

注視点对応とオプティカルフローを利用したカメラ運動の推定

池田 友彦[†] 杉本 晃宏^{††} 井宮 淳^{†††}

[†] 千葉大学 自然科学研究科

^{††} 国立情報学研究所

^{†††} 国立情報学研究所 / 千葉大学総合メディア基盤センター

^{†,†††} {ikeda, imiya}@media.imit.chiba-u.ac.jp ^{††} sugimoto@nii.ac.jp

あらまし 装着型能動視覚センサを用いて、人間の3次元世界における回転運動と並進運動を逐次的に推定する手法を提案する。ここでは、空間中のある点(注視点)に常にカメラの視線を向けるカメラ制御(注視点制御)を行い、それによって得られる点对応および注視点周辺のオプティカルフローによって得られる点对応を利用する。これらの点对応から装着者の運動に関する制約条件を求め、その運動を逐次的に推定する。

キーワード: 注視点, オプティカルフロー, 運動推定, 注視点制御, 装着型視覚センサ.

Estimating Human Motion Trajectory Using Fixation-Point Correspondence and Optical Flow

Tomohiko IKEDA[†] Akihiro SUGIMOTO^{††} Atsushi IMIYA^{†††}

[†]School of Science and Technology, Chiba University

^{††}National Institute of Informatics

^{†††}National Institute of Informatics / IMIT, Chiba University

^{†,†††} {ikeda, imiya}@media.imit.chiba-u.ac.jp ^{††} sugimoto@nii.ac.jp

Abstract We propose a method for estimating the motion trajectory of a human wearing an active camera. Our method controls the active camera so that the camera automatically fixates its optical axis to its fixation point. The correspondence of the fixation point between two frames together with the optical-flow-based correspondence of points in the neighborhood of the fixation point gives us sufficient constraints to determine the human motion trajectory.

keywords: fixation point, optical flow, motion estimation, fixation control, active wearable vision sensor.

1 はじめに

近年、人と計算機の柔軟な関係を構築するための研究が盛んに行われている [1], [2], [3]. それは、人からの命令がなくてもその人の周りの状況から、その人の意図や興味を認識し、自律的にその人に有益な情報を提供してくれるような人間と計算機とのインタラクションを実現しようとするものである。そのために、まず、計算機がその人の状況から様々なことを認識する必要がある。その認識は、大きく次の3つに分けることができる。

- 人間の視線情報の認識 [4], [5]
- 物体の3次元形状の認識 [6]
- 人間の3次元空間内における運動の認識 [9]

今、人間の視線情報を計算機に認識させるタイミングについて考える。無作為に視線情報を得るのでは、その人の意図や興味を計算機が認識することは困難であると思われる。そこで、どのタイミングで人間の視線情報を計算機に認識させるのがよいかを考えると、その一つとして運動している人間がその運動をやめたときがあげられる。なぜなら、運動している人間が、興味を引くものを見つけた場合、その運動をやめ、興味を引く対象に視線を向け続けることがよくあるからである。したがって、人間の意図や興味を計算機に認識させるためには、まず人間が3次元空間中でどのように運動しているかを計算機に認識させることが重要であると考えられる。そこで、本稿では、人間が3次元空間中で運動したときの運動軌跡を推定する手法を提案する。

空間中で人間の運動を推定する方法として、外界に設置したセンサを用いて人間を観測することで、その人の運動を推定することが考えられる。しかし、この方法ではセンサが設置されていない場所での運動推定が不可能となる。また、1台のセンサが計測できる領域は限られているため、人間が広範囲に運動した場合、観測するセンサを切り替える必要が出てくるが、この際、センサ間でどのように情報の整合性をとるかが大きな問題となる。このように外界に設置したセンサを用いて上述の目的を達成することは難しい。

一方、外界の環境にセンサを設置するのではなく、運動する人間自体にセンサを装着させる方法が考えられる。こうすることで、運動推定が可能な領域はあらかじめセンサを設置した場所に限られるという問題に直面することなくその運動を推定できる。したがって、前の方法に比べて上述の目的を達成するのに適している。

運動推定の精度を考えると、得られる情報量が多いセンサを装着する方がよいと考えられる。いま、人間の場合について考えてみると、人間は自分の周囲の状況や自身の運動等を認識するのに、主に視覚から得られる情報を頼りにしている。これは、視覚から得られる情報量が豊富であることを意味する。そこで、本稿では、装着型視覚センサを利用することにする。また、視覚センサを利用することで、上で述べた他の2つの認識も実現しやすくなると考えられる。特に、人間の視線情報を計算機に認識させようとした場合、その視野を共有する必要がある。この際、視覚センサが人間の視点と離れた場所にあるよりは、近くにある方がよいと考えられる。このように装着型視覚センサを利用することにより、より自然な状況下で、人間の運動やその人が何を見ているか等を計算機が認識できるようになると考えられる。

ところで、人間は自分の運動によって、空間中のランドマークの見え方がどのように変わったかをみることで、自分がどのように動いたかを認識することができる。したがって、視覚センサの視線を空間中のある1点に絶えず向けることで、センサを装着した人間の運動に関する情報が得られると考えられる。本稿では、計算機で首振り制御可能なカメラを視覚センサとして利用し、そのカメラの視線を絶えず空間中のある点に向くように制御することで、その点の時系列での対応を得る。そして、その点对応から人間の運動に関する制約式を導き出す。このようなカメラ制御では、カメラが常に空間中のある点に視線を向けているので、その点の周辺は、時系列での対応付けが容易になっていると考えられる。そこで、その周辺にある点のオプティカルフローを得、そのオプティカルフローに基づく点对応から人間の運動に関する制約式を導き出す。以上の制約式を使って、人間の運動を推定する。

2 注視点制御に基づくカメラ運動の推定法 [9]

2.1 注視点制御

人間は自分の運動によって、空間中にあるランドマークの見え方がどのように変わったかをみることで、自分がどう動いたかを認識することができる。すなわち、空間中に存在する適当な特徴をランドマークとして認識し、それを時系列で対応付けることで自分の運動を認識しているといえる。したがって、カメラの視線を絶えず空間中の1点に向くように制御することで、そこから

カメラ運動に関する情報が得られると考えられる。ここで、カメラが絶えず見ている点を注視点といい、これに常に視線を向けるようにカメラを制御することを注視点制御と呼ぶことにする。

本稿では、注視点制御を実現するために計算機で首振り制御可能なカメラを採用し、注視点制御することで得られる情報を利用してカメラ運動を推定する。

2.2 注視点対応に基づくカメラ運動の推定

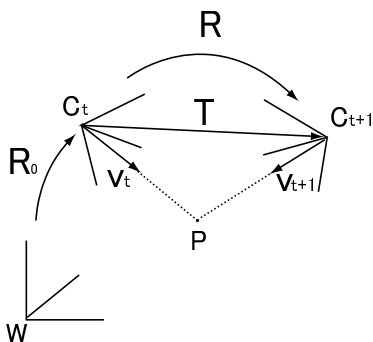


図 1: 時系列での注視点対応

時刻 t において、カメラの光学中心が、3次元空間中の点 C_t にあるとする。そして、カメラが3次元空間中の点 P を注視点として注視しているとする。また、点 C_t から注視点 P に向かう単位方向ベクトルを、時刻 t におけるカメラ座標系で表したとき、 \mathbf{v}_t であるとする (図 1)。

今、カメラが、時刻 t から時刻 $t+1$ の間に、ワールド座標系で R だけ回転した後で、 \mathbf{T} だけ並進したことで、その光学中心が C_t から C_{t+1} に移ったとする (図 1)。このとき、注視点制御していることにより、時系列での注視点対応が得られる。そこで、点 C_{t+1} から注視点 P へ向かう単位方向ベクトルを、時刻 $t+1$ のカメラ座標系で表したとき、 \mathbf{v}_{t+1} とする (図 1)。

この時系列での注視点対応からカメラ運動に関する以下の制約式が導かれる [9]。

$$\det \begin{pmatrix} R_0 \mathbf{v}_t & R_0 R \mathbf{v}_{t+1} & \mathbf{T} \end{pmatrix} = 0. \quad (1)$$

ここで、 R_0 は、ワールド座標系の姿勢を時刻 t のカメラ座標系に一致させるための回転行列を表す。

3 オプティカルフローとカメラ運動

3.1 オプティカルフロー

オプティカルフローとは、時系列画像において、各画素が微小時間にどれくらい移動したかを表すベクトル量である。オプティカルフローは、簡単な画像処理で求まるので、それを利用することで豊富な点の対応が得られる。

本稿では、オプティカルフローから得られる点対応からカメラ運動に関する制約式を導出し、運動推定に利用することを考える。

3.2 オプティカルフローから得られるカメラ運動の制約式

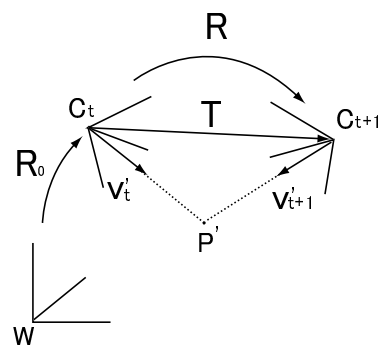


図 2: オプティカルフローに基づく点対応

時刻 t において、カメラの光学中心が、3次元空間中の点 C_t にあるとする。そして、空間中の点 P' が撮像面に投影された像を注目画素としているとする。また、点 C_t から点 P' に向かう、 Z 成分の値が焦点距離であるような方向ベクトルを、時刻 t におけるカメラ座標系で表したとき、 \mathbf{v}'_t であるとする。 (図 2)

いま、カメラが、時刻 t から時刻 $t+1$ の間に、ワールド座標系で R だけ回転した後で、 \mathbf{T} だけ並進したことで、その光学中心が C_t から C_{t+1} に移ったとする (図 2)。このとき、注目画素のオプティカルフローが得られると、点 P' の時系列での対応が得られる。

この点対応に基づき以下のカメラ運動の制約式が得られる。

$$\det \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{u} + \mathbf{v}'_t & R^\top \mathbf{v}'_t & R^\top R_0^\top \mathbf{T} \end{pmatrix} = 0. \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{u} は、注目画素におけるオプティカルフローを

表す 2 次元のベクトルであり, R_0 はワールド座標系の姿勢を時刻 t のカメラ座標系の姿勢に一致させるための回転行列である.

以下で, 式 (2) を導出する.

いま, カメラが上述のように 3 次元空間中を運動し, 注目画素のオプティカルフローが得られているとする. 図 2 のように, 時系列での点 P' の対応が得られると, 各ベクトルの関係から以下の式が成り立つ.

$$R_0 \mathbf{X}_t = R_0 R \mathbf{X}_{t+1} + \mathbf{T}, \quad (3)$$

ただし, $\mathbf{X}_t = (X_t, Y_t, Z_t)^\top$, および, $\mathbf{X}_{t+1} = (X_{t+1}, Y_{t+1}, Z_{t+1})^\top$ は, それぞれ, 時刻 $t, t+1$ のカメラ座標系からみた注目画素を像にもつ空間中の点 P' の座標である (図 2). 式 (3) の両辺に左から $R^{-1}R_0^{-1}$ をかけると

$$\mathbf{X}_{t+1} = R^\top \mathbf{X}_t - R^\top R_0^{-1} \mathbf{T} \quad (4)$$

が得られる.

$\mathbf{x}_t = (x_t, y_t)^\top$, $\mathbf{x}_{t+1} = (x_{t+1}, y_{t+1})^\top$ を時刻 $t, t+1$ における画像座標系でみた注目画素の座標とし, $Z = 1$ に撮像面があるとすると, $\mathbf{X}_t, \mathbf{X}_{t+1}$ と $\mathbf{x}_t, \mathbf{x}_{t+1}$ の間には,

$$\begin{cases} \mathbf{x}_t = P \frac{\mathbf{X}_t}{Z_t} \\ \mathbf{x}_{t+1} = P \frac{\mathbf{X}_{t+1}}{Z_{t+1}} \end{cases} \quad (5)$$

が成立する. ここで

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

とした.

$R' = R^\top$, $\mathbf{T}' = -R^\top R_0^{-1} \mathbf{T}$ と定義すると, 式 (4), (5) から

$$\begin{cases} \mathbf{x}_t = P \frac{\mathbf{X}_t}{Z_t} \\ \mathbf{x}_{t+1} = P \frac{R' \mathbf{X}_t + \mathbf{T}'}{Z_{t+1}} \end{cases} \quad (6)$$

が得られる.

一方, オプティカルフローの定義より,

$$\mathbf{u} = \mathbf{x}_{t+1} - \mathbf{x}_t$$

が成り立っているので,

$$\mathbf{u} = P \left(\frac{R' \mathbf{X}_t + \mathbf{T}'}{Z_{t+1}} - \frac{\mathbf{X}_t}{Z_t} \right) \quad (7)$$

が得られる. ここで,

$$R' = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

とし, $\mathbf{u} = (u, v)^\top$, $\mathbf{T}' = (t_1, t_2, t_3)^\top$ とすると, 式 (7) は次のように書き換えられる.

$$\begin{cases} u = \frac{r_{11}X_t + r_{12}Y_t + r_{13}Z_t + t_1}{Z_{t+1}} - \frac{X_t}{Z_t} \\ v = \frac{r_{21}X_t + r_{22}Y_t + r_{23}Z_t + t_2}{Z_{t+1}} - \frac{Y_t}{Z_t} \end{cases} \quad (8)$$

式 (4) を用いて Z_{t+1} を消去し, 整理すると,

$$\begin{cases} u = \frac{r_{11}x_t + r_{12}y_t + r_{13} + t_1/Z_t}{r_{31}x_t + r_{32}y_t + r_{33} + t_3/Z_t} - x_t \\ v = \frac{r_{21}x_t + r_{22}y_t + r_{23} + t_2/Z_t}{r_{31}x_t + r_{32}y_t + r_{33} + t_3/Z_t} - y_t \end{cases} \quad (9)$$

が得られる. 式 (9) で Z_t を消去すると,

$$\det \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{u} + \mathbf{v}'_t & R' \mathbf{v}'_t & \mathbf{T}' \end{pmatrix} = 0 \quad (10)$$

が成り立つことがわかる. ここで, $\mathbf{v}'_t = (x_t, y_t, 1)^\top$ とした. R', \mathbf{T}' を置き換えなおすことにより, 式 (2) が得られる.

4 カメラ運動の推定

前節までに得られた制約式からカメラ運動を推定するために必要な制約式の数について考察する.

カメラ運動には, 回転運動, 並進運動ともに 3 の自由度がある. 求めたいものは, カメラ運動に関する回転行列 R の 9 要素と並進ベクトル \mathbf{T} の 3 要素であり, 12 個の制約式があればよい.

カメラの回転を表す回転行列 R は, 3×3 の直交行列であるので, その要素の間には制約式がある. ここで, R の第 i 列ベクトルを $\mathbf{r}_i (i = 1, 2, 3)$ で表すことにする. すなわち,

$$R = \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{r}_3 \end{pmatrix} \quad (11)$$

とする. このとき, R の要素に関する 6 個の制約式は次のようになる.

$$\mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_2 \cdot \mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_3 \cdot \mathbf{r}_1 = 0. \quad (12)$$

$$|\mathbf{r}_1|^2 = |\mathbf{r}_2|^2 = |\mathbf{r}_3|^2 = 1. \quad (13)$$

いま, 1 台のカメラの注視点制御から得られる時系列での注視点対応により, 1 つの制約式が得られる. 以上により, 7 個の制約式が得られる.

不足する 5 個に関しては, 3.2 節で導出したオプティカルフローから得られるカメラ運動に関する制約式を利用する. 具体的には, 異なる 5 点のオプティカルフローを得ることで, 運動推定に必要な制約式を補う.

これら12個の制約式で定まる非線形連立方程式を解くために、本稿では、最適解への収束性が早いことが保証されているNewton-Raphson法 [7] を用いる。ただし、式(1)、(2)は、並進ベクトル \mathbf{T} に関して同次方程式となっているため、ここで求まる \mathbf{T} には、スケールの不定性が残ることを注意しておく。

5 並進ベクトルのスケールの整合性

第4節で求めたカメラの並進ベクトルには、スケールの不定性が存在する。これは、時刻 t と時刻 $t+1$ の間のカメラ運動の並進ベクトルと、時刻 $t+1$ と時刻 $t+2$ の間のカメラ運動の並進ベクトルとの間では、スケールの整合性がとれていないことを意味する。スケールの整合性をとらない限り、カメラ運動の推定結果と真の軌跡とは一致しない。

そこで、本節では、各ステップで求まるカメラの並進ベクトルのスケールに関する整合性をとることに付いて考察する。

5.1 射影カメラモデル

時刻 t にワールド座標系で点 C_t にカメラの光学中心があるとし、3次元空間中の点 Q が撮影されているとする。また、点 Q のワールド座標系での座標を $\mathbf{X} = (X, Y, Z, 1)^\top$ とする。このとき、点 Q の画像上での座標が $\mathbf{x}_t = (u_t, v_t, 1)$ であったとすると、次の関係式が成り立つ。

$$\lambda_t \mathbf{x}_t = P_t \mathbf{X}. \quad (14)$$

ただし、 P_t は時刻 t におけるカメラの射影行列であり、 λ_t は点 Q と射影行列 P_t に依存するスカラー量である。

カメラの内部パラメータを表す行列を K とし、時刻 t のカメラ座標系に回転 R_t と並進 \mathbf{T}_t を作用させることで、カメラ座標系がワールド座標系に一致するとすると、射影行列 P_t は、次のように表されることが知られている。

$$P_t = K[R_t | -R_t \mathbf{T}_t]. \quad (15)$$

5.2 スケールの整合化 [9]

時刻 t においてカメラの光学中心がワールド座標系で、点 C_t にあるとし、点 $Q = (X, Y, Z, 1)^\top$ を注視しているとする。時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ と変化したときに、カメラの光学中心が順に、点 C_t 、点 C_{t+1} 、点 C_{t+2} へと移動したとする。このとき、点 C_t から点 C_{t+1} への

回転および並進運動は、ワールド座標系で回転行列 R_t と並進ベクトル \mathbf{T}_t で表されるとする。

いま、各ステップでの並進ベクトル \mathbf{T}_t 、 \mathbf{T}_{t+1} が、スケールの不定性を残して導出されているとする。このとき、 \mathbf{T}_{t+1} に未知のスカラー量 k をかけることにより、 \mathbf{T}_{t+1} のスケールを \mathbf{T}_t のスケールに一致させることができるとする。 k を求めることができれば、 \mathbf{T}_t 、 \mathbf{T}_{t+1} のスケールを整合させることができたことになる。

簡単のため、時刻 t でのカメラ座標系とワールド座標系が一致しているとすると、次式が成立する。

$$P_t = K[I | \mathbf{0}]. \quad (16)$$

$$P_{t+1} = K[R_{t+1} | -R_{t+1} \mathbf{T}_t]. \quad (17)$$

$$P_{t+2} = K[R_{t+2} R_{t+1} | -R_{t+2} R_{t+1} \mathbf{T}_t - R_{t+2} k \mathbf{T}_{t+1}]. \quad (18)$$

式(14)と式(16)、(17)、(18)を用いると、

$$\left[\begin{array}{c|ccc} P_t & \mathbf{x}_t & 0 & 0 \\ \hline P_{t+1} & 0 & \mathbf{x}_{t+1} & 0 \\ \hline P_{t+2} & 0 & 0 & \mathbf{x}_{t+2} \end{array} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ -\lambda_t \\ -\lambda_{t+1} \\ -\lambda_{t+2} \end{bmatrix} = \mathbf{0}. \quad (19)$$

が得られる。

式(19)の左辺の射影行列を含んだ 9×7 の行列を A とする。式(19)において $[\mathbf{X} - \lambda_t - \lambda_{t+1} - \lambda_{t+2}] \neq \mathbf{0}$ であるから、そのための必要十分条件は $\text{rank}(A) \leq 6$ となる。したがって、行列 A の 7×7 の任意の部分行列 A' に対して次式が成り立つ。

$$\det A' = 0. \quad (20)$$

これは未知数 k に関する1次方程式となっているので、線形計算により k を求めることができる。

以上により、スケールの不定性が残っていることによる整合性の問題を解決することができる。

6 実験

6.1 実空間でのカメラ運動の推定

内部パラメータをキャリブレーションした1台の首振りカメラを三脚に設置し、これを移動させた。そして、本稿で提案した手法を利用して、空間中のカメラ運動を推定した。ここでは、カメラ運動が並進のみの場合について実験を行った。並進ベクトルを求める際には、まず、ある軸方向の成分の値に対する他の軸方向の成分の値の比を求め、次に、得られた並進ベクトル間のス

ケールの整合性をとった。なお、並進ベクトルのみを求める際には、2個の点对応が必要であるが、1個は注視点対応を利用し、残りの1個はオプティカルフローから得られる点对応を利用することにした。

6.2 実験手順



図 3: 床のマーキング

1. 三脚を配置している床面に、推定させる運動の軌跡をマーキングをする。
(具体的には、図3のように、カメラ運動の軌跡である直線上に4箇所のマーキングし、それを基準にカメラを移動させた。)
2. 1台のカメラが固定された三脚をマーキングに沿って運動させて、本手法を適用することでカメラ運動の軌跡を推定する。
(本実験では、カメラ運動により得られる時系列画像において、手動で1点の注視点対応を求め、それ以外に、ランダム算法を利用したオプティカルフロー算出アルゴリズム [8] を使って得られるオプティカルフローから1個の点对応を求めることで、カメラの並進運動を推定した。)

6.3 実験結果

6.3.1 実験 1

実験1では、カメラの高さ(Y軸方向の値)を一定に維持し、図4に示すジグザグな線に沿ってカメラを運動させ、その軌跡を推定した。このとき、マーキングとして、床の模様である正方形の升目(50cmX50cm)を利用し、正方形の対角線上をジグザグになるようにカメラを移動させた。ここでのカメラ運動は、全部で3ステップからなる。第1ステップ、第3ステップにおいてはZ軸正の方向に25cm、X軸負の方向に25cm移動させ、第2ステップにおいてはZ軸正の方向に50cm、X軸正の方向に50cm移動させた。また、カメラの初期位置をワールド座標系の原点とした。

実験1における、推定結果の3次元表示を図6に示す。真の3次元表示を図7に示す。また、図8、図9は、実験1の推定結果の軌跡と真の軌跡を、それぞれXZ平面、YZ平面に投影し重ねて表示したものである。

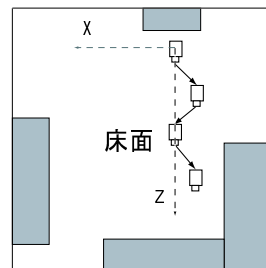


図 4: 実空間でのカメラ運動の軌跡 (実験 3)

6.3.2 実験 2

実験2では、図5に示す上下にジグザグな軌跡となるようにカメラを移動させ(X軸方向には移動しない)、その軌跡を推定した。ここでのカメラ運動は、全部で3ステップからなる。第1ステップと第3ステップにおいては、Z軸正方向にカメラを50cm移動させ、第2ステップにおいては、ワールド座標系のY軸正方向に25cm移動させた。

実験2における、推定結果の3次元表示を図10に示す。真の3次元表示を図11に示す。また、図12、図13は、実験2の推定結果の軌跡と真の軌跡を、それぞれXZ平面、YZ平面に投影し重ねて表示したものである。

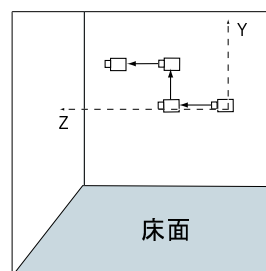


図 5: 実空間でのカメラ運動の軌跡 (実験 2)

6.4 考察

各実験においては、推定結果と実際のカメラ運動がおおむね一致していることが分かる。したがって、上記

の2つの実験により、本手法を用いたカメラ運動推定が可能であるといえる。

上記の実験では運動軌跡の推定に成功したが、注目画素のオプティカルフローが不正確な場合は、推定に失敗するという結果が得られている。よって、運動推定に成功するためには、正確なオプティカルフローが得られるように工夫する必要がある。現在は、並進運動のみの場合について運動推定を行っているため、オプティカルフローから得られる点対応は1個でよいが、回転を含む運動を推定する場合、オプティカルフローから得られる点対応が5個必要になる。したがって、回転運動を含めた場合、オプティカルフローの正確な抽出はより重要な問題になると考えられる。

7 おわりに

本稿では、注視点制御から得られる注視点対応と、注視点周辺の点のオプティカルフローから得られる点対応に基づいてカメラ運動に関する制約式を導出し、それを解くことでカメラ運動推定をする手法を考案した。

今後の課題は、回転を含む運動に対するカメラ運動推定実験を行うことであり、その推定精度を向上させることである。また、今回の実験では、注視点対応を手動で得たが、今後はカメラの運動に同期して注視点制御を行い、自動で注視点対応を得るようなシステムの構築を実現する必要がある。その際、注視点制御によって生じるオプティカルフローとカメラ運動によって生じるオプティカルフローとを区別して取り扱うためには、カメラが運動したときに、カメラの首振り制御量を計算するプロセスと、移動前と移動後の時系列画像からオプティカルフローを算出するプロセスを並行させ、2つのプロセスが終わった時点で実際に首振り制御を実行する必要があると考えられる。なお、本研究の一部は、科学研究費補助金 13224051、および、14380161 の補助を受けて行った。

参考文献

- [1] 松山隆司, 佐藤洋一, 杉本晃宏: 人間の意図・行動の理解に基づく柔軟なヒューマン・マシン・インタラクション画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002), Vol.1, pp.359-368, 2002
- [2] 岡兼司, 佐藤洋一, 中西泰人, 小池英樹: 拡張机型インターフェースのための複数指先の追跡とジェスチャ

認識, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会報告, PRMU2001-197, pp.25-32, 2002

- [3] 陳欣蕾, 岡兼司, 中西泰人, 佐藤洋一, 小池英樹: 机型インターフェースにおける両手直接操作による描画システム, 日本ソフトウェア科学会 Workshop on Interactive Systems and Software (WISS2001), pp.179-184, 2001
- [4] 杉本晃宏, 中山章弘, 松山隆司: 視覚情報とステレオ視を用いた注視領域の抽出, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001, pp.441-444, 2001
- [5] A.Sugimoto, A.Nakayama and T.Matsuyama: Detecting a Gazing Region by Visual Direction and Stereo Cameras, *Proc. of the 16th International Conference on Patter Recognition*, vol.III, pp.278-282, 2002.
- [6] 築澤宗太郎, 杉本晃宏, 松山隆司: 装着型視覚センサを用いた3次元形状復元, コンピュータビジョンとイメージメディア, 研究会, SIG-CVIM-133, pp.71-78, 2002.
- [7] W.H.Press, B.P.Flannery, S.A.Teukolsky, W.T.Vetterling: Numerical Recipes in C [日本語版], 技術評論社, 1993
- [8] 岩脇圭介: ランダム算法によるオプティカルフローの抽出と3次元運動推定に関する研究, 千葉大学大学院自然科学研究科知能情報科学専攻, 2000
- [9] 長友渉: 装着型能動視覚センサを用いた人物の位置および運動の推定 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002), Vol.1, pp.215-222, 2002

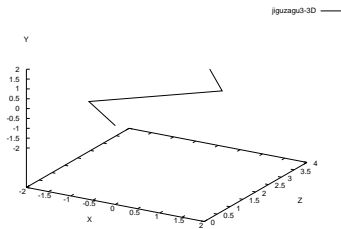


図 6: 推定結果の 3 次元表示 (実験 1)

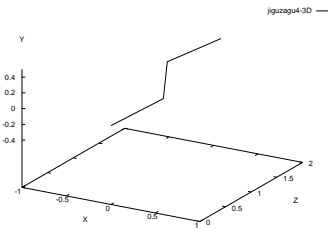


図 10: 推定結果の 3 次元表示 (実験 2)

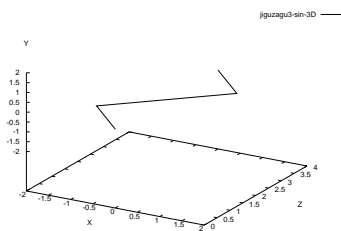


図 7: 真値の 3 次元表示 (実験 1)

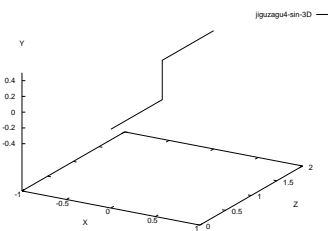
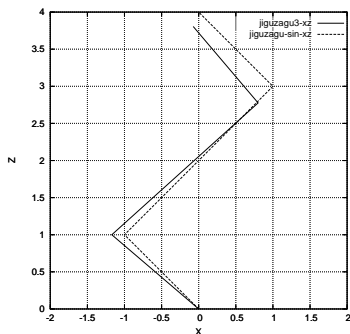
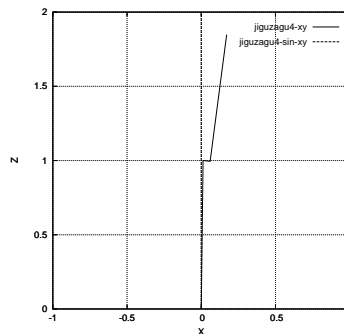


図 11: 真値の 3 次元表示 (実験 2)



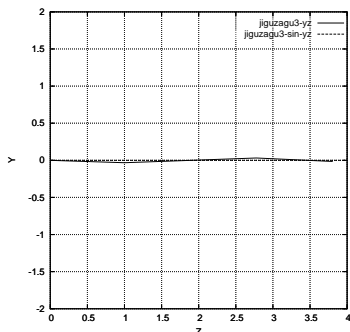
(実線：推定結果 点線：真値)

図 8: 推定結果と真値を XZ 平面に投影した図 (実験 1)



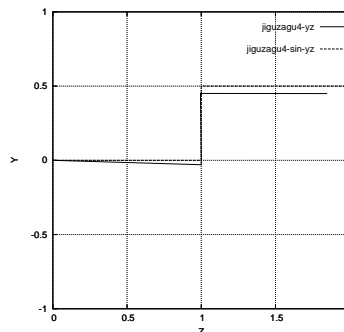
(実線：推定結果 点線：真値)

図 12: 推定結果と真値を XZ 平面に投影した図 (実験 2)



(実線：推定結果 点線：真値)

図 9: 推定結果と真値を YZ 平面に投影した図 (実験 1)



(実線：推定結果 点線：真値)

図 13: 推定結果と真値を YZ 平面に投影した図 (実験 2)