

5W-4

画像の明度のモーメントを用いた両眼立体視法

渡部 勇 榎本 肇

富士通国際情報社会科学研究所

1. はじめに

両眼立体視法は、能動センサを用いずに物体の3次元情報が得ることができるという利点を持つ反面、左右の画像のマッチングをどうとるかということが大きな問題となっている。画像の明度情報は物体の形状だけでなく、物体表面の反射関数、光源の位置、観測位置など様々な要素に依存しているため、一般には左右の画像上で同じ明度の点が物体表面で同じ点に対応するとは限らない。そのため、画像の明暗情報を直接扱うのではなく、画像からエッジを抽出した線画を扱ったものが一般的になっている。

しかし一方で、面の情報を捨てて線画にしてしまったため、エッジ以外の部分の形状は不明であり、曲面体を撮えるようにするには、エッジ間の曲面からなんらかの方法で3次元情報を抽出してやる必要がある。

このような観点から、本稿では、曲面の3次元情報のうち最も基本的なものである凹凸を画像の明度情報から直接判定する方法を提案し、その基本的原理を述べる。また本方法により、光源の方向などの周囲の環境に依存せずに凹凸の判定が行えることを、球面が半球面の場合を例にして示す。

2. 曲面の凹凸の判定

両眼立体視によって得られた左右の画像を比べると、見ている曲面が凸の場合は右画面の明度の分布が左画面よりも右側に偏り、曲面が凹の場合は左側に偏る。この左右の画像の分布の偏り具合を表わすために、まず明度分布の代表値として明度中心 r_G を、画面上の点 r で明度を $I = I(r)$ として、次式で定義する。

$$r_G \equiv \frac{\int_{\Sigma} r dI}{\int_{\Sigma} dI} = \left(\frac{\lambda_{10}}{\lambda_{00}}, \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{00}} \right) \quad (1)$$

ただし、ここで λ_{00} , λ_{10} , λ_{01} はそれぞれ明度の原点に関する 0,0 番目、0,1 番目、1,0 番目のモーメントである。

左右の画面上にはそれぞれ、他方には見えない部分が存在する。そのような領域を避ける意味も含め、窓 Σ を設けることによって見る領域を限定する必要がある。

一般に、見ている曲面が凸の場合は右画面の明度中心は左画面の明度中心よりも右に偏り、凹の場合には左に偏るので、左右の画像における明度中心の水平方向成分の差 ΔG_x を左右の画像の分布の偏りを表わす指標として用いることによって曲面の凹凸を判定することができる。すなわち、 ΔG_x が正の場合は曲面が凸、負の場合は曲面が凹、0 の場合は平面であることがわかる。このことは、光源の方向が変わっても成り立つ。

以下にこれを定式化する。

3. 画像生成のモデル

まず画像が生成されるまでの仮定をモデル化する。

一般に、画像の明度は、光源、物体、観測系の位置、光の性質、物体表面の性質、観測系の性質などの複雑な関数となるが、ここでは簡単化のため次のような仮定を設ける。

① 投影は正射影（物体と観測点が十分に遠い。）

② 平行光線（光源から物体まで十分に遠い。）

③ 物体表面は完全拡散反射面

光源方向の単位ベクトルを s 、物体表面の単位法線ベクトルを n とすると、観測画面上の点 (ξ, η) での明度 I は、

$$I(\xi, \eta) = AK_d s \cdot n \quad (2)$$

と表わされる。ここで A は入射光の強度、 K_d は拡散反射係数である。

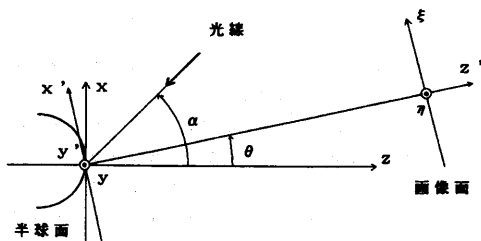


図1 画像生成系

Stereopsis using Moment of Image Intensity

Isamu Watanabe, Hajime Enomoto

International Institute for Advanced Study of Social Information Science, FUJITSU LIMITED

図1に示すように半球面 $z = \pm \sqrt{a^2 - x^2 - y^2}$ に $s = (\sin \alpha, 0, \cos \alpha)$ から光が当たったときの、右画面上での明度 $I(\xi, \eta)$ は、次式で与えられる。

$$I(\xi, \eta) = \pm \sin(\alpha - \theta) \xi - a \cos(\alpha - \theta) \cos \theta - \cos \alpha \\ + \cos(\alpha - \theta) \sqrt{a^2 - (\xi \mp a \sin \theta)^2 - \eta^2} \quad (3)$$

ただし複号はそれぞれ半球面が観測面からみて凸の場合と凹の場合に対応する。

左画面上での明度は、(3)式において θ を $-\theta$ に置き換えることによって得られる。(視角は 2θ)

4. 画像の明度中心

先の画面上での明度の式において $\eta = 0$ とおくと、明度中心の ξ 成分の差 ΔG_ξ は、次式で表わされる。

$$\Delta G_\xi = \frac{\lambda_{R10}}{\lambda_{R00}} - \frac{\lambda_{L10}}{\lambda_{L00}} \\ = \frac{\int_{-\sigma}^{\sigma} \xi I_R(\xi) d\xi}{\int_{-\sigma}^{\sigma} I_R(\xi) d\xi} - \frac{\int_{-\sigma}^{\sigma} \xi I_L(\xi) d\xi}{\int_{-\sigma}^{\sigma} I_L(\xi) d\xi} \quad (4)$$

窓の大きさ σ を変えていったときの、光源の方向 α と ΔG_ξ の関係を図2(a)および(b)に示す。ただし半球面の半径 $a = 1.0$ 、視角 $2\theta = 30^\circ$ である。図からわかるように、明度中心の水平方向成分の差 ΔG_ξ の符号は光源の方向 α によらず、曲面が凸ならば正に、曲面が凹ならば負になる。

さらに、

$$\lambda_{R00} \approx \lambda_{L00} \approx \frac{\lambda_{R00} + \lambda_{L00}}{2} \quad (5)$$

とおき(4)式を解くと、光源の方向 α に関する項が消え、 ΔG_ξ は σ と θ のみの関数となる。図3(a)および(b)に α と ΔG_ξ の関係を示す。図2と同様に ΔG_ξ の符号は曲面が凸ならば正に、曲面が凹ならば負になり、この場合はさらにその絶対値が α に関しても不変になる。

以上のことは視角を変えていった場合にも成り立つ。また、曲面を球面ではなく放物面とした場合についても同様の結果を確認している。

5. むすび

本稿では、左右の画像の明度のモーメントより明度重心を定義し、その水平方向成分の差によって曲面の凹凸を判定する方法について述べた。本手法は、画像の明度情報をモーメントを求めるという形で有効に利用してい

るので、ノイズなどに対して強いことが期待される。また光源の方向などの周囲の環境に依存せず、外からの付加的な情報も必要としないため、実用上有用であると思われる。今後は、よりモデルを一般化するとともに雑音の影響についての解析を行なうつもりである。また垂直方向の凹凸も判定できるように、本手法を拡張していくことも必要である。

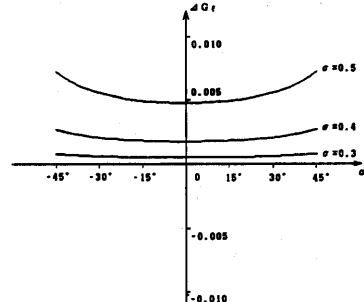


図2(a) α と ΔG_ξ の関係 (凸の場合)

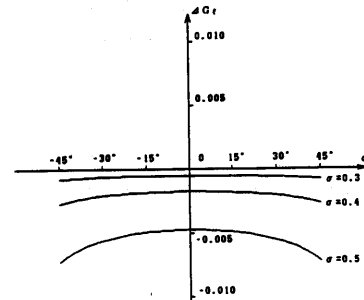


図2(b) α と ΔG_ξ の関係 (凹の場合)

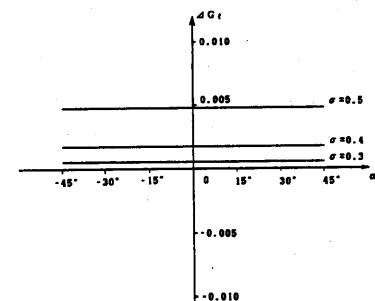


図3(a) α と ΔG_ξ の関係 (凸の場合)

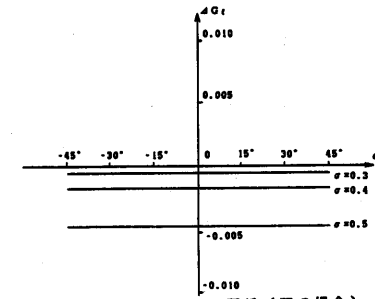


図3(b) α と ΔG_ξ の関係 (凹の場合)

質疑応答 渡部

立平 これは結局面の情報を2つのカメラで撮っていますね、そして撮る面の領域をどんどん小さくすると考えているわけですか？

渡部 それは、先程の(1)式の積分範囲の Σ を変えることによって、注目すべき範囲を狭めているのですが、それはあまり変らない。

立平 それをどんどん狭めていくと精度が落ちていくと思いますが、限界というのはわかりますか。

渡部 このモデルを立てて実際に計算をしますと、例えば θ をどうするかとか色々なパラメータがあって輻輳角をどれ位にするとか、どれ位の範囲で見るとかそれによって絶対値が変わってきて、精度が変わってくるのですが、その辺の検討というのは定量的にはまだやっていません。

立平 この技術のアプリケーションというのは、どのような分野なのですか？先程おっしゃっていたエッジを抽出してマッチングするというのはどういうことかというところ、両眼立体視の場合は、取りあえずエッジを抽出してそのエッジのシフトによって両眼視差を見ているわけですね。エッジのあるところだけで両眼視差が得られれば取りあえずよさそうだという発想でやっていると思いますが、この方法との違いは？

渡部 この方法だけで三次元情報すべて抽出するのは絶対に不可能です。エッジで得られる情報が多いのは確かです、ただしエッジだけでやっているとエッジ間の面の情報が失われてしまう、ということでそれを補う意味で使うというような発想でやっています。

立平 逆に言うと面の情報が失われてそれが欲しいという場合があるかもしれないということですか？

渡部 実際の空間を見てみるとなかなかそういう状況と言うのは少ないので、その辺は説得力がないと思いますが。

澤田 例えばマッチングするときでも、なだらかな面というのはやりにくいですね、そういうときに凹凸でも解れば少し対応できますね。

渡部 あともう1つあって、例えば球があるとしますね、それを他の方法で球面であるというのは判るのですが、どちら側に飛び出ているのかというのは、今まで絶対に判らなくて、今までの方法は光がどこからか来ていると仮定する訳です。仮定すると2つのうちのどちらかが凹か凸かが判る訳です。そういった情報を得るのにこのような方法を使っています。

澤田 もう一つその対応点で、立体視の場合山と谷が結構反転するのです。普通に見ているときはいいのですが、立体視の場合陽の当り加減によって逆に見えることがあります。