ランドマーク視認マップを用いた位置特定システムの実現

多賀　大泰†　　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: †taga@moss.elcom.nitech.ac.jp, ††naohisa@elcom.nitech.ac.jp

あらまし　本稿では，ランドマーク視認マップを用いた位置特定システムを提案する．提案システムの特徴は，次の 4 点にある．(1) 三次元地図データを用いて，ある領域において，ランドマークが視認可能な地点，および，その地点からランドマークが見える方向を示すランドマーク視認マップを生成する機能を実現する．これにより，利用者が視認できるランドマークがわかったとき，元の地図データに比べ，比較的少量のデータを用いて，高速に利用者の位置を特定可能になる．(2) 視認可能なランドマークに関して，簡単な質問応答により，歩行者の視認状況を認識する機能を実現する．これにより，比較的小さい負担により，現在地における視認状況を認識することが可能になる．(3) ランドマーク視認マップを用いて，歩行者の視認状況と等しい視認状況を与える地点の集合を求める機能を実現する．これにより，利用者の現在地の候補集合を求めることが可能になる．(4) 利用者に視認状況の変化を問合せることにより，現在地の候補集合を絞り込む機能を実現する．これにより，利用者の現在地を特定することが可能になる．本稿では，提案方式のプロトタイプを実装し，東京都渋谷と名古屋市栄の 2 地点 (各 1 平方 km) に適用した場合の提案方式の有効性を検証した．

キーワード　時空間 DB，情報検索，ユーザインタフェース

Implementation of a Location Identification System using a Landmark Visibility Map

Hiroyasu TAGA† 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: †taga@moss.elcom.nitech.ac.jp, ††naohisa@elcom.nitech.ac.jp

Abstract　This paper presents a location identification system that uses a landmark visibility map. The features of the proposed system are as follows:The proposed system creates a landmark visibility map(LVMap) from three-dimensional map data.The LVMap represents the locations of a landmark which can be watched of each location and the direction in which the landmark is seen.It recognizes a landmark visibility status for a pedestrian by making easy questions concerning visible landmarks,and by eliciting the landmark visibility status from pedestrian answers.It computes a set of locations whose landmark visibility statuses are equal to that of a pedestrian.It extracts candidates of pedestrian's current location from the set by investigating the change of landmark visibility statuses.As a result, this system can identify pedestrian's current location.We evaluated the feasibility of proposed system by several experiments.

Key words　Temporal and Spatial DB, Information Retrieval,User Interface

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が普及しつつある．これに対し，我々は GPS などの位置特定装置を用いないで，建造物を目印として歩行者を目的地の方向に誘導可能にする歩行者ナビの実現を目指している [1]．本論文では，このような歩行者ナビ実現の基礎となる位置特定システムを提案する．提案システムでは，歩行者と見えるランドマークとの位置関係を示したランドマーク視認マップを用いる．ここで，ランドマークとは，ある地域において形

状や高さが他と大きく異なる建造物であり，多くの人が，離れた所からでも，その所在を容易に認識できる建造物のことをいう．また，本システムは，歩行者から見えるランドマークの様子 (これを歩行者が現在地から見えるランドマークと，その方向，およびその外観により表し，視認状況とよぶ．) を認識することにより，歩行者の位置を特定する．

提案システムの特徴は，次の 4 点にある．

特徴-1　三次元地図データを用いて，ランドマーク視認マップを生成する機能を実現する．これにより，歩行者の視認状況がわかったとき，元の三次元地図データに比べ，比較的少量のデータを用いて，高速に歩行者の位置を特定可能になる．

特徴-2　視認可能なランドマークに関して，簡単な質問応答により，歩行者の視認状況を認識する機能を実現する．これにより，歩行者にとって比較的小さい負担により，現在地における視認状況を認識することが可能になる．

特徴-3　ランドマーク視認マップを用いて，歩行者の視認状況と等しい視認状況を与える地点の集合を求める機能を実現する．これにより，歩行者の現在地の候補集合を求めることが可能になる．

特徴-4　歩行者に視認状況の変化を繰り返し問合せることにより，現在地の候補集合を絞り込む機能を実現する．これにより，歩行者の現在地を特定することが可能になる．

本稿の構成は次の通りである．2 章で提案システムの実現方式を述べ，3 章で提案システムのプロトタイプを用いて検証実験を行う．そして，続く 4 章で関連研究，5 章でまとめと今後の課題を示す．

2. 提案システムの概要

2.1 提案システムを用いた歩行者の位置特定

提案システムは，歩行者の視認状況を認識することにより，歩行者の位置を特定する．視認状況は，歩行者から見えるランドマークの様子であり，以下のように表される．

$\mathbf{V=\{(L_i,[d_i/image_i])\}}$

- L_i：見えるランドマークの識別子
- d_i：ランドマーク L_i が見える方向
- $image_i$：ランドマーク L_i が見える外観

なお，$[d_i/image_i]$ は，両方，あるいはいずれか一方を省略可能であることを意味する．また，歩行者がコンパスを持っていないとき,「北」や「南東」といった方向 (絶対方向とよぶ) を認識することは困難である．そこで d は，歩行者が向いている方向に対してランドマークの見える方向 (相対方向とよぶ) とする．

例えば，ランドマーク L_1，L_2 がそれぞれ，前方，後方に見えるときの視認状況は，V={(L_1, 前方),(L_1, 後方)} となる．

なお，提案システムでは，セグメントを特定することを位置特定としている．セグメントとは，道路地図データをもとに一本の道路を，建造物が「見えるようになる」,「見えなくなる」,「見える方向がかわる」ごとに区切ったものであり，次のように表される．

$\mathbf{S_i=\{N_{i1},N_{i2}\}}$

なお，N_{i1} と N_{i2} はセグメント S_i の両端の位置を表すもの (ノード) であり，次のように座標で表される．

$\mathbf{N_{i1}=\{x_{i1},y_{i1}\}}$，$\mathbf{N_{i2}=\{x_{i2},y_{i2}\}}$

次に，位置特定を行うときの歩行者と提案システムのやりとりを示す．

(1) 歩行者が現在いる可能性のある領域 R を求める．

質問を提示する時に表示するランドマークをある程度絞り込むために，以下のような方法で領域 R を求める．

(a) 歩行者が現在いることがわかっている地域を含む領域

歩行者ナビゲーションを利用する場合，通常歩行者は，東京にいるのか名古屋にいるのか，あるいはもう少し詳細な領域にいることがわかっていることが多いと考えられるため．

(b) 歩行者があらかじめ駅名等を指定したときに，その駅の近傍領域

(c) 一定時間前の歩行者の位置から歩行者の現在地を含む地域として推定される領域

(2) 歩行者は領域 R をシステムに報告する．

(3)R 内のランドマークの外観を提示する．

(4) 歩行者は提示されたランドマークから，実際に視認可能なランドマーク L_i を選択することで，視認状況 V を提案システムに報告する．

(5) 視認状況 V を与える位置 (セグメント)S の集合を求める．

(6)(5) における位置 S の集合の要素が 1 つのとき，その地点を歩行者の現在地と判定する．そうでない場合は，R 内における L_i 以外のランドマークの外観を提示する．

(7) 歩行者は提示されたランドマークから，実際に視認可能なランドマーク L_{i+1} を選択することで，視認状況 V' を提案システムに報告する．

(5) から (7) を同様に繰り返すことで，複数の視認可能なランドマークから，歩行者の位置を特定する．

ここで，(3) において歩行者がシステムの提示する質問に回答するとき，次の状況が考えられる．

状況-1　見えるランドマークを間違える

状況-2　ランドマークの見える方向を間違える

状況-3　見えるランドマークの外観を間違える

歩行者は，ランドマークの見える方向を，一方向 45 度間隔の 8 方向 (ex. 右後方) で指定する必要がある．ただし，歩行者は，ランドマークが「前方」と「右前方」の境界付近に見えるとき，本来指定するべき方向とは違う方向を指定する可能性 (ex. 右前方を前方と間違える) がある．我々は，歩行者が状況-2 において一方向だけ間違える場合 (ex. 右前方を右前方と間違える) を考慮する．

2.2 提案方式の構成

提案システムは，図 1 に示すように，ランドマーク視認マップの生成機能，質問提示機能，地点集合の導出機能，位置絞込み機能 4 つからなる．以下に各機能の概要を示す．詳細は，2.2 節以降で述べる．

(機能-1) ランドマーク視認マップの生成機能

ランドマーク視認マップは，三次元地図データと道路地図データから，見える建造物から位置特定を行うために必要な

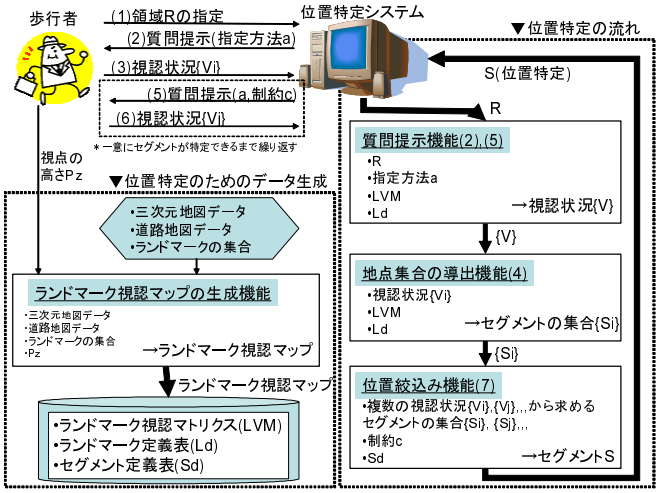


図 1　提案システムの構成

表 1　ランドマーク視認マトリクス (LVM)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	…
L1	N	N	-	-	-	-	-	
L2	NE	NE	NE	NE	E	-	-	
L3	-	S	S	-	-	-	-	
L4	-	-	-	S	S	-	W	

S1，L1 はそれぞれセグメント (S)，ランドマーク (L) の ID を示す．

表 2　ランドマーク定義表 (Ld)

ID	名前	位置	高度	画像名 (N)	画像名 (NE)	画像名 (…)
L1	住友ビル	{X1,Y1,Z1}	35m	1N.jpg	1NE.jpg	,,,
L2	名古屋ビル	{X2,Y2,Z2}	40m	2N.jpg	2NE.jpg	,,,
L3	JR タワー	{X3,Y3,Z3}	80m	3N.jpg	3NE.jpg	,,,
L4	テレビ塔	{X4,Y4,Z4}	100m	4N.jpg	4NE.jpg	,,,

表 3　セグメント定義表 (Sd)

ID	ノード ID	ノード ID	道路幅	道路名
S1	N1	N2	5m	地方道
S2	N2	N3	5m	地方道
S3	N3	N4	5m	地方道
S4	N2	N5	10m	県道

N1 はノードを表し，ノードは Ni={ 位置座標 x, 位置座標 y} のデータ構造を持つ．

データを生成して格納するものであり，システム側で位置特定の前にあらかじめ用意する．これにより，元の 2 つの地図データに比べ，比較的少量のデータを用いて，高速な歩行者の位置特定を可能にする．ランドマーク視認マップは，次の 3 つから成る．

(1) ランドマーク視認マトリクス (LVM)

LVM は，表 1 に示すように，地図上の各地点において，どのランドマーク (L) がどの方向 (D) に見えるのかを表したものである．具体的には，LVM の第 j 行はランドマーク Lj に対する視認可能セグメントを，第 i 列はセグメント Si における視認可能ランドマークを表す．なお，LVM における方向 D は，絶対方向 (例えば NE:北東など) である．

(2) ランドマーク定義表 (Ld)

Ld は，表 2 に示すように，ランドマークの名前や位置などの特徴を表すデータからなる．

(3) セグメント定義表 (Sd)

セグメント定義表 (Sd:表 3) は，セグメントの位置を表すノードなどの特徴を表すデータからなる．

(機能-2) 視認可能なランドマークに関する質問提示機能

視認状況に関して，歩行者が直感的に回答可能な質問を提示する．この質問の回答により，システムが歩行者の視認状況 V を認識することが可能である．

(機能-3) 視認状況からの地点集合の導出機能

複数の地点で，見えるランドマークとその方向は，同じになる場合がある．すなわち，LVM では，複数のセグメントにおいて，視認可能ランドマークが等しくなり得る．本機能では，視認状況 $V=\{(L_i,[d_i/image_i])\}$ のとき，歩行者のいる領域 R 内で視認可能ランドマークが $(L_i,[d_i/image_i])$ となるセグメントを求める．

(機能-4) 複数の視認状況からの位置絞込み機能

2 つの視認状況 V_1,V_2 が与えられると，機能-3 を用いてそれぞれの視認状況から地点集合 $\{S_1\},\{S_2\}$ が求められる．そして，この地点集合 $\{S_1\},\{S_2\}$ から，視認状況 V_1,V_2 を与えるセグメント間の制約 (例えば，隣接している，100 m以内など) を満たすセグメントの対 (S_1',S2') を計算し，現在地のセグメント S_2' を求める．求める．ここでは，以下の 3 つの制約について絞込み機能を実現する．なお，2 つの視認状況 V_1,V_2 は，これらの制約に従って V_1 の後に V_2 が指定されるものとする．そして，視認状況 V_1 を与えるセグメント S' は，地点 P, 時間 t, 視認可能ランドマーク $\{(L_i,[d_i/image_i])\}$ とする．

連続性制約　視認可能ランドマークが変化するまで歩行者が歩行したとき

距離制約　歩行者の視認状況 V1 を報告した地点 P から一定の距離 r(m) を進んだとき

時間制約　歩行者の視認状況 V1 を報告した時間 t から一定の時間 Δt(s) が経過したとき (ただし，歩行者の平均歩行速度を v(m/s) 以下とする)

これら 4 つの機能により，歩行者の位置特定，つまりセグメント S_2' の導出が可能である．次に各機能について詳細を述べる．

3.　提案システムの実現方式

3.1　ランドマーク視認マップの生成機能

ランドマーク視認マップは，ランドマーク視認マトリクス (LVM) とランドマーク定義表 (Ld)，セグメント定義表 (Sd) から成る．次に LVM の生成機能について述べる．

表 1 に示す LVM は，セグメント (S) ごとにランドマーク (L) がどの方向に見えるのかの情報を持ち，S1 から L1 が N(北) 方向に見えることを示す．LVM は，道路地図データ(注1)と三次元地図データ(注2)，ランドマークの集合，歩行者の視点の高さ Pz から生成する．LVM は，次の 4 つの手順で生成する．

Step1　ランドマークとする建造物の形状を 8 点で近似して表現する．

Step2　点とランドマークの関係を求める．

(注1)：交差点等を表すノードと，道路を表すリンク（ノードとノードにより定義された線形）を用いることで道路網を表現した地図のデータ．

(注2)：道路などの二次元の情報に加え、ビルの高さなどの三次元の情報、さらには色彩など都市形状を再現した地図のデータ．

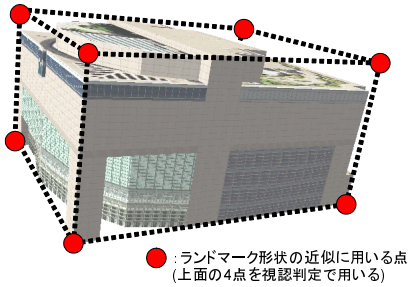


図 2　8 点の直方体によるランドマークの形状近似

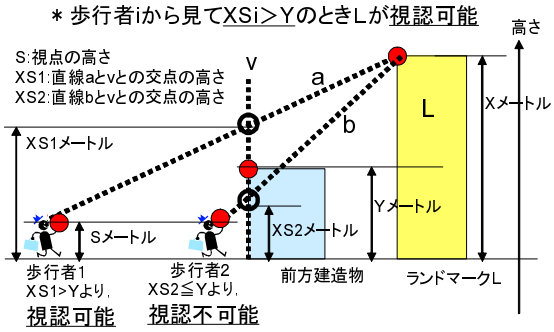


図 3　ランドマークの視認判定法

Step3　道路とランドマークの関係を求める．

Step4　道路とランドマークの集合との関係 (LVM) を求める．

次に LVM の生成に関して上記の Step ごとに述べる．

(Step1) ランドマークとする建造物の形状を 8 点で近似して表現する

ランドマークの形状は，複数の点を線でつなぐことで表す．その複数の点 {(x,y,z)} から，代表とする点 {(X,Y,Z)} を取り出すことで，ランドマークの形状を近似する．代表とする点とは，図 2 に示すように，{(x,y,z)} において，x,y がそれぞれ最大，最小となる 4 点 {(X1,Y1),(X1,Y2),(X2,Y1),(X2,Y2)} に，z が最大，最小となる Z1,Z2 をそれぞれ加えた 8 点 {(X1,Y1,Z1),(X1,Y1,Z2),,,} である．この 8 点でランドマークの形状を直方体に近似することで，計算時間を短縮する．

(Step2) 点とランドマークの関係を求める

視点 P とランドマーク L，三次元地図データから，ランドマークの視認性 v と方向 D を求める．P は (x,y,z) で表し，L は直方体 8 点 {(X1,Y1,Z1),(X1,Y1,Z2),,,} のうち，天井の面 4 点 Lp{(X1,Y1,Z1),(X1,Y2,Z1),(X2,Y1,Z1),(X2,Y2,Z1)} の座標を用いる．また，P から L が見えるか否かを v(true/false) が，見えるときはその方向を D(N,NE,,,) が表す．次に P と Lp の一点 Q(X_Q,Y_Q,Z_Q)，三次元地図データから，v と D を求める (視認判定) 手順を示す．

Step2.1(建造物の取り出し)　P と Q 間にある建造物の集合 {Bd} を三次元地図データから求める．

Step2.2(視認性 v の判定)　建造物の集合 {Bd} におけるそれぞれの建造物 Bi において，視認性 v を判定する．判定方法は，図 3 のように，P から Q に対して線分 (a,b) をひき，建造物 Bi の位置 {BiX,BiY} における線分上の点の高さ XS を求める．このとき，XS が建造物 Bi の高さ BiZ よりも高ければ見える (v=ture)，低ければ見えない (v=false) と判断する．

Step2.3(方向 D の確定)　v=ture のとき，P から Q の方向 D を求める．

Lp において天井の面を表す 4 点について，それぞれ各点の座標を上記 Q(X_Q,Y_Q,Z_Q) に代入して，上記の手順を繰り返す．そして，一点でも v=ture であれば P において L が見えると判断する．また，方向 D を求めるときに，8 方位 (N,NE,,,NW) に量子化する．これにより，位置特定に必要なランドマークの方向の情報のみを残す．

(Step3) 道路とランドマークの関係を求める

道路 R，視点 P の間隔 Pr，ランドマーク L，三次元地図から，R 上の各地点 P_i における L の視認性と方向を表す P_i=(v,D)$_i$ の集合 {(v,D)$_i$} を求める．ただし，道路 R は，両端の位置を表す二点 r1 と r2 からなる．

Step3.1(P 集合の導出)　r1 と r2 をつなぐ線分において，Pr 間隔に区切ったときの点の座標の集合 {(x,y,z)} を求める．

Step3.2({v,D} の導出)　{(x,y,z)} のそれぞれを P とし，P と L，三次元地図から (Step2) の視認判定を行い，道路 R 上における {(v,D)$_i$} を求める．

(Step4) 道路とランドマークの集合との関係を求める

ランドマークの集合 {L} と R，Pr，三次元地図から，R 上における各地点 Pi から {L} の各ランドマーク Li の視認性と方向の集合 LVM を求める．なお，LVM は次 (1) のように表し，各要素 P_iL_j は視認性と方向を表す (v,D)$_{ij}$ に対応する．これは，{L} におけるそれぞれのランドマーク Li について (Step3) を行うことで求められる．

$$LVM = \begin{Bmatrix} P_1L_1 & P_2L_1 & \cdots \\ P_1L_2 & P_2L_2 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{Bmatrix} \qquad (1)$$

ただし，すべてのランドマーク (j=1,2,,J) に対し，P_iL_j=$P_{i+1}L_j$ が成り立つときは，第 i 列と第 i+1 列をまとめる．すなわち，同じランドマークが同じ方向に見えている 2 地点 P_i と P_{i+1} をひとまとめ (セグメント) にする．これにより，位置特定に必要な情報を残しつつ，LVM のサイズを縮小し，計算にかかる時間を減らす．

3.2　視認可能なランドマークに関する質問提示機能

質問提示機能は，見えるランドマークに関して，歩行者が直感的に回答可能な質問を提示する機能である．歩行者のいる領域 R，ランドマークの指定方法 a，LVM，Ld から，歩行者の視認状況 V={(L_i,[d_i/image$_i$])} を求める．なお，歩行者のいる領域 R とは，中心座標 (x,y) と半径 r で次のように表される．

R=(x,y,r)

また，ランドマークの指定方法 a は，次の 3 つである．

指定方法 a-1　見えるランドマーク (L) の指定

指定方法 a-2　ランドマークが見える方向 (d) の指定

指定方法 a-3　見えるランドマークの外観 (image) の指定

次に質問提示機能の手順 (Q-Step) を示す．

Q-Step1　Ld を調べて，位置が R 内のランドマーク {L} を選択する．

Q-Step2　{L} の画像を Ld から求めて表示する．

Q-Step3　歩行者は表示された画像から見えるランドマーク

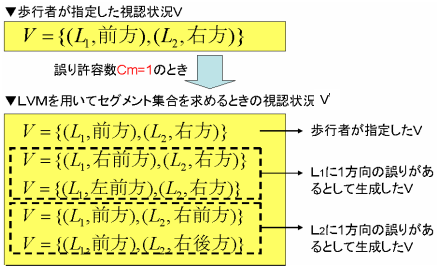


図 4　誤り許容数 Cm に基づく視認状況 V'(Cm=1 のとき)

Li を指定する．

Q-Step4　a-2,a-3 の場合は，歩行者が Q-Step3 で指定したランドマーク Li の見える方向 (d)，または見えるランドマーク Li の外観と同じように見える画像 (image) を指定する．

なお，指定方法 a-3 は，Q-Step3 で指定した見えるランドマークに対して，システムが 8 方位 (N,NE,,,NW) から見たときの外観を表す画像 8 枚を Ld から求める．そして，歩行者の持つ端末画面上にその画像 8 枚を表示し，歩行者はその中から，見えるランドマークの外観と同じように見える画像を指定する．

3.3　視認状況からの地点集合の導出機能

この機能は，視認状況 V={(L_i,[d_i/$image_i$])}，LVM，Ld から，歩行者のいる地点の集合，つまりセグメントの集合 {S} を求める．セグメントの集合 {S} を求める手順を次に示す．ただし，視認状況 V において，ランドマーク L のみ指定されている場合，L と方向 d が指定されている場合，L と画像 image が指定されている場合に分けてそれぞれ示す．

(1)L のみ指定されている場合

V={(L_i),(L_j),,,} が指定されているとき，LVM から L_i,L_j,,, が視認可能ランドマークであるセグメントの集合 {S} を求める．

(2)L と d が指定されている場合

V={(L_i,d_i),(L_j,d_j),,,} が指定されているとき，LVM と V から，セグメントの集合 {S} を求める手順 (R-Step) を次に示す．ただし，視認状況における「方向」d は，歩行者からみた相対方向 (右前方) を表すが，LVM における「方向」D は，絶対方向 (NE:北東) を表す．そのため，LVM の視認可能ランドマークからセグメントの集合 {S} を求めるためには，d を D に変換する必要がある．

一般には，歩行者の向き d を認識することは困難である．そこで，提案システムでは，歩行者の向き d を推定した値 Pd を導入する．まず以下のように，Pd の値として，8 方位 (N,NE,,,NW) を一つずつ用いる．次に，それぞれの Pd において，求めたセグメント集合 {S} の論理和をとる．すなわち，見えるランドマークの相対的な配置関係が同じセグメントの集合 {S} を求める．

また，視認状況に含まれるランドマークの方向 V={(d_i),(d_j),,,} に，本来指定されるべきランドマークの見える方向に対し，一方向だけ誤りが含まれることを考慮する．ここでは，見える方向に誤りがあるランドマークの数 (誤り許容数:Cm) を提案システムに与える．

R-Step1　Pd=N,NE,E,SE,S,SW,W,NW に対して，それぞれ以下を行い，セグメントの集合 $\{S\}_N$,$\{S\}_{NE}$,$\{S\}_E$,$\{S\}_{SE}$,$\{S\}_S$,

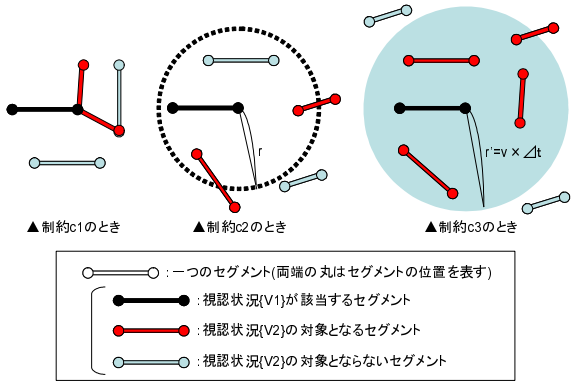


図 5　3 つの制約においてそれぞれ検索の対象となるセグメント

$\{S\}_{SW}$,$\{S\}_W$,$\{S\}_{NW}$ を求める．

R-Step1.1　図 4 のように，歩行者が与えた視認状況 V から，Cm 個以内の誤りが発生した場合にとり得る誤差を考慮した視認状況 V' を求める．

R-Step1.2　V' における d_i,d_j,,, は相対方向なので，Pd を前方とする絶対方向 D_i,D_j,,, に変換する．

R-Step1.3　LVM を用いて，ランドマーク L_i,L_j,,, がそれぞれ，D_i,D_j,,, 方向に見えるセグメントの集合 $\{S\}_N$,$\{S\}_{NE}$,,, を求める．

R-Step2　$\{S\}_N$,$\{S\}_{NE}$,,,$\{S\}_{NW}$ の論理和 {S} を求める．

(3)L と image が指定されている場合

V={(L_i,$image_i$),(L_j,$image_j$),,,} のとき，LVM と V からセグメントの集合 {S} を求める手順 (P-Step) を次に示す．

P-Step1　Ld を調べて，$image_i$,$image_j$,,, の方向 D_i,D_j,,, を求める．

P-Step2　LVM を用いて，ランドマーク L_i,L_j,,, がそれぞれ，D_i,D_j,,, 方向に見えるセグメントの集合 {S} を求める．

3.4　複数の視認状況からの位置絞込み機能

この位置絞込み機能は，2 つの視認状況 V_1,V_2 から求められる歩行者の現在地の候補となる地点 (セグメント) の集合 $\{S_1\}$,$\{S_2\}$(2.4 節) と，2.1 節で示した 3 つの制約，Sd から，セグメント S を求める機能である．次にそれぞれの制約のときの位置を絞込む方法を述べる．このとき，2 つのセグメントの集合 $\{S_1\}$,$\{S_2\}$ は，$\{S_1 \mid S_1=(N_{11},N_{12})\}$,$N_{12}=(x_{12},y_{12})$,$\{S_2 \mid S_2=(N_{21},N_{22})\}$,$N_{21}=(x_{21},y_{21})$,$N_{22}=(x_{22},y_{22})$ であるとする．また，図 5 にそれぞれの制約において検索の対象となるセグメントを示す．

連続性制約 (視認可能ランドマークが変化するまで歩行者が歩行したとき)

視認可能ランドマークが変化することは，歩行者が次のセグメントに移動したことを意味する．そして，位置の絞込みでは，$\{S_1\}$,$\{S_2\}$ から，連続したセグメントの対を選び出す．具体的には，2 つのセグメントの集合 $\{S_1\}$,$\{S_2\}$ において，$N_{12}=N_{21}$ なるセグメントの集合 $\{S_2\}$ を求める．

距離制約 (歩行者の視認状況 V_1 を報告した場所 P から一定の距離 r(m) を進んだとき)

V_1 を指定した場所から歩行者が一定の距離 r を進む場合は，$\{S_1\}$ と $\{S_2\}$ 間の距離が r のセグメントの対を求める．具体的には，$\sqrt{(x_{12}-x_{21})^2+(y_{12}-y_{21})^2} \leqq r$ かつ

$r \leqq \sqrt{(x_{12}-x_{22})^2+(y_{12}-y_{22})^2}$ となるようなセグメントの集合 $\{S_2\}$ を求める．

時間制約 (歩行者の視認状況 V_1 を報告した時間 t から一定の時間 Δt(s) が経過したとき)

まず，歩行者の平均歩行速度から Δt(s) 後の移動距離 r' を推定する．次に，$\{S_1\}$ と $\{S_2\}$ 間の距離が r' 以内のセグメントの対を求める．具体的には，以下の通り．

c3-Step1　経過した時間 Δt と平均歩行速度 v から距離 r' を求める (v × Δt=r')．

c3-Step2　Sd により，2 つの集合 {S1},{S2} のセグメント間の距離が r' 以内である $\sqrt{(x_{12}-x_{21})^2+(y_{12}-y_{21})^2} \leqq r$ となるようなセグメントの集合 $\{S_2\}$ を求める．

なお，2 つの視認状況 V_1,V_2 を用いてもセグメント S が一意に特定できない場合がある．その場合は，さらに別の視認状況 V_3 を利用する．この V_3 から 2.4 節で求められるセグメント集合 $\{S_3\}$ と，V_1,V_2 から ci-Step で求められるセグメント集合 $\{S_2\}$ とで再び ci-Step を行う．このように，視認状況を増やすことでセグメントを絞り込み，一意にセグメント S を特定する．

4. 実　　験

位置特定を行うとき，歩行者は提案システムが提示した質問に対し，回答することで視認状況を提案システムに伝える．本研究では，次に挙げる 2 つの実験を行う．

[実験-1] 歩行者モデルに基づく誤り許容数 Cm の決定

見える方向を誤って指定したランドマークの数を E_L とし，2 つの歩行者モデルにより，この E_L を調べる．これにより，誤り許容数 Cm に指定するべき適切な値を求める．

[実験-2]　位置特定に必要な視認状況の数の検証

V_1(見えるランドマーク) と V_2(ランドマークの見える方向)，V_3(見えるランドマークの外観) の 3 つの質問提示方法について，位置特定に必要な視認状況の数を調べる．これにより，各質問提示方法により位置特定に必要な平均歩行距離を求める．

4.1　実 験 環 境

実験の対象地域 (歩行者のいる領域 R) として，図 9 に示す東京都渋谷と名古屋市栄，2 地域 (各 1 平方 km) を用いた．また，両地域におけるランドマーク視認マップの詳細を表 4 に示す．ただし，2 地域のランドマーク視認マップの生成には，図 9 に示す 3 次元地図データを用いた．ランドマークに関しては，使用している三次元地図データ (MapCube [2]) においてランドマークとして指定されているものを用いた．

4.2　実験-1 の方法

正規分布のグラフを当てはめて図 6 に示すように 2 通りの歩行者モデルを表す．この歩行者モデルをもとに，対象地域の全セグメントから，ランダムに選択したセグメントにおいて，E_L を調べる．これを 10,000 回繰り返して平均値を求めた．

4.3　実験-1 の結果と考察

実験-1 の結果を図 7 に示す．これは，2 つの歩行者モデル別に見たランドマークの方向に誤差が生じるセグメント数の割合を示したものである．また，誤りが生じたセグメントにおいて，

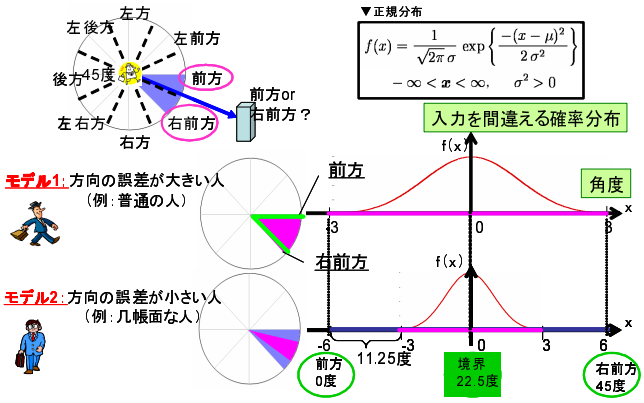


図 6　歩行者モデル

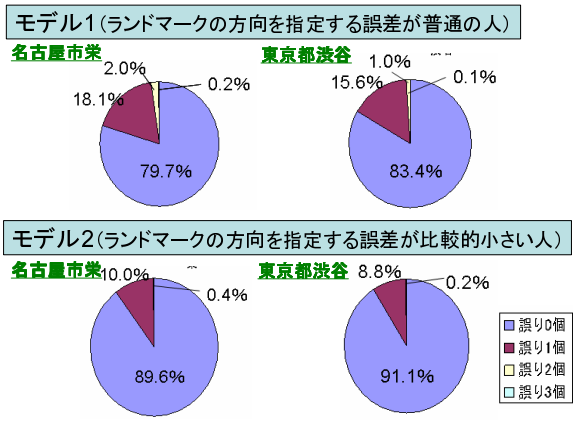


図 7　2 モデルによるランドマークの見える方向に誤差の生じた結果

いくつのランドマークにおいて見える方向に誤差が生じたかを同時に示す．この結果から，両地域に対してモデル 1 においては約 90 %，モデル 2 においては約 80 %のセグメントにおいてランドマークの見える方向の指定に含まれる誤差が 0 個とわかる．ただし，Cm=1，つまり誤差を 1 つ考慮することで，両地域とも約 98 %以上のセグメントにおいて位置特定が可能になることがわかった．これにより，誤差を一つ考慮 (Cm=1) することで提案システムの利用可能範囲がほぼ全地点 (セグメント) に広がることが示された．

4.4　実験-2 の方法

歩行者が実験対象地域，それぞれにおいて，各道路上のセグメントにいるときに見えるランドマークとその方向，外観を視認状況として提案システムに伝えた場合に，位置特定が可能であるのかを示す．図 8 に提案システムが歩行者に質問を提示するユーザインターフェイスの例を示す．このユーザインターフェイスに対し，それぞれ歩行者が視認状況を指定する．

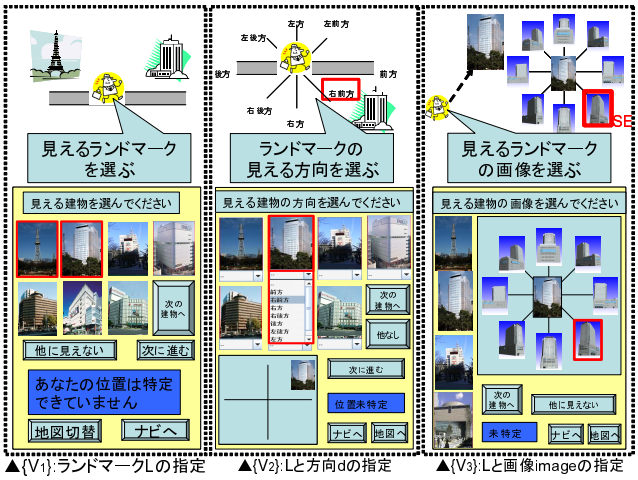
4.5　実験-2 の結果と考察

実験の結果を図 10 と図 11 に示す．図 10 は「名古屋市栄」，図 11 は「東京都渋谷」を歩行者のいる領域 R に指定した場合において，位置特定を行った結果である．横軸は，位置特定に用いた視認状況の数 i を示し，縦軸は，全セグメント数に対し，i 個の視認状況を用いてセグメントが一意に特定できた割合を示す．ここに，各視認状況の指定方法において，それぞれ位置特定を行った結果を示した．

すると，栄と渋谷の両地域に対して，V_1,V_2,V_3 のそれぞれの指定方法に対して，複数の視認状況を用いることで位置特定

表 7　GPS を用いたナビゲーションシステムと提案システムとの比較

	提案システム	GPS を用いたナビゲーションシステム
位置精度	道路の一部分 Rp(平均 20m 程度)	円形の領域 Cp(半径 36m [5])
表示方法	Rp から見える建物とその方向を表示	Cp の中心 (緯度経度) を地図上に表示
長所	・位置を検出するセンサがなくても視覚情報から位置特定可能 ・表示された建造物と風景を比較することで位置認識可能 ・見える建物を目印とした誘導に利用可能	・歩行者の入力操作を必要としない ・建造物のない所でも電波さえ届く所であれば測量可能 ・測定結果 (座標) と地図との対応付けが容易
短所	・歩行者の入力操作が必要 ・歩行者との位置関係がわかる建造物がない所では利用不可能 ・Rp まで位置特定するために複数地点の視認状況が必要	・GPS センサの携帯が必要 ・電波が届きにくいビル街等では位置検出が困難 ・位置認識の際に頭の中で地図と風景の対応付けが必要



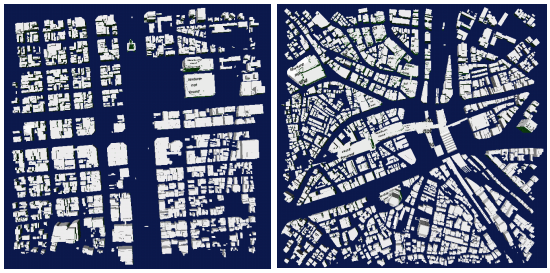
▲{V1}:ランドマークLの指定　▲{V2}:Lと方向dの指定　▲{V3}:Lと画像imageの指定

図 8　視認状況 V_i に対する質問提示のユーザインターフェイス例

表 4　実験に用いたランドマーク視認マップの詳細

実験対象地域	名古屋市栄	東京都渋谷区
3 次元地図データ (250m 四方) 数	16	16
建造物オブジェクト数	1925	4089
ランドマーク数	11	14
視認判定観測数	1967	2037
セグメント数	946	902
平均セグメント長 (m)	20.8	22.6
平均視認可能ランドマーク数	3.9	1.5

建造物オブジェクト数とは，三次元地図データにおける建造物の形状データの数のことであり，視認判定観測数は，2.2.1 節の視点 P の間隔 Pr によって道路を区切って視点 P を生成する場合の視点 P の数である．ただし，一つの建造物は複数の形状データを用いて構成される場合がある．また，Pr は 10 m間隔であり，その場合の一セグメントの平均の長さを平均セグメント長としている．なお，平均視認可能ランドマーク数は，全セグメントにおいて視認可能なランドマーク数の平均を表す．



▲名古屋市栄　▲東京都渋谷

図 9　位置特定の実験対象地域の三次元地図データ

可能なセグメント数の割合が 100 %になることがわかる．つまり，両地域のどの位置においても，複数地点の視認状況を用いることで 1 つのセグメントに歩行者の位置が特定可能であることが示された．また，V_2 に誤差 (Cm=1) を含む場合でも，同

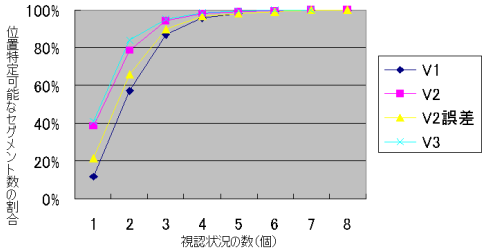


図 10　視認状況数別にみた位置特定可能なセグメント数の割合（栄）

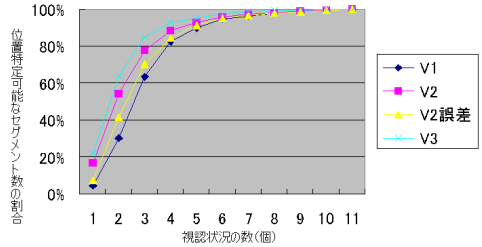


図 11　視認状況数別にみた位置特定可能なセグメント数の割合（渋谷）

表 5　位置特定に必要な視認状況の平均数

	(V1)L	(V2)L,d	(V2)L,d 誤差	(V3)L,image
名古屋市栄	2.5	1.9	2.3	1.8
東京都渋谷	3.4	2.8	3.2	2.5

表 6　セグメントを一意に特定するために必要な平均歩行距離 (m)

	(V1)L	(V2)L,d	(V2)L,d 誤差	(V3)L,image
名古屋市栄	26.0	19.8	23.9	18.7
東京都渋谷	38.4	31.6	36.2	28.3

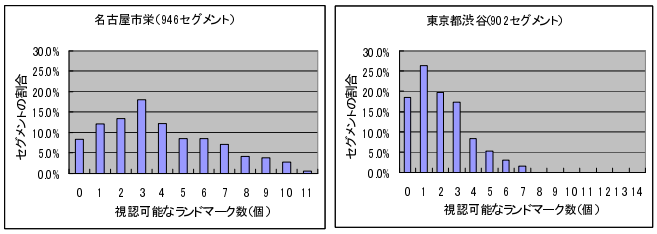


図 12　各 LVM においてランドマーク数別に見たセグメント数

様に位置特定可能であることがわかった．

ただし，誤差がない場合で比較すると，V3 の L と image を指定する場合が最も少ない視認状況の数で，高い位置特定可能なセグメント数の割合を示した．よって，他の指定方法よりも，位置特定において最も効果的な指定方法であることが明らかになった．

また，全てのセグメントにおいて位置特定を行う場合に必要な視認状況の数の平均値を表 5 に示す．これより，どの指定方法に対しても，必要な視認状況の数の平均値は，栄で 2 個前後，

渋谷で 3 個前後であった．よって，だいたいのセグメントにおいて，位置特定に必要な視認状況の数は 2，3 個と比較的少ないため，質問提示に回答する歩行者の操作が少なくてすむことが期待される．また，表 5 からセグメントを一意に特定するために必要な平均歩行距離を求めると表 6 のようになった．これより，歩行者が回答するために歩く必要がある歩行距離が，20m から 30m 程度であることから歩行者の負担はそれほど大きくないことがわかった．

次に，栄と渋谷の地域別に見ると，渋谷の方が全体的に位置特定に必要な視認状況の数が多いことがわかる．これは，図 9 における渋谷の三次元地図データから，建物が多いこと，道路が狭く見通しが悪いことから，ランドマークが見えない場所が多く存在していることが原因として考えられる．そこで，栄と渋谷の両地域の LVM において，ランドマーク数別にセグメント数を調べる (図 12) と，栄よりも渋谷の方が，ランドマークが全く見えないセグメントの数が多いことがわかる．よって，見えるランドマークが 1 つもないセグメントが少ない地域の方が，視認可能なランドマークを用いた位置特定がより効果的であることがわかった．また，見えるランドマークが 1 つもないセグメントが多い地域においては，新たにランドマークとする建造物を増やすなどの解決策が考えられた．

また，表 10 の栄においては，指定方法 V_2 と V_3 において位置特定を行うときは，ほぼ同じ値を示している．一方，表 11 の渋谷においては，若干，V_2 と V_3 の各値が異なっていた．これは，図 12 より，栄はランドマークが 3 個見えるセグメント数の割合が最も多く，そこから裾野状に棒グラフが広がっているが，渋谷はランドマークが 1 個見えるセグメントが最も多く，それ以上ランドマークが見えるセグメントの数の割合は，急激に減っていることが原因として考えられる．これは，表 4 の視認可能なランドマーク数が，栄は 3.9，渋谷は 1.5 であることからも渋谷の方が視認可能なランドマーク数が少ないことは明らかである．つまり，3 つのランドマークが見えていれば，相対的に位置関係が等しいセグメントは少ない．しかし，1 つ，ないし 2 つしかランドマークが見えないと，視認可能なランドマークの位置関係が相対的に等しいセグメントは多くなる．そのため，渋谷のように見えるランドマーク数が少ない地域で指定方法 V_2 と V_3 において位置特定を行うと，同じ視認状況の数でも位置特定が可能なセグメント数の割合が指定方法 V_3 の方が高くなることが考えられた．

5. 関 連 研 究

現在，位置特定技術として広く利用されているものに GPS がある．ただし，GPS は，建造物のそばでは電波が届きにくいため，GPS から取得可能な位置の誤差が大きくなる問題がある. [3] では，そのような問題を解決するために，準天頂衛星を打ち上げることで，位置特定が可能な地域の拡大と測位精度の時間的安定性を向上させることを述べている．歩行者ナビゲーションにおいて GPS による位置特定を用いると，歩行者の位置は地図上に示されるため，歩行者は，自身の頭の中でその示された現在地と地図，そして周りの風景を対応付けることで目的地に向かう必要がある．我々は，視認可能な建造物を目印に歩行者ナビゲーションを実現するための基礎として，視認可能な建物を用いた位置特定を行っている．これにより，歩行者が目的地まで視認可能な建造物に向かっていくことが可能となり，直感的に理解しやすい誘導を実現する．

また，子供の連れ去り防止のために RFID タグを用いた子供の登下校時刻等の監視が行われつつある．その RFID タグを用いて位置特定を行う研究が行われている [4]．これは，人に RFID タグを持たせることで，その人が RFID の読み取り機 (リーダ) の前を通るときに，システムが人の位置を検出するものであり，複数のリーダを用いることで，さらに位置検出制度を上げることが可能である．しかし，歩行者ナビゲーションにおける位置特定として利用するためには，歩行者が歩く可能性のある範囲すべてにリーダを設置する必要がある．我々は，近年急速に整備の進む三次元地図データを用いることで，広い範囲でどの道路にいるのかを特定可能にする．

6. お わ り に

本稿では，次の 4 機能を有する位置特定システムを提案した．

機能-1. ランドマーク視認マップの生成機能

機能-2. 視認可能なランドマークに関する質問提示機能

機能-3. 視認状況からの地点集合の導出機能

機能-4. 複数の視認状況からの位置絞込み機能

実験により，名古屋市栄と東京都渋谷の 2 地域において，視認状況から位置特定が可能であることが示された．また，視認状況の各指定方法に対し，位置特定に必要な視認状況の数を比較し，有効な指定方法の検証を行った．なお，GPS を用いたナビゲーションシステムと提案システムとの比較を表 7 に示す．

今後，歩行者の入力インターフェイスに関して，見えるランドマークを選択するときに，位置の絞込みに有効なランドマークを優先的に選択ボタンとして歩行者に示すことで，より早く位置特定を可能にする．さらに，位置特定のためにランドマークとなる建造物を自動的に指定可能にすることを考える．これにより，あらかじめ決めたランドマークが存在しない場所や，周りが建造物で遮られるためにランドマークが見えない場所における位置特定を可能にする．

謝辞

本研究の一部は人工知能研究振興財団の研究助成によるものである．

文　　献

[1] 多賀大泰，高橋直久： ３Ｄ地図を用いたランドマーク視認マップの生成と歩行者ナビゲーションへの適用，平成 17 年度 電気関係学会東海支部連合大会（2005）

[2] MapCube,http://www.mapcube.jp/index1.html

[3] 江州秀人：準天頂衛星測位・通信システムの開発，国土技術政策総合研究所研究評価委員会平成１４年度分科会報告書

[4] 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

[5] GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD, http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/2001SPSPerformanceStandardFINAL.pdf