

4F-4

## 2台のカメラでの注視による移動ロボットの軌道制御

上田泰広 今井正和 烏野武

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

### 1 はじめに

移動に際し地図と現在の絶対的な位置がわかるような時は問題はないが、そのような状況でなくとも所望の地点に向かってある程度正確に移動することが望ましい。

本報告は、ワールド座標における絶対的な位置を知ることなく、簡単な視覚情報によって、外乱による軌道のずれを補正しつつ与えられた目標地点へと直線軌道で移動するロボット制御方式について提案するものである（円軌道で移動するものは[1]で報告されている）。

### 2 ロボットシステムの概要

ロボットシステムは走行車部と、その上に設置された図1に示すようなパン軸とチルト軸を回転できるカメラステージ部、CCDカメラ部等からなり、無線イーサネットによってワークステーションに接続される。

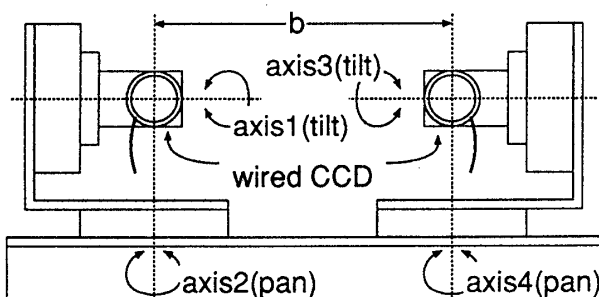


図1: カメラステージ部の概要

### 3 ロボットの制御方式

#### 3.1 制御方式の概要

移動するロボットが相対的な位置を知るための目印は、目標地点とは異なる位置に存在する。簡単にするため、目印はロボットの移動する床面に垂直な1本の線とし、目標地点との相対的な位置関係は既知とする。

図2において点Rにロボットが存在し、破線RQを目標の軌道とする。ロボットは点Qまで目標の軌道上を移動するものとする。このとき、ロボットはロボット座標系(u,v)を持ち、v軸と点Pを注視している左右のカメラがなす角度 $\theta_l, \theta_r$ が得られるものとする。ロボットから目印とする注視点Pまでの線分PRの長さをl、線分PRとv軸がなす角度を $\theta$ とする。

このとき常に図2のように $l \sin \theta = r$ を満たすようにロボットを制御することにより目標の直線軌道上を移動することができる。そして $l = r$ となるところでロボットを停止させることにより点Qに到達する。

点R'のように目標の軌道からはずれた時は、v軸とPR'がなす角度を $l' \sin \theta' = r$ を満たすような角度 $\theta'$ になるようにロボットを制御することにより外乱による軌道からのずれを補正し、点Q'を新たな目標点として円周上に到達する。本手法の持つ特性により目標の軌道からの逸脱の度合は求められないが、外乱が少ないとき目標の軌道からのずれは微小に収まる。

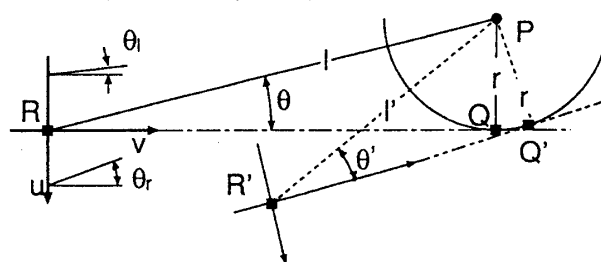


図2: 制御の概要

#### 3.2 問題設定と制御手法

次にワールド座標系(X,Y)において注視点Pが $P(X_P, Y_P)$ に存在する状況で本手法を適用する。図3で、ワールド座標における原点Oより、注視点Pを注視しながら直線軌道上を移動して点Qに到達する問題について考察する。

ロボットがワールド座標の任意の点Rに存在し、太線で図示したロボット座標系(u,v)を持つものとする。注視により得られた3.1節での角度 $\theta_l, \theta_r$ より、ロボット座

Trajectory Control of a Mobile Robot by Gazing with 2 Cameras  
 Yasuhiro Ueda, Masakazu Imai and Takeshi Uno  
 Nara Institute of Science and Technology  
 8916-5 Takayamacho, Ikoma, Nara 630-01, Japan

標における注視点  $p(u_p, v_p)$  は以下のように求まる [2].  
ただし, 図 1 におけるカメラ間の基線長を  $b$  とする.

$$u_p = -\frac{b \sin(\theta_r + \theta_l)}{2 \sin(\theta_r - \theta_l)} \quad (1)$$

$$v_p = \frac{b \cos \theta_r \cos \theta_l}{\sin(\theta_r - \theta_l)} \quad (2)$$

$for -\frac{\pi}{2} < \theta_l < \theta_r < \frac{\pi}{2}$

これにより注視点  $p$  とロボットとの距離  $l$  は

$$l = \sqrt{u_p^2 + v_p^2} \quad (3)$$

となり, この時  $v$  軸と線分  $PR$  がなす角度  $\theta$  は

$$\theta = \arctan\left(-\frac{u_p}{v_p}\right), \quad for -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

で与えられる. また,  $|u_p| = |X_P|$  となるような  $v'$  と線分  $PR$  がなす角度  $\theta_{id}$  は

$$\theta_{id} = \arcsin\left(-\frac{X_P}{l}\right), \quad for -\frac{\pi}{2} < \theta_{id} < \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

を得ることができる. したがってロボットを (6) 式によって示される角度  $\theta_{gap}$  だけ回転させて, ロボット座標系を  $(u, v)$  から  $(u', v')$  とすることにより, 目標の軌道からのずれを補正する方向へと向かわせることができる.

$$\theta_{gap} = \theta - \theta_{id} \quad (6)$$

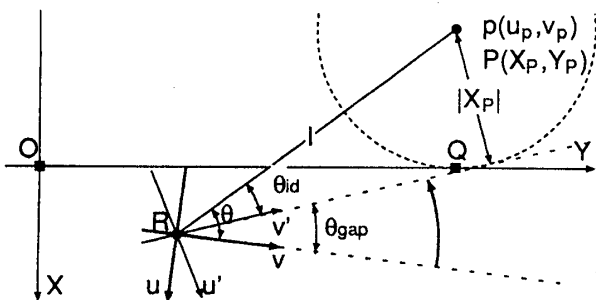


図 3: ロボットの制御

#### 4 本制御方式の問題点

(6) 式の第 2 項は  $l < |X_P|$  の時に定義されておらず, 図 3 における点線円内では制御不能である. また点  $Q$  付近では  $\theta_{gap}$  の値が非常に大きくなる場合があり, 間欠的なロボットの制御では不安定な動作を示す場合がある. そのような場合のシミュレーション例を表 1 と図 4 に示す.

表 1: シミュレーションの条件

項目	設定値
1 ステップ当たりの移動距離	$ X_P /4$
1 ステップ当たりの移動誤差	20%
ロボット, 注視点間の測定誤差	20%
ロボットの回転等の角度誤差	$\pm 10^\circ$

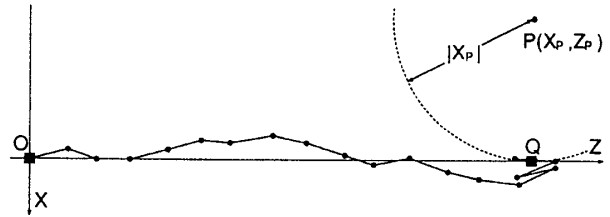


図 4: シミュレーション例

目標点  $Q$  の付近ではロボットは振動する場合があります, 実際にこの手法をロボットに適用するに当たっては, 点  $Q$  の近傍で制御を終了させることが必要である.

以下に制御の終了条件として考え得るものをあげる.

- (1)  $l > |X_P| + E$  ( $E$  は距離  $l$  測定時の最大誤差)
- (2)  $\theta_{gap} > \eta$  ( $\eta$  はロボット回転時の角度の制限)

(1) はロボットが点線円内に入ることを防ぐ. (2) はロボットの急峻な向きの変化を防ぎ, シミュレーション例のような振動を防ぐ.

#### 5 まとめ

ワールド座標系で現在の位置を把握する必要なく, 進行する軌道にない 1 点を注視しながらロボットを直進させる制御方式とその問題点について述べた.

今後はロボットを用いた実験を行ない, 本制御方式がどの程度有効なのか確認し, また連続系での制御への適用について検討することを計画している.

#### 参考文献

[1] Shigang Li et al., "Finding of 3D Structure by an Active-vision-based Mobile Robot", Proc. Robotics and Automation, pp.1812-1817, France, May 1992, IEEE.

[2] JOHN C.FIALA et al., "TRICLOPS: A Tool for Studying Active Vision", International Journal of Computer Vision, pp.231-250, 1994.