

マーカー検出に基づくカメラの3次元位置推定を用いた 歩行者ナビゲーションシステムの検討

庄司 拓也[†] 杉浦 彰彦[†]

[†] 豊橋技術科学大学 〒441-8151 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

あらまし 近年、携帯電話を用いた歩行者ナビゲーションシステムの開発が盛んに行われている。しかし、現在提供されている歩行者ナビゲーションのサービスは、GPS を搭載した携帯電話を対象としたものが主流であり、GPS の搭載されていない携帯電話や、GPS の電波が届かない屋内などの環境下では、位置を推定することができず歩行者ナビゲーションを利用することができない。本研究では第3世代携帯電話のテレビ電話機能を用いた歩行者ナビゲーションシステムを提案し、GPS を使用しない新たな位置推定システムの能力を評価した。具体的には、ナビゲーションを行う空間内に設置されたマーカーを画像中から検出し、利用者の3次元位置を推定する手法を提案し、実験を行ってその有効性を検証した。実験の結果、本手法による位置推定の精度が、歩行者ナビゲーションシステムに利用できることを確認した。

キーワード 歩行者ナビゲーション、位置推定、テレビ電話、テンプレートマッチング、携帯電話

Pedestrian navigation system using 3D positional presumption based on marker detection

Takuya SHOJI[†] and Akihiko SUGIURA[†]

[†] Department of Knowledge-based Information Engineering Toyohashi University of Technology, Hibarigaoka 1-1, Tenpaku-cho, Toyohashi City, Aichi, 441-8580 Japan

Abstract In recent years, the development of the pedestrian navigation system using a cellular phone is performed briskly. In the service of the pedestrian navigation being offered now, however, the one intended for the cellular phone equipped with GPS is a main current. In consequence, the position cannot be specified under the environment that the electric wave of GPS doesn't reach, and cellular phone not equipped with GPS. In this research, we proposed the pedestrian navigation system that used the video conferencing telephone function of Future Public Land Mobile Telecommunication Systems, and the ability of a new positional specific system that did not use GPS was evaluated. We proposed and evaluated a technique for presuming user's three dimension position that a marker set up in the navigation space was detected in the image. By the experiment, we verified the effectiveness and the accuracy of our proposed method.

Key words Pedestrian Navigation, Specific Position, Video Conferencing Telephone, Template Match, Cellular Phone

1. ま え が き

近年、携帯電話は我々の生活に欠くことのできない道具として、様々な用途に用いられている。最近では、携帯電話を対象とした歩行者ナビゲーションのサービスが注目を集めている。歩行者ナビゲーションに関する研究は、情報検索、最適経路探索、ヒューマンインターフェース等の様々な分野を対象とした研究が行われている [1] [2]。その中で、本研究では利用者の位

置推定を目的に、新たな位置推定システムを開発する。

利用者の位置推定の分野の研究は、GPS 技術を中心に発展し、それに伴い歩行者ナビゲーションシステムも GPS を搭載した携帯電話を対象としたものが開発されてきた。しかし、GPS はビルや地下街などの電波が正常に届かない環境下では位置を正確に推定することができない。従って、GPS が搭載されていない携帯電話や、GPS の利用できない屋内などの環境下では、利用者の位置を推定することができず、歩行者ナビゲーション

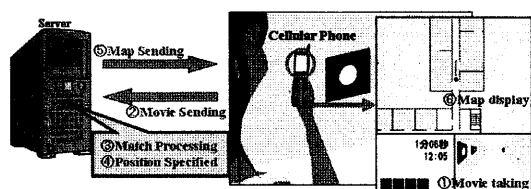


図 1 歩行者ナビゲーションシステムの流れ

Fig. 1 Flow of pedestrian navigation system.

が利用できないのである。

そこで本研究では、第 3 世代携帯電話の標準機能になりつつあるテレビ電話機能を用いた歩行者ナビゲーションシステムを提案し、GPS に変わる位置推定システムを開発し検証を行う。本手法では、ナビゲーションを行う空間内に一定間隔でマーカーを設置し、そのマーカーを映像中から抽出することによって、利用者の位置を推定する。

2. 原 理

図 1 は本研究で提案する歩行者ナビゲーションシステムの流れである。以下に、提案システムの処理の流れを示す。

- (1) 利用者の周りの風景をテレビ電話で撮影
- (2) 撮影した動画をサーバへ送信
- (3) マーカー領域を抽出しマッチング処理
- (4) 頂点座標からカメラの 3 次元位置推定
- (5) ナビゲーション地図を利用者へ送信
- (6) 携帯電話画面に地図を表示

本システムは、CG などの仮想物体を現実世界に置かれたマーカー上に重畳させる拡張現実感技術 [3]~[5] における、3 次元位置計算の技術を応用し開発を行った。サーバ側での処理部分は、大きく 2 つに分割できる (図 2)。最初の処理は入力された画像から、マーカー領域を抽出し、そのマーカーの観測スクリーン座標系における 4 頂点座標値を求め、さらにパターンマッチングによりマーカーを識別するマーカー検出処理である。次の処理は、得られた 4 頂点座標値からカメラの 3 次元位置情報を求める処理である。具体的には、カメラ座標系からマーカー座標系への座標変換行列を求める。この座標変換行列を求めることで、検出した各マーカーからのカメラの 3 次元的位置を求めることができ、利用者の位置を推定することができるのである。

以下では、2.1 でシステム構成と座標系について、2.2 でマーカー検出処理について、2.3 で座標変換行列の推定について、それぞれ詳しく示す。

2.1 システム構成と座標系

○システム構成

本研究で使用するマーカーは、黒色正方形の中心に識別用の白色パターンが入った、拡張現実感技術の分野で用いられているキャリブレーションマーカーを用いた。

また、実験で用いるデジタルカメラは、SONY 製の Cyber-shot DSC-700 を使用し、焦点距離 5.2mm で解像度 640x480 の無圧縮の静止画を撮影する。また、携帯電話は NTT Do-

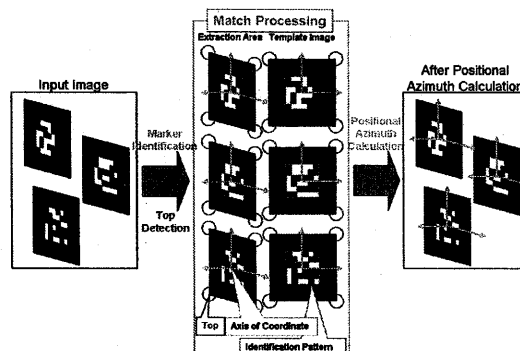


図 2 サーバでの処理の流れ

Fig. 2 Flow of processing with server.

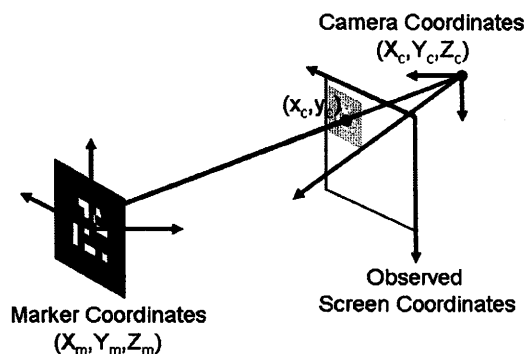


図 3 システムが取り扱う座標系

Fig. 3 Coordinate system.

CoMo の SH901is を用い、ファイル形式 3gp、動画像符号化方式 MPEG4、解像度 176×144 、フレームレート 15fps の条件で動画の撮影を行う。使用するカメラは、実験前に事前にカメラキャリブレーション [6] を行い、焦点距離、カメラ主点、斜行係数を求め、このカメラパラメータを透視変換行列としてプログラムに入力する。

○取り扱う座標系

図 3 に本システムが取り扱う座標系を示す。カメラ座標系は焦点位置を原点、画像平面に垂直な方向を Z 軸、画像の x, y 軸に平行な方向を各 X, Y 軸とする。カメラ座標系で表現された点 (X_c, Y_c, Z_c) は、回転・平行移動でマーカー座標系に変換可能で、その座標系では (X_m, Y_m, Z_m) と表記する。透視変換モデルによって投影される画像平面は観測スクリーン座標系と呼び、この座標系においては (x_c, y_c) に写るものとする。

2.2 マーカー検出処理

○前処理

入力された画像に対して、固定閾値による 2 値化、連結領域ごとの面積・外接長方形計算を行う [7]。

○マーカー抽出

面積値によって巨大領域と微小領域を除外し、外接長方形情報から画像境界に接する連結成分も除外する。残された連結成分に対して輪郭線追跡を行い、輪郭線上の画素位置をすべて記憶する。輪郭線データに対して折れ線近似を行い、4 本の線分によって十分な精度で近似できた連結成分をマーカー候補とす

る。このときの4つの折れ点の座標値を記憶しておく [8] [9]。

○ マーカー識別

マーカーの中央部に描かれた識別用のパターンと、事前に登録しておいたパターンとのテンプレートマッチングを行い、マーカー識別を行う [10]。そのために、画像の正規化を行う。マーカーは透視変換モデルによって観測スクリーン座標系に投影されているので、マーカー座標系 $X_m - Y_m$ 平面状の点 $(X_m, Y_m, 0)$ は、以下の式で観測スクリーン座標系上の点 (x_c, y_c) に変換される。

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

マーカーの大きさは既知なので、その情報とマーカー抽出で検出された4頂点の座標値を用いて、式1のすべての C の値を求める。従って、マーカー内部のパターンはこの式によって正規化できる。テンプレートマッチングの際には、マーカーの回転に対処するために、90度おきに回転したテンプレートを4枚作成しておき、それらと入力画像に対して類似度を計算し、最大値をとるものをマーカーの種類および方向とみなす。

○ 頂点位置検出

マーカーの各辺に対応する輪郭線データに最小2乗法で直線当てはめを行い、それら直線の交点を頂点座標値とする。

2.3 カメラの3次元位置推定

カメラ座標系からマーカー座標系への変換行列 \mathbf{T}_{cm} を推定する。この変換行列は、回転移動成分 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ と平行移動成分 $\mathbf{T}_{3 \times 1}$ からなる。観測スクリーン座標系とカメラ座標系の間は透視変換モデルで変換でき、その具体的な変換行列は事前にキャリブレーションにより求めておく。これらの座標系の関係は式2,3のように表現できる。

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{cm} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{T}_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

これまでの処理で得られている観測スクリーン座標系における4頂点の座標値と、それに対応して設定されたマーカー座標系を用いて、式2における \mathbf{T}_{cm} を求める。以下に、詳しく示す。

○ 回転移動成分 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ の推定

観測スクリーン座標系におけるマーカーの頂点位置から向かい合う2辺の直線の方程式が得られる。それを式4のように表し、式3の x_c, y_c を代入することで式4が得られる。

$$a_1x + b_1y + c_1 = 0, \quad a_2x + b_2y + c_2 = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} a_1P_{11}X_c + (a_1P_{12} + b_1P_{22})Y_c \\ + (a_1P_{13} + b_1P_{23} + c_1)Z_c = 0 \\ a_2P_{11}X_c + (a_2P_{12} + b_2P_{22})Y_c \\ + (a_2P_{13} + b_2P_{23} + c_2)Z_c = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

この式は、カメラ座標系によって表現される3次元空間内の平面の方程式であるが、3次元空間内のマーカーの辺がこの平面内に存在することを意味する。マーカーの向かい合う2辺は平行なのでその方向ベクトルは一致し、式5の2平面の面内方向となる。つまり、式5の2平面の各法線ベクトルの外積として計算されるベクトルが、平行2辺のカメラ座標系における方向ベクトルとなる。この計算を2組の平行2辺に対して行うことで、マーカーの隣り合う2辺の方向ベクトル $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2$ を求めることができる。理想的には、この2つのベクトルは直交するが、計測誤差により実際には直交しない。そこで、計測された2つの方向ベクトルに対し、それらを含む平面内で直交する2つの単位ベクトル $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2$ を計算し、これを $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2$ の代わりに用いる。またこの $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2$ の外積を計算することで、マーカー平面に垂直な方向の単位ベクトル \mathbf{V}_3 も得られる。このとき、 $[\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3]$ が、マーカー座標系からカメラ座標系への回転変換成分 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ となる。本システムでは、カメラ座標からマーカー座標系への回転変換成分を求めたいので、計算した $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ の転置をとり計算に用いる。

○ 平行移動成分 $\mathbf{T}_{3 \times 1}$ の推定

式2,3を結合しマーカー4頂点のマーカー座標系での座標値、観測スクリーン座標系での座標値を代入すると、 T_1, T_2, T_3 に関する1次方程式が8個得られる。行列 \mathbf{P}, \mathbf{R} が既知なので、これらの式から T_1, T_2, T_3 を計算できる。

○ 変換行列 \mathbf{T}_{cm} の修正

以上の計算で \mathbf{T}_{cm} が計算されるが、回転行列の計算において大きな誤差を伴うことがある。そこで再度、画像情報を利用して回転行列の修正を行う。式2において、回転行列は9つのパラメータで表現されているが、これをz軸周りの3つの回転角で表現 [11] し、回転行列 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ から各回転角を求める。そこで、これまで求めた \mathbf{T}_{cm} を用いて、マーカー4頂点の座標値を式2,3に代入することで、その観測スクリーン座標値を計算できる。この計算値と実際に画像処理によって求められた値の誤差の2乗和が少なくなるように3つの角度の値を修正する。具体的には、山登り法を用いて10回の繰り返し処理により新たな回転成分 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ を求める。さらに、平行移動成分 $\mathbf{T}_{3 \times 1}$ の推定の処理を再適用し、平行移動成分 $\mathbf{T}_{3 \times 1}$ も更新する。

3. 実験

本研究で開発した歩行者ナビゲーションの位置推定システムの、位置推定精度を検証するために4つの実験を行う。

3.1 奥行き方向・横方向計測精度実験

3.1.1 実験内容

開発した位置推定システムの奥行き方向・横方向の計測精度を検証するための実験を行う。実験方法を、以下に示す。

- ・ カメラ位置を固定し、80mm 四方のマーカーを使用

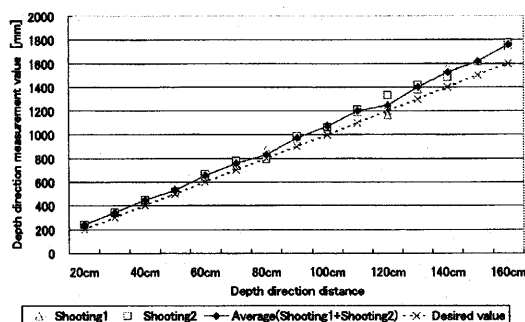


図 4 奥行き方向計測精度実験結果

Fig. 4 Experiment result of depth direction measurement accuracy.

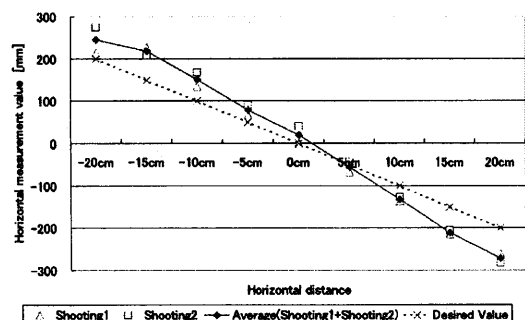


図 5 横方向計測精度実験結果

Fig. 5 Experiment result of horizontal measurement accuracy.

- ・ 2 回撮影を行い、計測値の平均を計測結果とする
- ・ 奥行き方向の検証では、横方向をカメラ正面に固定し、奥行き方向に 10cm 間隔にマーカーを動かし撮影する
- ・ 横方向の検証では、奥行き方向をカメラから 50cm で固定し、横方向に 5cm 間隔にマーカーを動かし撮影する

同じ状況で 2 回撮影を行うのは、処理を繰り返す中でパターン識別や変換行列推定に失敗する可能性が考えられるためである。本研究で提案したシステムでは動画を入力として用いるので、複数のフレームから計算を行うことで、マーカーの識別誤りや変換行列の計算誤りを抑制することができる。このことから、複数の撮影結果から誤差の抑制を図る。

3.1.2 結果と考察

奥行き方向計測精度実験の結果を図 4 に、横方向計測精度実験の結果を図 5 に示す。図 4 より、計測値は理想値とほぼ同等の傾きであり、十分な精度に達していると思われる。また、距離が遠くなるにつれて、計測値にばらつきが出ていることから、近距離にあるマーカーの精度が良好であると言える。なお、マーカー識別の限界奥行き方向距離は、100cm 程度であった。

図 5 より、カメラ中心からマーカーが横に移動するにしたがって、理想値との誤差が大きくなるのがわかる。これは、横方向のスケール計算に誤差があり、カメラ中心から離れるにしたがって、計算誤差が蓄積したためだと考えられる。

3.2 マーカーサイズ検証実験

3.2.1 実験内容

マーカーサイズを 80mm の約 10 倍の 770mm に大きくし、

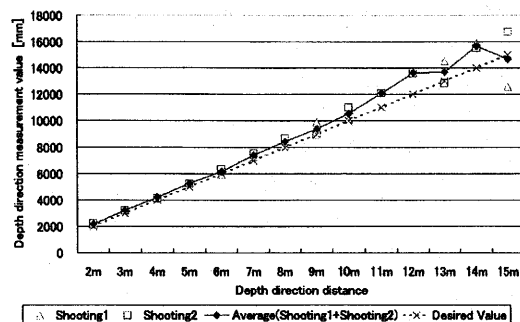


図 6 マーカーサイズ検証実験結果

Fig. 6 Experiment result of size of marker verification.

3.1 の奥行き方向計測精度実験と同様の実験を行い、カメラ解像度、マーカーサイズ、マーカー識別可能距離の 3 つの関係について検証を行う。実験方法を、以下に示す。

- ・ マーカー位置を固定し、770mm 四方のマーカーを使用
- ・ 2 回撮影を行い、計測値の平均を計測結果とする
- ・ マーカーをカメラ正面に固定し、奥行き方向に 1m 間隔にカメラを動かし撮影する

3.1 の実験では、カメラ位置を固定して撮影を行ったが、今回の実験ではマーカー位置を固定し、カメラ位置を移動させ撮影を行う。これは、撮影を行う通路の照明状況が様でなく、場所によって明るさが変化してしまい、計測結果に影響を及ぼすと考えたためである。

3.2.2 結果と考察

マーカーサイズ検証実験結果を図 6 に示す。図 6 より、計測値の傾向は 3.1 の奥行き方向計測精度実験の結果と同等であり、マーカーサイズを大きくしても十分な精度が得られた。また、計測値の精度も同様に、近距離において良好であると言える。マーカー識別の限界奥行き方向の距離は、約 10 倍の 12m 程度であった。このことから、識別可能距離が 1m 程度の近距離用の拡張現実感技術のマーカー設計であっても、マーカーサイズを大きくすることで、マーカー識別可能距離を伸ばすことが可能であり、遠距離でも使用できることを確認した。

今回の、マーカーサイズ検証実験では、3.1 の実験と同様に 640x480 の解像度で画像の撮影を行い、同等の結果を得た。このことから、今後カメラの解像度が上がることで、ナビゲーション空間内に設置するマーカーサイズを小さくすることも可能となり、また、マーカー識別の限界奥行き距離も伸びると考えられるので、マーカーの設置間隔も広がると考えられる。

3.3 歩行想定実験

3.3.1 実験内容

以上の実験結果をもとに、ナビゲーション空間に複数のマーカーを設置し、利用者の歩行を想定した実験を行う。実験方法を、以下に示す。

- ・ マーカー位置を固定し、80mm 四方のマーカーを使用
- ・ 横 60cm の通路を想定し、奥行き方向に 40cm 間隔で、通路の両側に交互にマーカーを設置
- ・ 通路中心を直進する歩行を想定し、通路中心を奥行き方向に 25cm 間隔でカメラを移動しながら 2 回撮影する

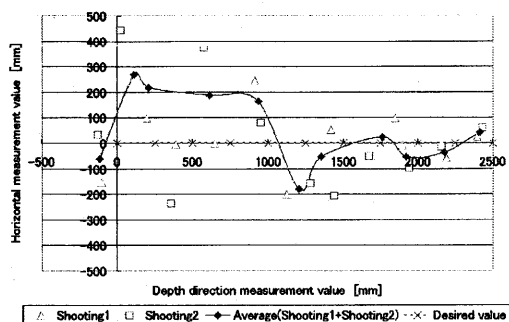


図 7 歩行経路結果 (直線交差)

Fig. 7 Walking route result(straight line intersection).

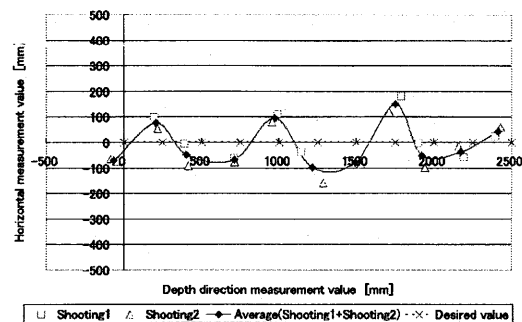


図 10 歩行経路結果 (奥行き方向重み付け)

Fig. 10 Walking route result(depth direction weight putting).

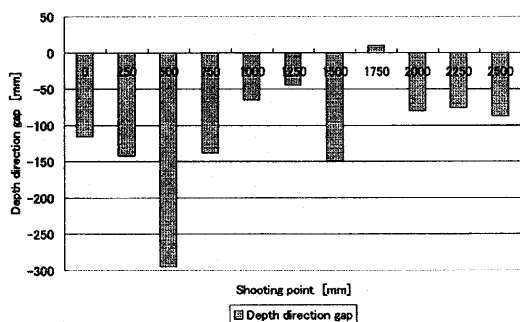


図 8 奥行き方向ずれ結果 (直線交差)

Fig. 8 Depth direction gap result(straight line intersection).

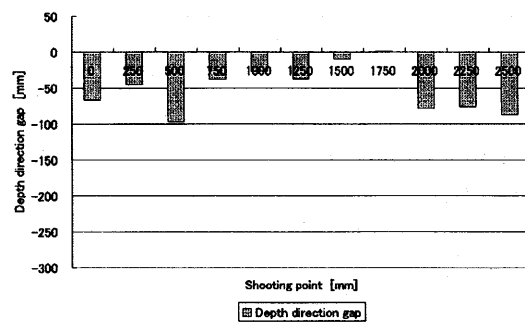


図 11 奥行き方向ずれ結果 (奥行き方向重み付け)

Fig. 11 Depth direction gap result(depth direction weight putting).

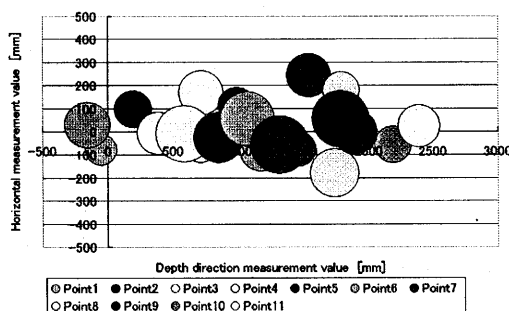


図 9 奥行き方向の重み付けイメージ図

Fig. 9 Weight putting image chart of depth direction.

・ マーカー検出に成功したマーカーから、それぞれのカメラ位置を計算し、空間内の座標位置を求め計測結果とする

実際の建物の通路は、幅 2~3m 程度であるので、今回の実験は 1/4 程度のスケールで実験を行ったことになる。

3.3.2 結果と考察

まず、各撮影ポイントで識別に成功したマーカー全てからカメラ方向に直線を引き、その直線の交点をナビゲーション空間における利用者の位置とした場合の歩行経路結果と奥行き方向のずれの結果を図 7,8 に示す。2つの図より、計測結果の大半が大きく通路の中心から外れ、理想値との差が大きいことが分かる。これは、精度の悪い計測値の影響を受けたためである。直線の交点を計測結果として用いる手法だと、精度の良い近距離マーカーからの計測値が、精度の悪い遠距離マーカーからの計測値に大きく影響されてしまい、結果、大きな誤差が生じて

表 1 計測値と理想値との差

Table 1 Difference between measurement value and ideal value .

	Straight line intersection	depth direction weight putting
Horizontal direction [mm^2]	256437	124511
Depth direction [mm]	1203	563

しまう。

以上の反省から次に、各計測値の奥行き方向の値によって、計測値に重み付けを行う手法を考える。奥行き方向の値による重み付けのイメージ図を図 9 に示す。イメージとしては、計測された奥行き方向の値により、計測値を中心に描く円の半径が変化し、二つ以上の計測値の円が重なりあう領域ができれば、その領域の中心を計測結果として用いるというものである。奥行き方向の値が小さいほど、円は小さくなる。1つのマーカーしか識別できなかった場合や、重なりあう領域が存在しなかった場合などは、一番手前で識別に成功したマーカーの計測値を計測結果として用いる。この手法を用いて計算を行った歩行経路結果と奥行き方向ずれの結果を図 10,11 に示す。2つの図より、先に示した直線交差手法より大きく改善し、横方向・奥行き方向ともに誤差 10cm 程度に収束したことが確認できる。具体的な計測値と理想値との差を、表 1 に示す。この表からも、奥行き方向重み付け手法によって大きな改善がなされ、利用者の位置を推定するのに十分な精度であることが確認できる。

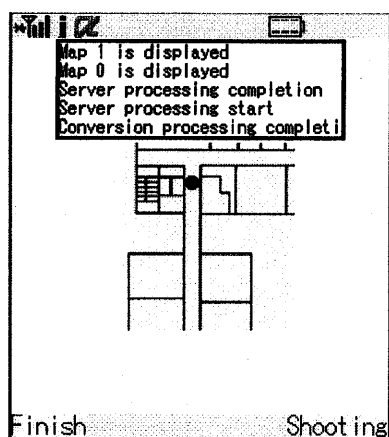


図 12 実機歩行実験結果 (携帯電話画面)

Fig.12 Real machine walking experiment result (cellular phone screen).

3.4 実機歩行実験

3.4.1 実験内容

携帯電話を用いて、実際に歩行実験を行い、携帯電話のカメラ解像度と提案システムの位置推定精度の関係について検証を行う。実験方法を、以下に示す。

- ・ 携帯電話は NTT DoCoMo の SH901is を用い、歩行動画を撮影しサーバへ送信する
- ・ 幅 2m の通路に、500mm 四方のマーカーを奥行き間隔 1.5m で左右交互に設置
- ・ 利用者は、通路の中心を直進しながら撮影を行う
- ・ サーバは利用者の現在位置地図を携帯電話に送信する

地図は、一定区間内の動画フレームから計算された位置情報の平均を計算し、現在位置をプロットした地図とする。

3.4.2 結果と考察

実機歩行実験結果として、携帯電話の実行画面を図 12 に示す。結果、携帯電話で撮影した動画からでも精度良好な位置推定精度を確保することができ、提案システムの有効性を確認した。しかし、携帯電話のカメラ解像度では解像度が低く、今回の実験で使用したマーカーサイズ以下では位置推定が困難と考えられる。携帯電話のカメラ解像度向上により、マーカーサイズの縮小や位置推定精度の向上が可能であると考えられる。

4. ま と め

本研究では、テレビ電話機能を用いた歩行者ナビゲーションシステムを提案し、利用者の位置を特推定するシステムを開発し、実働実験を行い検証した。本研究で提案した位置推定システムは、マーカー検出処理とカメラの 3 次元位置推定処理の、2 つの処理から構成されている。マーカー検出処理では、マーカー識別の際に正規化を行い、異なる領域形状におけるテンプレートマッチングを実現した。また、カメラの 3 次元位置推定処理では、マーカー領域の 4 頂点座標値から座標変換行列を計算し、カメラ位置の推定を実現した。

開発したシステムの有効性を検証するため、4 つの実験を行った。奥行き方向・横方向計測精度実験の結果、計測値は利用者

の位置を推定するのに十分な精度であることを確認した。次に、マーカーサイズ検証実験では、マーカーサイズを約 10 倍にして実験を行った結果、マーカー識別限界距離も約 10 倍となり、マーカーサイズと識別距離に比例関係があることを確認した。また、カメラ解像度が上がることにより、マーカーサイズの縮小や、マーカー設置間隔を広げることも可能であることが確認できた。次に、歩行想定実験を行った結果、奥行き方向重み付け手法において、利用者の位置を推定するのに十分な精度を確保することができた。最後に、実機歩行実験を行った結果、提案システムは十分な位置推定精度を確保しており、歩行者ナビゲーションシステムとして有効であることを確認した。

以上の結果より、今後、携帯電話搭載のカメラの解像度が向上することで、今回利用したマーカーよりも小さいものでも、十分に実用的な精度が確保できることが確認できた。そして、本研究で開発した歩行者ナビゲーションシステムにおける、位置推定システムの有効性を確認できた。

今後は、マーカー検出の際の閾値を自動決定に変更し、屋内での位置推定精度向上を目指す。また、マーカーを半透明なものに印刷し双方向からの位置推定に利用できるものへ改良し、側面からでも検出しやすいものにするなどして、本方式への適用性を向上させていく。

文 献

- [1] Golledge.R.G, "Recent Advances in Human Wayfinding and Spatial Cognition," 信学論 (A), Vol.J87-A, No.1, pp.3-12, Jan.2004.
- [2] 福井良太郎, 白川洋, 歌川由香, 重野寛, 岡田謙一, 松下温, "携帯電話における歩行者ナビゲーション情報の表示方法に関する提案と評価," 情処学論, Vol.44, Vol.12, pp.2968-2978, Dec.2003.
- [3] 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橘啓八郎, "マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.607-616, Dec.1999.
- [4] G.Klinker, D.Stricker, D.Reiners, "The Use of Reality Models in Augmented Reality Applications," Lect Notes Comput Sci, Vol.1506, pp.275-289, 1998.
- [5] J.Rekimoto, "Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality," Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction 1998(APCHI'98), pp.15-17, Jul.1998.
- [6] Zhengyou Zhang, "Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations," International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, pp.666-673, Sep.1999.
- [7] 集景龍, 渡部広一, 河岡司, "情景画像からの看板領域と看板中の情報抽出," 信学技法, Vol.102, No.652, pp.37-42, Feb.2003
- [8] 山口高康, 青野博, 本郷節之, "モバイルカメラで撮影した看板画像の特徴量に関する考察," 信学技法, Vol.104, No.448, pp.1-6, Nov.2004
- [9] 莫舸舸, 青木由直, "カラー画像における道路標識の認識," 信学論 (D-II), Vol.42, Vol.J87-D-2, No.12, pp.2124-2135, Dec.2004.
- [10] 胡軼, 長尾智晴, 岡崎雅則, 茅根大嗣, "カメラ付携帯電話で撮影された画像のマッチング処理," 映情学誌, Vol.57, No.9, pp.1177-1186, Sep.2003.
- [11] 深津真二, 北村善文, 正城敏博, 岸野文郎, "カメラの位置と姿勢に対する拘束の付加に基づく多様なカメラの動き制御の分析と検討," 情処学論, Vol.42, No.6, pp.1311-1319, jun.2001.