

B2-5 複数の魚眼カメラを用いた立体視による屋内監視システム

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室

山田 麻樹 (指導教員：前田 陽一郎)

1. 緒言

近年、セキュリティ確保や介護・福祉用途を目的とした監視システムにおいてカメラの利用が頻繁になってきている。一般に監視システムに要求される高度な機能としては、広い観測エリアを持ち、対象物を実時間で検出・追跡し異常を検出するなどが挙げられる。しかし市販の CCD カメラでは画角が狭く、一度に観測できる範囲は限られる。そのため、広範囲を移動する物体を監視するにはカメラ自体を動かしたり [1]、複数台のカメラを使用する必要がある [2]。しかしながら、これらの方法は、特定のエリアしか監視できなかったり、複数のモニターを制御しなければならないなど監視者に負担が生じる。

この問題の解決策の一つとして、カメラの周囲 360 度の情景を一度に観測できる全方位カメラが挙げられる。全方位カメラとはカメラレンズ前方に双曲面ミラーや円錐ミラーなどを取りつけたもので、CCD から見て下半空間の観測が一度にできる。また、この全方位カメラを 2 台使用することにより、立体視を行うことで対象物の位置も計測することができる [3]。本研究室でも全方位カメラを 3 台用いて、距離計測が可能なマルチ全方位ビジョンシステム (MOVIS) を開発してきた [4]。しかし、全方位カメラのようなミラー装着型の場合、CCD が存在する画像中央付近に死角領域が生じてしまう。また、ミラー部分の画像を取得するという構造上、設置が困難な状況も起こりうる。

一方、180 度近い画角を持ち、遮るものが無いためカメラから上半空間全域の観測が可能である魚眼カメラは空間監視により適している。本研究では、この魚眼カメラを 2 台用いて立体視により対象物の空間的位置を計測できるシステムを提案する。

2. 2 眼魚眼カメラによる三次元位置計測手法

ここでは、本研究で使用した魚眼カメラの原理及び提案した三次元位置計測手法の概要、処理手順について説明する。

2.1 魚眼カメラについて

広角を含む普通のレンズは、視野の一部を視点から D だけ離れた平面に投影する。一方、魚眼カメラの画像は、まず視点を中心とした半径 R の球面に視野全体を投影し、その投影結果を平面に垂直に投影しなおしたもので、モデルは図 1 のように表される。

また魚眼カメラは数種類の射影方法を持ち、各射影方法の式を用いることで簡単に位置計測ができる特徴を持つ。それぞれの射影方法と関係式は以下ようになる。 h は像高 (画像内の画像中心から像点までの距離)、 f は焦点距離、 θ は半画角 (被写体がレンズの光軸

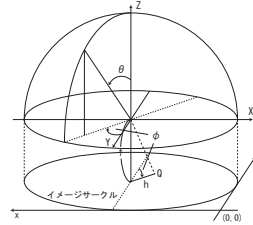


図 1 魚眼投影モデル

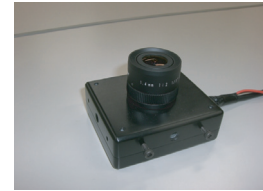


図 2 使用した魚眼カメラ

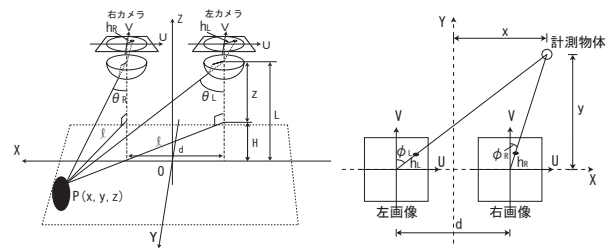


図 3 三次元位置計測モデル

図 4 X, Y 方向位置計測

となす角)を表す。

$$\text{中心射影} \quad h = f \tan \theta \quad (1)$$

$$\text{正射影} \quad h = f \sin \theta \quad (2)$$

$$\text{等立体角射影} \quad h = 2f \sin (\theta / 2) \quad (3)$$

$$\text{等距離射影} \quad h = f \theta \quad (4)$$

$$\text{立体射影} \quad h = 2f \tan (\theta / 2) \quad (5)$$

2.2 三次元位置計測手法

本手法では、計測物体の特徴量が未知の場合でも認識が可能な背景差分法を使用して物体の抽出を行う。今回使用した魚眼カメラを図 2 に示す。

三次元位置計測手法の概要は図 3 のようになる。 θ は魚眼レンズの中心に対する角度である半画角 (仰角) を表す。 X, Y 方向の位置計測には一般的な方法である立体視を用いた。図 4 に示すように、左右のカメラ画像で物体を計測し、それぞれの視点からの視差量を用いて三角測量による計算を行う手法であり、式 (6) のように表される。ここで、 x, y は図 4 における u, v 座標系の位置を示す。

$$x = \frac{d\alpha_L}{\alpha_R - \alpha_L}, \quad y = \frac{d\alpha_R\alpha_L}{\alpha_R - \alpha_L} \quad (6)$$

$$\alpha_R = \tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi_R \right), \quad \alpha_L = \tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi_L \right)$$

また、 Z 方向の高さ計測には仰角 θ を使用する。今回実験に使用した魚眼カメラは等立体角射影方式を採用

しているので、式 (3) より仰角 θ と像高 h の関係式は、

$$\theta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{h}{2f} \right) \quad (7)$$

と変形できる。この式で求めた仰角 θ とそれぞれのカメラ座標系で計測された x, y の値を、2つのカメラ間の中心を原点とした X, Y 絶対座標系へ変換を行う。得られた X, Y から Z を求める計算式は式 (8) となる。

$$Z = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\tan \theta} \quad (0 < \theta < \frac{\pi}{2}) \quad (8)$$

2台のカメラを用いているため仰角 θ も2つ求まるが、それぞれの仰角 θ でカメラからの高さ z を計算しても一般には誤差を含むため一致しない。そこで、より信頼度が高いと考えられる物体からの距離 ($l = \sqrt{x^2 + y^2}$) が短い方の仰角 θ を採用する。例外として、どちらかの仰角 θ が0となった場合にはもう一方の仰角 θ を用いる。

なお、基準面からカメラまでの距離 L が既知であると仮定すると、式 (9) により基準面からの物体の高さ H が計測可能となる。

$$H = L - z \quad (9)$$

3. 三次元位置計測実験

実際に屋内環境において行った三次元位置計測実験の実験環境及び実験結果について述べる。

3.1 実験環境

提案した三次元位置計測手法の基本性能と有効性を検証するために実環境において計測実験を行った。実験システムを図5に示す。基本性能実験では屋内の床に魚眼カメラを上向きに設置 (カメラ間 50cm と 100cm) し、比較実験では床から 1m の地点に全方位カメラを上向きに設置 (カメラ間 100cm) した。縦、横 4m の正方形空間に一定間隔 (縦 50cm、横 20cm) でカメラから高さ 1m の計測物体を配置して三次元位置計測を行った。実験における計測点を図6に示す。



図5 実験システム

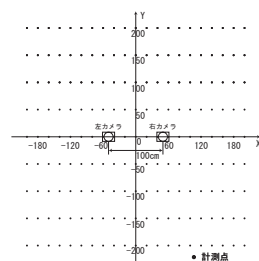


図6 実験における計測点

3.2 実験結果

図7~9がそれぞれの環境での X, Y, Z 方向の位置計測結果である。実験結果から分かるように、 X, Y 方向の位置計測は矢印の長さが誤差を示すが、カメラ間隔 100cm の魚眼カメラを用いたものと全方位カメラを用いたものが精度が良く、 Z 方向の高さ計測はカメラ間隔 100cm の魚眼カメラを用いた実験結果が良好であった。しかしながら、立体視の性質上、ベースライン付

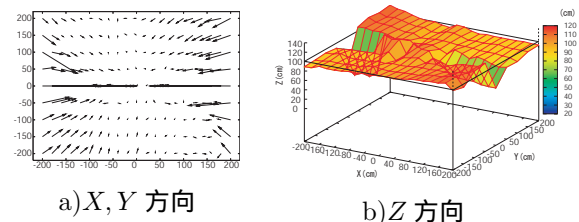


図7 2 魚眼カメラの計測結果 (カメラ間隔 50cm)

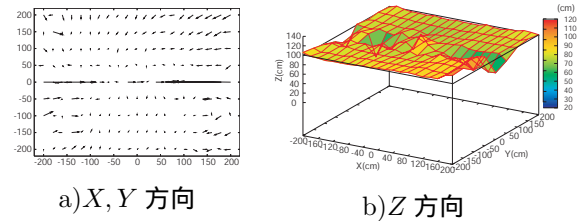


図8 2 魚眼カメラの計測結果 (カメラ間隔 100cm)

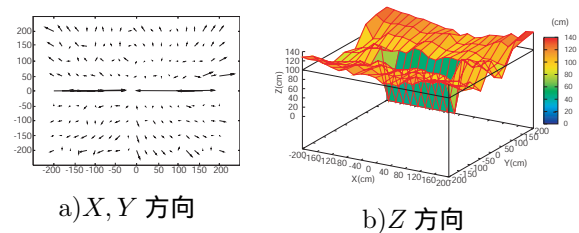


図9 2 眼全方位カメラの計測結果 (カメラ間隔 100cm)

近の計測誤差が大きく表れている。また、画像の中心から遠い計測限界付近では誤差が大きくなるという魚眼カメラの性質も見られた。

4. 結言

本研究では、魚眼カメラ2台を用いた立体視による屋内監視システムのための位置計測手法について提案し、対象物の三次元位置計測を行った。検証実験より、広範囲の環境内で比較的精度の良い三次元位置計測が可能であることを確認した。今後の課題としては、画像の歪み補正や複数物体の検出、ベースライン付近の計測精度向上などが挙げられる。

参考文献

- [1] 村瀬健太郎, 和田俊和, 松山隆司, “回転を伴うカメラによる移動物体の検出,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), Vol.I, pp.425-430 (1998)
- [2] 中澤篤志, 加藤博一, 井口征士, “分散カメラシステムによる人物の追跡,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), Vol.II, pp.1-6 (1998)
- [3] 三木隆太郎, 山澤一誠, 竹村治雄, 横矢直和, “複数の全方位画像センサを用いた遠隔監視システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.527, pp.7-14 (1999)
- [4] Y.Maeda, W.Shimizuhiro, “Multi-Layered Fuzzy Behavior Control for Autonomous Mobile Robot with Multiple Omnidirectional Vision System: MOVIS,” *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII)*, Vol.11, No.1, pp.21-27 (2007)