

# カメラアームを用いた視点制御のための距離誤差修正システム

## Distance Error Correction System for Viewpoint Control with Camera-arm

大和田寛, 妻木勇一

Hiroshi Owada, Yuichi Tsumaki

山形大学 大学院理工学研究科 機械システム工学専攻

Department of Mechanical Systems Engineering Yamagata University

キーワード: カメラアーム (Camera-arm), 遠隔操作 (Teleoperation), オペレータ支援システム (Operator support system)

連絡先: 〒 992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16  
山形大学 大学院理工学研究科 機械システム工学専攻 妻木研究室  
大和田 寛, Tel&FAX: 0238-26-3252 E-mail: tyf61298@st.yamagata-u.ac.jp

### 1. 緒言

ロボットの遠隔操作において遠隔地の状況を的確に把握することは、操作者にとって必須の事項である。固定式カメラやジンバル機構を有するカメラが通常良く使われるが、多自由度マニピュレーターと組み合わせたカメラを用いることで、情報収集力をより向上させることができる<sup>1)</sup>。例えば、宇宙遠隔操作作業ではこのようなカメラシステムが用いられている<sup>2)</sup>。我々もこれまで 6 自由度のカメラアームを開発してきた<sup>3)</sup>。一方、6 自由度マニピュレータを操作するためには 6 個のパラメータを操作する必要があるが、対象物を詳細に観察するためにはパラメータの数が多く困難である。そこで扱うパラメータを減らし、操作性を向上させるために球座標を用いた視点・注視点制御を提案してきた<sup>3)</sup>。ただし、提案手法は視点・注視点間の距離を把握する必要があるため、カメラアームの手先部に距離センサを取り付け、対象物との距離を計測しなければならない。しかし、対象物との位置関係により、距離センサからの値が大

きくずれることがある。そこで、我々は計測結果が正しいかどうかを直感的に判断することが可能な過去画像を利用した操作支援システムを提案してきた<sup>4)</sup>。

本研究では過去画像を利用した操作支援システムを改良し、計測結果の正しさを判断するだけではなく、操作者自らが計測誤差を修正可能なシステムを提案する。また、修正した計測結果を用いて視点制御を行うことができるか検証を行った。

### 2. 計測誤差修正機能を持つ操作者支援システム

#### 2.1 従来システム

提案するシステムの土台となる従来システムについて説明する。球座標とカメラアームの関係(注視点を中心とした場合)を図 1 に、視点制御、注視点制御の概念図をそれぞれ図 2, 3 に示す。従来システムでは、操作者が計測距離が

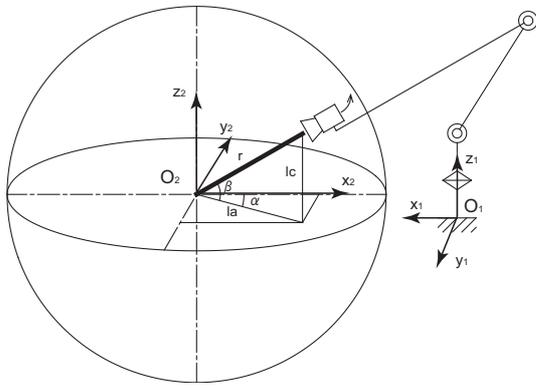


Fig. 1 A spherical coordinate

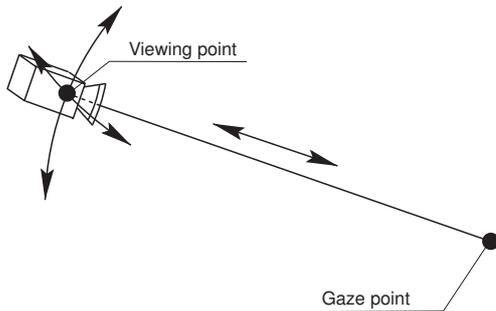


Fig. 2 Viewpoint control mode

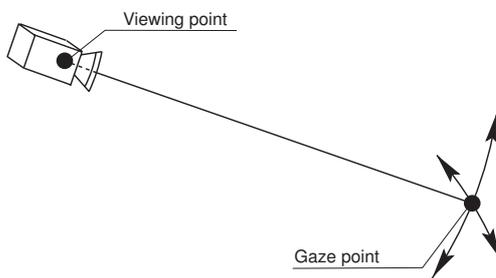


Fig. 3 Gaze control mode

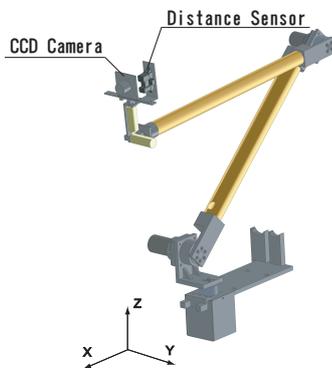


Fig. 4 Overview of camera-arm

正しいかどうかを認識できるよう、実画像上にCGを重畳させる。CGは距離センサで取得した値から計算される注視点位置とカメラアムの土台位置を結んだビームである。ただし、実際の注視点位置と計測結果から求められる注視点位置は両方とも画面中心にあるため、互いに重なってしまい、このままでは誤差を認識することはできない。そこで、視点の位置が異なる過去画像を利用する。ただし、カメラの運動成分に並進成分がないと視点の角度が変わっても同様の問題が発生するため、注視点制御モードにおいてカメラを球座標の原点に置くのではなく、一定の半径上に沿ってカメラを動かすことで並進成分を導入する。概念図を図5に示す。これにより、計測結果から求められる注視点とビームを過去画像上に表示することで、カメラアム本体を動かすことなく、迅速に計測結果が正しいかどうかを認識することができる。

このシステムを使用した例を図6に示す。図6は算出した注視点座標の元となる視点・注視点間の距離が実際の距離よりも短い場合(20 cm)を示す。なお、このように過去画像を利用した操作インターフェースは文献<sup>5)</sup>にも見られるが、移動ロボットの周囲の状況を確認するためのものであり、本システムとは使用目的が異なる。

## 2.2 計測誤差修正機能

これまでの操作支援システムでは計測距離の誤差は判断できたものの、操作者は誤差があると判断した後に再度計測し直す必要がある。また、再計測しても正しい結果が得られるとは限らない。そこでCG上におけるカメラと注視点間距離の長さを操作者が自ら調整し、誤差を修正する機能を提案する。センサを用いて直接計測できないような対象物に対して、ある程度の距離を把握することが期待できる。人間は高い空間認識能力を持っており、このような人間が得意なところをシステムに取り組み、Shared Autonomyの考え方である。図6からわかるように、計測結果に誤差がある場合には過去画像においてCGのビームと対象物の中心が一致しないことがわかる。従って、異なる視点である過去画像内でビームの長さを変更し、対象物の

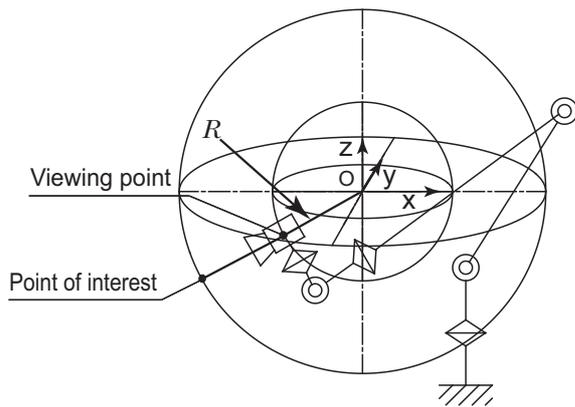


Fig. 5 Gaze control with offset

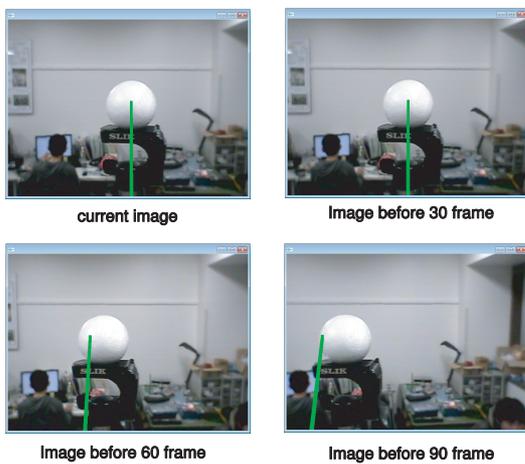


Fig. 6 A case of shorter distance

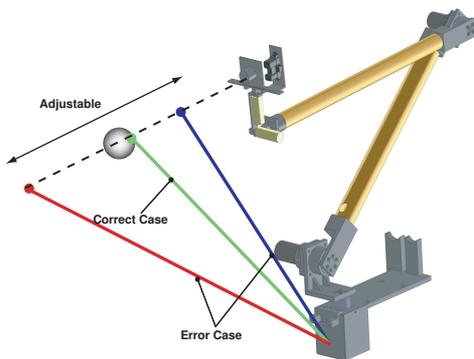


Fig. 7 Error correction system

中心に一致させることで操作者は計測誤差を修正できると考えられる．このシステムの概念図を図7に示す．調整する長さはカメラの視線方向に沿った1つのパラメータだけなので調整は容易である．

### 3. 検証実験

提案するシステムが有効か実験にて検証する．また複雑な形状の対象物に対しても本システムの有効性を確認した．

#### 3.1 実験環境

使用するカメラアームは、対象物を任意の位置・姿勢で観察するために並進3自由度、手首部3自由度の合計6自由度のシリアル機構を採用しており、アーム先端にはCIS社製のカメラDCC-3355N 1台と距離センサを取り付けている．シリアル機構を採用した理由として、広い作業領域を得ることができる、素早い動作は求められていない、アームの収納形態を考慮するとコンパクトに収納することができる等が挙げられる．

カメラアームを含めた制御システムを図8に示す．カメラアームを制御するRT-Linux側とカメラからの画像を処理するWindows側で手先位置等のデータをTCP/IP通信により送受する．また、入力デバイスとしてLogiCad社製3D Mouse Magellanを用いている．このデバイスではカメラアームへの速度指令の他に、制御方法の切り替えや距離センサによる計測結果の入力等を行う．

距離センサはSHARP社製GP2Y0A02YK0F赤外線センサを使用した．計測範囲は20～150cmである．このセンサは、赤外線を照射して対象物から反射してきた赤外線の反射角度から対象物までの距離を計測している．

#### 3.2 実験方法

今回の実験では直径6cmの白球(対象物A)と複雑な形状の模型(対象物B)を使用し検証を行った．対象物Bを図9に示す．対象物Bは

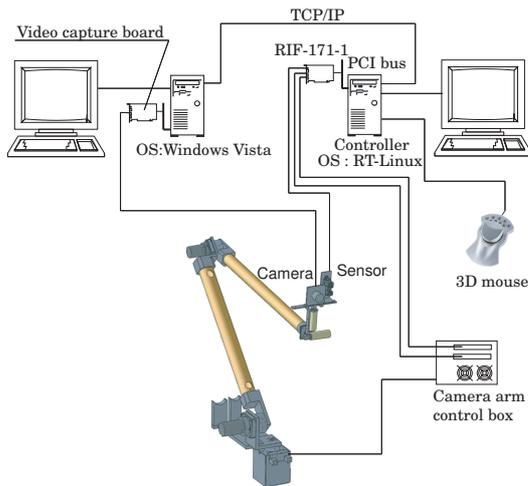


Fig. 8 Hardware architecture

図で示されている部分に透過率の高い材質が使用されている。土台部分を B-1，透明部分を B-2 とし検証を行った。

以下に実験の流れを示す。

まず、カメラアームの動作は図 4 に示す座標系において、カメラアームを操作する。なお、操作している間は一定時間毎に画像と手先座標を保存しておく。今回は、最大 20 枚の画像と手先座標を保存できるようにした状態でカメラアームを操作した。アームを操作し、目標の対象物を画面中心に収めた後は、距離センサで視点(手先位置)・注視点(対象物)間の距離を計測する。距離を計測後、注視点の座標を算出し、算出した注視点を示す CG を ARtookit を用い実画像上に重畳させる。画面を過去画像に切り替え、過去画像の時の手先座標及び姿勢から、計測距離により算出された注視点の座標を過去の手先座標上での注視点の座標に変換し、CG を重畳させる。誤差を確認した後、計測結果を修正する場合は矢印キーでカメラと注視点間距離を変更する。CG を対象物の中心に一致させることで誤差修正を完了させる。

### 3.3 実験結果

実験の様子を図 10 に、実験結果を図 11, 12, 13 に示す。図 10 は視点・注視点間距離が 50.5 cm に対して、センサでの計測結果が 37.0 cm の

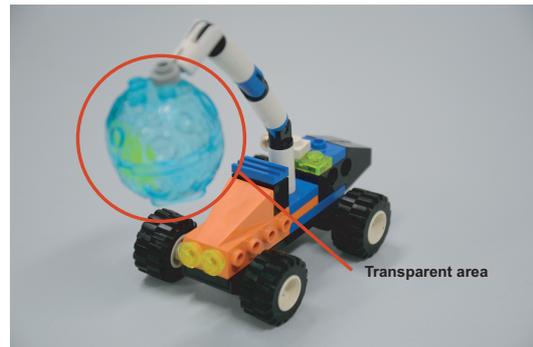


Fig. 9 Object B

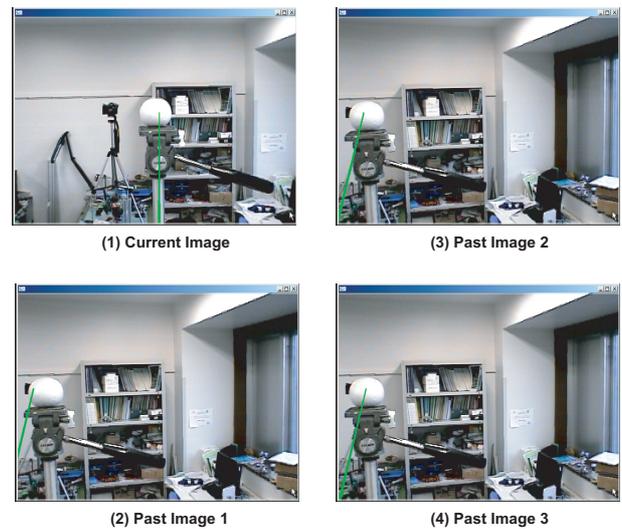


Fig. 10 A distance correction image

場合に操作者が誤差を修正し、45.5 cm に修正した時の画像となっている。

実験結果より視点・注視点間距離が 50 cm 程度の時、本システムを使用することで誤差を修正することができた。また対象物 B-2 のような赤外線距離センサでの計測が難しい小さな対象物に対しても、本システムの有効性を示すことができた。90 cm 程度の場合では、10 cm 程度の誤差に収めることができた。なお、この誤差は視点・注視点間距離が長いために視差が小さくなってしまったことが原因だと考えられる。しかし、視点・注視点間距離が長い場合ではこの程度の誤差があっても視点制御ができる可能性があると考えられる。そこで、修正後の結果で視点制御が実現できるか検証を行った。

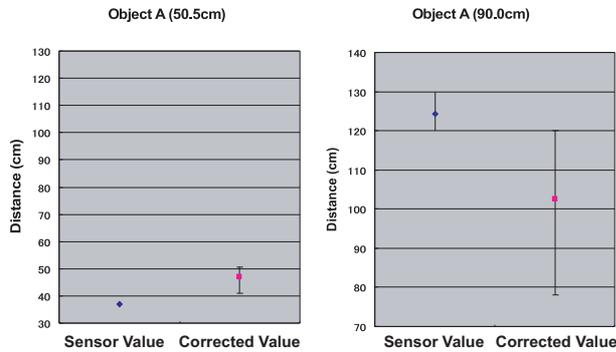


Fig. 11 Result of ObjectA

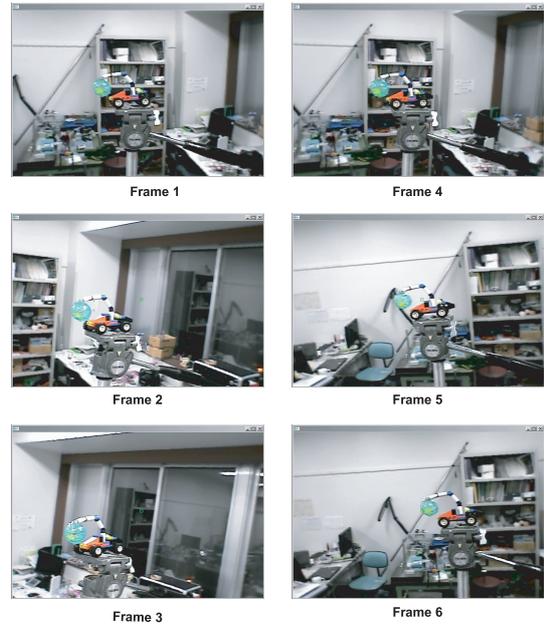


Fig. 14 View point control (46.7cm)

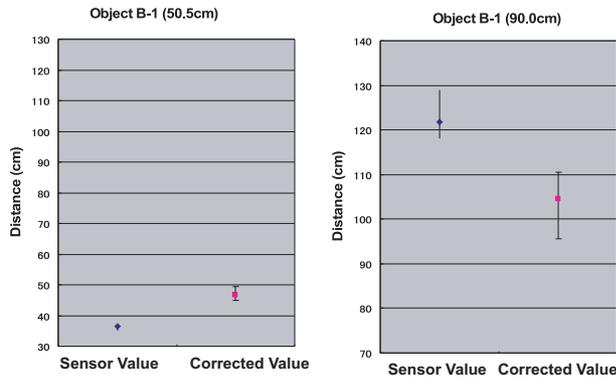


Fig. 12 Result of ObjectB-1

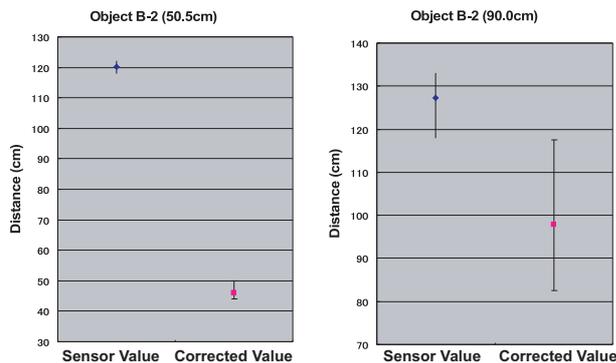


Fig. 13 Result of ObjectB-2

### 3.4 視点制御の検証

修正機能を使用し、誤差を修正した結果を用いて視点制御ができるか検証を行った。

今回は対象物 B を使用し、支援システムにより修正された結果を用いて視点制御を行った。なお、カメラアームは水平方向に動作させている。以下に視点制御モード時の操作者側の画面を示す。図 14 は視点・注視点間距離が 50.5 cm、修正結果が 46.7 cm の状況で実験を行った場合の様子であり、図 15 は視点・注視点間距離が 90.0 cm、修正結果が 104.6 cm の状況で実験を行った様子である。図 14, 15 内の Frame 1, 2, 3 は左側から覗き込んだ様子を示しており、4, 5, 6 は右側から覗き込んだ様子を示している。

連続写真より、対象物は画面中心からは外れたものの、画面から外れることは無かった。従って、本システムを用いて様々な視点から物体を観察することのできる視点制御を行うことができた。

## 4. 結論

過去画像ならびに過去座標、CG を利用することにより距離センサの計測誤差を修正する方法を提案した。誤差を修正する作業は視線上の 1 自由度しかないため操作者は直感的に操作で

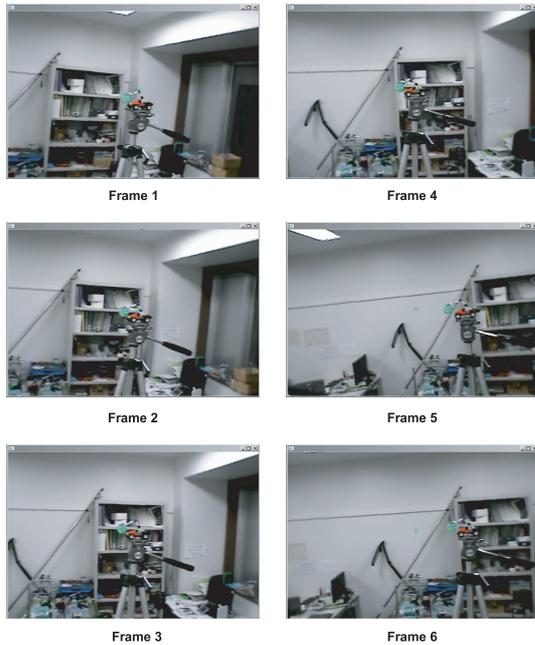


Fig. 15 View point control (104.6cm)

きる．また，本システムを使用して誤差を修正した後も多少の誤差は残るものの，物体を任意の視点から観測できる視点制御が実現できることを示した．

なお，レーザー測距センサを使用すれば精密な距離の計測は可能である．しかし，レーザー測距センサは高価であること，また重量が重いといった問題点を持つ．一方，本論文で用いた赤外線距離センサは安価で軽量である．このような赤外線距離センサを使いこなす手法として本手法が有用であることを強調したい．

## 参考文献

- 1) Craig R. Carignan, David L. Akin, J. Corde Lane, “ Dynamic Tool Vector for Robo-Centric Control, ” Proc. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1188–1193, 2000.
- 2) 小田光茂, “ ETS-VII のミッション ”, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 8, pp. 1055–1061, 1999.
- 3) 田中博貴, 妻木勇一, “ 高臨場テレマニピュレーション用カメラアームの開発 ”, 計測

自動制御学会東北支部 40 周年記念学術講演会講演論文集, pp. 97–100, 2004.

- 4) 木村海斗, 大和田寛, 妻木勇一, 遠隔カメラアームのための過去画像に基づいた距離センサ検証システム, 第 18 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 447–451, 2013.
- 5) 城間直司, 加護谷譲二, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 松野文俊, “ 過去画像履歴を用いたロボットの遠隔操作 ”, 第 10 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 481–486, March 14–15, 2005.