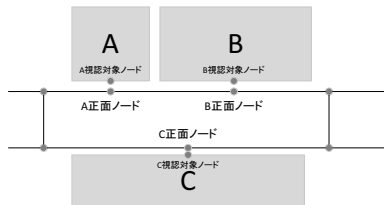


図 4 視認対象ノードと中間案内地点ノードの設定。

Fig. 4 Visible nodes of objects and modified network data.

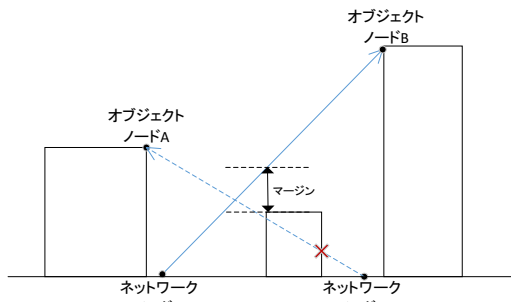


図 5 高さを考慮した可視枝の基本概念。

Fig. 5 Visibility graph considering buildings' height.

図 2 を地図データから生成したオブジェクトとネットワークデータとして図 3 のように視認対象の候補点から線分を正面へ伸ばす。線分は細い道路が一本の線分で表現されても十分に中心へ届くように約 5m とした。線分が他のポリゴンと交差せず歩行者ネットワークと交差している場合に道路に面していると判断する。図 4 中に作成された視認対象ノードを示す。

3.1.3 歩行者ネットワークノードの設定

地図データから得られる地上の歩行者ネットワークノードは図 2 のように主に交差点などのみに存在する。ナビゲーション中ではネットワークノード単位で経路案内するため、長い道路沿いの直線などで案内を切り替えるタイミングが不足する。そこで 3.1.2 項で作成した建物正面方向への線分と道路ノードとの交点を、各建物前のノードとしてネットワークノードに追加する。ネットワークノード追加後の様子を図 4 に示す。

3.2 可視グラフ化

可視グラフ化では 3.1 節で作成したモデルから可視グラフを生成する。3.2.1 項で議論する始点と終点をつなぐ線分がオブジェクト群と交差していないとき可視枝となる。

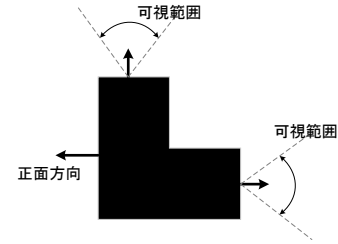


図 6 角度制約の概念。

Fig. 6 Viewing angle constraint.

オブジェクトの実体はその外周をなす線分の集合であるから、可視グラフ化の根幹は線分同士の交差判定にある。

3.2.1 可視枝の始点と終点

可視枝の始点は図 4 で表されるネットワークノード位置で、高さ 0m とする。可視枝の終点は、3.1.2 項でオブジェクトクラスに設定した視認対象点のノード位置とする。終点の高さはオブジェクトの高さとする。地図データに含まれる高さ情報は通常階数で表現されている。建築物により 1 階あたりの高さは異なるが、ここでは簡単のため 1 階あたり 4m とし扱うことにする。

3.2.2 高さを考慮した可視枝の生成

生成される可視枝の例を図 5 に示す。図 5 でネットワークノード A を始点、オブジェクトノード B を終点とした線分は可視枝として生成される。建物と可視枝との高さの差がゼロに近く、屋上をかすめるようにして上を通っていても可視と判定されるが、実際の風景を考えると対象の建物は屋上的一部分しか見えないことになるため図 5 に示すように可視枝とオブジェクトとの間のマージンを適切に保つことで可視性を保証する。手前と奥の建物が隣接している状況を考えて、マージンは奥の建物の可視部分の高さに相当するため、建物の高さにマージンを比例させたい。そこで可視対象の建物の周囲にはその建物の約 2/3 の高さまでの障害物が許容できると仮定し、マージンを各オブジェクトの高さの半分とした。

3.2.3 可視枝生成の制約

可視グラフは、歩行経路上に立つ人間が案内指示中にある視認対象を建物群の中から一意に特定することを目的としており、その生成にいくつかの制約を設定する。

1 つ目は距離による制約である。直線的な道路に面したノード間ではキロメートル単位の距離をもった可視枝が生成される可能性があり、可視グラフには不適である。実装した屋外歩行者ナビゲーション中では可視枝の長さを平面上で約 20m までとした。

2 つ目は可視枝とオブジェクトの面とがなす角度による制約である。近くにある建物でも文字主体の看板や特徴が小さければ、斜めからでは視認が難しく可視といえない。視認性を考慮して道路に垂直な方向に看板を表示している建物も多いが、看板の情報は地図データからは得られない。角度制約は面の代表ノードの正面方向から左右に一定の角

表 2 可視グラフの統計データ

全ネットワークノード数	4090
地上ネットワークノード数	3922
ノード追加後ネットワークノード数	4924
建物ポリゴン数	1163
建物データノード数	12241
全可視枝数	2071
実行時間	3165ms

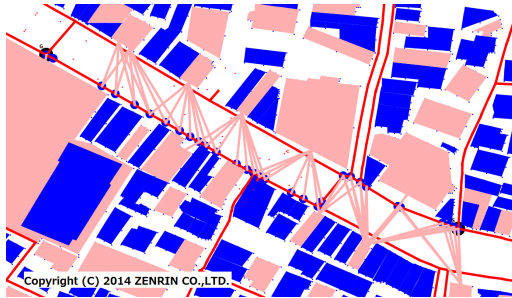


図 7 可視グラフの生成例.

Fig. 7 Example of visibility graphs.

度を可視範囲角度と考へ、可視範囲角度内から引かれた線分を可視枝とする。角度制約の考え方を図 6 に示す。実装したナビゲーションアプリケーション中では可視範囲角度の大きさを面の正面方向から左右に 45 度ずつとした。

3.2.4 可視枝生成アルゴリズム

可視枝生成アルゴリズムを以下にまとめる。

Step1 可視枝の候補として、ネットワークノードから始点 S を、オブジェクトの視認対象ノードから終点 D をそれぞれ 1 つ選出し、線分 SD で結ぶ。

Step2 線分 SD の長さ・線分 SD とノード D の存在するオブジェクトの外周線分がなす角度を計算し制約条件を満たすか確認する。満足していれば Step3 へ、満足していなければ Step4 へ。

Step3 線分 SD と全オブジェクトの外周線分の交差判定を行い、交差していなければ可視枝として生成する。

Step4 可視枝の候補がなくなるまで Step1～Step3 を繰り返す。

3.2.5 経路探索

案内経路は歩行者ネットワークに沿って行い、ノードごとに可視情報を歩行者へ伝える。案内経路の生成のための経路探索には距離をコストとした最小コスト探索により歩行者ネットワークを経路探索する。端末で設定された経路の出発地、目的地にそれぞれ最も近いネットワークノードを出発ノード、目的地ノードとして経路探索する。

3.2.6 可視グラフ生成例

可視グラフ化を Java 言語で記述し、生成した可視グラフを swing パッケージを用いて表示した。図 7 に東京都新宿区高田馬場周辺で約 500m 四方の領域で可視グラフを自動生成した例を示す。始点・終点ノードを適当に定めて経路探索を行い、経路上からの可視枝のみを表示してい

る。ノード数などの情報を表 2 にまとめて示す。実行時間とは、地図データを取得するのにかかるネットワーク通信時間を除いた可視グラフ生成の所要時間を指し 10 回実行した平均をとった。実行した PC 環境は Intel (R) Core (TM) i7-3520M CPU @ 2.90GHz である。

赤線が道路を表し、探索された中間案内地点ノードを黒い点で示してある。名前の付いた建物のみを可視枝を引く対象とし、桃色で表示されている。青色は名前情報のついていない建物である。各ネットワーク上の点からの可視枝が桃色で表示されている。実行の結果、設定した始点から終点まで正しく最短経路が探索され、各ネットワークノードからはオブジェクトに対しての可視枝を表示できた。同時に、オブジェクトのポリゴンとその名称や高さが正しく結び付けて生成されていることを確認でき、その方向を計算することが出来た。可視グラフ生成にかかった時間はおよそ 3 秒と実用性のある結果となった。

4. 可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーションの実装

可視グラフを用いた屋外歩行者ナビゲーションを Android 上に実装した。開発には Eclipse を用い、JSON データの解析には Jackson JSON Processor [16] を用いる。地図の表示には Google Maps Android v2 [17] を用いる。出発地・目的地は 3.2.6 項と同じく高田馬場周辺に設定した。

4.1 実行時間の計測

可視グラフ作成部をサーバ処理する場合と端末単体で実行する場合との実行時間比較のため、3.2.6 項で実行した可視グラフ生成部を Android アプリケーションとして Nexus 7 (2013) (OS : Android 4.3, メモリ : 16GB, CPU : Qualcomm Snapdragon S4 Pro 1.5 GHz) 上に実装した。

Nexus 7 上で 3.2.6 項と同じ領域に対して可視グラフ生成メソッドを実行した結果、通信時間を除く実行時間は約 90 秒となった。地図アプリケーションとして実用性に欠けるため図 1 に示すように可視グラフ生成はサーバ上で行い、端末へ可視情報を送信することとした。

4.2 可視情報の提示と案内

アプリケーションを起動し、出発地・目的地を決定すると可視ランドマークを表示すると案内文が生成され、地図とともに表示される。案内文は現在地、可視ランドマーク情報、進行方向、次のノードの案内の 4 つから構成される。現在地は、建物正面のノードならば建物の名前を「～前」として表示する。可視ランドマーク情報の方向は、現在位置を中心として前方（正面を 0 度として左右 45 度ずつ）・左・右（それぞれ 45 度から 110 度）・後方のいずれかに分類した。進行方向も同様に、直進・左折・右折・U ターンのいずれかに分類した。進行方向または横断歩道の場合に



図 8 正面の建物の表示.

Fig. 8 When buildings are in front of nodes.

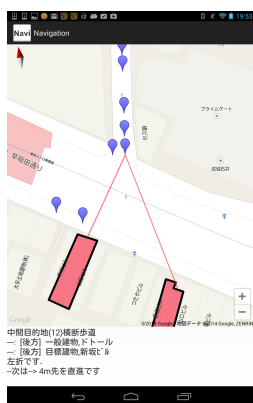


図 9 可視ランドマークの表示.

Fig. 9 When buildings are visible from nodes.

あわせて左欄にアイコン画像を表示する。

地図画面では、各中間案内地点上に設置してあるマーカーをタップすると、目的地が画面上方向に位置するように回転し、正面に位置する建物を緑色で、可視ランドマークを赤色で表示する。次のノードまでの通常経路は赤色、横断歩道の場合は黒色の矢印で表示される。図 8 に正面の建物が表示される例を示す。前後 1 つずつのノードまで、建物正面ノードの場合はその建物をポリゴン表示する。歩行者は緑色で示された建物の横を通り過ぎるような経路を選択すればよいことが分かる。図 9 に可視ランドマークが表示される例を示す。案内中のランドマークの向きと実際に見える風景を合わせることで歩行者は絶対的な方向を意識せず相対的に進行方向を掴むことができる。分岐点では、右左折後の進行方向に対するランドマークの向きと、右左折後の経路上から見えるランドマーク情報を組み合わせて確認することで歩行者が正しい経路を選択できる。

実験の結果、地図データから短時間でランドマークの向きや名前を含めた可視情報を使った案内文を実機上で表示し、ランドマークベースのナビゲーションを実現できた。

5. おわりに

本稿では可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーションの生成方法とその実行例を示した。可視グラフを用いた経路案内文はランドマークベースな案内となるため GPS 測位精度に影響を受けにくく、ランドマークの視認状況を確認できることで正しい歩行経路を歩いているかという不安の解消につながる。ランドマークの見える方向を使うと進行方向を相対的な方向の指示にすることも可能となる。可視グラフ生成には可視枝の制約として距離、角度などが考えられるが制約値の最適値の決定が課題である。可視枝の制約・経路探索への可視情報の利用・案内の改良も課題である。可視枝を人間が実際に可視だと感じられるものに近づけることを念頭に可視グラフ生成アルゴリズムを改良することも今後の課題の 1 つである。

謝辞 本研究を進めるにあたり貴重な議論及びデータを提供いただいた川上佳也氏をはじめとする株式会社ゼンリンデータコムみなさま、ならびに株式会社ゼンリンのみなさまに感謝いたします。

参考文献

- [1] 間邊哲也, 長谷川孝明: 分類学の観点からみた歩行者ナビゲーションシステムの研究トレンド, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 34, No. 6, pp. 159-164 (2010).
- [2] 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, No. 11 (1999).
- [3] Delikostidis, I., Engel, J., Retsios, B., van Elzakker, C. P., Kraak, M.-J. and Dollner, J.: Increasing the Usability of Pedestrian Navigation Interfaces by means of Landmark Visibility Analysis, *Journal of Navigation*, Vol. 66, No. 4, pp. 523-537 (2013).
- [4] Ganitseva, J. and Coors, V.: Automatic landmark detection for 3D urban models, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (2010).
- [5] Kallioniemi, P. and Turunen, M.: Model for landmark highlighting in mobile web services, *MUM '12 Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (2012).
- [6] 多賀大泰, 高橋直久: ランドマークの視認状況に基づく歩行者の位置特定システム, 日本データベース学会 letters, Vol. 5, No. 1, pp. 93-96 (2006).
- [7] Huang, H., Schmidt, M. and Gartner, G.: Spatial Knowledge Acquisition in the Context of GPS-Based Pedestrian Navigation, *Maps for the Future* (Zentai, L. and Nunez, J. R., eds.), Springer Berlin Heidelberg, pp. 127-137 (2012).
- [8] 嶋津裕己: 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, 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学 (2009).
- [9] 三ツ木美恵子, 宇野宏司, 宗方 淳, 平手小太郎, 安岡正人: 心理変化に注目した経路探索プロセスに関する研究: 「不安度」を指標とした心理変化シークエンス, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 583, pp. 49-56 (2004).
- [10] 楯利哲也, 松下大輔, 宗本順三: 携帯電話歩行者ナビゲーションシステムによる経路探索行動の不安度の変化, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 608, pp. 59-64 (2006).
- [11] Furukawa, H. and Uto, H.: A Quantitative Evaluation Method of Landmark Effectiveness for Pedestrian Navigation, *Proceedings of the 2012 UKSim 14th International Conference on Modelling and Simulation*, IEEE, pp. 265-270 (2012).
- [12] Furukawa, H. and Uto, H.: A Pedestrian Navigation Method for User's Safe and Easy Wayfinding, *Human-Computer Interaction. Users and Contexts of Use* (Kurosu, M., ed.), Springer Berlin Heidelberg, pp. 155-165 (2013).
- [13] 厳 網林: GIS の原理と応用, 日科技連出版社, 4 edition (2005).
- [14] 村越 真: 方向オンチの謎がわかる本, 集英社 (2003).
- [15] 新垣紀子: なぜ人は道に迷うのか?: 一度訪れた目的地に再度訪れる場面での認知プロセスの特徴, 認知科学, Vol. 5, No. 4, pp. 108-121 (1998).
- [16] : Jackson JSON Processor, <http://jackson.codehaus.org/>.
- [17] : Google Maps Android v2, <https://developers.google.com/maps/documentation/android/>.