

# 周回フォトマップを用いた歩行者位置特定システムの高度化と 地下街への適用実験

長尾 政宏<sup>†</sup> 高橋 直久<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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: †nagao@moss.elcom.nitech.ac.jp, †naohisa@nitech.ac.jp

あらまし 筆者らは、これまでに歩行者が視認する周囲の風景をカメラにより撮影した画像(周回フォト)を用いて、歩行者の位置を特定するシステムを提案し、評価実験を行った。このシステムは、比較的条件が良い状況では高い位置特定精度が得られるが使用するカメラ機種や撮影方向などによる画像の差異により位置特定の精度が低下することが明らかになった。本稿では、カメラ機種によらない特徴パラメータの利用とカメラの撮影方向の誤差を吸収する機構を導入することにより、既提案システムを高度化する方式について述べる。また、この方式の実現法、および名古屋市栄の地下街において評価実験を行った結果についても述べる。

キーワード 時空間 DB, 情報検索, メタデータ管理, モバイルコンピューティング

## An Enhanced Location-Identification System using a Photo Map of the Area Surrounding a Pedestrian and its Application in an Underground Shopping Center

Masahiro NAGAO<sup>†</sup> and Naohisa TAKAHASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering,

Nagoya Institute of Technology

Gokiso, Showa, Nagoya, 466-8555 Japan

E-mail: †nagao@moss.elcom.nitech.ac.jp, †naohisa@nitech.ac.jp

**Abstract** We previously presented a location-identification system using a photo map of the landscape surrounding a pedestrian user and described the results obtained from experimental evaluation of the system. Here we propose methods for improving upon the previous system. These methods introduce the mechanisms to provide tolerance for differences in models of cameras and for differences in the directions from which pictures are captured by the cameras. We also describe aspects related to the implementation of the system as well as the results of preliminary experiments conducted at an underground shopping center in Nagoya city.

**Key words** Temporal and Spatial DB, Information Retrieval, Metadata Management, Mobile Computing

### 1. はじめに

歩行者が現在位置から視認する周囲の風景をカメラにより撮影した画像(周回フォト)を用いることにより、歩行者の現在地を特定するシステムを実現できる[1]。このシステムでは、地図上の各地点での周回フォトをデータベース化しておく。このデータベースから歩行者が撮影した現在地の周回フォトに最も類似した周回フォトを検索し、その結果により現在地を特定する。このシステムでは、以下の問題点がある。

問題1 カメラ機種が異なると周回フォトの各画像の色合いが異なる。色合いを用いて周回フォトの類似度を計算しているた

め、歩行者がデータベース作成用のカメラと異なる機種を用いた場合に、位置特定の精度が低下する。

問題2 撮影時のカメラの方向がずれると画像が異なる。画像の照合により周回フォトの類似度を計算しているため、歩行者がデータベース作成時と異なる方向にカメラを向けて撮影すると、位置特定の精度が低下する。

問題3 撮影時の天候や時間帯の違いにより、画像の陰影や色合いに差異が生じる。この差異により、同一地点の画像でも見え方が大きく異なり、画像の色合いを用いて類似度計算を行うと、位置特定の精度が低下する。

本稿では、これらの問題を解決するため、次の3つの特徴を有

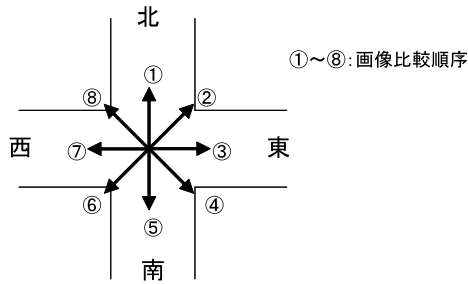


図 1 写真の撮影方法

表 1 位置情報データベースの構成

周回フォト ID	緯度・経度	住所
----------	-------	----

表 2 ヒストグラムデータベースの構成

周回フォト ID	ヒストグラム	順序
----------	--------	----

表 3 周回フォトデータベースの構成

周回フォト ID	順序	周回フォト
----------	----	-------

する周回フォトを用いた位置特定システムを提案する。

**特徴 1** 画像の輝度値のヒストグラムに基づき類似度計算を行う周回フォト照合機能により、カメラの機種の違いを吸収する機構を実現する。これにより、周回フォトの撮影に用いるカメラの機種が異なる場合でも、高い位置特定精度を達成可能にする。

**特徴 2** 中央部の画像に基づき類似度計算を行う周回フォト照合機能により、カメラの撮影方向のずれを吸収する機構を実現する。これにより、歩行者の撮影方向が、データベース作成時の撮影方向と多少異なっていても、高い位置特定精度を達成可能にする。

**特徴 3** 複数地点での周回フォトマップを用いるための繰り返し機構を実現する。これにより、高い位置特定精度を達成可能にする。

これらの特徴により、カメラ機種の違いやカメラの撮影方向のずれがある場合でも高い位置特定精度を実現可能になる。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 章では、周回フォトマップを用いた歩行者位置特定システムについて述べる。次に、3 章では、システムの実現法について述べる。4 章では、名古屋市栄での地下街への適用実験と考察について述べる。5 章では、関連研究について述べる。最後に 6 章では、結果についてまとめる。

## 2. 周回フォトマップを用いた歩行者位置特定システム

本章では、周回フォトマップを用いた歩行者位置特定システムの概要について述べる。

### 2.1 位置特定の手順

周回フォトとは、歩行者が視認する周囲の風景の画像群である。今回は、図 1 に示すように北から等間隔に時計回りに、1 つの地点で写真を撮影し、画像化したものを周回フォトとする。



図 2 周回フォトの例

周回フォトの例を図 2 に示す。

全地点に対して周回フォトを作成し、周回フォトデータベースに格納しておく。

提案システムを用いた位置特定の手順は、次の通りである。**STEP1** 歩行者は現在地で周回フォトを撮影し、システムに送信する。

**STEP2** システムは、周回フォトデータベースから歩行者の周回フォトに最も類似した周回フォトを検索し、周回フォトを歩行者に提示する。

**STEP3** 歩行者は、提示された周回フォトと現在地の周囲の風景を見比べ、「同じ」または「異なる」かを判断し、その結果をシステムに送信する。

**STEP4** 歩行者は、「異なる」と判断した場合、次の地点に移動して **STEP1** に行く。「同じ」と判断した場合には、システムが提示した周回フォトの撮影地点を現在地と判定して位置特定を終了する。このとき、その撮影地点が実際の現在地と同じ場合には、その判定は成功であり、実際の現在地と異なる場合には、その判定は失敗となる。

なお、**STEP1** では歩行者はあらかじめ指定された場所で撮影する。

### 2.2 システムの構成

システムは、図 3 に示すように、カメラ機種に対する不変量抽出部、位置に対する不変量抽出部、ヒストグラム生成部、照合部、地点決定部、登録部、提示部の 7 つの機能からなる。以下、各機能について述べる。

**カメラ機種に対する不変量抽出部** 歩行者が撮影に用いるカメラは周回フォトデータベースを構築時に用いたカメラと異なる場合がある。一般に使用するカメラの機種が異なると色合いが異なる。色合いによる類似度計算では、位置特定の精度が低下する。カメラの機種に対する不変量を抽出することにより、機種の違いに依存しない位置特定が実現可能になる。今回は予備的検討の結果に従い、不変量として、輝度値を使用する。輝度値は、色合いと比較すると機種による影響が少ない。RGB で表現されている画像を 1 ピクセルごと輝度値に変換する。1 枚の画像に対して 1 ピクセルごと輝度値であらわしそれらの値を用いて画像全体についてヒストグラムを求めたものを輝度ヒストグラムと呼ぶことにする。8 枚の画像からなる周回フォトに

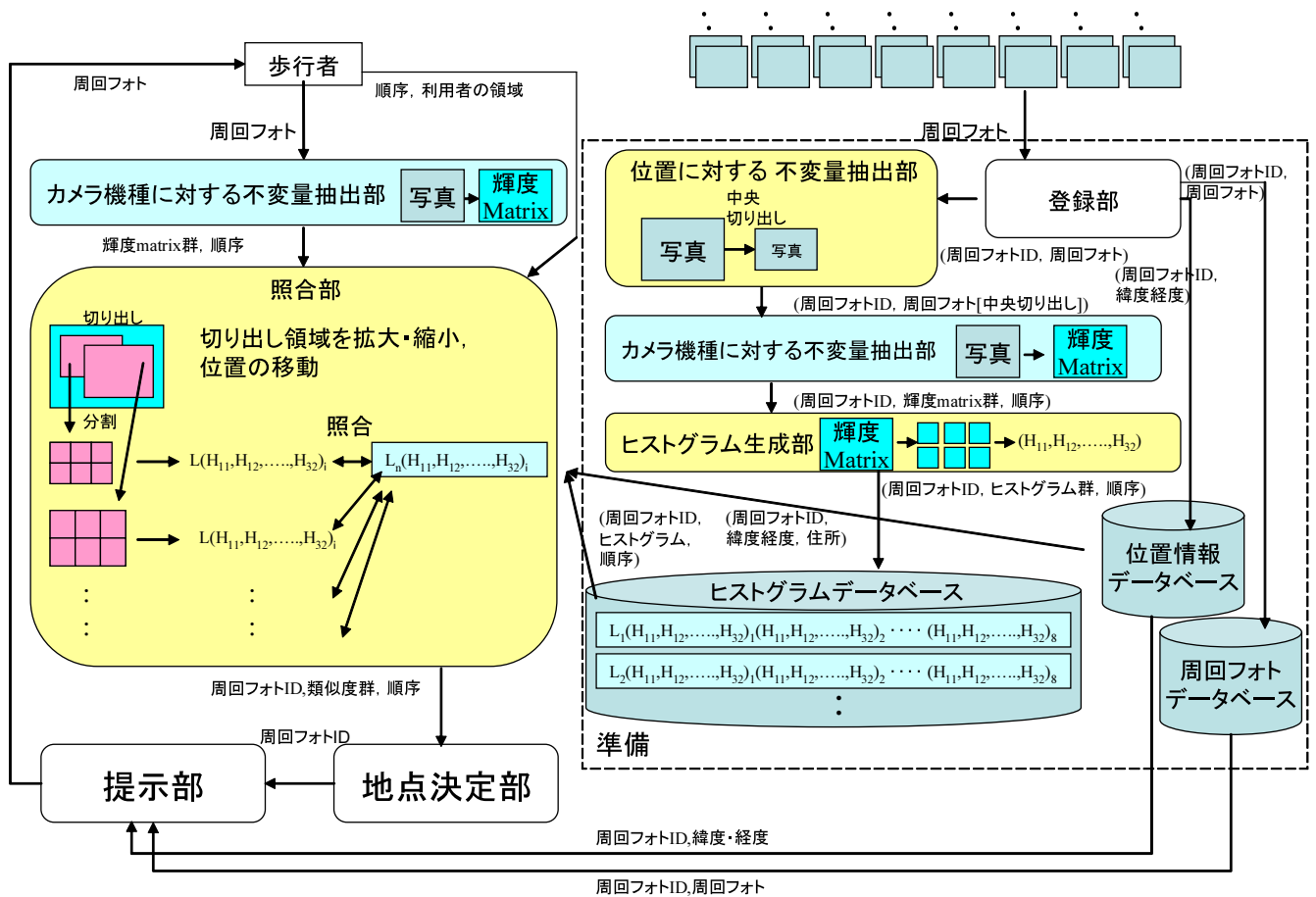


図3 システムの構成

対して輝度マトリクス群が生成される。

**位置に対する不変量抽出部** 歩行者はシステムと一致した方向の写真撮影できるとは限らず、撮影方向にずれが生じる。ずれによる影響を取り除くため、写真の中心部を切り出す。これは、切り出した中央部の写真であれば、ずれがあったとしても、写真全体のどこかに存在していると考えられるためである。

**ヒストグラム生成部** 物体の変形などに安定であるヒストグラムを用いる。また、切り出した中央部での輝度値の分布状況を反映させるため、切り出した中央部を分割する。分割した領域に対してそれぞれヒストグラムを作成する。

**照合部** ヒストグラムを用いて類似度を算出する。検索対象のヒストグラムはシステム実行前にあらかじめヒストグラムデータベースに構成する。ヒストグラムデータベースの構成を表2に示す。また、歩行者の周回フォトから得られた輝度マトリクス群から位置に対する不変量の抽出部により生成されたヒストグラムと類似する部分を探すために、拡大・縮小、位置を変えながら、ヒストグラムを生成し、照合する。

**地点決定部** 地点決定部が照合部の結果をもとに地点を決定する。照合結果の類似度の集合から、得点をつけ、ランキングする。最も高いランクを地点として決定する。周回フォトと緯度・経度情報をシステム実行前にあらかじめ位置情報データベースに構成しておく。位置情報データベースの構成を表1に示す。  
**登録部** システムを実行するにあたり、データベースに登録す

る位置情報、周回フォトを関連付けておく必要がある。

**提示部** 地点決定部による結果をもとに、歩行者に提示する画像を選択し、決定する。周回フォトはシステムを実行する前にあらかじめ周回フォトデータベースに構成する。周回フォトデータベースの構成を表3に示す。

### 3. 実現法

本章では、特徴1から特徴3に示した(1)カメラの機種の違い吸収機構、(2)撮影方向のずれ吸収機構、(3)複数地点の周回フォトを用いた位置特定機構の実現法について述べる。

#### 3.1 1組の周回フォトによる検索

歩行者の撮影した周回フォトをキーに周回フォトデータベースを検索し、提示する。歩行者は図1のように、①から⑧の順に撮影するように指示されている場合、以下に手順に従う(文献[1])。

**STEP1** 周回フォトデータベース内のすべての地点、方向について、以下を行う。

**STEP1.1** 地点  $l$  の周回フォト  $DP_l$  から方向  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) の写真画像  $DI_i$  をとりだす。

**STEP1.2** 歩行者の周回フォト  $PP$  から方向  $i$  の写真画像  $PI_i$  をとりだす。

**STEP1.3**  $DI_i, PI_i$  の特徴ベクトル  $DV_i, PV_i$  を求める。

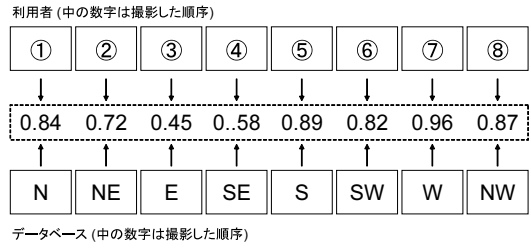
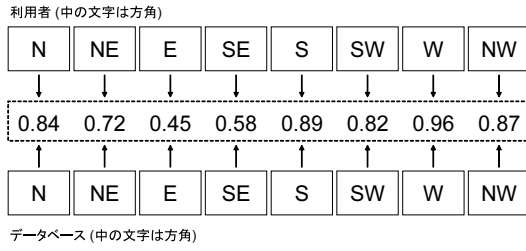


図 4 類似度算出方法 (歩行者は撮影する順序を指示されている場合)

STEP1.4 以下の式を用いて、類似度  $S_{l,i}$  を求める [3].

$$S_{l,i} = \frac{DV_i \cdot PV_i}{|DV_i| |PV_i|}$$

STEP2 各方向  $i$  について  $S_{l,i}$  の上位 5 位に得点  $P_{l,i}$  をつける . 得点  $P_{l,i} = \max(2^{5-r_{l,i}}, 0)$  となる .  $r_{l,i}$  は方向別の順位である .

STEP3  $l$  地点の周回フォトの得点は  $P_l = \sum_i P_{l,i}$  となる .

STEP4 周回フォトの得点を並び替え , 周回フォトのランクを決定する .

時計まわりに撮影することだけを指示されている場合は , 例えば , ③④ ... ⑧①② のように撮影できる . 以下 , 手順を示す .

STEP1 周回フォトデータベースのすべての方向 , 地点について以下を行う .

STEP1.1 歩行者の写真画像の方向  $j$  をずらしながら , 類似度の計算を行う . 図 5 のように , 1 つずつずらして計算を行う .

STEP1.1.1 地点  $l$  の周回フォト  $DP_l$  から方向  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) の写真画像  $DI_i$  をとりだす .

STEP1.1.2 歩行者の周回フォト  $PP$  から方向  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 8$ ) の写真画像  $PI_j$  をとりだす .

STEP1.1.3  $DI_i, PI_j$  の特徴ベクトル  $DV_i, PV_j$  を求める .

STEP1.1.4 歩行者は撮影する順序を指示されている場合 STEP1.4 と同様の式により ,  $DV_i, PV_j$  から類似度  $S_{l,i,j}$  を求める .

STEP1.2 各方向  $i$  について  $S_{l,i,j}$  の上位 5 位に得点  $P_{l,i,j}$  をつける . 得点  $P_{l,i,j} = \max(2^{5-r_{l,i,j}}, 0)$  である .  $r_{l,i,j}$  は方向別の順位である .

STEP1.3 STEP1.2 より , 各方向の得点の和を求め , 最も高いランクを  $l$  地点での類似度群とする .

STEP2 各地点での STEP1.3 での最も高いランクの類似度  $S_{l,i}$  の上位 5 位に歩行者は撮影する順序を指示されている場合 STEP2 と同様に , 得点  $P_{l,i}$  をつける .

STEP3  $l$  地点の周回フォトの得点は ,  $P_l = \sum_i P_{l,i}$  となる .

STEP4 周回フォトの得点を並び替え , 周回フォトのランクを決定する .

図 6 は , 類似度をもとに得点を作成しソートした例である .

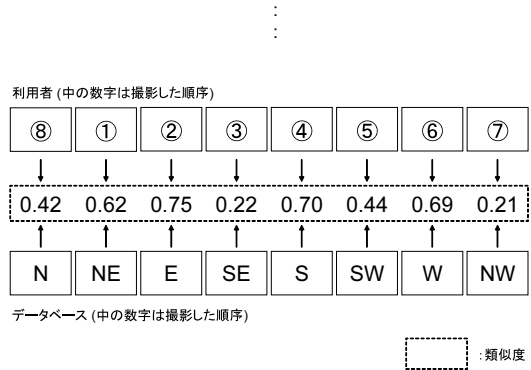


図 5 類似度算出方法 (歩行者は時計回りに撮影することを指示されている場合)

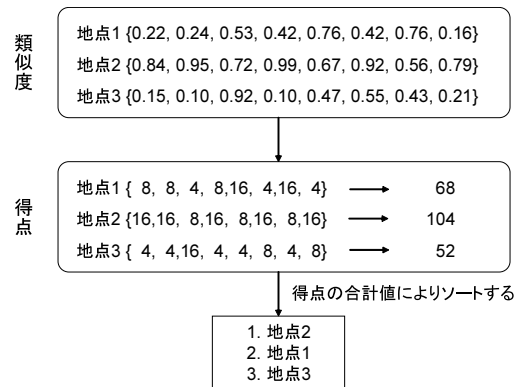


図 6 類似度をもとに得点を作成しソートする例

### 3.2 カメラの機種の違い吸収機構

カメラの機種の違いを吸収するために , 3.1 節 STEP1.3 での画像から特徴ベクトルを作成する方法について述べる .

STEP1 周回フォトの各画像について , 1 ピクセルごとに RGB 値から輝度値を計算し近似する .

画像は , 光の三原色である RGB 各 256 階調による画像 ( $0 \leq R, G, B \leq 255; R, G, B$  は整数値) である . 1 ピクセルごとに RGB 値から輝度値  $Y$  ( $0 \leq Y \leq 255$ ) に変換する .  $Y$  は ,

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

で計算される [2] .  $Y$  軸を等間隔に分割し , 計算により得られた輝度値を近似する . これにより , 1 枚の画像に対して , 輝度値により構成されるマトリクスが生成できる .

STEP2 輝度マトリクスを矩形に分割する . 横 4 つ , 縦 3 つに分割を行った例を図 7 に示す .

STEP3 矩形に分割したマトリクス各々に対してヒストグラムを生成する .

輝度値を割合とするヒストグラムを生成する . 左上から縦  $i$  番

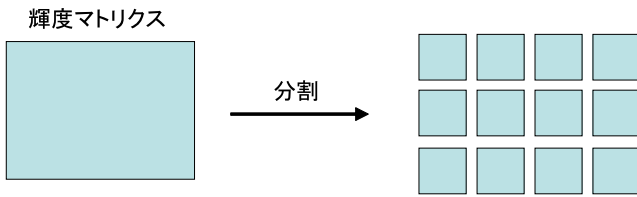


図 7 輝度マトリクスの分割 (例: 横 4 分割, 縦 3 分割)

目, 横  $j$  番目の領域のヒストグラム  $H_r(i, j)$  は,

$$H_r(i, j) = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_L)$$

となる ( $h_k$  は, 領域内に  $k$  番目の輝度値が含まれる割合を表す.  $L$  は近似数). 各分割領域に対して, 上記のヒストグラムを求めることにより中央部に対するヒストグラム群が得られる. ヒストグラムを連結して, 特徴ベクトルを生成する.

### 3.3 撮影方向のずれ吸収機構

撮影方向のずれを吸収するために, 3.1 節 STEP1.3, STEP1.4 での画像から特徴ベクトル生成して類似度を算出する方法に述べる. STEP5 の手順による周回フォトの画像の切り出し, 分割の例を図 8 に示す.

STEP1 データベースの周回フォトの各画像 (幅  $W$  ピクセル, 高さ  $H$  ピクセル) に対して, 中央部画像 (幅  $w$  ピクセル, 高さ  $h$  ピクセル;  $w \leq W, h \leq H$ ) を切り出す.

STEP2 STEP1 で周回フォトの中央部切り出した画像に該当するマトリクスを 3.2 節の STEP2 と同様に矩形状に分割する.

STEP3 3.2 節の STEP3 と同様に, 分割した各マトリクスに対して, ヒストグラムを生成し, 特徴ベクトルとする.

STEP4 ヒストグラム群と周回フォトと撮影順序を関連づけて, ヒストグラムデータベースに登録する.

STEP5 すべての位置と倍率に対して, 以下を行うことにより類似度を計算する.

STEP5.1 歩行者が撮影した周回フォトの各画像から幅  $w \times \alpha$  ピクセル, 高さ  $h \times \alpha$  ピクセル切り出す.

STEP5.2 STEP5.1 で切り出した画像に該当するマトリクスを 3.2 節 STEP2 と同様に, 矩形状に分割する.

STEP5.3 分割したマトリクス各々に対して, 3.2 節 STEP3 と同様にヒストグラムを生成し, 特徴ベクトルとする.

STEP5.4 ヒストグラムデータベースのヒストグラム群と STEP5.3 で生成したヒストグラム群により, 3.1 節 STEP1.4 と同様に, 類似度の計算を行う.

STEP6 類似度の計算結果で最も高い類似度を画像間の類似度とする.

### 3.4 複数地点の周回フォトを用いた位置特定機構

歩行者の撮影した周回フォトにより, 周回フォトデータベースを検索し, 提示する.

STEP1 周回フォトデータベース内のすべての地点, 方向について, 3.1 節 STEP1 と同様にして, 類似度を算出する.

STEP2 3.1 節 STEP2 と同様に, 得点をつける.

STEP3 3.1 節 STEP3 と同様に, 周回フォトの得点を求める.

STEP4 1 回目から  $n$  回目の歩行者の周回フォトの得点によ

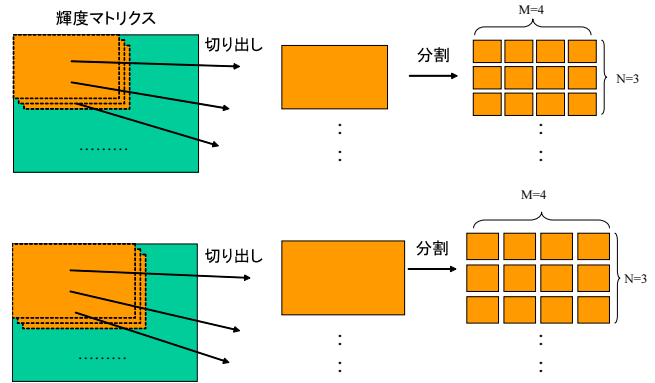


図 8 歩行者の周回フォトを構成する画像の切り出し, 分割方法の例 (横 4 分割, 縦 3 分割)

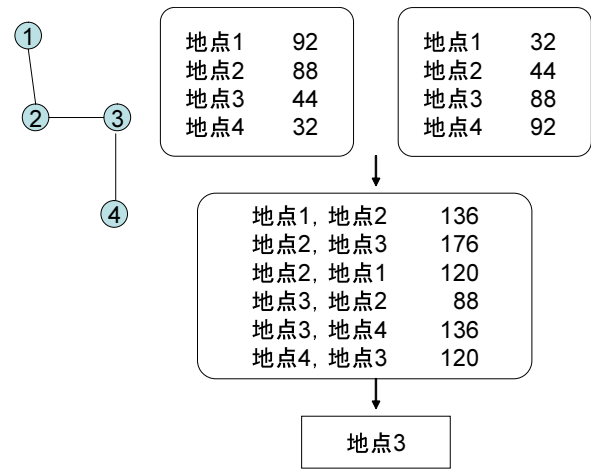


図 9 周回フォト検索方法 (例: 地点数 2 の場合)

り, 周回フォトのランクを決定する.

図 9 では, 2 つの地点での検索方法の例について示す.

## 4. 地下街への適用実験

### 4.1 実験項目と実験方法

提案システムのプロトタイプシステムを実装し, 地下街への適用実験により, 次の 3 点を検証する.

検証項目 1 カメラ機種の違い吸収機構の有効性

検証項目 2 撮影方向のずれ吸収機構の有効性

検証項目 3 複数地点による位置特定機構の有効性

以下のシステムを用いて, 評価実験を行う.

プロトタイプシステム 1: カメラ機種に対する不変量抽出機能を実装した位置特定システム

プロトタイプシステム 1 では, カメラ機種に対する不変量抽出機能により, 輝度値を使用した位置特定システムである. 本稿で述べた位置に対する不変量抽出機能は実装していない.

プロトタイプシステム 2: カメラ機種に対する不変量抽出機能および位置に対する不変量抽出機能を実装した位置特定システム

プロトタイプシステム 2 では, カメラ機種に対する不変量抽出機能により, 輝度値を使用する. また, 位置に対する不変量抽出機能により, データベース構築時と歩行者が撮影した画



表 4 従来システム 色の近似条件

色	条件
黒	$(0 \leq V \leq 0.2)$ または、 $(0 \leq S \leq 0.1$ かつ $0.2 < V \leq \frac{1}{3})$
灰	$0 \leq S \leq 0.1$ かつ $\frac{1}{3} < V \leq \frac{2}{3}$
白	$0 \leq S \leq 0.1$ かつ $\frac{2}{3} < V \leq 1$

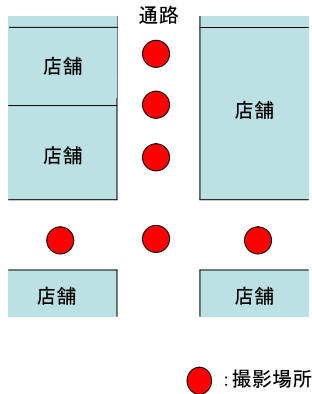


図 10 撮影する場所

像のずれを吸収する。

プロトタイプシステム 3: プロトタイプシステム 2 に複数地点による位置特定機構を実装した位置特定システム

プロトタイプシステム 3 では、プロトタイプシステム 2 で実装した機能に加え、複数地点による位置特定機構を実装したシステムである。

名古屋市栄のセントラルパーク地下街の 96 箇所にて、周回フォトを撮影し、周回フォトデータベースを構築した。

歩行者は、図 1 に示したように、①から⑧の順に、歩行者の視線で地面と平行に撮影するように指示されている。また、撮影する場所は、図 10 のように交差点または店舗の前と指示されている。

本実験では、以下の 3 種類の実験を行った。

実験 1 プロトタイプシステム 1 と従来システムを用いて検証項目 1 に関する実験を行う。2 つのシステムとも、位置に対する不変量抽出機能未実装である。画像全体を用いて、照合を行い、類似度を算出する。ここで、従来システムを次に示す。

従来システム: カメラ機種に対する不変量の代わりに色合いを用いた位置特定システム

従来システムでは、色合いを用いた位置特定システムである。抽出した RGB 値を HSV に変換し、色相  $H(0 \leq H \leq 1)\{0, 0.04, 0.08, \dots, 0.96\}$  の 25 種類に近似する。そして、彩度  $S$ 、明度  $V$  の値により、白、黒、灰、色相が表す色のいずれかに近似される。白、黒、灰の近似条件を表 4 に示す。なお、位置に対する不変量抽出機能は実装していない。

以下の STEP に従い実験を行う。

STEP1 周回フォトを撮影する。

STEP2 データベースの周回フォト (96 箇所) と照合を行い、類似地点を列挙する。

場所を変更しながら、計 96 地点で、類似地点の検索を行った。データベース構築時と同じカメラと異なるカメラの 2 種類を

使用した。

実験 2 プロトタイプシステム 2 とプロトタイプシステム 1 を用いて検証項目 2 に関する実験を行う。プロトタイプシステム 2 では、位置に対する不変量抽出機能により、画像の一部分を切り出して照合を行う。まず、検索対象であるデータベース側では、周回フォトの各画像に対して、中央部を幅  $w = 120$  ピクセル、高さ  $h = 80$  ピクセル 切り出す (倍率  $\alpha = 1.0$  のとき)。3.2 節の倍率パラメータ  $\alpha$  を 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 とする。マトリクス切り出し後、さらに矩形状に分割する。分割なし、横 3×縦 2 分割、横 6×縦 4 分割、横 12×縦 8 分割、横 24×縦 16 分割の 5 種類について実験を行った。なお、輝度値は 8 段階に近似した。

プロトタイプシステム 1 では、位置に対する不変量抽出機能を実装していないため、画像全体で照合を行う。ただし、前述のプロトタイプシステム 1 との比較を行うために、矩形状に分割した。分割なし、横 4×縦 3 分割、横 8×縦 6 分割、横 16×縦 12 分割、横 24×縦 18 分割の 5 種類について実験を行った。なお、輝度値は 8 段階に近似した。

以下の STEP に従い実験を行う。

STEP1 周回フォトを撮影する。

STEP2 データベースの周回フォト (96 箇所) と照合を行い、類似地点を列挙する。

場所を変更しながら、計 96 地点で、類似地点の検索を行った。データベース構築時と同じカメラと異なるカメラの 2 種類を使用した。

実験 3 プロトタイプシステム 3 を用いて、検証項目 3 に関する実験を行う。以下の STEP で実験を行う。

STEP1 周回フォトを撮影する。

STEP2 データベースの周回フォト (96 箇所) と照合を行い、最も類似する地点を歩行者に提示する。

STEP3 歩行者は、提示した周回フォトと視認する風景とを比較し、同じか異なるかを判断する。

STEP4 異なる場合、次の地点に移動し、STEP1 から STEP3 を繰り返す。

STEP3 では、歩行者は提示された周回フォトと視認する風景を比較することで、同じか異なるかを判断している。このとき、歩行者が正しく終了する確率を  $P$ 、誤って終了する確率を  $Q$  とする。ここで「正しく終了」とは、システムが歩行者の現在の周回フォトを提示し、それを歩行者が正しく現在の周回フォトであると判定し終了することである。また「誤って終了」とは、システムが歩行者と異なる周回フォトを提示し、それを歩行者が誤って現在の周回フォトであると判定し終了することである。なお、5 回以上歩行者が現在の周回フォトでないと判定した場合は、誤って終了とみなすことにする。

#### 4.2 実験結果と考察

実験 1 表 5 に、カメラ機種に対する不変量抽出機能導入によるシステムの適合率の変化を示す。ここで、適合率とは、次式で定義されるものである。

$$\text{適合率} = \frac{\text{正解の地点がある順位に含まれる回数}}{\text{システムを用いて位置特定を試みた全回数}}$$

表 5 プロトタイプシステム 1 と従来システムの適合率

システム	1 位	3 位以内	5 位以内	10 位以内
従来システム (カメラ:同じ)	78.1 % (75/96)	86.5 % (83/96)	89.6 % (86/96)	92.7 % (89/96)
プロトタイプシステム 1 (カメラ:同じ)	86.5 % (83/96)	93.8 % (90/96)	93.8 % (90/96)	94.8 % (91/96)
従来システム (カメラ:異なる)	2.1 % ( 2/96)	5.2 % ( 5/96)	7.3 % ( 7/96)	19.8 % (19/96)
プロトタイプシステム 1 (カメラ:異なる)	24.0 % (23/96)	44.8 % (43/96)	53.1 % (51/96)	72.9 % (70/96)

表 6 プロトタイプシステム 1(比較: 全体画):分割数の違いによる 1 位での適合率の変化

分割数	同じカメラ	異なるカメラ
分割なし	86.5 % (83/96)	24.0 % (23/96)
4 × 3 分割	94.8 % (91/96)	65.6 % (63/96)
8 × 6 分割	93.8 % (90/96)	68.8 % (66/96)
16 × 12 分割	93.8 % (90/96)	65.6 % (63/96)
32 × 24 分割	92.7 % (89/96)	64.6 % (62/96)

表 5 より, プロトタイプシステム 1 では, カメラ機種が異なる場合でも, 10 位以内の適合率が 70%以上で従来システムの適合率の 3 倍以上であることがわかる. カメラ機種の違いを吸収する上で効果があるといえる.

カメラの機種が同じ場合では, プロトタイプシステム 1 での 10 位以内の適合率が 92.7% である. 従来システムでは, 94.8%である. カメラの機種が同じ場合でも適合率が向上している.

実験 2 表 6 にプロトタイプシステム 1 の結果, 表 7 にプロトタイプシステム 2 の結果を示す. プロトタイプシステム 1 では, 適合率が最も高くなるのは, 同じカメラの場合には 4 × 3 分割, 異なるカメラの場合には 8 × 6 分割である. 一方, プロトタイプシステム 2 では, 同じカメラと異なるカメラのいずれの場合でも, 適合率が最も高くなるのは, 分割数が最も多い 24 × 16 分割のときである. プロトタイプシステム 1 とプロトタイプシステム 2 で, 最も高い 1 位での適合率で比較を行う (表 8). 表 8 より, プロトタイプシステム 2 の方が適合率が高い. 撮影方向のずれによる画像の違いを吸収する上でプロトタイプシステム 2 で実現した方式が有効であることがわかる.

実験 3 表 9, 10 に横 24 × 縦 16 分割時の地点数による位置特定成功率の変化を示す. 表 9 は  $P = 0.8, Q = 0.2$  のとき, 表 10 は,  $P = 1, Q = 0$  のときである. ここで, 位置特定成功率とは, 次式で定義されるものである.

$$\text{位置特定成功率} = \frac{\text{歩行者が正しく終了した回数}}{\text{提案システムを用いて位置特定を試みた全回数}}$$

また, 「提案システムを用いて位置特定を試みる」とは, 歩行

表 7 プロトタイプシステム 2: 分割数の違いによる 1 位での適合率の変化

分割数	同じカメラ	異なるカメラ
分割なし	84.4 % (81/96)	43.8 % (42/96)
3 × 2 分割	96.9 % (93/96)	75.0 % (72/96)
6 × 4 分割	94.8 % (91/96)	79.2 % (76/96)
12 × 8 分割	97.9 % (94/96)	84.4 % (81/96)
24 × 16 分割	97.9 % (94/96)	85.4 % (82/96)

表 8 プロトタイプシステム 1 とプロトタイプシステム 2 の中で最も高い 1 位での適合率の比較

システム	同じカメラ		異なるカメラ	
	分割数	適合率	分割数	適合率
プロトタイプシステム 1	4 × 3	94.8 %	6 × 4	68.8 %
プロトタイプシステム 2	12 × 8, 24 × 16	97.9 %	24 × 16	85.4 %

表 9 複数地点による位置特定成功率の変化 ( $P=0.8, Q=0.2$ )

地点数	位置特定成功率 [%]	
	カメラ同じ	カメラ異なる
1	77.3	69.1
2	95.0	88.5
3	98.5	93.7
4	99.1	95.0
5	99.1	95.0

表 10 複数地点による位置特定成功率の変化 ( $P=1, Q=0$ )

地点数	位置特定成功率 [%]	
	カメラ同じ	カメラ異なる
1	97.8	85.1
2	100.0	93.3
3	100.0	96.2
4	100.0	97.3
5	100.0	98.2

者が周回フォトの撮影を開始してから, 「正しく終了」または「誤って終了」するまでの一連の手続きを言う.

表 9 より ( $P, Q$ ) = (0.8, 0.2) の場合での位置特定成功率は, 同じカメラの場合, 地点数 1 では 77.3%, 地点数 2 以降では 95%以上である. また, 異なるカメラの場合, 地点数 1 では 69.1%, 地点数 2 以降では, 90%以上である.

表 10 より, ( $P, Q$ ) = (1, 0) の場合での位置特定成功率は, 同じカメラの場合, 地点数 1 では 95%以上, 地点数 2 以降では, 100%である. また, 異なるカメラの場合, 地点数 1 では 85.1%, 地点数 2 以降では, 90%以上である. いずれも地点数 1 よりも位置特定成功率が向上している.

## 5. 関連研究

山口らは文献 [4] で, カメラにより撮影した屋外の看板画像

の判別を行う手法を提案している。この研究では、画像 1 枚で判別を行うが、看板・ポスターなどの平面物体に限定し、かつ画面の中央に画面一杯に写すことを条件としている。本提案システムでは、複数枚からなる周回フォトにより判定を行うが、歩行者の地点から順序を守り、撮影することを条件としている点で異なる。

山本らは文献 [5] で、カメラにおける色特性のばらつきに対して色補正する手法を提案している。本提案システムのカメラの違いを吸収する機構に適用可能であると考えられる。ただし、適用する場合には、カラーチャートにより、三刺激値を測定する必要がある。

## 6. おわりに

本稿では、周回フォトを用いた歩行者を対象とする位置特定システムを提案した。本提案システムでは、画像の輝度値のヒストグラムに基づき類似度計算を行う周回フォト照合機能により、カメラの違いを吸収する機構を実現した。これにより、周回フォトの撮影方向に用いるカメラの機種が異なる場合でも、高い位置特定精度が実現可能となった。さらに、中央部の画像に基づき類似度計算を行う周回フォト照合機能により、カメラの撮影方向のずれを吸収する機構を実現した。これにより、歩行者の撮影方向がデータベース作成時の撮影方向が多少異なっても、高い位置特定精度が実現可能となった。本提案システムのプロトタイプを実装し、地下街での適用実験により、有効性を検証した。

## 謝 辞

周回フォトの撮影にあたりご協力頂いた株式会社セントラルパーク取締役総務部長兼管理部長野村治氏に深く感謝致します。また、撮影にご協力頂いた名古屋工業大学高橋研究室石川幹直氏、木村直希氏、多賀大泰氏、尾池健二氏、中村友貴氏、石川健太氏に感謝致します。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] 石川幹直, 長尾政宏, 細川宜秀, 高橋直久: カメラ付き携帯電話を用いた状況認識機能を有する利用者の位置特定システムの実現方式, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ (DEWS2004) (2004).
- [2] 田村秀行: コンピュータ画像処理, オーム社 (2002).
- [3] 北研二, 津田和彦, 獅々堀正幹: 情報検索アルゴリズム, 共立出版 (2002).
- [4] 山口高康, 高畑実, 本郷節之: モバイルカメラの看板をトリガにした情報検索, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2003-174, pp. 19-24 (2003).
- [5] 山本治由, 塚田正人, 北原格, 亀田能成, 大田友一: 屋外型複合現実感システムにおけるカメラ間の色補正, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2005-105, pp. 49-54 (2005).