

A4-05 : マルチ全方位ビジョンを用いた物体位置計測および自己位置同定手法

清水 平 渉 (指導教官 : 前田 陽一郎 助教授)

福井大学 工学部 知能システム工学科

1 緒言

近年、サッカーロボット等の複雑な動的環境下における自律移動ロボットの研究においては、全方位ビジョン (360 度のパノラマ画像が取得できるカメラ) を搭載した研究がいくつか発表されている。

しかしながら、これらはほとんど単体で全方位カメラを用いているので、対象物体のロボットからの方位は比較的正確に計測可能であるが、距離に関してはミラー上で物体画像が圧縮される上、対象物体の高さが不明な場合正確な距離計測は不可能であるため、視覚以外に距離センサを搭載する必要がある。

そこで本研究では、まず、全方位ビジョンを複数用いたマルチ全方位ビジョンシステムを構築する。複数の全方位ビジョンを用いた研究には、Gluckman ら [1] や子安ら [2] による鉛直に 2 つの全方位ビジョンを並べたものがあるが、本研究のマルチ全方位ビジョンシステムでは 3 台の全方位ビジョンをロボット上に水平に正三角形に配置する。これにより、三角測量の原理によるステレオ視を各 2 台のビジョンで行わせ、ロボット全周の物体認識と位置計測を比較的精度良く行うことを目的とする。更に本システムを用いた、自律移動ロボットの物体位置計測および自己位置同定手法について提案する。自己位置同定には、RoboCup 中型ロボットリーグのフィールド上のコーナーボールをランドマークとし、計測したロボット座標系におけるコーナーボールの座標を、既定の絶対座標系に変換することによって行う。また、マルチ全方位ビジョンシステムを用いた計測実験を行ったので、この結果についても報告する。



図 1. 全方位ビジョンによる取得画像

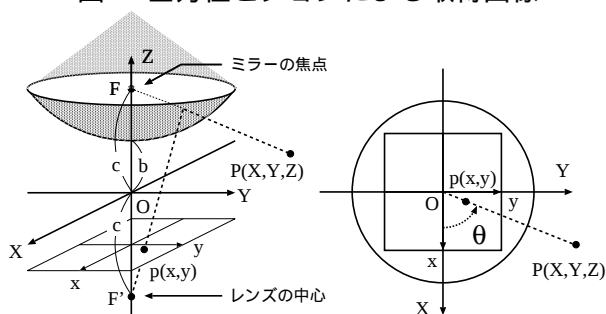


図 2. 双曲面ミラーの概念図

2 全方位ビジョンについて

全方位ビジョンは球面や円錐、双曲面のミラーとカメラを用いて構成され、周囲 360 度の動画および静止画を実時間で得ることが可能な視覚センサである。本研究では双曲面ミラーによる全方位ビジョン [3] を用いている (図 1 参照)。双曲面ミラーの概念を図 2 に示す。

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1 \quad (1)$$

$$\tan \theta = \frac{Y}{X} = \frac{y}{x} \quad (2)$$

双曲面には 2 葉双曲面が用いられ、式 (1) で表わすことができ、 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ である 2 つの焦点 $F(0, 0, +c)$ 、 $F'(0, 0, -c)$ を持つ。焦点 F へ向かう全方向の光は双曲面ミラーで反射し、焦点 F' に収束する。このため焦点 F' にカメラのレンズを配置することによって一台のカメラで周囲 360 度の画像情報を得ることができる。また、空間内の任意の点 $P(X, Y, Z)$ に対する画像上での写像点を $p(x, y)$ としたとき、点 P の方位角 θ は式 (2) のように表され、全方位の対象物体の方位角 θ を直接得ることが可能である。

3 マルチ全方位ビジョンを用いた物体位置計測および自己位置同定手法

3.1 マルチ全方位ビジョンのシステム構成

カメラは 3 台使用し、それぞれ同一性能を持つカメラ M_1 、 M_2 、 M_3 とする。カメラは図 3 に示すように、移動ロボットに床面と水平に正三角形に搭載する。この時、ロボットの重心と 3 つのカメラが作る正三角形の重心は垂直方向に対し同一点に存在するようにする。

また、後述の位置計測法の精度を高めるため移動ロボットの進行方向に対して 2 台カメラが垂直になるように設置し、カメラ間距離はできるだけ大きく取るようにする。

取得した画像情報全てに対して計測を行うと、お互いのビジョン本体による死角が生じる場合がある。また同一物体に対して重複した距離情報を取得した場合、画像処理時間も増えてしまう。そこで正三角形の重心より各頂点を延長した線を考え、各 2 台のカメラの画像取得範囲を 120 度ずつ 3 等分した領域に分割し、各領域をそれぞれ 2 台のカメラ対 (図 3 の場合、 M_1 と M_2 、 M_2 と M_3 、 M_3 と M_1) を用いてステレオ視による計測を行なう。

3.2 ロボット座標系における物体の位置計測

位置計測を行う物体 $A(x_a, y_a)$ が全方位ビジョン M_1 、 M_2 の計測範囲である場合を仮定する。図 3 において、ロボット座標系はロボットの前方を y 軸、側方を x 軸とし、ビジョンから計測する物体の方位 θ_1 、 θ_2 は、そ

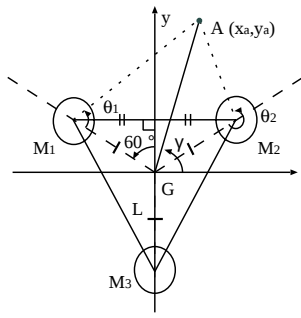


図 3. ロボット座標系における物体位置計測

それぞれミラー中心からロボットの重心方向が 0 となるようにとる。

位置計測は計測物体 A、全方位ビジョン M_1 、 M_2 について三角測量を行い、結果を重心まで座標変換することによって求める。 x 軸に水平にある M_1 、 M_2 に対し、 M_1 における物体 A の傾きは $\theta_1 - \frac{\pi}{6}$ 、 M_2 における物体 A の傾きは $\theta_2 - \frac{\pi}{6}$ である。カメラ M_1 、 M_2 の座標は既定であるので、以上より三角測量および重心までの座標変換を行うと式 (3) 式 (4) が求まり、ロボット座標系における物体 A の位置 (x_a, y_a) が計測できる。

$$x_a = \frac{\sqrt{3}}{2} L \frac{\tan(\theta_2 - \frac{5\pi}{6}) + \tan(\theta_1 - \frac{\pi}{6})}{\tan(\theta_2 - \frac{5\pi}{6}) - \tan(\theta_1 - \frac{\pi}{6})} \quad (3)$$

$$y_a = \frac{1}{2} L + \sqrt{3} L \frac{\tan(\theta_2 - \frac{5\pi}{6}) \cdot \tan(\theta_1 - \frac{\pi}{6})}{\tan(\theta_2 - \frac{5\pi}{6}) - \tan(\theta_1 - \frac{\pi}{6})} \quad (4)$$

3.3 ロボットの自己位置同定

本研究では、RoboCup 中型ロボットリーグのフィールドにおける自己位置同定には、コーナーボールをランドマークとして使用する。絶対座標系における座標軸は図 4 のように、フィールドの中心を原点 O とし、 X 軸をフィールドサイド方向、 Y 軸を敵ゴール方向とする。コーナーボール座標は既定であり、原点よりそれぞれ幅 Fw 、高さ Fh であるとする。また、ロボットの重心座標を (X_r, Y_r) とし、ロボット座標の x 軸と絶対座標系の X 軸のずれを β とおく。

ロボット座標系におけるコーナーボールの座標はそれぞれ $p(x_p, y_p)$ 、 $q(x_q, y_q)$ 、とした時、 β は計測された p 、 q より式 (5) で求めることができる。

β が求まると、絶対座標系におけるロボットの重心座標が式 (6)、式 (7) より求まり、 (X_r, Y_r) を得ることができ、自己位置が同定できる。

$$\beta = \tan^{-1} \frac{y_q - y_p}{x_p - x_q} \quad (5)$$

$$X_r = -x_p + (\cos \beta) Fw + (\sin \beta) Fh \quad (6)$$

$$Y_r = -y_p - (\sin \beta) Fw + (\cos \beta) Fh \quad (7)$$

4 実験

実験環境には RoboCup 中型ロボットリーグの半分のフィールド ($Fw=250\text{cm}$ 、 $Fh=400\text{cm}$) を用いた。ボールはペナルティラインのスポット ($0\text{cm}, 300\text{cm}$) に固定し、マルチ全方位ビジョンを移動させ、ボールの位置

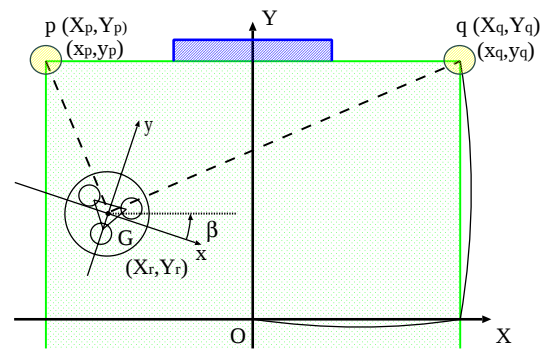


図 4. 絶対座標系における計測

計測とコーナーボールをランドマークとした自己位置同定実験を行った。ただし、ロボット座標系の x 軸と絶対座標系の X 軸は常に平行であり、計測は前方の 2 つのビジョン範囲内である。

実験結果を表 1 に示す。ボールはロボット座標系によるものであり、ロボットは絶対座標系によるものである。

表 1. 実験結果

計測点	Ball 座標	Ball 計測座標	Robot 座標	自己位置同定座標
A	0, 100	1, 107	0, 200	-34, 179
B	100, 200	112, 203	-100, 100	-197, 67
C	0, 200	2, 212	0, 100	-55, 67
D	-100, 200	-102, 215	100, 100	91, 82
E	100, 300	121, 328	-100, 0	-157, -49
F	0, 300	-25, 330	0, 0	-27, -34
G	-100, 300	-90, 326	100, 0	69, -12

物体位置計測に関しては計測点 A、次いで計測点 B、C、D における結果が一番よい。これより計測物体の距離が約 2m 以内であれば比較的高精度に物体位置計測ができると考えられる。自己位置同定に関しては、表の結果に補正を加えるとほぼ正確に同定できていると考えられる。

5 結言

本報告では、3 台の全方位ビジョンによるマルチ全方位ビジョンシステムを構築し、自律移動ロボットにおける物体の位置計測および自己位置同定手法について提案した。実験環境は RoboCup 中型リーグのフィールドにおける位置計測を試みたが、マルチ全方位ビジョンシステムは、一般の自律移動ロボットへも適用が期待できものと思われる。

参考文献

- [1] J. Gluckman, K. Nayar, J. Thoresz: "Real-Time Omnidirectional and Panoramic Stereo," *Proc. of Image Understanding Workshop*, Vol.1, pp.299-303 (1998)
- [2] 子安 大士, 三浦 純, 白井 良明: "実時間全方位ステレオを用いたロボットナビゲーションのための移動物体認識," 2001 年ロボティクス・メカトロニクス講演会, (2001)
- [3] 山澤 一誠, 八木 康史, 谷内田 正彦: "移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案," 電気情報通信学会論文誌 (D-), Vol.J79-D- , No.5, pp.698-707, 1996