

2台のカメラを用いた全周囲画像の取得 —遠方領域を対象とした全周囲画像取得装置の試作—

佐藤哲哉

大分県・工業技術院研究交流センター

Omnidirectional Image Acquisition Using Two Cameras

— Omnidirectional Imaging System For Far Field —

Tetsuya SATO

OITA-AIST Joint Research Center

要旨

2台のカメラと2つの三角柱型反射ミラーにより構成された全周囲画像取得装置について述べる。本装置の2台のカメラは、水平画角が90度以上となる広角レンズが取り付けられており、また、2つの互いに反射方向が異なる反射面を持つ三角柱型反射ミラーは、互いに90度の角度で配置された構造をしている。2台のカメラは、三角柱型反射ミラーの両反射面が交差する稜線の中央の垂直線上に各々位置し、第1のカメラの画像は、一方の三角柱型反射ミラーにより互いに反対方向の2方向の情報を含んでいる。第2のカメラの画像は、前記に直交する他方の三角柱型反射ミラーにより、互いに反対方向の2方向の情報を含んでいる。これら4方向の画像情報について、画像の歪み補正、4方向の画像間の境界線の抽出等の画像処理を施し、つなぎ合わせることで全周囲画像を生成する。試作装置の撮像試験により、全周囲画像取得の有効性が確認されたので報告する。

1. はじめに

監視装置やロボットの視覚装置等にとって、実環境の全周囲画像は、異常や侵入者の検出等周囲状況を把握するための重要な情報である。このような全周囲画像は、高分解能で、かつ、ひずみが小さく、その上実時間で取得できることが望ましい。従来、全周囲画像を取得する方法として、カメラを回転する方法、魚眼レンズを用いる方法、曲面ミラー（球面ミラー、円すいミラーや双曲面ミラー）の反射像を用いた方法等が提案¹⁾されている。カメラを回転する方法は、カメラを1回転させて全周囲画像を取得する。しかし、ひずみ、解像度については問題ないが、全周囲画像を取得するのに、時間がかかる。

魚眼レンズを用いる方法は、一台のカメラで全周囲画像を取得するためにはカメラを上方に向けねばならず不用な天井部の情報を多く含む。このため、実時間で全周囲画像を取得できるが、分解能が低く、かつ、画像のひずみが大きい。

曲面ミラーの反射像を用いる方法は、曲面ミラーに写った全周囲の反射像をミラー下方に設置したカメラにより撮像する。1台のカメラにより全周囲画像を実時間で取得することができるが、分解能が低く、画像歪みが大きい。その上、ミラーとカメラの位置関係から、曲面ミラーをカメラ上方に全周囲の視野を確保しつつ、固定する必要がある。このため、曲面ミラーは、透明な光学ガラス、または、それに類した透明材質のもので保持し

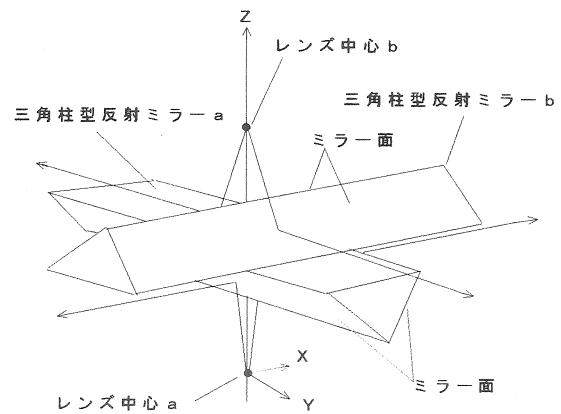


Fig.1 基本原理

なければならず、構造上問題がある。また、画像取得を目的とするため、高精度な曲面ミラーが必要とされる。本稿では高速で従来方法より分解能が高く、堅固な構造を持ち、かつ、画像ひずみが小さい全周囲画像を得る方法を提案し、試作によりその有効性を示す。

2. 原理

Fig.1に基本原理を示す。上下に配置された2台のカメラ（水平画角が90度以上となる広角レンズが取り付けられている。）と互いに直角に配置された2つの三角柱型反射ミラーにより構成される。カメラと三角柱型反射ミラーを対とする2組が上下逆向きに連結した構造をしている。三角柱型反射ミラーaは、2つの反射面を持つ。

レンズ中心 a に対するその反射像は、ミラー面の境界を中心として、互いに反対方向の2方向の情報を持つ。同様に、レンズ中心 b に対する三角柱型反射ミラー b の反射像は、2つの三角柱型反射ミラーが互いに角度90度で組み合わされているため、三角柱型反射ミラー a の反射像に対して、90度回転した互いに反対方向の2方向の情報を持つ。このことから、2つの三角柱型反射ミラーによる反射像は全周（4方向）の画像情報を含んでいると言える。よって、これら4方向の画像情報を基本として全周画像を生成する。

しかし、Fig. 1に示すように2台のカメラのレンズ中心位置が異なる。4方向に対して4台の等価的カメラ位置を考える時、各々のレンズ中心位置が異なることを意味する。このことは、これら画像間での視差、撮像範囲の差違として全周画像生成時において問題となる。しかし、レンズ中心間距離を小さくすること及びそのレンズ中心間距離の影響が相対的に無視できる程度に撮像対象を比較的遠方領域に限定することで、この問題を回避することができる。以後、この観点より検討を行う。

3. 課題

全周画像の生成処理に際しては、次の課題を解決する必要がある。

- ①広角レンズ等に起因する画像歪み。
 - ②カメラの水平画角が90°以上であることによる画像間での重複撮像領域の存在。
 - ③カメラ、ミラーの配置による実環境に対する像の反転
- これら課題は、ソフト処理やキャリブレーション及び装置構造等により解決される。

以下、原理に基づく試作装置により説明する。

4. 試作装置

4.1 装置構成

試作装置は、全周カメラ部と画像処理部及び表示部から構成される。全周カメラ部は2台のカメラと2つの三角柱型反射ミラーにより全周（4方向）の画像情報を得る。画像処理部は、2台の画像プロセッサで全周画像の生成処理を行う。全周画像は、表示部において2台のモニタ上の画像間の連結により表現される。（Fig. 2）

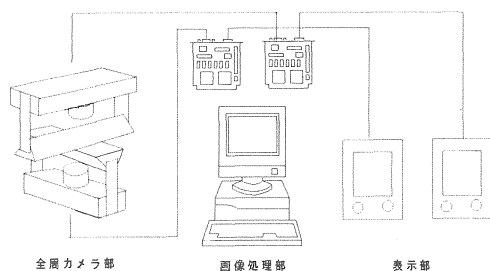


Fig. 2 装置構成

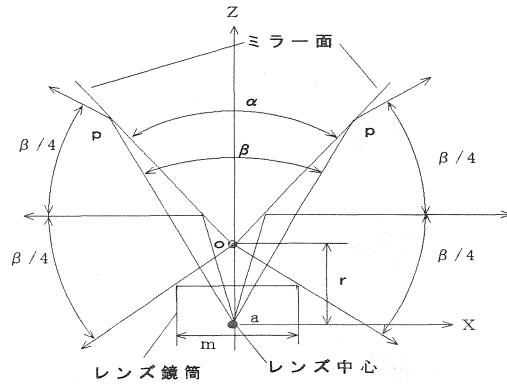


Fig. 3 ミラーとレンズ

4.2 全周カメラ部

Fig. 3よりレンズ中心 a の位置は、レンズ鏡筒幅 m、ミラー面の有効長 op 、ミラー面間角度 α との関係において、他方の三角柱型反射ミラーにより視野が妨げられることなくカメラの垂直画角 β が確保できるよう配置される。装置の小型化のためには、レンズ中心 a とミラー面の頂点 o 間距離 r を小さく、かつ、レンズ鏡筒幅 m を小さくする必要がある。

一方、三角柱型反射ミラーは、2つの平面の反射面を持つ。ここでは、三角柱型反射ミラーは、ステンレスの加工により製作した。ミラー面は鏡面仕上げとしている。光学ミラーの反射像と比較しても遜色はない。構造的には2つの三角柱型反射ミラーを各々単独で製造し組み合わせて固定する。このことにより、任意のミラー面間角度やミラー面を含む任意形状の三角柱型反射ミラーを容易に製造することが可能となる。また、金属構造物であることから、ミラー面以外の部分には他の構造物との精度の良い固定ができる等の利点を持っている。

一方、上下2台のカメラの垂直視野方向は、一致していなければならない。ここでは、Fig. 3より1方向の垂直画角は水平方向を基準として $\beta/4$ ずつ等角で $\beta/2$ となるようにミラー面間角度 α を決定している。

試作した全周カメラ部をFig. 4に示す。本試作では焦点距離 = 2.8 mm、水平画角 $\delta = 106$ 度、垂直画角 $\beta = 78$ 度、レンズ鏡筒幅 $m = 16$ mm、カメラレンズ中心位置からレンズ鏡筒先端までの距離 = 5.7 mm のレンズを使用している。この時 $r = 8.7$ mm、ミラー面間角度 $\alpha = 110$ 度、ミラー面の有効長 $op =$ 約 18 mm である。形状は 60 mm (D) × 70 mm (W) × 134 mm (H) である。

尚、上部カメラは、下部カメラの視野を妨げないように三角柱型反射ミラーの両端面に取り付けられた保持材を活用し、固定している。

このように、全周カメラ部を小型で堅固な構造物として実現することができた。

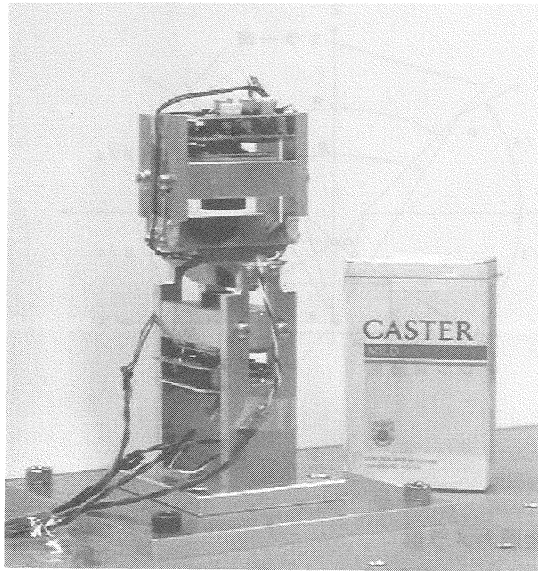


Fig. 4 全周カメラ部

4.3 画像処理部

次に全周画画像の生成方法を説明する。

全周カメラ部からの画像には、広角のカメラレンズに起因する画像歪み及びカメラ光軸が水平方向に対して角度 $\beta/4$ で傾斜していることに起因する画像歪みが発生している。また、これら4方向の画像間ではカメラの水平画角が 90° 以上であるために互いに重複した撮像領域をも含んでいる。また、全周カメラ部のカメラとミラーの位置関係から生じる実環境に対する画像の上下及び左右反転がある。よって、これら画像に対しフローチャート (Fig. 5) に沿う処理を行う。こうして得られた4方向の画像をつなぎ合わせて全周画画像を生成する。

(1) 歪曲収差補正²⁾

広角レンズに起因する画像歪みの主たる要因は、歪曲収差にある。歪曲収差は画像中心に対して対象であり、像中心からの距離が増加すると共に歪みが増加する関係にある。ここではradial distortion についてのみを考え、この収差補正式は、シーン内に配置された格子じまのパネルの格子点を基準として求めた。この補正式により原画像の再配置を行い歪曲収差を補正する。

しかし、補正された画像中には原画像からの画素が再配置されない空画素が生じる。これら空画素にはその周辺画素の平均階調値によって補間処理を行った。尚、ここでは他の収差については考慮していない。

(2) 傾き補正

Fig. 3によりカメラの光軸は水平方向に対して角度 $\beta/4$ の傾きをもつ。得られる画像は実環境平面が角度 $\beta/4$ だけ傾いた斜視画像となる。このため、レンズ中心を基準とした透視変換により実環境平面を等価的に角度 $\beta/4$ 回転した仮想環境平面に変換する。補正処理は実環境平面に対する仮想環境平面への変換として考える。

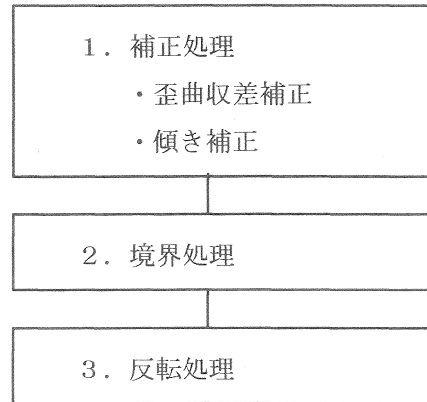


Fig. 5 処理手順

(3) 境界処理

境界処理は4方向画像の水平画角が 90° となる領域を抽出することにある。この領域の抽出は、予めキャリブレーションによって確定する。ここでは、全周カメラ部の中心軸 (仮想レンズ中心位置) を原点とし、遠方領域の周囲に 90° 間隔でポールを立て、これを画像境界の基準とした。

(4) 反転処理

カメラ画像は全周カメラ部の構造 (カメラとミラーの位置関係) により互いに反対方向の情報がCCDセンサ中心を境界として2分割された領域上に各々結像される。この時、一方には実環境の上下反転画像が、他方には実環境の左右反転画像が結像される。画像入力部の2組のカメラ画像について、この関係に基づいて正転画像への変換 (反転処理) を行う。

このように、全周カメラ部からの画像は歪み補正や境界領域の切り出し、反転処理等の処理が施されて全周画画像生成に必要な4方向の画像に変換される。これら画像を隣接する方向順に連結することで全周画画像を得る。

5. 撮像例による検証

全周カメラ部からの原画像をFig. 6に示す。原画像は広角レンズによる歪曲収差とカメラ光軸の傾斜による影響により歪んでいる。また、実環境に対して上下反転、左右反転画像となっている。これら画像に対して処理・連結して生成した全周画画像をFig. 7に示す。但し、紙面の都合上縦横共に $1/2$ に縮小して表示している。画像歪みが補正され、かつ、比較的分解能の高い良好な画像が得られている。

尚、全周画画像を表示するまでの処理時間は、約6秒である。

6. 結果

全周画画像取得装置を試作した。良質の全周画画像を

取得することができた。

本装置の原理によれば、従来の曲面ミラー等による方法よりも解像度、画像の低歪み、取得時間（現状ソフト処理によるため時間がかかっている。）等の総合性能において、より優れた全周囲画像を提供できる。

本装置の利点を以下に示す。

- ・一度の撮像で全周囲画像情報が得られる。
- ・魚眼レンズや曲面ミラーを用いた時の画像に比べ、2台のカメラを用いていることにより解像度が向上する。また、カメラから得られる画像は、ひずみが比較的小さく画像補正を容易に行うことができる。
- ・全周カメラ部は簡単な構造で、かつ、その製造においても特殊な技術や破損し易い光学ガラス等を用いることなく小型、堅固で、かつ、軽量に実現することができる。
- ・画像処理部での全周囲画像生成処理は、一部空画素の補間処理に画素間演算を用いるが他の処理は既知パラメータによる画素の並べ替えや単純な画像の切り出しのみである。

7. 今後の課題

本装置において、撮像物点までの距離が近い場合には、画像境界近傍において画像間の不連続が生じる。この様子をFig. 8に示す。境界上に12mmΦのポールを立て撮像対象までの距離を可変した場合の境界領域の不連続性の状況について示している。距離が60cm以下では、不連続性が徐々に顕著となってくる。これは2台のカメラのレンズ中心位置が異なることに起因するものであり、結果として重複領域の増大、水平方向の不連続が生じている。しかし、画像境界近傍での情報の欠落を意味しているのではない。これら取り扱いについての今後検討していく。

また、画像処理過程のハード処理により全周囲画像取得時間の短縮化を図る。

これら検討により、今後、ロボットの視覚装置や監視装置、管内検査装置等への応用を図っていく予定である。

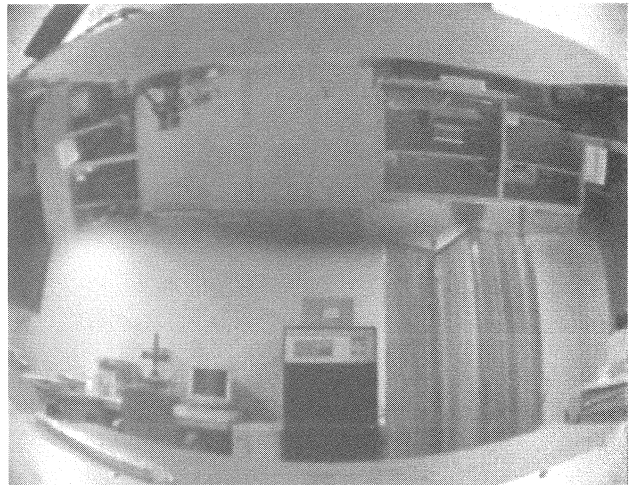


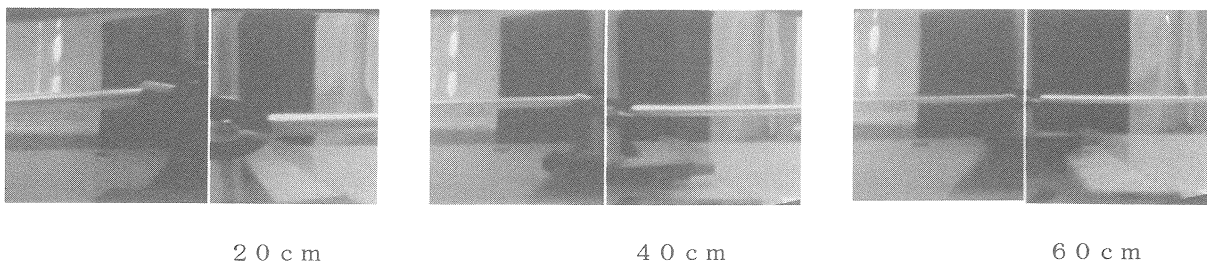
Fig.6 原画像（上：カメラ1，下：カメラ2）

<参考文献>

- 1) 八木 他: "全方位視覚センサCOPI Sを用いた移動物体との衝突回避", 信学論(D-II), J-74-D-II, 7, pp908-917 他
- 2) 辻内順平: "応用画像解析", 共立出版



Fig.7 全周囲画像例



20 cm

40 cm

60 cm

Fig.8 境界領域の不連続