移動多視点型ステレオカメラ法位置計測における 全方位カメラの適用

Stereo measurement with multiple mobile sights using the omni-directional camera

○学 船戸 昌宏 (富山大) 正 笹木 亮 (富山大)
正 池本 有助 (富山大) 正 神代 充 (富山大)

Masahiro FUNATO, University of toyama
Tohru SASAKI
Yusuke IKEMOTO
Mitsuru JINDAI

The stereo measurement method has been used to identify the positions of a target object. We have proposed a method for measuring a mobile robot's relative position and posture before. For the stereo measurement, the robot looked around, and the robot had to measure a relative position with another robot. The new robot for fast measurements has an omni-directional camera. An omni-directional camera can photograph all the things which is around. This paper describes a method to measure a relative position and relative posture with an omni-directional camera. Two omni-directional cameras for the stereo measurement method were able to measure the precise position of the target objects.

Key words: stereo-camera measurements method, omni-directional camera, mobile robot

1. 緒言

画像を用いた位置計測手法は多く研究^[1]がなされており、代表的な位置計測手法としてステレオカメラ法が挙げられる。筆者らは先の研究^[2]において一般的に固定されているカメラ間距離を、単眼カメラをロボットに搭載してステレオカメラ法を行う移動多視点型ステレオカメラ法位置計測を提案した。この手法はカメラ間距離を変更することで計測領域を拡大できること、死角を無くすること、傾斜面での測定にも対応できること等のメリットを有している。しかしカメラ間の相対位置と相対姿勢を計測する必要があり、計測プロセスに時間を要する問題があった。そこで本研究では単眼カメラに代わり全方位カメラ^[3]を用いることで、相対位置・相対姿勢の計測にかかる時間を廃し、リアルタイムのステレオカメラ法位置計測が実現できる。本報では全方位カメラと識別マークを用いた新たな相対位置・相対姿勢計測法を考案し、試作機で行ったステレオカメラ法位置計測実験の結果について述べる。

2. 全方位カメラの概要

全方位カメラはカメラを天井方向に向け、天井側に設置された双曲線状ミラーに写り込んだ画像を撮影する。ミラーの中心部に周囲の光を集めるミラー焦点が存在し、その特性を利用して位置計測を行う。図1は全方位カメラの撮影画像である。実際の撮影対象の方向と撮影画像の方向は一致するが、距離は法線方向に歪んでいる。本研究では全方位カメラの中心を原点とし、撮影対象とカメラ中心を結ぶ線分をx軸、それと垂直な方向をy軸、実際の高さ方向をz軸とする。位置計測には画像処理を用い、測定対象(識別マーク: φ40

Fig.1 The captured image

mm 黒色球)をテンプレートマッチングで抽出し、エッジ検出で外形を求め、対象の中心位置と直径を得る。

3. 全方位カメラによる相対位置, 相対姿勢計測

3.1 相対位置計測手法

全方位カメラのミラーと識別マークの位置関係を図2に示す。ミラーの曲線は式(1)で表される。ミラーの焦点Cは(0,c)の位置にありcは式(2)で得られる。

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{z^2}{b^2} = -1 \quad (1), \quad c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

a, b, cはカメラの設計パラメータである。一般的には下式^[3]で得られる。

$$L = \frac{R \cdot H}{c - b \sqrt{1 + (R/a)^2}} \quad (3)$$

上式で距離Lを求める場合、高さHが既知であることが必要である。しかしカメラを搭載したロボットが起伏のある床面上を走行する場合などでは、Hが未知の場合も考慮しなくてはならない。ここで三角形の相似関係より、距離Lは次式でも得ることができる。

$$L = L' \cdot L_c / R \quad (4)$$

全方位カメラで撮影した図1の画像上において、ミラーの最大半径を R_{max} 、撮影領域の半径をM、画像上の対象物まで距離をrとすると下式よりRを得る。

$$R = r \cdot R_{max} / M \quad (5)$$

Fig.2 Model of omni-directional camera

また L_c は点 Q が双曲線上の点であることから下式で求まる.

$$Lc = \sqrt{R^2 + (c - b\sqrt{1 + (R/a)^2})^2} \quad (6)$$

最後に L は識別マークの直径を計測することにより求める. 識別マークは球であり, どの方向からでも円として写る. また撮画像平面上における被写体の大きさは, ミラーまでの距離と撮像素子までの距離によって決まることから, 下式より撮画像平面上の識別マークの大きさを求めることで得られる.

$$\frac{L'}{\sin(90^\circ)} = \frac{d/2}{\sin(\theta/2)} \quad (7)$$

θ は十分に小さいとして, $\theta \approx \sin \theta$ より下式のように近似する.

$$L' = d/\theta \quad (8)$$

これにより, 識別マークの大きさ d が既知であれば高さが未知でも識別マークまでの距離を求められる.

3.2 相対姿勢計測手法

相対姿勢計測のため図 3 のように, 1つのカメラに識別マークを2つ設置する. これにより撮画像平面上の識別マーク間距離を測定することで下式のように相対姿勢を求められる.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x_{I1} - x_{I2}}{y_{I1} - y_{I2}} \quad (9)$$

Fig.3 Model of two identification marks

3.3 相対位置計測実験

全方位カメラを用いて相対位置を計測する実験を行った. 実験条件は床面から双曲線ミラーまでの高さ $H=150\text{mm}$, 識別マークの高さ $h=90\text{mm}$, 全方位カメラから識別マークまでの距離 L を $300\sim 1000\text{mm}$ まで 50mm 刻みに変更し測定した. 識別マークは x 軸上に設置した. ($y=0\text{mm}$, $z=60\text{mm}$)

測定結果と真値との比較を図 4 に示す. 測定距離は x 軸の平均誤差 2.2% , y 軸の平均誤差は 0.5% , z 軸の平均誤差は 0.8% となり, 高精度に計測が可能であることがわかる. 距離が離

Fig.4 Result of relative position measurement

れるほど誤差が大きくなったことから, 誤差の原因は画像素子の分解能が考えられる.

3.4 相対姿勢計測実験

全方位カメラを用いて相対姿勢計測実験を行った. 識別マークを2つ並べ, 全方位カメラから 300mm 離れた位置に設置し, 2つの識別マークの中点を中心に z 軸周りに -45deg. から 45deg. まで 5deg. 刻みに回転させ測定した. 識別マークの中点が x 軸上になるよう設置した.

測定結果と真値との比較を図 5 に示す. 測定角度の平均誤差は 6.8deg. であった. 相対位置を計測した結果を用いて相対姿勢を求めているため, 誤差が累積したと考えられる.

Fig.5 Result of relative posture measurement

4. 全方位カメラによるステレオカメラ法

4.1 ステレオカメラ法による位置計測手法

2台の全方位カメラを用いてステレオカメラ法による位置測定実験を行う. 図 6 に示すように 1台目をカメラ A, 2台目をカメラ B とする. 2台のカメラを設置する床面高さは同じで, 傾斜してない床面上で測定を行った. 撮影画像から得られるカメラ B の相対位置と相対姿勢, および測定対象の角度から対象物の座標は下式より求まる.

$$a = \frac{y_B - x_B \tan(\theta_B + \theta_{OB})}{\tan \theta_A - \tan(\theta_B + \theta_{OB})} \quad (10)$$

$$b = \frac{y_B - x_B \tan(\theta_B + \theta_{OB})}{\tan \theta_A - \tan(\theta_B + \theta_{OB})} \tan \theta_A \quad (11)$$

Fig.6 Position of cameras and the target object

4.2 ステレオカメラ法による位置計測実験

2台の全方位カメラを用いたステレオカメラ法により測定対象の位置計測を行った. 一辺 400mm の測定領域において, カメラ A を座標 $(0,0)$, カメラ B を座標 $(400,0)$ に設置し, 対象物を x, y 軸方向にそれぞれ 200mm ずつ移動させ測定した.

測定結果を図 7 に示す. x 軸方向の距離の平均誤差は 1.4% , y 軸方向の平均誤差は 2.4% , z 軸方向の平均誤差は 2.5% となった. 全ての測定位置において高精度な位置計測が可能であることを示した. 誤差要因として測定対象の設置の位置誤差などが考えられる.

Fig.7 Result of position measurement by stereo measurement method

5. 結言

- ・全方位カメラを用いた相対位置と相対姿勢の計測手法を考案し、ステレオカメラ法による位置計測評価を行った。
- ・相対位置計測において高精度に位置計測を行うことができ、 x 軸の平均誤差は 2.2%, y 軸の平均誤差は 0.5%, z 軸の平均誤差は 0.8%であった。
- ・相対姿勢計測でも真値に近い値で計測可能で、 z 軸周りの姿勢計測における平均誤差は 6.8deg.であった。
- ・ステレオカメラ法での位置計測において高精度な位置計測が可能であり、 x 軸方向の距離の平均誤差は 1.4%, y 軸方向の平均誤差は 2.4%, z 軸方向の平均誤差は 2.5%であった。

文 献

- [1] 鄭龍振, 倉爪亮, 岩下友美, 長谷川勉, “大規模な三次元環境地図と RGB-D カメラを用いた移動ロボットの広域位置同定”, 日本ロボット学会誌, vol.31, No.9, pp.896-906, 2013.
- [2] 笹木亮, 牛丸貴之, 山谷崇浩, “移動ロボットを用いた双眼独立なステレオカメラ法位置計測による不整地面上での相対位置取得法”, 精密工学会誌, vol.79, No.9, pp.937-942, 2013.
- [3] 松井建樹, 山下淳, 金子透, “全方位レーザ・全方位カメラからなるレンジファインダの自己位置推定と配管の 3 次元モデル生成”, 電気学会論文誌 C 編, vol.130, No.9, 2010.
- [4] 大山恭弘, 橋本洋志, “ロボットセンシング”, pp161~167, オーム社, 2007.