広範囲な計測を実現するトラッキングモーションキャプチャ

Tracking Motion Capture System that covers wide area

○ 星野 慎一郎 (東京大)　山根 克 (東京大)　岡田 昌史 (東京大)　正　中村 仁彦 (東京大)

HOSHINO Shin-ichiro　Y AMANE Katsu　OKADA Masafumi　NAKAMURA Yoshihiko

University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan

Abstract— In this paper, we develop the *Tracking Motion Capture System*, an extension of optical motion capture, where the cameras are mounted on a two-axes stage so that they can track the subject in the field. The main objective of this system is to widen the measurable area of conventional systems without loosing accuracy. All the parameters required for reconstruction, including the position and direction of the two axes, are computed simultaneously by our newly developed calibration technique. Experiments in our prototype system proved that the measurable area with tracking becomes 2.364 times larger than that with fixed cameras.

Key Words: Motion Capture, Motion Tracking, Human Interface, CG, High-Speed Camera

1　はじめに

コンピュータ技術の急速な進歩に伴い、コンピュータによる人間の動作計測技術も日々進化をしている [1]．その応用範囲は多岐に渡り，目的及び利用用途の違いから様々なアプローチでの研究がなされてきている．大きく分けて二次元の情報から三次元の情報を推測するアプローチと，元より三次元の情報として計測を行うアプローチとがある．前者の例には O'Rourke ら [2] の研究があげられ，1 台のカメラによって得られる情報から人間の姿勢を割り出している．後者は一般的にモーションキャプチャ [3] と呼ばれ，近年学術的な分野からエンターテイメントの分野まで幅広い分野で活用されている．

それらの技術の中でも光学式モーションキャプチャは，計測対象に対して小さなマーカを取り付け，それらを複数台のカメラによって撮影することにより人間の動作を計測している．計測対象をリンク機構及びケーブルで拘束しないため，自由な運動を計測することができるという利点がある．しかし，マーカの三次元位置の推定のために 1 つのマーカは最低 3 台以上のカメラによって撮影されなければならないという拘束が存在する．このため光学式モーションキャプチャによって計測を行うことができる空間は狭い範囲に限られてしまう傾向が強い．

本研究では，全てのカメラが計測対象を画像に捉えるようカメラを動かすことにより，各カメラの撮影可能な範囲を動的に広げ，広い範囲での計測を可能とするトラッキングモーションキャプチャ [4] を開発した．

2　パンチルトカメラによるモーションキャプチャ

本研究では Fig.1 に示すようなパンチルトカメラを製作した．カメラ部には D ALSA CA-D6 512Wを採用している．これは，512×528[pixel] の白黒 8[bit] 濃淡画像を 262[fps] で撮影することができる．モータ部には横河プレシジョン製の DD モータ DM1015B00 及び DM1004B0F を採用している．これらを設計製作した台に取り付け，天井から 6 台吊り下げている．パンチルトカメラの可動範囲はパン方向に 180 度，チルト方向に 90 度である．

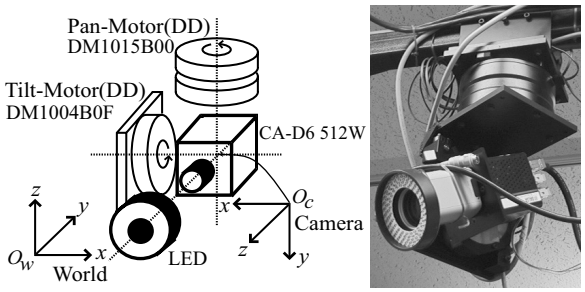

Fig.1: P an-Tilt Camera

システム全体の構成図を Fig.2 に示す．各カメラに対してカメラ画像処理 PC を用意し，画像処理を行っている．モータ制御 PC はモータの制御全般を行い，関節角からカメラの姿勢及び位置の計算を行う．マーカ再構成 PC では，マーカの三次元位置の再構成を行う．これら 3 種の PC は，MPI(Message-Passing Interface) を用いてサーバ PC の下に統合され，一括管理をされている．

3　パンチルトカメラの特性を考慮したキャリブレーション法

カメラの姿勢・位置及び焦点距離 (これらをカメラパラメータと称する) は，キャリブレーションにより求めることが一般的である．加えて本研究のようにパンチルトカメラを用いる場合には，パン及びチルト方向の回転軸もキャリブレーションによって求める必要がある．これらは一連の作業の中で求められることが望ましい．

ひずみ補正後のカメラ画像上のマーカの座標を $\boldsymbol{x}$，絶対座標系におけるマーカの位置を $\boldsymbol{X}$ とおき，カメラ座標系における絶対座標系の姿勢を $\boldsymbol{R}$，カメラ座標系で見た絶対座標系の原点の座標を $\boldsymbol{t}$，無次元化した焦点距離を α で表わすと (1) 式の関係が成り立つ．

$$w\begin{pmatrix}\boldsymbol{x}\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\alpha&0&0\\0&\alpha&0\\0&0&1\end{pmatrix}(\boldsymbol{R}|\boldsymbol{t})\begin{pmatrix}\boldsymbol{X}\\1\end{pmatrix}\qquad(1)$$

ただし w は任意の定数である．この中でカメラパラメータに当たるのは 3×3 行列の $\boldsymbol{R}$，三次元ベクトルの $\boldsymbol{t}$ 及

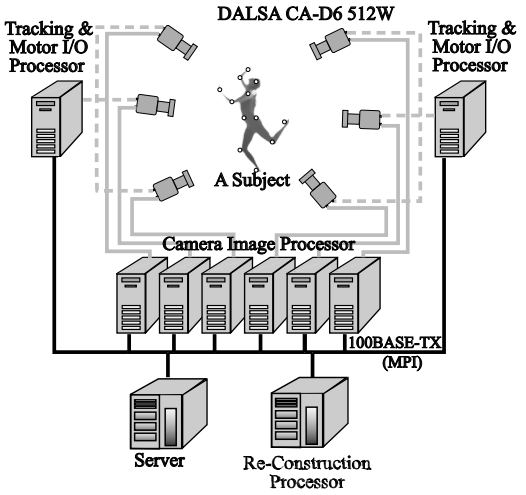

Fig.2: Whole System of Tracking Motion Capture

び α である．(1) 式の右辺の変換行列を

$$\begin{pmatrix} q_1 & q_2 & q_3 & q_4 \\ q_5 & q_6 & q_7 & q_8 \\ q_9 & q_{10} & q_{11} & q_{12} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (\boldsymbol{R}|\boldsymbol{t}) \quad (2)$$

と定義することにより，(式.1) を変形して以下のような関係式を得ることができる．

$$\boldsymbol{A_i q} = \boldsymbol{0} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{q} = (q_1 \;\; q_2 \;\; \cdots \;\; q_{12})^T \quad (4)$$

$\boldsymbol{A_i}$ は 1 つのマーカに対して $\boldsymbol{X}$ と $\boldsymbol{x}$，それに加えて本研究ではパンチルトカメラを用いているため関節角と各回転軸から作られる 2×12 行列である．$\boldsymbol{A_i}$ 及び $\boldsymbol{q}$ は，DH パラメータと焦点距離 (これらを $\boldsymbol{y}$ とする) を用いて表わされる．本キャリブレーション法では実際にはカメラの姿勢を変更して撮影を行っているが計算上はマーカが逆方向に回転していると考えて計算を行うことにより，カメラの姿勢にかかわらず $\boldsymbol{q}$ を一定としている．このため，n 個のマーカに対しては

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{A_1} \\ \boldsymbol{A_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{A_n} \end{pmatrix} \quad (5)$$

のように各マーカごとに求まる $\boldsymbol{A_i}$ を結合して，

$$\boldsymbol{Aq} = \boldsymbol{0} \quad (6)$$

と，$2 \times n$ 本の $\boldsymbol{q}$ に関する連立方程式を立てることができる．この方程式を解くために評価関数 $\boldsymbol{J}$ を

$$\boldsymbol{J} = \|\boldsymbol{Aq}\|^2 \quad (7)$$

とし，$\boldsymbol{y}$ をパラメータとして $\boldsymbol{J}$ を最急勾配法により最小化させることによりキャリブレーションを行った．

4 計測実験

人間の全身にマーカを取り付け，スタジオ全域を運動させて固定カメラとパンチルトカメラとでの計測可能な範囲の比較実験を行った．計測されたマーカを xy 平面上

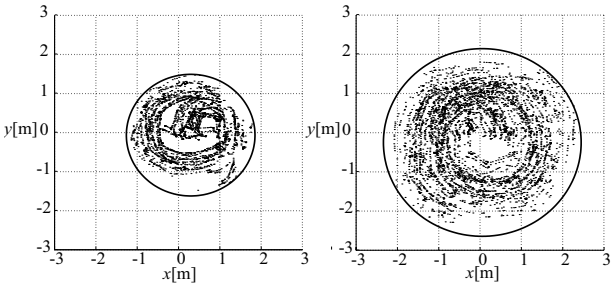

Fig.3: Measureable Area (on the ground) Left:by Fixed Camera Right:by Pan-Tilt camera

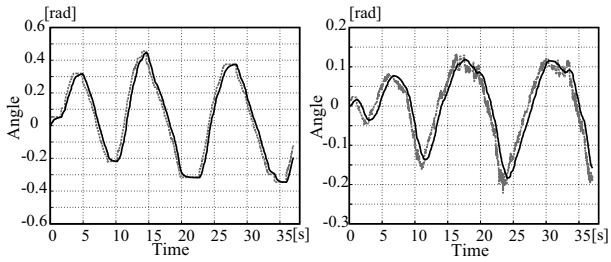

Fig.4: Motion of Motors Left:Pan Right:Tilt

に投影し，プロットしたものを Fig.3 に示す．左右のグラフの比較より，パンチルトカメラを用いたことにより計測範囲が大幅に拡大されたことが見て取れる．全てのマーカを含むような円を考えた時の面積はパンチルトカメラを用いることで 2.364 倍に拡大された．また，この実験の際のモータの運動の様子を Fig.4 に示す．パン方向チルト方向共に薄点線の目標値に対して実線の実験値がきちんと追従していることが見て取れる．本実験では，マーカの三次元位置の再構成までを 19[ms] 以内でリアルタイムに実現している．

5 結論

本研究の結論は以下の通りである．

1. パンチルトカメラを用いて計測対象に追従してモーションキャプチャを行うトラッキングモーションキャプチャ・システムを開発した．
2. パンチルトカメラのカメラパラメータ及び各回転軸のキャリブレーション法を示した．

本研究は科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業の「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」(代表：中村 仁彦) の支援を受けた．

参考文献

[1] 戸川達男, “運動計測技術の展望”, 計測と制御, Vol.36No.9, pp.605–608 (1997)

[2] Joseph O'Rourke, et al., “Model-Based Image Analysis of Human Motion Using Constrait Propagation”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol.PAMI-2No.6* pp.522–536 (1980)

[3] 持丸正明, “身体の運動計測技術の動向”, 計測と制御, Vol.36No.9, pp.609–613 (1997)

[4] 星野慎一郎, 山根克, 岡田昌史, 中村仁彦, “トラッキングモーションキャプチャ”, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.385–386 (2000)