

視角測定に基づく歩行者の位置認識実験システムの実現と評価

石川 健太[†] 高橋 直久[†]

[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

E-mail: [†]kenta@moss.elcom.nitech.ac.jp, ^{††}naohisa@nitech.ac.jp

あらまし 本稿では、視角測定に基づく歩行者の位置認識システムを提案し、その実験システムについて述べる。提案システムは、歩行者から見える建造物などの視角を歩行者が計測した結果を用い、その位置を認識する。提案システムは、次の3つの機能を持つ(1)2次元地図データ及び3次元地図データを用いて、各位置毎に計算された視角を持つ視角マップを生成する。視角マップを用いることにより、位置認識時に必要なデータ量と計算時間を削減することができる(2)視角を計測するため、まず歩行者は建造物を撮影し、撮影した建造物の両端を指定する。システムは、その結果を用いることで歩行者の撮影した建造物の視角を求める。視角の計測には汎用的なカメラを用いるため、視角を計測するための専用ハードウェアを用意する必要がなくなる(3)視角マップと計測した視角から、歩行者のいる位置の候補地を求める。また、提案方式の実験システムを実装し、名古屋市栄南西部で位置認識の実験に適用、提案システムの有効性を示した。

キーワード 歩行者ナビゲーション, ITS, 3次元地図, 時空間DB, 情報検索

An Experimental System for locating a Pedestrian based on Optic Angle Measurements : Implementation and Evaluation

Kenta ISHIKAWA[†] and Naohisa TAKAHASHI[†]

[†] Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering,
Nagoya Institute of Technology

Gokiso, Showa, Nagoya, 466-8555 Japan

E-mail: [†]kenta@moss.elcom.nitech.ac.jp, ^{††}naohisa@nitech.ac.jp

Abstract This paper presents a pedestrian location system based on optic angle measurements. The proposed system recognizes the location of the pedestrian by measuring optic angle of building. The functions of the proposed system are as follows : (1) the proposed system creates an optic angle map that has optic angles calculated by using two-dimensional and three-dimensional map data. Finding the location with an optic map requires less amount of data and calculation time than that with two-dimensional and three-dimensional map data. (2) A pedestrian determines both ends of the building on the picture that he took in order to measure the optic angle. The proposed system calculates the optic angle of the building by using the result. Measuring optic angles does not require any dedicated hardware, but only general purpose camera. (3) The proposed system determines the candidates of the pedestrian location based on the optic angle map and the optic angle measured by the pedestrian. We have implemented the experimental system of the pedestrian location system, and we made experiments location recognition in the Sakae, Nagoya City, and we clarified the effectiveness of the proposed system.

Key words Pedestrian Navigation, ITS, 3D Map, Temporal and Spatial DB, Information Retrieval

1. はじめに

近年、GPS内蔵の携帯電話など携帯端末を利用した歩行者ナビゲーションシステムが普及しつつある。歩行者ナビゲーションシステムは、歩行者の位置を特定した後、その位置を用いて

歩行者の誘導案内を行うという流れで行われる。歩行者の位置特定には、GPSに代表される位置取得センサが用いられている。歩行者の誘導案内には、地図上に経路などを表示する方法が用いられることが多いが、文章や音声による方法が用いられることもある。歩行者にとって分かりやすい誘導案内を行うた

めには、「横断歩道を渡ってから右折してください」といった指示を出すなど、歩道上や交差点上の位置を用いることが重要になる。そのためには、歩行者の位置特定時に、歩行者が歩道の左右のどちらに在るか、交差点のどこに在るか（右折する前か後かなど）の区別ができることが必要となる。しかし、歩行者の位置特定に GPS を用いる場合、次の問題点がある。

問題点 1 GPS の誤差のために、歩道の左右などの区別ができない場合がある。一般的に GPS の誤差は 10 メートル程度であり、また、ビル街では誤差がさらに大きくなる可能性がある。誤差未満の幅の道路では、歩行者が歩道の右側に在るか左側に在るかを区別できない。

問題点 2 区別して誘導案内したい場所でも、それらの場所で歩行者の位置が変わらない場合、GPS では検知できない。例えば、交差点を右折する直前と直後では歩行者の位置はほとんど変わらず、位置だけを得る GPS では区別できない。

これらの問題に対応するため、我々は、歩行者の視認状況から歩行者の位置を求めるシステムの実現を目指している [1]。視認状況とは、歩行者から見える情景から抽出した特徴であり、歩行者とシステムの双方が理解可能である。視認状況の例には、「歩道の反対側の正面に大きなビルが見える」などが挙げられる。そして、歩道の左右や交差点の右折前後など区別して誘導案内したい場所では、それぞれ歩行者の見ている情景が異なるためその視認状況も変わる。したがって、位置特定に視認状況を利用することによって、交差点のどこに在るかなどの区別も可能となり、先に挙げた 2 つの問題点を解決することができる。

視認状況から歩行者の位置を求めるシステムとしては、目印となる建造物（ランドマーク）が見える方向から位置を求めるシステム [2] が提案されている。このシステムでは歩行者から見えるランドマークを位置特定に利用しているが、場所によってはランドマークが見えないあるいは少ないといった問題が生じて、位置を絞りきれない場合がある。そこで、本論文では、視認状況として建造物などの視角（歩行者から見た角度）を用いた、視角測定に基づく歩行者の位置認識（位置特定）システムを提案する。提案システムによる位置認識の流れは、次のようになる。

Step1 位置認識システムは、歩行者に対し、次に計測する視角の場所（計測対象）を提示する。提示される計測対象は、「歩道の反対側の正面に見える建造物の高さの視角」など、歩行者と位置認識システムの双方が容易に理解できる場所である。

Step2 歩行者は、提示された場所の視角を計測する。視角の計測により、歩行者の見える情景から特徴を抽出したため、視認状況ができあがる。この視認状況を、視角による視認状況と呼ぶ。視角による視認状況は、計測対象とその視角から成る。本論文では、視角による視認状況を単に視認状況と呼ぶ。

Step3 位置認識システムは、計測した視角（歩行者の視認状況）から歩行者の位置を導出する。この時、歩行者の位置を 1 箇所に絞れなかった場合、別の計測対象に対して Step1, Step2 を行った後、それまでに計測した全ての視角を用いて歩行者の位置を導出する。

提案システムでは、次の 3 つの機能を実現する。

機能 1 視角マップ生成機能

2 次元地図データ及び 3 次元地図データを用いて、視角マップを生成する。視角マップとは、各位置毎の視認状況を持つデータである。この視角マップを、歩行者が提案システムによる位置認識を行う前にあらかじめ生成しておくことにより、位置認識時に必要なデータ量と計算時間を削減することができる。

機能 2 カメラによる視角計測機能

計測対象となる建造物を歩行者が撮影し、その両端（左端から右端または下端から上端）を歩行者が指定した結果を用い、本機能はその計測対象の視角を求める。視角の計測には汎用的なカメラを用いるため、視角を計測するための専用ハードウェアなしで、歩行者の目測より正確な視角を得ることができる。

機能 3 視角マップを用いた位置導出機能

機能 1 で生成した視角マップ及び機能 2 で計測した 1 つ以上の視角を用いて、視認状況が合致する地点（位置の候補地）の集合を求める。この時、視角の計測などによる誤差が原因で、正しい歩行者の位置が、位置の候補地の集合から外れてしまう状況を防ぐため、本機能は誤差を考慮することができる。具体的には、誤差が原因で視認状況が合致しなくなった可能性のある位置を、位置の候補地の集合から外れないようにする。また、本機能は、歩行者の誘導案内時に区別する必要のない複数の位置の候補地を統合し、一つの位置の候補地とすることも行う。位置を統合することにより位置認識に必要な視角の数を減らすことができ、その結果歩行者が視角を計測する負担を軽減することができる。

本稿の構成は次の通りである。2 章で本研究の位置付けを述べ、3 章で提案システムの実現方式、4 章で実験システムについて述べる。そして、続く 5 章で評価実験、6 章でまとめと今後の課題を示す。

2. 本研究の位置付け

本研究は、視認状況として建造物などの視角を用いて歩行者の位置を求める。本研究と同様に位置特定を行う方法には、GPS [3]、携帯電話や無線 LAN などの電波による位置推定 [4]、RFID による位置特定 [5]、ランドマーク視認マップを用いた位置特定システム [2] がある。それぞれの位置特定手法に対し、その精度、利点、問題点を表 1 に示す。

歩行者ナビゲーションシステムの位置特定手法として GPS などの位置特定技術を用いる場合、表 1 の問題点に加え、1 章で述べた 2 つの問題点がある。提案システムは、歩行者から見える情景を利用することで、この 2 つの問題点を解決することができる。さらに、提案システムの利点として表 1 で挙げている「位置認識に使った建造物を誘導案内に利用可能」とは、「位置認識に使用した建造物が右手に見えるように歩いてください」などの指示を出すなどして地図と情景との対応付けの手間を削減するものである。

しかし、提案システムには、探索範囲（提案システムがあらかじめ分かっている歩行者のいる範囲）が広い場合、歩行者の位置を求めるために多くの視角計測が必要となる問題点がある（表 1 の提案システムの問題点を参照）。もし、提案システムの

表 1 各位置特定技術の性質

位置特定技術	精度	利点	問題点
GPS [3]	10m 程度	ほぼリアルタイムかつ自動的に位置を取得	屋内やビル街など電波が届かない場所では使えない 衛星の捕捉に時間がかかる
電波からの位置推定 [4]	電波発信源の密度による	通信機器以外の機器を必要としない	障害物などにより電波強度が下がるなどして正しい位置が得られないことがある
RFID による位置特定 [5]	タグの種類によるが 1m 程度	屋内での使用が比較的容易	タグやタグリーダを設置する手間やコストがかかる
ランドマーク視認マップによる位置特定 [2]	10 ~ 100m 程度	歩行者の向きも求められる 位置特定に使ったランドマークを誘導案内に利用可能 通信機器以外の機器を必要としない	ランドマークが見えない場所では使えない ランドマークの配置によっては精度が低下 歩行者の手間がかかる
視角測定による位置認識 (提案システム)	1m 程度まで	歩行者の向きも求められる 位置認識に使った建造物を誘導案内に利用可能 通信機器以外の機器を必要としない	歩行者の手間がかかる 探索範囲が広がると計測箇所 (歩行者の手間) が増大

探索範囲を日本全国など非常に広い範囲とし、その範囲から自分の位置を求めようとすると、歩行者は膨大な数の視角を計測しなければならず、非常に大きな手間が必要となる。

そこで、提案システムによる位置認識は、GPS などの位置特定技術を用いて提案システムの探索範囲を狭めた後で行う。探索範囲を狭めることにより視角の計測回数 (歩行者の手間) を減らし、提案システムにより GPS では難しい細かい位置の区別や歩道の区別を実現することができる。

また、提案システムは視角計測の手間がかかり、視角を 1 つ計測するのに 20 秒から 1 分程度必要である。提案システムにおける視角計測は、視角を計測したい建造物の写真を撮って、その建造物の両端を歩行者が指定するという流れで行う。ここで画像認識技術を用いれば、撮影した建造物の写真からそのエッジを検出するなどして建造物の両端をほぼ自動的に求めることができる。これにより、歩行者の手間は、建造物の写真を撮影する手間だけとなるため、歩行者に必要な視角計測の手間が削減されると期待される。

3. 提案システムの実現方式

提案システムは、1 章で述べた 3 つの機能 (視角マップ生成機能、カメラによる視角計測機能、視角マップを用いた位置導出機能) によって成る。図 1 に各機能の関係、及び提案システムによる歩行者の位置認識の流れを示す。本章では、3.1 節で提案システムを構成するデータについて述べ、3.2 節で位置認識の流れを述べる。そして、3.3 節以降では、1 章で述べた 3 つの機能についてそれぞれ実現方式を述べる。

3.1 提案システムを構成するデータ

本節では、視認状況 V 、許容誤差 C 、地図データ、セグメント、視角マップ、統合円半径 r 、探索範囲 R についてそれぞれ述べる。

3.1.1 視認状況 V

提案システムは、歩行者の視認状況を用いて歩行者の位置を認識する。本論文では視認状況を歩行者から見える建造物の視角を用いて表す。具体的には、次の式によって表す。

$$V = \{(T_i, [a_{i_{min}}, a_{i_{max}}]), (T_j, [a_{j_{min}}, a_{j_{max}}]), \dots\}$$

ここで、 T_i は視角を計測する場所 (計測対象) であり、歩行者

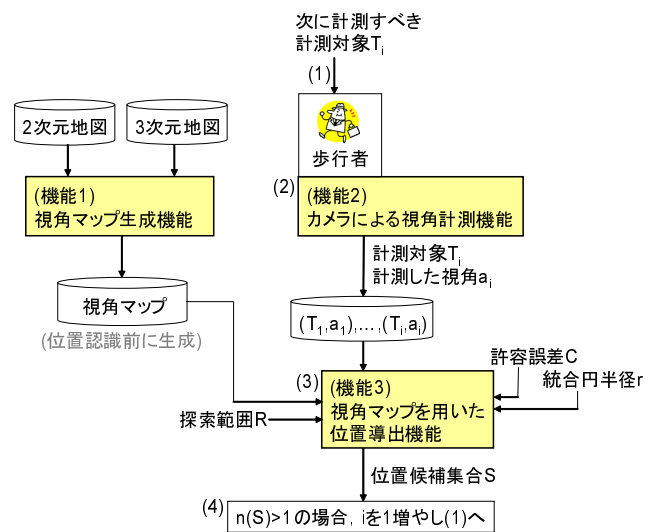


図 1 提案システムの概要

とシステムの双方が容易に理解できる場所である。本論文では、表 2 に示す 6 つの計測対象を用いる。また、 $[a_{i_{min}}, a_{i_{max}}]$ は、計測対象 T_i を計測した視角 a_i の取りうる範囲である。視角を範囲で表しているのは、視角の測定値 a_i の取りうる値が、誤差によって広がった場合に対応するためである。

例えば、歩道の反対側の正面に見える建造物の下端と上端との間の視角が 36 度ちょうど、同建造物の左端と右端との間の視角が 26 度から 30 度のいずれかである場合、視認状況 V は、 $V = \{(T_1, [36 \text{ 度}, 36 \text{ 度}]), (T_2, [26 \text{ 度}, 30 \text{ 度}])\}$ と表される。

3.1.2 許容誤差 C

計測した視角に誤差を含む場合でも、その誤差が許容誤差 C 以下ならば、システムは間違った位置を認識しない。本論文では、許容誤差 C を最大許容誤差 C_{max} を用いて表す。ここで、誤差を含まない正確な視角を a_{i_0} とすると、計測した視角が $a_{i_0} - C_{max}$ 以上 $a_{i_0} + C_{max}$ 以下ならば、システムは間違った位置を認識しないこととなる。

3.1.3 地図データ

提案システムは、2 次元地図データと 3 次元地図データの両方を用いて、視角マップを生成する。視角マップ生成機能 (機能 1) に使用するデータを表 3、表 4 に挙げる。

表 2 本論文で用いる計測対象

計測対象 T_1	歩道の反対側の正面に見える建造物の 下端と上端との間の視角
計測対象 T_2	歩道の反対側の正面に見える建造物の 左端と右端との間の視角
計測対象 T_3	歩道の反対側の正面に見える建造物の 右隣にある建造物の下端と上端との間の視角
計測対象 T_4	歩道の反対側に見える建造物のうち、 左隣にある建造物の下端と上端との間の視角
計測対象 T_5	歩道の反対側に見える建造物のうち、 右隣にある建造物の左端と右端との間の視角
計測対象 T_6	歩道の反対側に見える建造物のうち、 左隣にある建造物の左端と右端との間の視角

表 3 視角マップ生成機能に必要な 2 次元地図データ

必要なデータ	備考
各道路を構成する点の集合	1 本の道路は、 2 つ以上の点を線で結ぶことで表現
各点の座標	点を構成する x 座標, y 座標
各道路の幅	1 本の道路に対する幅

表 4 視角マップ生成機能に必要な 3 次元地図データ

必要なデータ	備考
各建造物を構成する面の集合	1 つの建造物は、 複数の面を貼り合わせることで表現
各面を構成する点の集合	1 つの面は、 複数の点を結ぶことで表現
点の座標	点を構成する x 座標, y 座標, z 座標

3.1.4 セグメント

セグメントとは、視認状況が変わる場所で一本の歩道を区切った線分である。提案システムにおいて位置の候補地はセグメントで表現される。そして、視角マップを用いた位置導出機能（機能 3）によってセグメントを 1 つに絞り込めば、歩行者の位置を認識したこととなる。

3.1.5 視角マップ

視角マップは、視角マトリクスとセグメント定義表から成る。視角マトリクスは、表 5 の例に示すように、歩道上の各位置（セグメント）毎に計算された視認状況 V を格納したデータである。ここで、視角マトリクスに格納される視角は量子化されている。量子化によりセグメント数が減り、その結果視角マトリクスのデータ量を減らすことができる。表 5 の例では、1 度を区切りに量子化している。また、セグメント定義表は、セグメントの位置と、セグメントがある歩道の識別子（歩道 ID）が格納されているデータである。

3.1.6 統合円半径 r

位置認識に必要な視角の計測回数を減らすため、視角マップを用いた位置導出機能（機能 3）において、近接しているセグメントを一つのまとまりに統合する。その時、セグメントが近接しているかどうかを判定するために統合円半径 r を用いる。具体的には、ある歩道上において、その歩道上のセグメント s_i から距離 r 以内に含まれている全てのセグメントを s_i に近接しているセグメントとする。

表 5 視角マトリクスの例

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
セグメント s_1	43 度	40 度	44 度	32 度	49 度	8 度
セグメント s_2	43 度	40 度	45 度	32 度	49 度	8 度
セグメント s_3	44 度	40 度	45 度	32 度	49 度	8 度
セグメント s_4	44 度	41 度	45 度	32 度	49 度	8 度
セグメント s_5	45 度	41 度	45 度	32 度	50 度	8 度
セグメント s_6	45 度	50 度	34 度	45 度	16 度	41 度
セグメント s_7	45 度	51 度	34 度	45 度	16 度	41 度

3.1.7 探索範囲 R

提案システムは、探索範囲 R から歩行者の位置を求める。この時、探索範囲 R が世界全体、日本全体のように非常に広い範囲である場合、歩行者の位置を求めるまでに必要な視角の計測回数が膨大になってしまうため、この探索範囲 R は他の位置特定技術などによりある程度狭められる必要がある。

3.2 提案システムによる位置認識の流れ

図 1 にしたがって提案システムによる位置認識の流れを示す。なお、視角マップは位置認識前に生成されているものとする。

(1) 提案システムは、次に計測すべき計測対象 T_i を歩行者に提示する。この時、 i の初期値は 1 である。

(2) 歩行者は、カメラによる視角計測機能（機能 2）を用いて計測対象 T_i の視角 a_i を求める。

(3) 提案システムは、視角マップを用いた位置導出機能（機能 3）によって、位置候補集合（歩行者のいる可能性のあるセグメントの集合） S を求める。この時視認状況 V は、許容誤差 C を考慮し、 $V = \{(T_1, [a_1 - C_{max}, a_1 + C_{max}]), \dots, (T_i, [a_i - C_{max}, a_i + C_{max}])\}$ となる。さらに、集合 S に格納する直前に、ある歩道上のセグメント s_i から距離 r 以内に含まれている同歩道上の全てのセグメントを s_i と統合して一つのセグメントとする。

(4) 位置候補集合 S の要素数（セグメントの数）が 1 の場合、 S に含まれるセグメントが歩行者の位置となり位置認識は終了する。 S の要素数が 2 以上の場合、 i の値を 1 増やして (1) へ戻る。

3.3 視角マップ生成機能（機能 1）

本節では、視角マップの生成手法を述べる。視角マップは視角マトリクスとセグメント定義表から成り、次の手順によって視角マトリクスとセグメント定義表の生成を行う。

Step1 2 次元地図データを用いて歩道の位置を求める。

Step2 Step1 で求めた各歩道に対して、視角の計測に必要な建造物を 3 次元地図データ上の建造物から選択する。

Step3 歩道上の各位置に対して、視角の計測に必要な建造物を Step2 で求めた建造物の中から選択する。

Step4 Step3 の位置、建造物から、各計測対象の視角を計算する。

Step5 Step4 で求めた各計測対象の視角、及びその位置を、視角マトリクスとセグメント定義表に格納する。

上記の手順の詳細は文献 [1] を参照されたい。

3.4 カメラによる視角計測機能（機能 2）

計測対象 T_i の視角 a_i を計測するため、まず歩行者は計測対

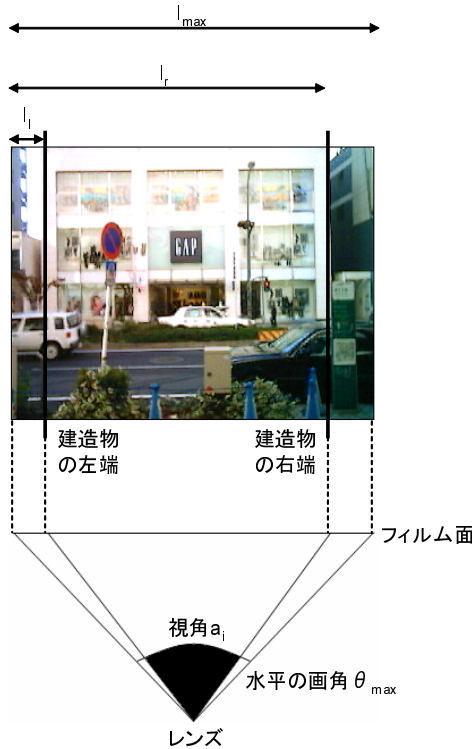


図2 撮影した建造物の両端の位置 l_l , l_r と視角 a_i の関係

対象 T_i の建造物を撮影し、撮影した画像上において建造物の両端（左端から右端または下端から上端）を指定する．本機能は、その結果を用いて計測対象 T_i の視角 a_i を求める．本節では、視角 a_i を導出する手法を述べる．

最初に、歩行者は、計測対象 T_i の建造物を撮影し、図2上部に示すような写真の画像を得る．続いて、歩行者は、画像上の建造物の両端（ここでは図2のように左端から右端とする）を指定する．これにより、画像の左端から建造物の左端までの長さ l_l と、画像の左端から建造物の右端までの長さ l_r を得る．また、図2において、 l_{max} は画像の左端から画像の右端までの長さである．

長さ l_l と l_r を得た後、本機能は視角 a_i を計算する．視角 a_i の計算のため、撮影した写真の画像が、左端から右端までの長さ l_{max} のフィルムにプリントされているものとする．ここで、このプリントされた写真を再びカメラで撮影（再撮影）する．この再撮影時には、プリントされた写真と同じ画像が得られるように撮影する位置を調節する．ただし、再撮影時に使用するカメラは、最初に建造物を撮影した時と同じカメラ（ズーム設定なども同様）でなければならない．図2下部は、この再撮影のレンズとフィルムの位置関係を上部から見た図である．この再撮影では、最初に撮影した建造物の写真の画像と同じ画像を持つ写真が得られる．ここで、視角とは歩行者が見た建造物などの角度であるため、建造物がまったく同じように見えていれば、その視角も等しい．そのため、建造物を直接撮影した写真と、フィルムを再撮影した写真が同じであることより、歩行者が建造物を直接見た時の視角と、フィルムにプリントされた建造物を見た時の視角は等しいと言える．したがって、視角 a_i は、最初に建造物を撮影した時のレンズや建造物の位置関係を

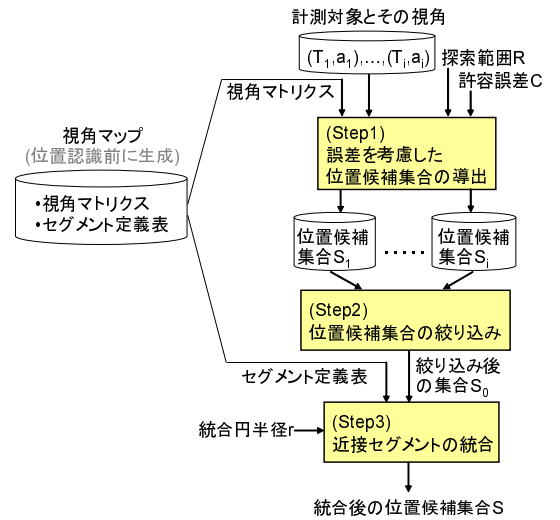


図3 位置候補導出機能（機能3）の概要

を用いず、再撮影時のレンズとフィルムの位置関係を用いて計算すればよい．すなわち、視角 a_i は、図2下部の黒色部分で示した角度に等しい．長さ l_l , l_r , l_{max} 、及び画角 θ_{max} を用いると、視角 a_i は次の式で計算できる．

$$a_i = \tan^{-1}\left(\frac{l_{max} - 2l_l}{l_{max}} \tan \frac{\theta_{max}}{2}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{2l_r - l_{max}}{l_{max}} \tan \frac{\theta_{max}}{2}\right)$$

ただし、画角 θ_{max} は、一度の撮影で写せる左端から右端までの角度であり、この角度はカメラの焦点距離などから求めることが可能である．

3.5 視角マップを用いた位置導出機能（機能3）

本節では、視角マップと計測した視角から位置を導出する手法を述べる．本機能では、次の手順によって位置導出を行う．
Step1 計測対象 T_1, \dots, T_i それぞれに対し、その視角 a_1, \dots, a_i 、探索範囲 R 、許容誤差 C 、視角マトリクスから、位置候補（セグメント）の集合 S_1, \dots, S_i を求める．
Step2 位置候補集合 S_1, \dots, S_i を絞り込み、絞り込み後の集合 S_0 を求める．
Step3 絞り込み後の集合 S_0 と統合円半径 r とセグメント定義表から、近接したセグメントを統合し、統合後の集合 S を求める．

本機能の概要を図3に示す．次に、上記の各手順の詳細を述べる．

3.5.1 位置候補集合の導出（Step1）

本機能によって、計測対象 T_i を計測した視角 a_i から、歩行者の位置候補集合 S_i を求める．本機能は、視認状況 V_i 導出部と位置候補集合 S_i 導出部から成る．ここで視認状況 V_i は、1つの視角 a_i のみによる視認状況である．

視認状況 V_i 導出部

計測視角 a_i と許容誤差 C から視認状況 V_i を求める．最大許容誤差 C_{max} を用いると、 V_i は次の式で表される．

$$V_i = \{(T_i, [a_i - C_{max}, a_i + C_{max}])\}$$

例えば、視認状況 T_1 の計測視角 a_1 が45度、最大許容誤差 C_{max} が1度の場合、視認状況は $V_1 = \{(T_1, [44度, 46度])\}$ となる．

位置候補集合 S_i 導出部

視認状況 V_i から位置候補集合 S_i を求める．視角マトリクスを参照し，探索範囲 R 内にあるセグメントのうち，計測対象 T_i の視角 $[a_{i_{min}}, a_{i_{max}}]$ の範囲に含まれるセグメント全てが位置候補集合 S_i に含まれる．

例えば，表 5 の 7 つのセグメントを持つ視角マップ（ただし全てのセグメントが探索範囲 R 内に存在）において，視認状況が $V_1 = \{(T_1, [44 \text{ 度}, 46 \text{ 度}])\}$ であった場合，その位置候補集合 S_1 を求めると， a_1 が 44 度以上 46 度以下となるセグメントの集合，すなわち $\{s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$ となる．

3.5.2 位置候補集合の絞り込み (Step2)

本機能は，位置候補集合の導出 (Step1) から求められた複数の位置候補集合を絞り込む．具体的には，複数の位置候補集合の積集合を取る．

例えば，視角 a_1 による位置候補集合 S_1 が $\{s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$ ，視角 a_2 による位置候補集合 S_2 が $\{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\}$ であった場合，絞り込まれる位置候補集合は，その積を取った $\{s_3, s_4, s_5\}$ となる．

3.5.3 近接セグメントの統合 (Step3)

本機能は，同じ識別子を持つ歩道上において，あるセグメント s_i から統合円半径 r 以内に存在するすべてのセグメントを 1 つのセグメントとして統合する．統合前の位置候補集合を S_0 ，統合後の位置候補集合 S とすると，以下の流れで S を求める．

Step3.1 S_0 に含まれる全てのセグメントに対し，セグメント s_i と同じ歩道の識別子を持つセグメントの集合 S_{0_i} を求める．ただし集合 S_{0_i} にはセグメント s_i は含まれない．

Step3.2 S_{0_i} のセグメントから，セグメント s_i から距離 r より離れた位置に存在するセグメントを除外する．

Step3.3 S_0 に含まれる全てのセグメント s_i に対し Step3.1，Step3.2 を行い，全ての S_{0_i} に対し最も要素数が多い集合 S_{max} を求める．

Step3.4 S_{max} の要素数が 0（これ以上統合ができない状態）の場合 Step3.6 へ進む．1 以上の場合 Step3.5 へ進む．

Step3.5 S_{max} に含まれているセグメントを S_0 から差し引き，Step3.1 に戻る．

Step3.6 統合後の位置候補集合 S は，この時点での集合 S_0 となる．

4. 実験システム

3 章の提案方式に基づく実験システムを作成した．本章では，この実験システムについて述べる．実験システムを構築するデータや携帯端末についてそれぞれ 4.1 節，4.2 節で述べ，実験システムで実装した 2 つの機能についてそれぞれ 4.3 節，4.4 節で述べる．

4.1 実験システムに使用したデータ

実験システムに用いた 2 次元地図，3 次元地図，許容誤差 C ，統合円半径 r ，探索範囲 R （それぞれのデータの意味は 3.1 節及び図 1 を参照）について，表 6 に示す．実験システムは，名古屋市栄南西部を実験対象として実装した．

表 6 実験システムに使用したデータ

データ名	内容
2 次元地図	昭文社の MDX 形式ファイル [6] (名古屋市栄周辺)
3 次元地図	MAPCUBE の OBJ 形式ファイル [7] (名古屋市栄南西部)
許容誤差 C	最大許容誤差 C_{max} は 5 度
統合円半径 r	15m
探索範囲 R	実験項目によって 30m 四方から 600m 四方まで変化（詳細は実験の方法で述べる）



図 4 実験システムで用いた歩行者用携帯端末

4.2 実験システムに使用した携帯端末

歩行者が視角を計測するための携帯端末として，図 4 に示すような形でタブレット PC と USB カメラを用いた．タブレット PC として富士通 FMV-BIBLO LOOX P70R を用い，USB カメラとして SANWA CMS-USBV9 USB PC カメラ を用いた．このタブレット PC 上に，ソフトウェアズームを用いた視角計測機能を実装した．ソフトウェアズームを用いた視角計測機能の詳細は 4.4 節で述べる．

4.3 3 次元地図修正機能

予備実験として名古屋市栄南西部において位置認識を行った結果，実際の建造物と 3 次元地図上の建造物との間に一部食い違いが生じていることが分かった．そのため，実験システムでは 3 次元地図修正機能を実装し，計測した視角に基づき 3 次元地図上にある一部の建造物の書き換えを行った．本節では，3 次元地図修正機能について述べる．

本機能では，3 次元地図の誤りを修正するため，3 次元地図にある建造物の削除及び追加を行う．本機能は，元々の 3 次元地図と 3 次元地図修正データを入力として，修正後の 3 次元地図を生成し出力する．

3 次元地図修正データには，元々の 3 次元地図から削除する建造物と，追加する建造物を記述する．削除する建造物には，その建造物の識別子を記述する．追加する建造物には，その建造物が歩道の反対側の真正面に見える歩道上の位置 P を記述し，さらにその位置 P から実際に計測した計測対象 T_1, T_2 の視角 a_1, a_2 （追加したい建造物の両端の視角）を記述する．

本機能では，3 次元地図修正データを元に，3 次元地図にあ

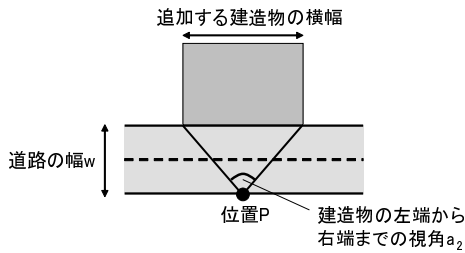


図 5 3次元地図修正機能で追加する建造物の横幅の例

る建造物の削除及び追加を行う。この時、追加する建造物は、位置 P 、視角 a_1, a_2 、及び道路の幅 w を用いて、その建造物を直方体とみなして歩道沿いに配置することによって追加される。追加する建造物の横幅は a_2, P, w から求められ、高さは a_1, P, w から求められる。追加する建造物の横幅の例を図 5 に示す。なお、追加する建造物の奥行きは、本実験システムでの視角計測には使用しないため、任意の値（例えば横幅の半分の長さ）で良い。

本機能により、計測した視角から追加する建造物を容易に作成できるようになるため、建造物の測量を行わなくても 3 次元地図データの修正を行うことができる。ただし、本機能では実際の建造物の形に関わらず直方体の建造物として追加を行うため、直方体ではない建造物を本機能で追加すると、この建造物から求めた視角には誤りが生じやすくなる。

4.4 ソフトウェアズームを用いた視角計測機能

本機能は、実現手法で述べたカメラによる視角計測機能（機能 2）と、そのユーザインターフェースを実現する機能である。本機能を用いて計測対象 T_i の建造物を歩行者が撮影し、その視角 a_i を求めるまでの流れを次に記す。

Step1 歩行者は本機能によるユーザインターフェースを用い、計測対象 T_i の建造物を、その両端（ここでは左端から右端とする）が一画面に収まるように撮影する。

Step2 歩行者は本機能によるユーザインターフェースを用い、建造物の左端が画面の左端と一致するように、撮影した建造物の画像を水平方向に平行移動する。これにより、撮影した元々の画像の左端から建造物の左端までの長さ l_l を得る。

Step3 歩行者は本機能によるユーザインターフェースを用い、建造物の右端が画面の右端と一致するように、撮影した建造物の画像のズーム（ソフトウェアズーム）を行う。これにより、撮影した元々の画像の左端から建造物の右端までの長さ l_r を得る。

Step4 本機能は、カメラによる視角計測機能（機能 2）、及び Step2, Step3 で得られた l_l, l_r によって、その視角 a_i を求める。

なお、Step1 において、視角が大きいために一度の撮影では建造物の両端が収まりきらない場合がある。この場合、二度撮影を行うことによって建造物の両端を画面に収める。

5. 評価実験

4 章で述べた実験システムを用い評価実験を行った。本実験の目的は、実験システムで正しく歩行者の位置を求められるこ

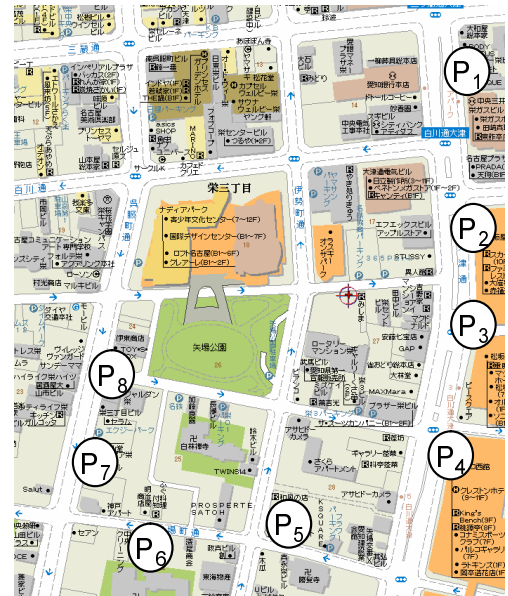


図 6 視角計測及び位置認識を行う 8 箇所

とを確かめ、位置認識に必要な視角の計測回数を調べることである。本章では、5.1 節で実験方法を述べ、5.2 節で実験結果と考察を述べる。

5.1 実験方法

実験システムを用いて、実際に視角を計測し、歩行者の位置を求める。視角計測及び位置認識を行う場所は、名古屋市栄南西部にある P_1 から P_8 までの 8 箇所である。この 8 箇所を図 6 に示す。この 8 箇所に対し、それぞれ 5 人ずつの被験者によって視角計測及び位置認識を行った。視角計測、位置認識の実験方法についてそれぞれ述べる。

5.1.1 視角計測の実験方法

5 人の被験者は、図 6 の 8 箇所において、計測対象 T_1 から T_6 すべての建造物を計測する。計測する場所では、被験者の立ち位置までは決めず、歩道の反対側の正面に見える建造物が変わらない範囲でならば、左右にずれても良いこととした。ただし、2 次元地図、3 次元地図データに合わせるため、幅が広い歩道ではできるだけ車道から離れて視角を計測すること、建造物の屋上にある看板は視角計測では無視することなどの指示を出した。

5.1.2 位置認識の実験方法

視角計測で得た視角を用いて、次の 2 つの項目で実験システムによる位置認識を行った。

項目 1 GPS などの位置特定技術がなく、名古屋市栄南西部のどこか（栄南西部 600m 四方、図 6 全体にほぼ等しい）にいることしか分からない状況における位置認識。探索範囲 R を栄南西部 600m 四方とした位置認識を行う。

項目 2 GPS などの位置特定技術により、30m 四方から 200m 四方面程度まで分かっている状況における位置認識。探索範囲 R を場所 P_i 中心の周囲 30m 四方から 200m 四方まで 5m 刻みで変化させ、それぞれの探索範囲 R に対し位置認識を行う。

5.2 実験結果と考察

位置認識の項目 1、項目 2 の実験それぞれについて、その実

表 7 探索範囲 R 600m 四方において位置認識に必要な視角計測回数

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
被験者 1	6	5	4	4	-	6	5	4
被験者 2	5	5	4	4	-	7	5	4
被験者 3	6	6	4	4	5	6	-	4
被験者 4	6	5	4	4	5	7	6	4
被験者 5	6	5	4	4	5	7	4	4

単位は回。 P_1, P_2, \dots, P_8 は、計測場所を示す。

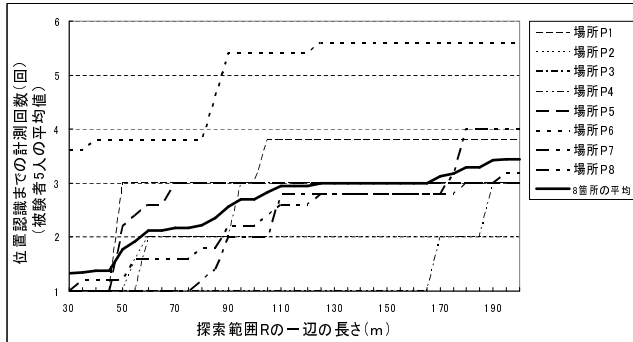


図 7 探索範囲 R に対する位置認識に必要な視角計測回数



場所 P_5

場所 P_6

図 8 場所 P_5, P_6 にある建造物の様子

験結果と考察を述べる。

5.2.1 項目 1 の実験結果と考察

探索範囲 R が栄南西部 600m 四方である場合の位置認識結果を、それぞれ表 7 に示す。表 7 において「5」などの回数は正しく位置が求められるまでに視角を計測した回数であり、「-」は正しく位置が求められなかったことを示す。また、「7」は 7 回以上の視角計測を要する場合であり、視角を 6 回計測しても位置の候補地が 1 箇所に絞り込めなかったが、その位置の候補地に正しい歩行者の位置が含まれていることを示す。

表 7 より、場所 P_5, P_6, P_7 の一部の被験者以外の条件において、正しい位置が求められた。この時、5 回程度の視角計測が必要であり手間も大きい。提案システムは 600m 四方という広い範囲からであっても位置を求められると言える。

正しい位置が求められなかった場所 P_5 (図 8 参照) では、複雑な形をした神社の視角を計測した。この神社は、3 次元地図上の神社の形状と実際の神社の形状との間に食い違いがあったため、実験システムの 3 次元地図修正機能を用いて修正を行った。しかし、神社の形状が直方体ではないため、修正後の神社の形状と実際の神社の形状との間に食い違いが残っていた。それが原因で位置認識に誤りが生じた。そのため、一部の複雑な建造物への対応が課題として挙げられる。

また、場所 P_7 の被験者 3 も正しく位置が求められなかった

が、これは計測する建造物の手前に散水車が停車し、建造物がよく見えないまま視角を計測したことが原因である。

なお、視角を 6 回計測しても位置の候補地が絞り込めない場合があった場所 P_6 の考察については、項目 2 で行う。

5.2.2 項目 2 の実験結果と考察

探索範囲 R を場所 P_i 中心の周囲 30m 四方から 200m 四方まで変化させた場合において、位置認識に必要な視角の計測回数を図 7 に示す。図 7 において、横軸は探索範囲 R の一辺の長さであり、この値が大きくなるほど探索範囲が広がる。縦軸は、位置認識に必要な視角の計測回数であり、被験者 5 人の平均値をとっている。ただし、位置認識に失敗した場合の計測回数は反映していない。

図 7 より、場所 P_6 以外において、探索範囲 R が 30m から 45m 四方程度の場合、ほぼ 1 回の視角計測で位置を求められる。そのため、GPS などによって探索範囲 R が 30m 四方程度まで狭まれば、ほとんどの場合で 1 回だけ視角を計測すれば位置が求められると言える。

しかし、場所 P_6 (図 8 参照) においては、探索範囲 R が狭い場合でも計測回数が 3, 4 回以上と多くなっている。これは、場所 P_6 の周囲には類似した建造物が立ち並んでいるため、歩道の反対側に見える建造物の視角からでは、その位置の区別が難しいことが原因である。そのため、今回用いた計測対象 T_1 から T_6 以外の計測対象 (例えば、遠方のランドマークなど) を視角計測に利用できるようにすることが課題として挙げられる。

6. おわりに

本研究では、視角測定に基づく歩行者の位置認識システムを提案した。また、実験システムを実装し、位置認識の評価実験を行った。その結果、ほとんどの状況で位置認識が正しく行えた。複雑な形状の建造物があると位置認識に失敗する場合があった。また、30メートル四方程度の探索範囲から位置認識を行った場合ほぼ 1 回の視角計測で位置を求められたが、似たような建造物が立ち並ぶ場所では多くの視角計測を必要とした。今後の課題として、より複雑な建造物への対応や、遠方ランドマークなどの視角計測への対応、歩行者ナビゲーションシステムの誘導案内内部との連携が挙げられる。

文 献

- [1] 石川健太, 高橋直久: 視角測定に基づく歩行者の位置認識システムの実現, 電子情報通信学会 / 情報処理学会 夏のデータベースワークショップ 2006
- [2] 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
- [3] 国土地理院ホームページ, <http://www.gsi.go.jp/>
- [4] 日立 AirLocation, <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [5] 森嶋健平, 今野貴洋, 渡部修平: RFID による位置情報技術, NTT COMWARE TECHNOLOGY 2004
- [6] 昭文社 MAPPLE デジタル地図データ, <http://www.mapple.co.jp/corporate/product/01.html>
- [7] パスコ社 MapCube, <http://www.mapcube.jp/index1.html>