

111 ステレオ画像による3次元形状測定に関する基礎研究

北海道大学工学部 ○金田守昭 五十嵐悟 沢川勝久

1. はじめに

両眼視法は、2枚の画像情報のみから対象の立体配置を決定できる利点を持っている。従来の両眼視法は三角測量的なアルゴリズムが主流であるが、左右両画像上で対応点を見つけなければならず、一般にこの処理は大量の計算処理が必要である。

安藤¹⁾により提案された両眼視法凹凸再現アルゴリズムは対象立体に濃淡パターンをつけることにより、左右両画像の濃淡値の差異から対象の凹凸を測定することができる。このアルゴリズムでは元々左右両カメラは違う点を見ているものとして計算行っているため、両画像の厳密な対応は必要なく、より高速な測定が可能となる。

この方法では対象物上の濃度値を用いて計算を行っているので濃淡パターンの選び方が重要になってくる。本研究では、この原理を用いた測定のシミュレーションをおこなった。曲面は部分的には平面と考えられるので、ここでは単純化して対象として傾きを持った平面を選び、濃淡パターンと精度及び測定範囲との関係を調べることで、対象物によってどの様なパターンが適しているかについて考察した。

2. 凹凸測定原理

図1に示すようなxy平面(基準面)に正対して高さH、間隔Dで2個の撮像体が平行に置かれている系を考える。

左右の撮像体の捉える映像をそれぞれ

$f_L(x, y)$ 、 $f_R(x, y)$ のように物体側の座標 (x, y) の関数で表す。対象物体は緩やかで浅い凹凸を有し表面に明度分布を持つ無光沢な(乱反射性の)自由曲面と考える。この物体の基準面からの高さは $h(x, y)$ で表され、この凹凸面上には同じく座標 (x, y) の関数として $f(x, y)$ と表される明度分布があるとす。この明度分布は表面の模様やランダム照明により与えられるものである。

いま左右両カメラが基準面上の点 (x, y) を見ているものとすれば、物体は高さ $h(x, y)$ を持つために左右のカメラが捉える映像 $f_L(x, y)$ と $f_R(x, y)$ とはわずかに異なっており、それぞれ次式のように表される。

$$f_R(x, y) = f\{\alpha(x+\Delta), \alpha y\} \quad (1)$$

$$f_L(x, y) = f\{\alpha(x-\Delta), \alpha y\} \quad (2)$$

ただし、 α 、 Δ は幾何学的関係からそれぞれ、

$$\alpha = \frac{H-h(x, y)}{H} \quad \Delta = \frac{Dh(x, y)}{2(H-h(x, y))} \quad (3)$$

となる。

ここで

$$\bar{f}(x, y) = f(\alpha x, \alpha y)$$

という明度を想定する。明度 $\bar{f}(x, y)$ の変化は凹凸の変化より激

しいから、(1)(2)式をずれ Δ でTaylor展開し1次の項までとると次式を得る。

$$f_R(x, y) = \bar{f}(x+\Delta, y) \approx \bar{f}(x, y) + \Delta \bar{f}_x(x, y) \quad (4)$$

$$f_L(x, y) = \bar{f}(x-\Delta, y) \approx \bar{f}(x, y) - \Delta \bar{f}_x(x, y) \quad (5)$$

となる。これら(4)(5)式の和と差をとり、一方のx方向微分を他方に代入して、 $\bar{f}(x, y)$ を消去すると、

$$f_{R+Lx}(x, y) \Delta = f_{R-L}(x, y) \quad (6)$$

の関係が得られる。

ただし、和映像 $f_{R+L}(x, y) = f_R(x, y) + f_L(x, y)$

差映像 $f_{R-L}(x, y) = f_R(x, y) - f_L(x, y)$

$f_{R+Lx}(x, y)$ は和映像 $f_{R+L}(x, y)$ のx方向偏微分従って、(6)式からずれ Δ は原理的に

$$\Delta = \frac{f_{R-L}(x, y)}{f_{R+Lx}(x, y)}$$

と解かれる。上式は画像の微分と差分からなるため雑音に非常に敏感であり、また分母が零になる場合発散するなど悪条件への対処が不十分である。そのため最小自乗法を適用することにより Δ は最終的に次式で表される。

$$\Delta = \frac{\int \int f_{R+Lx}(x, y) f_{R-L}(x, y) dx dy}{\int \int f_{R+Lx}^2(x, y) dx dy} \quad (7)$$

従って、幾何学的関係から得られる(3)式と、画像から得られる(7)式より対象の高さ $h(x, y)$ が得られる。

この方法では、対象物の凹凸は滑らかであるという仮定に基づいて $h(x, y)$ を求めているために測定範囲は基準面付近に限られ、基準面からはなれた点では精度は悪くなるが、この基準面Hは任意に決めることができるので、Hを適当に変えることによって測定範囲を広げることが出来る。

3. シミュレーション

図2に示すような三角波状に濃度値が変化する濃淡パターンが対象立体上にあるとして、上記原理に基づいてシミュレーションを行った。対象立体としては基準面に対して角度 θ° 傾いた斜面形状を用いた。対象に落とす三角波状濃淡パターンの周期を変える、すなわち濃度値の変化の度合を変えた場合について、更には対象立体の斜面の傾斜角 θ を変えた場合について、その誤差と測定範囲について考察を行った。図3は周期7(mm)の濃淡パターンをおとした $\theta = 20^\circ$ の斜面の断面図とその誤差である。基準面付近では誤差及び値のばらつきは小さいが基準面からはなれるほど、誤差が大きくなっている。これは原理上、基準面からの凹凸は小さいものとするという仮定に基づいている。図4は同じ斜面を濃淡パターンの周期を150(mm)に変えたものである。周期7(mm)にくらべて基準面付近の誤差は大きいが基準面からはなれたところでは逆に周期1500(mm)の方が誤差は小さいことが分かる。

濃淡パターンの周期Tについて、測定範囲と精度との間には相反性があり、周期Tを大

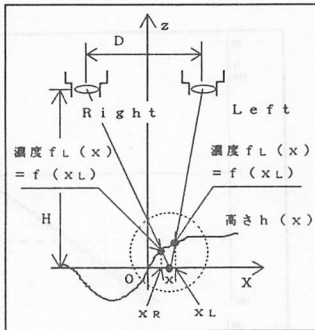


図1 $h(x)$: 対象物の高さ
 $f(x)$: 対象物上の濃度分布

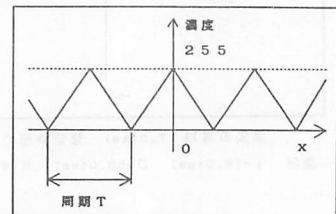


図3 三角波濃淡パターン

きくすれば一定の誤差に収まる範囲すなわち測定範囲は広がるが、基準面付近の精度は悪くなり、周期 T を小さくすれば測定範囲は狭くなるが基準面近くの精度はよくなる。

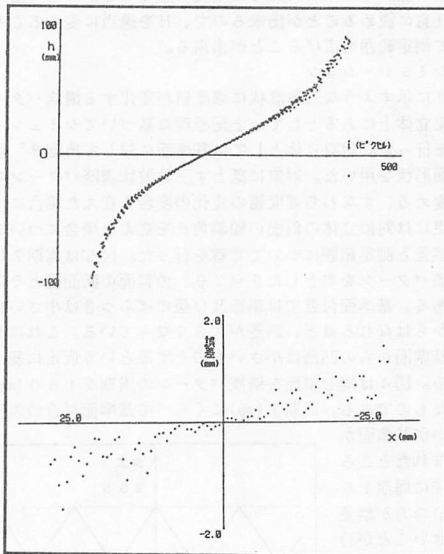
また図には示していないが、斜面の傾斜を変化させた場合、精度、測定範囲、共に傾斜が大きくなる程、悪くなる。

図5は $\theta=5^\circ$ の斜面を、カメラから基準面までの距離を $H=800\text{mm}$ として計算して求めた $h(x)$ を下段に、基準面の高さを 10mm 上に移動させ、 $H=790\text{mm}$ として計算して求めた $h(x)$ を上段に示している。波線は移動させる前の基準面を表している。基準面を移動させる前の下段の図では、基準面付近 3mm 程の範囲は値のばらつきがなく精度も良いが、 10mm 付近以上になると値にばらつきがでてくる。しかし、基準面を 10mm 移動させた上段の図では、下段の図で 10mm 付近であった新しい基準面の付近は値のばらつきがなく、逆に移動前の基準面付近に値のばらつきがでてきている。

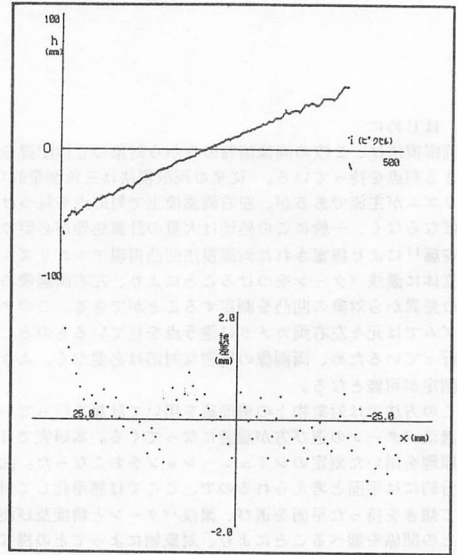
4. 結論

パターンの濃淡の周期と測定斜面の組合せをいろいろ変えてシミュレーションした結果、その精度と測定範囲について以下のようなことが分かった。

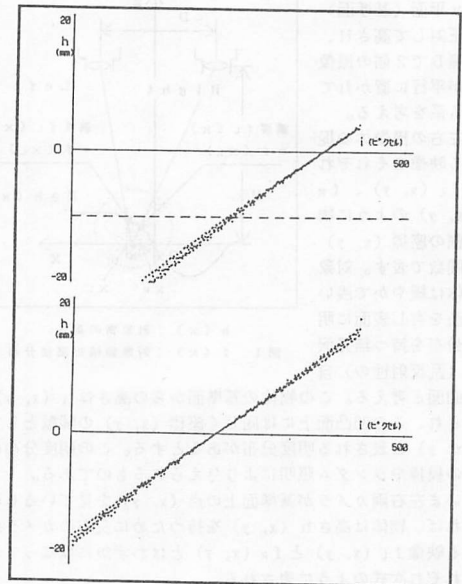
- 1) 傾斜角の大きな斜面に対しては、濃淡周期の小さなパターンを用いなければならない。逆に傾斜の小さな斜面に対しては、濃淡周期の小さなパターンを用いてもよい。
- 2) 濃淡周期の小さなパターンを用いると精度は良いが測定範囲は小さくなる。逆に大きなパターンを用いれば測定範囲は大きくなるが精度は悪くなる。
- 3) 基準面からの高さが大きいところでも基準面をその高さまで移動させると精度のよい値が得られる。
- 4) はじめに適当な基準面を決めて測定を行い、その測定した高さに基準面を移動させた後、再計算することにより、より広い範囲で精度のよい測定ができる。



濃淡の周期: $7.0(\text{mm})$ 想定斜面の傾き: $20(\text{度})$
 図3 $l=19.0(\text{mm})$ $D=50.0(\text{mm})$ $H=800.0(\text{mm})$



濃淡の周期: $150.0(\text{mm})$ 想定斜面の傾き: $20(\text{度})$
 図4 $l=19.0(\text{mm})$ $D=50.0(\text{mm})$ $H=800.0(\text{mm})$



上段: $H=790.0(\text{mm})$ 下段: $H=800.0(\text{mm})$
 濃淡の周期: $7.0(\text{mm})$ 想定斜面の傾き: $5(\text{度})$
 図5 $l=19.0(\text{mm})$ $D=50.0(\text{mm})$ $H=800.0(\text{mm})$

参考文献

- 1) 安藤繁: ステレオ画像の微分恒等式を用いた形状再現システム 計測自動制御学会論文集 Vol. 23, No. 4 (1987. 4)
- 2) 計算機のための両眼視凹凸知覚アルゴリズム 第24会SI CB学術講演会(1985. 7. 25・26・27・札幌)