

全方位視覚センサ HyperOmni Vision の設計方法

5 K-1

山澤 一誠 八木 康史 谷内田 正彦
 奈良先端科学技術大学院大学 大阪大学 大阪大学

1 はじめに

従来、視覚センサとして標準レンズなど通常のレンズをとりつけたカメラが用いられてきた。しかし、通常のレンズをとりつけたカメラはレンズにより画角が制限され、移動ロボットにおける目標物の探索などのタスクには画角が不十分であった。そのため、いくつかの全方位視覚センサが提案されてきた[1, 2, 3, 4, 5]。我々は今までにビデオレートで全方位の画像取り込みができ、さらに透視投影の光学的特長を持つ HyperOmni Vision を提案してきた。近年、全方位視覚センサを用いた研究が増えており、特に上記の特長を持つ HyperOmni Vision の需要が増えている。本報告では全方位視覚センサ HyperOmni Vision の設計に必要なパラメータの計算方法などを注意すべき点と共に述べる。

2 HyperOmni Vision の構成

本節では HyperOmni Vision の構成について簡単に述べる。詳細については参考文献 [5] を参照されたい。

HyperOmni Vision は図 1, 2 のように鉛直下向きの双曲面ミラーと上向きカメラから構成されており、ミラーの形状とカメラの位置は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{ミラー面} & \quad \frac{x^2+y^2}{a^2} - \frac{z^2}{b^2} = -1 (Z > 0) \\ \text{ミラーの焦点 } O_M & \quad (0, 0, +c) (c = \sqrt{a^2 + b^2}) \\ \text{カメラのレンズ中心 } O_C & \quad (0, 0, -c) \end{aligned} \quad (1)$$

3 HyperOmni Vision の設計法

HyperOmni Vision を設計するにあたりミラーのパラメータ a, b, c とミラーの直径、カメラの選択が必要である。本節ではそれらの決定方法について述べる。

3.1 設計仕様

まず、用途に合わせた仕様の決定を行なう。設計に必要な仕様としては以下のものがある。

上限画角 HyperOmni Vision は視野に上限がある。用途に合わせて必要な視野の上限を決める。必要な視野の上限を水平より上に α (radian) とする。



図 1: HyperOmni Vision

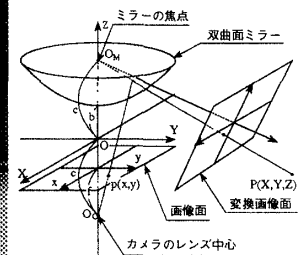


図 2: HyperOmni Vision の構成

使用可能な環境の明るさ カメラは暗い環境で使用すると被写界深度が小さくなりぼけやすくなる。HyperOmni Vision のパラメータを決定するにあたり、使用するカメラの被写界深度が必要なため、環境の明るさが必要になる。

3.2 カメラの選択

HyperOmni Vision に使用するカメラの決定を行なう。HyperOmni Vision に必要なカメラのパラメータは以下の通りである。

画角 カメラの入力画像は円ではなく長方形である。そのため、カメラの画角は一つでなく最小と最大の画角が存在する。最小の画角とは垂直画角であり、最大の画角とは対角の画角である。ここで、それぞれの画角を β_{min}, β_{max} (radian) とする。

被写界深度 カメラはピントのあっている前後の距離でも対象物がぼけずに写る。この対象物がぼけずに写る範囲を被写界深度という。HyperOmni Vision に必要なパラメータは過焦点距離 H (被写界深度の遠い方の端が無限遠となる距離) で次式で計算される。

$$H = \frac{f^2}{C \times F} \quad (2)$$

f : カメラの焦点距離

C : 最小錯乱円

(カメラのイメージセンサのサイズに依存)

$2/3'' IT : 0.02mm, 1/2'' IT : 0.015mm$

F : 口径比 (絞り)

画角は使用するカメラだけでなく画像入力装置にも依存するためカタログデータから計算するのではなく実測の方が望ましい。また、カメラの性能や使用する環境の明るさにより絞りが変化するため、設計仕様において決められた環境の明るさで被写界深度を実測の方が望ましい。

3.3 ミラーパラメータの計算

以上で決まった各値よりミラーのパラメータを計算する。HyperOmni Vision の構成と特徴より以下の方程式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
 H &\leq c + b \\
 \gamma &= (\pi - \beta_{min})/2 \\
 (\cos \alpha - \cos \gamma)c &= (\cos \alpha \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma)b \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで、 $H \leq c + b$ は入力画像がはげないようにするための条件式であり、ミラーが被写界深度の中に入っていることを表わしている。この条件が成り立ちかつ、ミラーを最小にするには $H = c + b$ となる。以上の式3を解くことにより、 b, c および a が決定し、ミラーの形状が決まる。

3.4 構成の決定

以上でミラーの形状が決定したので HyperOmni Vision の設計図を書く。図3にその設計図を示す。

HyperOmni Vision のカメラは上を向いているため太陽や照明などが写りやすい。太陽や照明が入力画像に写るとサチレーションを起こし画像の一部が使えなくなる。そのため、ミラーもしくはその他の治具を写り込みが少なくなるように大き目に作る必要がある。写り込みを完全に消すためには入力画像全体にミラーもしくはその他の治具が写るようにしなければならない。ミラーの場合は以下の方程式を R について解くことによりミラーの直径が出る。

$$\frac{R^2}{a^2} - \frac{1}{b^2} \left(\frac{R}{\tan(\beta_{max}/2)} - c \right)^2 = -1 \quad (4)$$

その他の治具の場合はミラーの焦点からの HyperOmni Vision の視野を遮らないように注意して考える。

次に、ミラーを支えるための治具について考える。ミラーとカメラをつなぐためこの治具は透明でなければならない。よって、ガラスかアクリルで作ることになる。この治具についても写り込みに注意し、また歪みについても注意しなければならない。HyperOmni Vision はミラーの焦点に向かっていく光を捉えるため、この光が歪まないような治具が望ましい。そのため、ミラーの焦点を中心とする球形の治具が最も望ましいと考えられる。また、この形ならば治具での反射による写り込みも少ない。

図3は以上の考えから設計した図である。この設計図とミラーの形状を示す図4を用いて HyperOmni Vision を制作する。

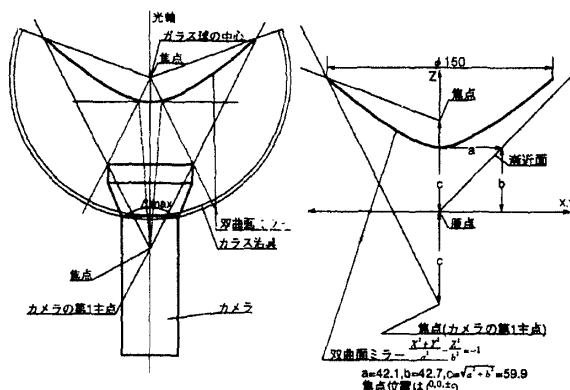


図3: HyperOmni Vision の設計図

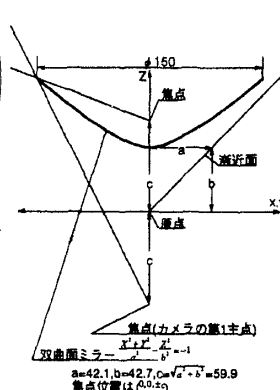


図4: ミラーの設計図

4 おわりに

本報告ではビデオレートで全方位の画像取り込みができ、さらに透視投影の光学的特長を持つ全方位視覚センサ HyperOmni Vision の設計方法について述べた。この報告により使用者の用途に応じた HyperOmni Vision の設計が可能になると考える。

この報告でははげけを防ぐためにカメラの被写界深度に余裕を持たせたが、実際に必要な被写界深度は少ないと思われる。今後は必要な被写界深度の計算方法について研究し、HyperOmni Vision の小型化を目指す。

参考文献

- [1] Ishiguro, H., Yamamoto, M. and Tsuji, S.: Omni-directional stereo for making global map, *Proc. 3rd Int. Conf. Computer Vision*, IEEE (1990).
- [2] Oh, S. J. and Hall, E. L.: Guidance of a Mobile Robot Using an Omnidirectional Vision Navigation System, *Proc. Mobile Robots II*, SPIE 852, pp. 288-300 (1987).
- [3] Hong, J., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R. and M. Riseman, E.: Image-based Homing, *Proc. Int. Conf. Robotics and Automation*, IEEE, pp. 620-625 (1991).
- [4] Yagi, Y., Nishizawa, Y. and Yachid, M.: Map-Based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS, *Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 11, No. 5, pp. 638-648 (1995).
- [5] 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系 HyperOmni Vision の提案, *信学論 (D-II)*, Vol. J79-D-II, No. 5, pp. 698-707 (1996). (論文賞受賞).