計測自動制御学会東北支部第252回研究集会(2009.10.30)

資料番号 252-12

ロボットにおけるカメラとアームの協調動作

Cooperative Motion of Robot Camera and Manipulator

○佐藤 英昇*,村松 鋭一*.
 ○Hideaki Sato*,Eiichi Muramatsu*
 *山形大学
 *Yamagata University

キーワード: ロボットアーム(Robot arm),シミュレーション(simulation),カメラ画像計測(camera image measurement),逆運動学(inverse kinematics).

連絡先:〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部 応用生命システム工学科 村松研究室 E-mail:muramatu@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

介護や災害現場などで働く自律ロボット を想定した場合、作業を行うロボットアーム や外界の様子を把握するために様々なセン サー類が必要である。そしてセンサーの中で もカメラによる画像情報は、色・形・奥行な ど処理の方法によって多くの情報を得る事 ができる。また現場の情報を人間と共有する 場合、人間が状況を把握できる情報であるな どセンサーとして大いに期待できる。

本研究では、両眼と頭部と腕が動くロボッ トが視覚情報を元に、物体に手先に近づける 動作について考える。このとき重要となるの が、物体の位置の認識と、それに手先を近づ けるための腕の軌道計画である。

本稿ではまず、両眼と頭部が動く状況のも とでも物体の三次元空間における絶対座標 を求めることを可能にする計算方法を提案 する。

次に、得られた座標を元に物体に手先を近

づけるための逆運動学計算について考察す る。この状況では、アームの姿勢によっては カメラの視界を塞いでしまい作業が立ち行 かなくなってしまう可能性がある。そこでカ メラから作業対象までの視線をアームが遮 らない様な逆運動学問題の解法を提案する。

2. シミュレーションの概要

水平 3 リンクロボットアームと二台のカ メラを備えたロボットの 3DCG シミュレー タ を、OpenGL を用いて作成した。



Fig.1 simulation system

カメラは左右それぞれの座標系において Z 軸 Y 軸周りに回転することができる。



Fig.2 stereo camera vision

3. 原理

3.1目標座標の計算原理

二台のカメラに映った目標の物体の位置 は、それぞれのカメラ(Fig.3 の a,d)と投影面 上の物体(Fig.3 の c,e)とを結ぶ直線の交点で 表現される。



Fig.3 intersecting point of sight line

しかし、空間の直線同士の交点は計測の誤 差次第では交点を持たない危険がある。そこ でもう一つの任意の点(ここでは、片方のカ メラの位置を平行移動させた Fig.3 の点 b)を 考える。

このようにすると目標物体の位置は、三点 a,b,cを含む平面とdとeを通る直線の交点と して求まる。カメラと投影面上の点の絶対座 標(Fig.3のa~d)がそれぞれ分かっているもの として、次の手順で計算する。 1: $ab \times ac$ 外積で法線ベクトルnを計算。

$$ab \times ac = \vec{n} = (n_x, n_y, n_z)$$
 (1)

2: 定点 a を通り、ベクトル n に垂直な平面
 P を計算。

$$n_{\rm x}x + n_{\rm y}y + n_z z + d = 0 \tag{2}$$

$$d = -n_x a_x - n_y a_y - n_z a_z \tag{3}$$

3:2点 d,e から *de* ベクトルを含む直線 L の 方程式を計算。

$$\overrightarrow{de} = (l, m, n) \tag{4}$$

$$\frac{x-e_x}{l} = \frac{y-e_y}{m} = \frac{z-e_z}{n} = k$$
⁽⁵⁾

$$k = \frac{-d - n_{x}e_{x} - n_{y}e_{y} - n_{z}e_{z}}{n_{x}l + n_{y}m + n_{z}n}$$
(6)

4: 直線 L の式を平面 P の方程式に代入して 交点を求める。

(1)~(6)より交点は、

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kl + e_x \\ km + e_y \\ kn + e_z \end{bmatrix}$$

このようにして、目標物体の座標を求めた

3. 2逆運動学問題の解法

物体に手先を近づけるための逆運動学計 算にについて述べる。



Fig.4 Target joint angle

Fig.4 は全体図を上から見下ろした図であ り、直線 P はカメラから物体への視線と直交 し、地面と平行な直線である。ここで、リン ク 3(L3)先端が、常に目標の位置でカメラの 視線と直交する角度 03 に設定する。残りの 関節角 02,01 は始点と終点がきまれば二通り で計算できる。その際 Fig.5 の様に、第2関 節の座標がカメラから遠い方を選択すれば 水平3リンクロボットアームにおいて、カメ ラの視線を交差することはないと考えられ る。



Fig.5 θ 1, θ 2Target joint angle この考えに基づき目標関節角を、以下のような手順で求める事が出来る。

1:カメラの直線と直交し、目標位置を通る 地面に水平な直線 P をお求める。

2:目標位置を中心に半径 L3 の円を描き、直線 P との交点の座標を求める。

3: Fig.6の a~d の位置関係と余弦定理により θ a を求める。

$$\theta_{a} = \tan^{-1} \left(\frac{\pm \sqrt{4N^{2}M^{2} - \left(N^{2} + M^{2} - L_{3}^{2}\right)^{2}}}{N^{2} + M^{2} - L_{3}^{2}} \right) \quad (8)$$

4: θ a から L4 を求める。

$$L_4 = \pm \sqrt{N^2 + M^2 - 2NM \cos \theta_a} \tag{9}$$

5:余弦定理からθbを求める。

$$\theta_b = \tan^{-1} \left(\frac{\pm \sqrt{4L_3^4 - \left(2L_3^2 - L_4^2\right)^2}}{2L_3^2 - L_4^2} \right) \quad (10)$$



Fig.6 Target joint angle calculation

4. シミュレーション

目標座標の計測シミュレーションを行った。カメラから 0.001[m]刻みで徐々に遠ざかる目標(半径 0.02[m]白球)の座標を求め、実際の座標との誤差を Fig.7 にまとめた。



Fig.7 simulation result

目標とする対象の形状が半径 0.02[m]の球 であった事から平均誤差 0.01[m]は、良好な 結果であると考えられる。

5. まとめ

二台のカメラによる目標座標計測方法が 有効である事をシミュレーションによって 確かめた。

また、カメラ視線を考慮した逆運動学問題 の解法の定式化を行った。今後、その解法を 元にしたシミュレーションによる検証が必 要である。

なお、今の方法では一方のカメラの視線の みを考慮した形となっているので、二台のカ メラの視線両方を考慮した場合どうなるか や、ロボットアームの自由度を上げた場合の 逆運動学問題の解法を今後の課題としたい。

参考文献

1)小林尚登,増田良介(共著);ロボット制御の 実際、コロナ社

2)橋本洋志,小林裕之(共著);図解 OpenGL による3次元CGアニメーション,オーム社
3)内山勝,中村仁彦;ロボットモーション,

岩波書店(2004)