

スマートフォンでの一振り動作による 大きさの不明なARマーカまでの距離測定

勝間 亮¹

概要: 本論文では、人間が所持したスマートフォンを一振りする動作により、スマートフォンから大きさの不明なARマーカまでの距離を精度良く計測する方法を提案する。単眼デジタルカメラから撮影物までの距離を計測する既存の方法としては、異なる二地点から撮影した画像における撮影物の画面上の位置の差を利用するモーションステレオ法がある。しかし、人間が振るスマートフォンの移動距離は一定ではないため、スマートフォンに搭載された加速度センサと方位センサを用いて移動距離を測定する必要があるが、各センサの計測値には誤差が必ず含まれる。そこで、カメラ移動の縦成分もしくは横成分のどちらか一方が分かればカメラとマーカ間の距離の測定が可能であることに着目し、両方の成分それぞれについてカメラとマーカ間の距離を測定する。縦成分と横成分の二種のアプローチから測定されたカメラとマーカ間の距離の加重平均を取ることで誤差の大きい成分を排除し、推定精度を向上させる。実験の結果、4[m]の距離推定実験において、スマートフォンを横移動および縦移動した場合、提案手法の方が従来のモーションステレオ法よりも平均的に約8%の誤差軽減を達成し、極端な精度の悪化を軽減できたことを確認した。

Distance Estimation between Smartphone and AR Marker without Size Information by One Shaking Behavior

RYO KATSUMA¹

Abstract: In this paper, we propose a method for measuring shooting distance between a camera on a smartphone and an AR marker with high accuracy by one shaking the smartphone. There is an existing method for estimating shooting distance with single camera called Motion Stereo that calculates by the difference of the onscreen object positions taken at different two points. The accuracy of the shooting distance depends on the accuracy of the distance between the two shooting points. In Motion Stereo by the camera on the smartphone, it is necessary to use the accelerometer for measuring the moving distance. However, the accelerometer always has error range. Then, we propose a new Motion Stereo that estimates the shooting distance by two kinds of ways; vertical and horizontal component of the camera motion. In order to improve the estimation accuracy by removing a component including a large error, the proposed method calculates the weighted average of two kinds of shooting distances. The experimental results show that the proposed method reduces estimation errors 8% less than existing Motion Stereo and avoids extreme dropping of the accuracy.

1. はじめに

近年、スマートフォンなどで撮影した現実世界の映像に付加情報を表示するAR (Augmented Reality) 技術が研究されている。ARでは画面に表示される情報の位置や角度が現実世界と合致している必要があるため、カメラの位置

や姿勢を検出しなければいけない。そこで、ARマーカと呼ばれるパターン画像をあらかじめ設置しておき、撮影された映像からマーカを自動的に読み取ることで、カメラの位置や姿勢を特定する方法が提案されてきている [1]。一般的に、ARマーカは正方形であり、その四隅もしくは外周は識別しやすくするための模様が大きく縁取られ、内部の模様で固有に割り振られたIDを示している。マーカを遠くから読み取る場合は大きいマーカでないと判別ができ

¹ 大阪府立大学
Osaka Prefecture University

ず、逆に近くから読み取る場合は小さいマーカでないとい画面に収まりきらないため、マーカの大きさは用途によって変更する必要がある、統一することは難しい。このような AR マーカに対して、スマートフォンのカメラでマーカの ID 情報を読み取り、ネットワークを介してマーカの大きさや位置情報、その周辺に関する様々な情報を取得して利用者に提示する AR ナビゲーションサービスが考えられている [2][3]。正しい情報提示のためにはカメラの位置情報が必要であり、GPS が使用できない環境下で位置情報を得るために必要な情報の一つとして、カメラとマーカ間の距離情報が挙げられる。ネットワーク上からマーカの大きさの情報を取得できる場合、実際のマーカの大きさと画面に映っているマーカの大きさの比率からカメラとマーカ間の距離を測定できる [4]。その結果、マーカの位置情報をダウンロードすることでカメラの位置を特定することができる。

しかし、屋内で電波を使用すると、壁や天井による電波の乱反射が発生し、他の機器から発信された電波と干渉を起こす場合があり、屋内ではできるだけ電波を発生しない位置推定手法が求められる。それを実現するためには、AR マーカに ID と位置推定に必要な情報を盛り込み、ネットワークを使用せずカメラのみを用いてユーザの位置推定を行う必要がある。AR マーカに情報を持たせるために、マーカを白黒のビットパターンを表す模様にする研究が行われているが、マーカに盛り込むことができるデータ量が少ないことが問題となっている [5]。

これらを考慮すると、以下の要件を満たす新たな距離推定手法が必要である。

- 電波を使用しない単眼カメラによるモーションステレオ法
- 一般に普及しているスマートフォンの使用
- AR マーカの大きさ情報の不使用
- 加速度センサの誤差の影響の軽減

そこで本研究では、マーカの所持するデータ量を減らすため、マーカの大きさを表す情報がない状態でカメラとマーカ間の距離を測定する手法を提案する。提案手法では、人間がカメラと加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサが一体化したスマートフォンを持ち、カメラでマーカを撮影しながらスマートフォンを一度移動させるだけでモーションステレオ法によりマーカまでの距離を測定する。モーションステレオ法とは、1 台のカメラを移動させながら異なる二地点から同一の物体を撮影し、画面に映る物体の位置のずれから物体までの距離を測定する方法である。このとき、二地点間の距離とカメラの姿勢差が判明している必要がある、加速度センサ、ジャイロセンサ、磁気センサによりそれらを計測する。モーションステレオを用いた従来手法では、奥行き成分を除いた移動距離からカメラと対象物までの距離測定を行っている。しかし、加速度

センサ、ジャイロセンサ、磁気センサの誤差が引き起こすカメラの移動距離の誤差により [6][7]、カメラとマーカ間の距離測定精度が低下する問題がある。そこで、提案手法では移動方向の成分分解を行うことで、誤差の大きい成分を排除して距離測定を行う。カメラとマーカ間の距離の測定は、カメラ移動の縦成分もしくは横成分のどちらか一方が分かれば可能であり、提案手法では両方の成分それぞれについてカメラとマーカ間の距離を測定する。そして、縦成分と横成分の二種のアプローチから測定されたカメラとマーカ間の距離の加重平均を取ることで精度を向上させる。

実験の結果、4[m] の距離推定実験において、スマートフォンを横移動および縦移動した場合、提案手法の方が従来手法よりも平均的に約 8% の誤差軽減を達成し、極端な精度の悪化を軽減できたことを確認した。また、スマートフォンを斜め 45 度方向へ移動させることで、距離推定精度が良くなることが分かった。

以降、2 章では問題設定について述べる。3 章で解決方法を述べ、4 章で提案手法の有効性の評価について述べる。

2. 問題設定

本章ではカメラに付属した加速度センサとジャイロセンサを用いて対象物までの距離をモーションステレオで測定するための問題設定を述べる。

環境設定

絶対座標系 (3.1 節で説明) に点 P と、焦点距離 f の標準レンズを搭載したカメラ C がある。カメラで撮影しているときの画面上に映った点 P を点 Q と呼び、点 Q の画面上の座標を (q_x, q_y) とする。絶対座標系はカメラの運動履歴によって軸が変化することはない。絶対座標系の他に、図 1 で示すカメラ座標系を設定する。カメラ座標系はカメラを原点とした座標系であり、カメラの運動によって絶対座標系に対して軸が回転および移動していく。また、今後は、 x 座標の値が増え、かつ y 座標と z 座標が変化しない移動方向のことを x 軸方向と呼び、 y 軸方向や z 軸方向も同様とする。

一振り動作

ユーザはカメラを手に持ちながら距離を計測したい点 P にカメラを向けて静止し、その後には歩行することなく点 P を映しつつカメラを移動させてから再び静止する。このとき、激しい不規則な動きや振動は起こらないものとする。このユーザの動作のみから、カメラ C から点 P までの距離 d を求めるために、カメラがどのように動いたかを知る必要がある。そこで、加速度と方角の情報を利用する。

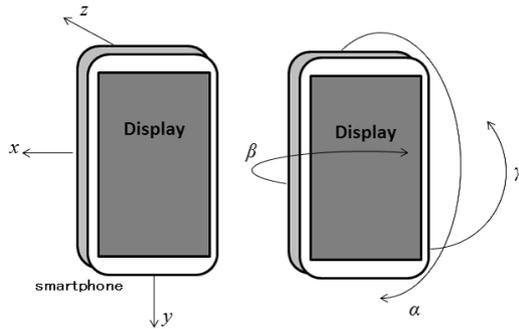


図1 カメラ座標系の軸設定

Fig.1 Axes

各種センサ

カメラには三軸加速度センサとジャイロセンサと磁気センサが搭載されているとする。これらのセンサを搭載したカメラは片手で持ち運び可能であるとする。このような製品の代表例として、スマートフォンが挙げられる。加速度センサはカメラ座標系での (x, y, z) 成分の加速度を検出することができる。ジャイロセンサと磁気センサを組み合わせることで、デバイスの姿勢を絶対座標系で取得できるため、これらをまとめて方角センサと呼ぶ。方角センサは絶対座標系での xyz 軸に対応するヨーピッチロール (α, β, γ) で表される姿勢を検出することができる。これらのセンサの各成分は図1の矢印方向を正の値、その逆方向を負の値で表されるとする。加速度センサと方角センサは常に同時にサンプリングできるものとし、サンプリングの周期 I は十分に短いものとする。カメラが移動開始した時刻を t_0 としたとき、 n 回目のサンプリング時刻 $t_0 + nI$ で検出された加速度成分の値は (x_n, y_n, z_n) 、方角成分の値は $(\alpha_n, \beta_n, \gamma_n)$ で表す。

対象問題と制約条件

本問題は、カメラで点 P を撮影しながら移動し、カメラに付属した三軸加速度センサと方角センサの各時刻での値と画面上の点 Q の座標の変化から、移動後のカメラ C と点 P との距離 d をできるだけ正確に求めることである。ここで、問題を解く際に大きな支障が出ないように次の制約条件を設ける。

- (1) カメラが移動開始した時刻 t_0 から移動終了した時刻 t_{end} まで各種センサとカメラは稼働し続ける
- (2) 時刻 t_0 ではカメラは点 P に対して静止しているものとする
- (3) 時刻 t_0 および時刻 t_{end} では点 Q が画面内に存在するものとする

3. 提案手法

本章では、2章で述べた問題を解決するための方法について述べる。提案手法では、画面上の点 Q の x 座標 q_x の

変化に関わる絶対座標系の移動成分と方角成分のみからカメラ C から点 P までの距離 d を算出し、 Q の y 座標 q_y の変化に関わる絶対座標系の移動成分と方角成分のみから d をもう一度算出する。そして、それらの加重平均をとることで測定誤差を軽減する。

3.1 カメラ座標系から絶対座標系への変換

2章で述べた通り、カメラは一連の移動を行った後に停止する時刻 t_{end} から静止状態に入る。このときのカメラの姿勢 $(\alpha_{end}, \beta_{end}, \gamma_{end})$ を以降で絶対座標系とする。

加速度センサはカメラ座標系の各成分の値 (x, y, z) を検出するため、これらの値を絶対座標系の加速度に変換する必要がある。時刻 $t_0 + nI$ で、方角センサが $(\alpha_n, \beta_n, \gamma_n)$ 、加速度センサが (x_n, y_n, z_n) を計測したとする。このとき、絶対座標系のベクトルをカメラ座標系に変換するためのロドリゲスの回転行列 R_n は、 $\phi_n = \alpha_n - \alpha_{end}$ 、 $\theta_n = \beta_n - \beta_{end}$ 、 $\psi_n = \gamma_n - \gamma_{end}$ と置いたとき、式(1)となる。

R_n を用いると、絶対座標系の加速度 (x'_n, y'_n, z'_n) とカメラ座標系の各成分 (x_n, y_n, z_n) の関係は式(2)となる。

$$R_n \begin{pmatrix} x'_n \\ y'_n \\ z'_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 R_n は直行行列であることが知られており、 $R_n^{-1} = R_n^T$ であるため、最終的にカメラ座標系で得られた加速度情報を絶対座標系での加速度情報に変換するための式(3)が得られる。

$$\begin{pmatrix} x'_n \\ y'_n \\ z'_n \end{pmatrix} = R_n^T \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

今後、特に断りのない限り x 軸、 y 軸、 z 軸と書くと絶対座標系のそれらを指すものとする。

3.2 画面上の x 軸方向に関わる動作

画面上の点 Q の x 座標 q_x の変化に関わる動作は、次のものが挙げられる。

- x 軸方向へのカメラの移動
- z 軸方向へのカメラの移動
- y 軸を中心としたカメラの回転運動
- z 軸を中心としたカメラの回転運動

これらの動作が q_x に与える変化量について、以下で述べる。

x 軸方向へのカメラの移動

カメラ C と点 P の間の距離 d と、カメラの焦点距離 f 、カメラの x 軸方向への移動距離 x を用いて、移動後の画面上の点 Q の x 座標 $MoveX(q_x, d, f, x)$ は以下の式(4)で表される。

$$R_n = \begin{pmatrix} \cos(\theta_n)\cos(\phi_n) & \sin(\psi_n)\sin(\theta_n)\cos(\phi_n) - \cos(\psi_n)\sin(\phi_n) & \sin(\psi_n)\sin(\phi_n) + \cos(\psi_n)\sin(\theta_n)\cos(\phi_n) \\ \cos(\theta_n)\sin(\phi_n) & \sin(\psi_n)\sin(\theta_n)\sin(\phi_n) - \cos(\psi_n)\cos(\phi_n) & -\sin(\psi_n)\cos(\phi_n) + \cos(\psi_n)\sin(\theta_n)\sin(\phi_n) \\ -\sin(\theta_n) & \sin(\psi_n)\cos(\theta_n) & \cos(\psi_n)\cos(\theta_n) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\text{MoveX}(q_x, \frac{d}{\sqrt{1+(\frac{q_x}{f})^2}} - f, f, x) = q_x + x \frac{f}{\frac{d}{\sqrt{1+(\frac{q_x}{f})^2}}} \quad (4)$$

z 軸方向へのカメラの移動

移動前のカメラ C と点 P の間の距離 d と、カメラの焦点距離 f 、カメラの z 軸方向への移動距離 z を用いて、移動後の画面上の点 Q の x 座標 $\text{MoveZ}(q_x, d, f, z)$ は以下の式 (5) で表される。

$$\text{MoveZ}(q_x, \frac{d}{\sqrt{1+(\frac{q_x}{f})^2}} - f, f, z) = q_x(1 + \frac{z}{\frac{d}{\sqrt{1+(\frac{q_x}{f})^2}} - z}) \quad (5)$$

y 軸を中心としたカメラの回転運動

カメラ C と点 P の間の距離 d と、カメラの焦点距離 f 、カメラ座標系の y 軸を中心とした回転量 β [rad] を用いて、回転後の画面上の点 Q の x 座標 $\text{Rolly}(q_x, f, \beta)$ は以下の式 (6) で表される。

$$\text{Rolly}(q_x, f, \beta) = \frac{q_x + f \tan(\beta)}{1 - \frac{q_x}{f} \tan(\beta)} \quad (6)$$

z 軸を中心としたカメラの回転運動

カメラ座標系の z 軸を中心とした回転量 γ [rad] を用いて、回転後の画面上の点 Q の x 座標 $\text{RollZ}(q_x, q_y, \gamma)$ は以下の式 (7) で表される。

$$\text{RollZ}(q_x, q_y, \gamma) = q_x \cos(\gamma) - q_y \sin(\gamma) \quad (7)$$

3.2.1 移動距離の計測

各センサのサンプリング周期を I としたとき、時刻 $t_0 + nI$ から $t_0 + (n+1)I$ の間の加速度は不明であるため、何らかの補間を行う必要がある。様々な補間の方法が存在するが、ここでは台形補間法を用いる。その理由として、本研究で想定しているユーザによるカメラの動かし方が極めて単純であるため、補間が必要な範囲内の極端な加速度の乱高下が起きにくいことと、データ数が増加しても精度が悪くならないことが挙げられる。時刻 $t_0 + nI$ から $t_0 + (n+1)I$ の間に x 軸方向に移動した距離 $h_{x(n,n+1)}$ は、以下の式 (8) で表される。

$$h_{x(n,n+1)} = \frac{(s_x(n) + s_x(n+1))I}{2} \quad (8)$$

ここで、 $s_x(k)$ は時刻 $t_0 + kI$ でのカメラの x 軸方向の速度を表し、最初は静止しているため $k=0$ のとき $s_x(0) = 0$ である。それ以外の場合の $s_x(k)$ は式 (9) で記述できる。

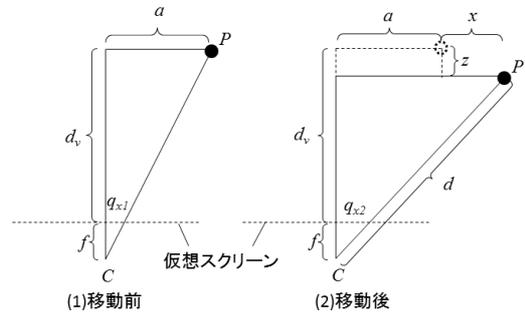


図2 図形による表現

Fig. 2 Expression by figures

$$s_x(k) = \sum_{j=0}^{k-1} s_x(j) + \frac{(x'_{k-1} + x'_k)I}{2} \quad (9)$$

ただし、 x'_k は時刻 $t_0 + kI$ における x 軸方向の加速度である。 y 軸方向および z 軸方向の移動距離も、 y'_t および z'_t をそれぞれ用いて同様の式で記述できるため、省略する。

3.2.2 x 軸成分からの距離推定

x 軸方向に関わる運動は式 (4), (5), (6), (7) で表されるが、このうち求めるべきカメラ C と点 P の距離 d を含むのは式 (4), (5) である。つまり、回転運動による点 Q の x 座標のずれ幅は距離に関わらないため、本問題ではノイズとなる。本手法では、回転による x 座標のずれを除去してから、移動量と画面上の点 Q の変化量より d を求める。

カメラ移動前の画面上の点 Q の座標を (q_{x0}, q_{y0}) とする。カメラの移動後の姿勢を $(\alpha_{t_{end}}, \beta_{t_{end}}, \gamma_{t_{end}})$ とする。回転による x 座標のずれを除去したカメラ移動前の点 Q の x 座標 q_{x1} は式 (6) と式 (7) をもとにして、以下の式 (10) で表される。

$$q_{x1} = \text{Rolly}(\text{RollZ}(q_{x0}, q_{y0}, \gamma_0 - \gamma_{t_{end}}), f, \beta_0 - \beta_{t_{end}}) \quad (10)$$

回転の影響を除去した状態で、カメラの仮想スクリーンと点 P との距離を d_v とすると、カメラ C と点 P の z 軸方向の距離は $d_v + f$ となる。 C と P の x 軸方向の距離を a と置く。これを図 2(1) で示す。 C の直近に存在する点線はカメラの仮想スクリーンである。ここから、 x 軸方向に x 、 z 軸方向に z だけ移動をした場合、図 2(2) の状態になる。 x は x 軸方向の移動距離、 q_{x2} は式 (10) と同様に移動後の画面上の点 Q の x 座標から回転の影響を除去したものである。このときの d が本問題で求めたい値であり、以下で d を求めるための詳細を説明する。

いま、 f 、 q_{x1} 、 q_{x2} 、 x 、 z は既知であり、 a と d_v と d が

未知である。図 2(1), (2) から、図形の性質より、以下の連立方程式 (11) が得られる。

$$\begin{cases} \frac{a}{d_v+f} = \frac{q_{x1}}{f} \\ \frac{a+x}{d_v+f-z} = \frac{q_{x2}}{f} \\ d = \frac{(d_v+f-z)\sqrt{q_{x2}^2+f^2}}{f} \end{cases} \quad (11)$$

これを d について解くと、式 (12) となる。

$$d = \frac{fx + q_{x1}z\sqrt{q_{x2}^2+f^2}}{f(q_{x2}-q_{x1})} \quad (12)$$

ただし、 $q_{x2} = q_{x1}$ の場合は d を求めることができない。画面上の y 軸方向に関わる動作からの d の推定も、これと同様の式で表すことができるため省略する。

3.3 加重平均

カメラと点 P までの距離 d について、 x 軸方向の成分から算出したものを d_x 、 y 軸方向の成分から算出したものを d_y とする。もしこれらの値が同等の誤差を含む値であれば大数の法則により、 d_x と d_y の平均値 $\frac{d_x+d_y}{2}$ を最終的な距離推定結果とすることで、 d_x もしくは d_y を最終的な距離推定結果とするよりも誤差を軽減できる。しかし、例えば d_y の誤差割合が非常に大きい場合、 $\frac{d_x+d_y}{2}$ よりも d_x のみを最終的な距離推定結果とした方が精度が良くなる。

そこで、 d_x および d_y の誤差割合 ρ_x 、 ρ_y を引数とした重み関数 $w(\rho_x, \rho_y)$ を用いて、最終的な距離推定結果を式 (13) とする。これを以降、加重平均関数と呼ぶ。

$$w(\rho_x, \rho_y)d_x + (1 - w(\rho_x, \rho_y))d_y \quad (13)$$

ただし、 $w(\rho_x, \rho_y)$ の値域は 0 以上 1 以下とし、センサの誤差特性、スマートフォンを持つ人の癖などで最適な関数は変化すると考えられるため、使用場面に応じて適切に設定する必要がある。

4. 評価実験

本章では、提案手法の性能を評価するために、AR マーカ、スマートフォン、Web カメラ、PC を用意して行った実験について述べる。まず、人がスマートフォンを持って一振りする動作について、 x 軸成分および y 軸成分の移動距離と加速度センサの誤差の関係性を調査する予備実験を行った。その結果をもとに重み関数 w を決定し、提案手法による距離推定の精度と、従来から用いられる xy 座標平面での移動距離を用いたモーションステレオ法との比較により、提案手法の性能を評価した。使用した機器とアプリケーションは表 1 に示す。

4.0.1 加重平均関数の設定

予備実験では、手に持ったスマートフォンを移動させる動きをするとき、距離の増加とともに誤差割合が減少する

表 1 使用した機器

Table 1 Devices

カメラ	Logicool HD Webcam c525 (解像度 1280 x 720)
スマートフォン	SONY Xperia SO-04H
加速度センサ, 方角センサ	SONY Xperia SO-04H 内蔵の各種センサ
センサ値取得アプリケーション	Sensor Kinetics
AR マーカ	210.0mm x 210.0mm ビットパターン画像

性質が見受けられた。これより、移動距離を x 軸成分 d_x と y 軸成分 d_y に分解すると、 d_x と d_y の関係は画面上の点 Q から回転成分を除去した x 座標 q_{x2} および y 座標 q_{y2} を用いて $\frac{d_y}{d_x} \simeq \frac{q_{y2}}{q_{x2}}$ と近似できる。これにより、提案手法における加重平均関数 $w(\rho_x, \rho_y)$ は、 $w(q_{x2}, q_{y2})$ と表すことができるため、以降の実験では式 (14) を用いることとした。

$$w(q_{x2}, q_{y2}) = \begin{cases} 1 & (q_{y2} < \frac{1}{\sqrt{3}}) \\ \frac{q_{x2}}{q_{x2}+q_{y2}} & (\frac{1}{\sqrt{3}} \leq \frac{q_{y2}}{q_{x2}} \leq \sqrt{3}) \\ 0 & (\sqrt{3} < \frac{q_{y2}}{q_{x2}}) \end{cases} \quad (14)$$

ただし、ここでの場合分けの閾値 $\sqrt{3}$ および $\frac{1}{\sqrt{3}}$ は予備実験を繰り返したことによる経験則に基づいて決定しており、最適な閾値を示しているものではない。このような閾値に設定した理由は、予備実験にて人がスマートフォンを移動させるときの平均的な移動距離は 25cm 前後であることが見受けられたため、そのうちの x 軸成分もしくは y 軸成分の移動距離が 10cm に近い値以下は非常に大きな誤差が含まれていることが予想でき、そのような成分を排除したいからである。

4.1 カメラからマーカまでの距離推定

提案手法によるカメラからマーカまでの距離推定の精度を評価するため、提案手法と従来手法との比較実験について述べる。ここでの従来手法とは、 xy 座標平面での移動距離と、画面上に映った特徴点の移動距離を比較し、カメラから特徴点 (マーカ) までの距離推定を行う手法である。

この実験では、AR マーカから 4[m] 離れた位置で、マーカを映すスマートフォンを被験者が手に持ちながら一振り動作を行う。使用した機器は表 1 にまとめている。被験者は静止した状態で各種センサのログ取得を開始し、一振り動作後に再び静止した状態でログ取得を終了する。その際、スマートフォンを図 4 に示す通りの xy 平面上での 15 度、45 度、75 度の三種の方向にそれぞれ 5 回ずつ移動させて、提案手法と従来手法でカメラからマーカまでの距離推定をそれぞれ行い、その誤差割合を求めた。

誤差の原因となる細かなぶれを軽減するローパスフィルタでは、加速度センサ v における時刻 $t_0 + (n+1)I$ の加速

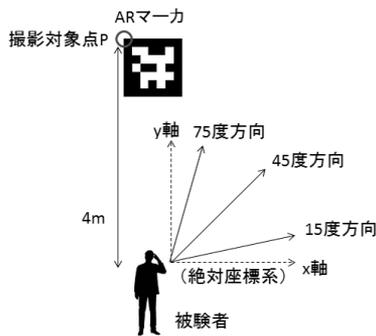


図3 実験環境

Fig. 3 Experimental environment

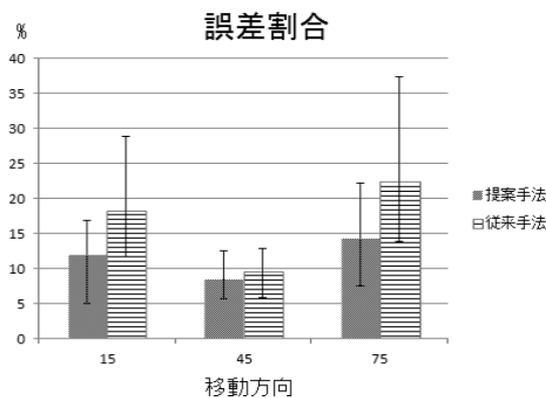


図4 マーカまでの距離推定の誤差割合

Fig. 4 Error rate of shooting distance

度は、時刻 $t_0 + (n + 1)I$ の計測値 v_{n+1} と時刻 $t_0 + nI$ の計測値 v_n を用いて以下の式で表される。

$$bv_{n+1} + (1 - b)v_n \quad (15)$$

この係数 b は、予備実験から 15 度方向 y 軸と 75 度方向 x 軸が 0.05638, それ以外が 0.10481 と設定した。なお、人が補助器具なしでスマートフォンを移動させることを想定しているため、この実験でも被験者 4 名が xy 平面上での 15 度、45 度、75 度の方向を意識してスマートフォンを移動させる方式でデータを取っているため、移動方向は正確ではなくばらつきがある。結果を図 3 に示す。

図 3 では、誤差割合の平均を示している。移動方向が 45 度の場合、提案手法と従来手法に違いはあまり見られない。これは、両手法ともに x 軸成分と y 軸成分の加重がおよそ等しい値になっているためである。移動方向が 15 度および 75 度の場合、提案手法の方が従来手法よりも平均的に約 8% 優れた性能を示している。移動方向 15 度での y 軸成分、移動方向 75 度での x 軸成分の移動量が少いためセンサ値に含まれる誤差割合が非常に大きく、従来手法ではその影響を受けて誤差が増大する一方、提案手法では移動量が少ない成分の誤差を排除できていることが理由として挙げられる。

これらの結果から、三種の移動方向をまとめて平均すると、提案手法は従来手法よりも約 6% 優れた性能を持つことを示すことができた。特に手に持ったスマートフォンを撮影対象物を映しながら移動させる場合、提案手法と従来手法ともに 45 度方向に移動させると精度が良くなるのが分かった。さらに、15 度方向、75 度方向の場合においては、従来手法では精度が極端に悪化する場合があったが、提案手法では加重平均関数を導入して誤差の大きい成分を除去することによって、精度の低下を軽減することができた。

5. まとめ

本研究では、手に持ったスマートフォンの一振り動作でのモーションステレオ法において、スマートフォンの移動成分を二種類に分解し、誤差割合の大きさに応じて移動成分の加重を変更することで、スマートフォンから AR マーカまでの距離推定の精度を上げる手法を提案した。これらの予備実験の結果から加重平均関数を設定して、提案手法と xy 平面上での移動距離からモーションステレオ法を用いる従来手法との比較実験を行った。その結果、4[m] の距離推定実験において、スマートフォンを横移動および縦移動した場合、提案手法の方が従来手法よりも平均的に約 8% 優れた性能を示し、極端な精度の悪化を軽減できたことを確認した。また、距離推定精度を良くする移動の仕方は、斜め 45 度方向へ移動させるということが分かった。

参考文献

- [1] 田中 秀幸, 角 保志, 松本 吉央: “正面からの観測でも高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ,” 研究報告グラフィクスと CAD (CG) 2012-CG-147(3), pp. 1-5 (2012).
- [2] 本田 智史, 高橋 伊久夫, 吉田 享子: “ロービジョン向け店舗内ナビゲーションシステムの提案,” 研究報告情報システムと社会環境 (IS) 2012-IS-119(6), pp. 1-7 (2012).
- [3] G. Gerstweiler, E. Vonach, and H. Kaufmann: “HyMoTrack: A Mobile AR Navigation System for Complex Indoor Environments,” *J. of Sensors*, Vol. 16, No. 17, pp. 1-19 (2015).
- [4] QPToolkit, <<http://kougaku-navi.net/QPToolkit/>>
- [5] N. Shibata and S. Yamamoto: “GPGPU-Assisted Subpixel Tracking Method for Fiducial Markers,” *J. of Information Processing*, Vol. 55, No. 1, pp. 19-28 (2014).
- [6] A. J. Bayat, M. Pomplun, and D. A. Tran: “A Study on Human Activity Recognition Using Accelerometer Data from Smartphones,” *Proc. of 11th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC)*, pp. 450-457, (2014).
- [7] H. Xia, Y. Qiao, J. Jian, and Y. Chang: “Using Smart Phone Sensors to Detect Transportation Modes,” *J. of Sensors*, Vol. 14, No. 11, pp. 20843-20865 (2014).