

ステレオ画像を用いた視差解析法

橋本 基* 藤本和孝**

A Parallax Analyzing Method with Stereo Image

Hajime HASHIMOTO* Kazunori FUJIMOTO**

Abstract: It is proposed a method to analyze the gap(parallax) of the correspondence point of the stereo image with image processing technique. In a past study, abnormal values which were different from circumstances greatly occurred in the part of the parallax value where the change of the parallax value was large and the brightness was large. In this paper, a method improving errors by revising weight coefficient is proposed.

Key words: image processing, parallax analysis, stereo image

1. 緒 言

視覚は外界の情報を理解するためには極めて重要な機能であり、機械にとっても同様である。機械は視覚を与えられることにより外界を知ることができる。そして、外界を見て自らの置かれている状況を理解することができれば、様々な場所や状況で有益な仕事を行うことが可能である。

本研究では、画像処理によりカメラから対象物までの距離の測定を行うために、ステレオ画像の対応点でのずれ(視差)を求めることを研究の目的としている。これまでの研究¹⁾で、視差の変化が大きい部分や輝度が大きい部分で解析結果に異常値(周囲と大きく異なった値)が発生していた。今回はそれを改善する方法について検討した。

2. 原 理

2. 1 視差解析の基本式

2台のカメラを同じ高さで水平に置いて対象物を撮影すると、左右の画像で水平方向にずれ(視差)が生じる。ここで次の式のような評価関数 $E(g)$ を定義する。

$$E(g) = \iint_s \{ \{ fr(x - g(x, y), y) - fl(x, y) \}^2 + w \{ (\frac{\partial g(x, y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial g(x, y)}{\partial y})^2 \} \} dx dy \quad (1)$$

この式において $fl(x, y)$ 、 $fr(x, y)$ は左右の画像の輝度の関数 $g(x, y)$ は左右の画像のずれ(視差)の関数を表している。 w は第1項に対する第2項の相対的な重みを決める重み係数である。第1項は画像関数の対応点を表す式で、第2項は視差の周囲との連続性を表すものである。 w の値を大きくすると第2項が重視され、小さくすると第1項が重視される。

この $E(g)$ を最小にする条件で視差 $g(x, y)$ を導出すると、式(2)のようになる。

$$g_n(x, y) = \frac{1}{2w} \{ fr(x - g_{n-1}(x, y), y) - fl(x, y) \} \\ \{ fr(x - g_{n-1}(x, y) + 1, y) \\ - fr(x - g_{n-1}(x, y) - 1, y) \} + \overline{g_{n-1}(x, y)} \quad (2)$$

ここで $\overline{g(x, y)}$ は

$$\overline{g(x, y)} = \frac{1}{12} \{ g(x-1, y-1) + g(x-1, y+1) \\ + g(x+1, y-1) + g(x+1, y+1) \} \\ + \frac{1}{6} \{ g(x+1, y) + g(x-1, y) \\ + g(x, y+1) + g(x, y-1) \} \quad (3)$$

(西暦 2009 年 12 月 17 日受理)

*宇部工業高等専門学校電気工学科

**宇部工業高等専門学校生産システム工学専攻

$\overline{g(x, y)}$ は、周囲の画素を平均したものであり、 n は繰り返し回数を表している。またこれまでの研究で、重み係数 w は繰り返し回数に比例して直線的に変化させると良いことがわかっている¹⁾。

2. 2 視差により重みを補正した視差解析式

式(2)では、視差の変化が大きい部分で精度が悪かった。これは重み係数 w が画面全体で一定であるため、場所によって重みの利かせ方が変わらないからである。そこで今回の研究では、重み係数 w を視差の変化に応じて補正することを考えた。すなわち、視差の変化が大きい部分で式(1)の第2項の連続性を重視する項が効いて、精度が低下すると考えた。そこで、視差の変化が大きい部分では重み係数を小さくすることで第1項を重視し、視差の変化が小さい部分では第2項を重視するように式(2)を改良する。

具体的には、式(2)の重み係数 w に補正関数 $H(x, y)$ をかけた式(4)の視差解析式を提案する。

$$g_n(x, y) = \frac{1}{2w(H(x, y))} \{ \overline{f(x - g_{n-1}(x, y), y) - f(x, y)} \} \\ \{ \overline{f(x - g_{n-1}(x, y) + 1, y)} \\ - \overline{f(x - g_{n-1}(x, y) - 1, y)} \} + \overline{g_{n-1}(x, y)} \quad (4)$$

ここで、補正関数 $H(x, y)$ は次のような式とした。

$$H(x, y) = \frac{1}{1 + c \times |g'(x, y)|} \quad (5)$$

ここで $g'(x, y)$ は視差関数 $g(x, y)$ を微分したものであり、 c は任意の定数である。この c の値を 0 にすると視差解析の基本式(2)と同様になる。

c の値をどのように設定すればより精度の良い視差が得られるかシミュレーション画像を用いた解析により検討した。

2. 3 輝度により補正した視差解析式

式(2)に基づいた式で解析を行っていたが、画像の輝度が大きいところではあまり良い結果が得られていない。これは式(2)の第1項が左右の画像の対応点での輝度の差であるので、輝度が大きいと第1項の影響が大きくなってしまふ。

この結果から式(2)の第1項を輝度により補正することを考えた。式(2)に輝度の影響を考慮し、式(6)のように改良した。

$$g_n(x, y) = \frac{1}{2w(T(x, y))} \{ \overline{f(x - g_{n-1}(x, y), y) - f(x, y)} \} \\ \{ \overline{f(x - g_{n-1}(x, y) + 1, y)} \\ - \overline{f(x - g_{n-1}(x, y) - 1, y)} \} + \overline{g_{n-1}(x, y)} \quad (6)$$

ここで、補正関数 $T(x, y)$ は次のような式とした。

$$T(x, y) : \frac{f_l(x, y) \overline{f_r(x - g(x, y), y)}}{128^2} \quad (7)$$

式(7)を考えたのは、式(1)は基準となる左画像の輝度の関数 $f_l(x, y)$ だけでなく、右画像の輝度の関数 $f_r(x, y)$ も考えられているから、左右の輝度の関数をかけることを考えた。その際に、単に左右の輝度の関数をかけただけでは、基準となる $f_l(x, y)$ に対して、 $f_r(x, y)$ が視差 $g(x, y)$ ほどずれた形で補正されるので、 $f_r(x, y)$ から $g(x, y)$ の差分を出して左右の画像のずれをなくす必要がある。

また、輝度(輝度の値は 0~255)の平均値である 128 を基準として規格化した。

この式(7)では、輝度の範囲が 0~4 まで変化し、式(7)だと $T(x, y)$ が 0 になると式(6)の分母が 0 になり、視差が収束せずに発散してしまうので、輝度の小さい暗い部分で補正が利きすぎてしまう。そこで、輝度を $1/m \sim m$ まで変化させ、場所によって補正の利かせ方を変えることを考えた。

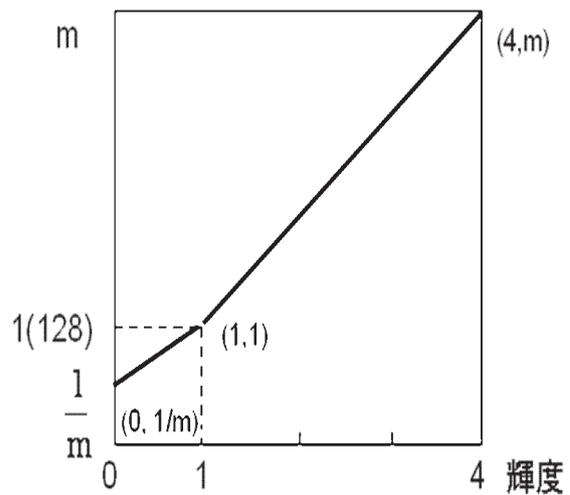


Fig.1 補正の利かせ方を変える条件

Fig.1 は場所によって補正の利かせ方を変える条件を図に表したものである。輝度の平均値の 128 を 1 として、それよりも輝度が大きい小さいかで利かせ方を変える方法を考えた。輝度の大きさが $1 \sim m$ の部分の直線の

式は式(8)、輝度の大きさが $1 \sim 1/m$ の部分は式(9)とした。

$$\left(\frac{m-1}{3}\right) \times T(x, y) + \frac{4-m}{3} \quad (8)$$

$$\left(1 - \frac{1}{m}\right) \times T(x, y) + \frac{1}{m} \quad (9)$$

式(8)、(9)の m は任意の定数である。この定数 m を 1 にした場合、補正が働かない基本の視差解析式と同様になる。 m の値をどのように設定すればより精度の良い視差が得られるかシミュレーション画像を用いた解析により検討した。

2. 4 誤差の評価

解析結果の視差マップを見た目だけで比較するのではなく、誤差を数値化し、定量的に比較するようにした。方法は解析結果を各画素における視差の理論値との平均誤差で評価する。誤差を e 、視差の理論値の値を $s(x, y)$ 、視差の解析結果の値を $g(x, y)$ とすると、誤差の評価式は式(10)のようになる。

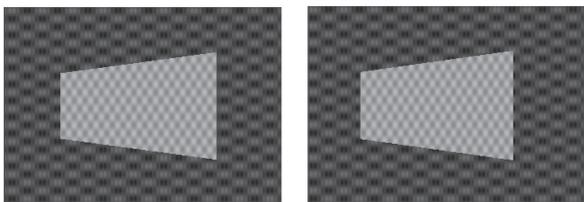
$$e = \frac{\sum_{y=1}^{yl} \sum_{x=1}^{xl} |g(x, y) - s(x, y)|}{xl \times yl} \quad (10)$$

ここで、 xl 、 yl は画像の横の画素数と縦の画素数を示している。

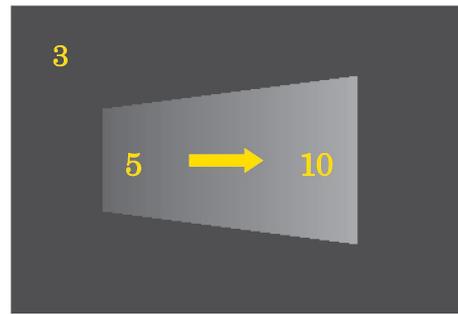
3. シミュレーション解析

3. 1 単純画像を用いた解析

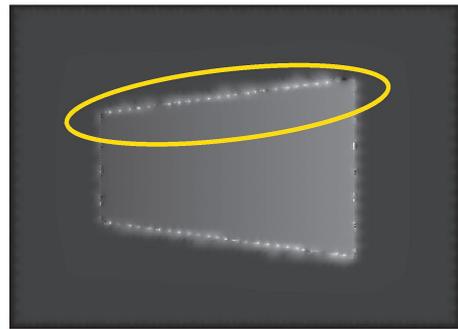
補正関数の c の値を決めるために、シミュレーション画像を用いて解析を行った。Fig. 2(a)の2つの画像を用いる。これは水平に置かれた2つのカメラで撮られたと想定した画像である。シミュレーション画像の xl は 320 ピクセルであり、 yl は 240 ピクセルである。Fig. 2(b)に視差の理論値(視差が大きいほど明るく表示)を示す。Fig. 2(b)の画像内の数字はその位置での視差を表しており、周りの背景部分は視差が 3 で四角形の左側が視差 5 で右に行くにつれ増加していき、最大 10 まで変化する。



(a) シミュレーション画像



(b) 視差マップ(理論値)



(c) 解析結果(平均誤差: 0.515)

Fig.2 視差解析

視差解析の基本とする式(2)による解析結果を Fig. 2(c)に示す。Fig. 2(c)の丸の部分のような、視差の変化が大きき部分の精度が良くないことがわかる。理論値との平均誤差は 0.515[p]である。

次に、今回提案した視差解析式(4)を用いて解析を行った。補正関数 $H(x, y)$ の係数 c の値を変化させ、理論値との平均誤差を求めた結果を Fig. 3 に示す。

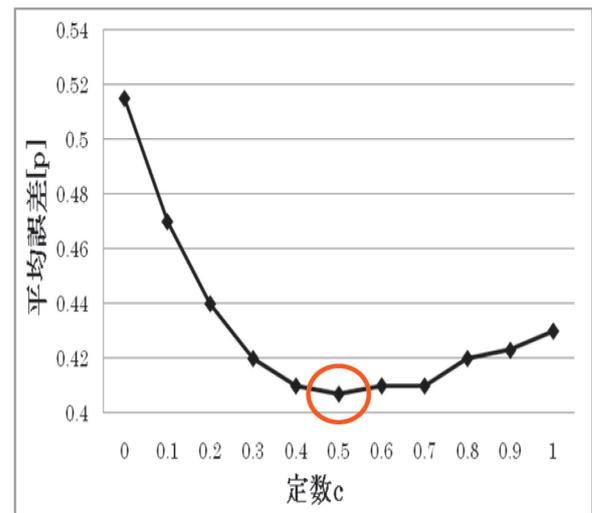


Fig. 3 定数 c を変化した時の平均誤差

定数 c は 0.5 で平均誤差が最も小さくなることがわかった。定数 $c=0.5$ の場合の視差の解析結果を Fig. 4 に示す。基本式による解析結果と比較すると周囲の視差の変

化が大きい部分の誤差が改善されていることがわかる。理論値との平均誤差も 0.407[p]と基本式の解析結果と比べて精度が改善された。

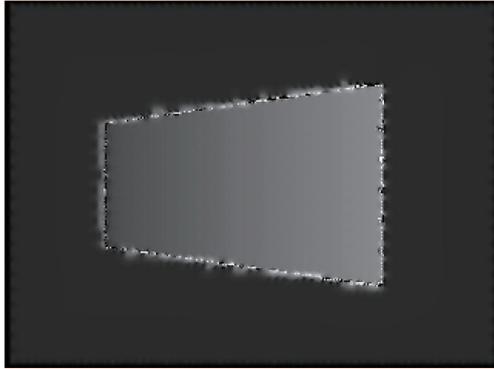


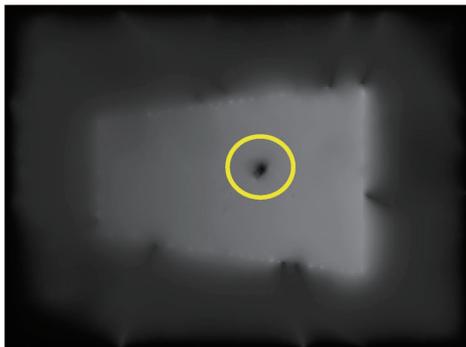
Fig.4 重みを補正した解析結果
(平均誤差: 0.407)

3. 2 合成画像を用いた解析

先ほどの解析に使用したシミュレーション画像は画像上の輝度が大きく変化しない比較的単純な画像を用いたため、より実用的な状況を考慮して、Fig. 5(a)のようなより複雑な合成画像を用いて解析を行った。合成画像の視差は単純画像 Fig. 2(b)と同じにした。基本式による解析結果を Fig. 5(b)に示す。



(a)シミュレーション画像



(b)基本式での解析結果
(平均誤差:0.855)

Fig. 5 合成画像の解析結果

この結果では、基本式での解析結果の平均誤差 0.855[p]となった。しかし、Fig. 5(b)の丸の部分のように対象物内に異常値が目立つようになった。これは画像の輝度が大きい部分で異常値が現れているように見える。そこで、次に視差解

析式(1)に輝度による補正を導入することを考えた。

式(8)、(9)の $T(x, y)$ を式(7)とし、輝度により補正した。この時、定数 m の最適な値を Fig. 6 に示す。Fig. 6 は式(8)、(9)の $T(x, y)$ を式(7)とし、定数 m を 1~25 までの数値にした場合の平均誤差を表している。この中で精度の良かった最適な定数 m の値は 10 である。式(8) (9)の定数 m を 10 とし、輝度により補正した視差の解析結果を Fig. 7 に示す。

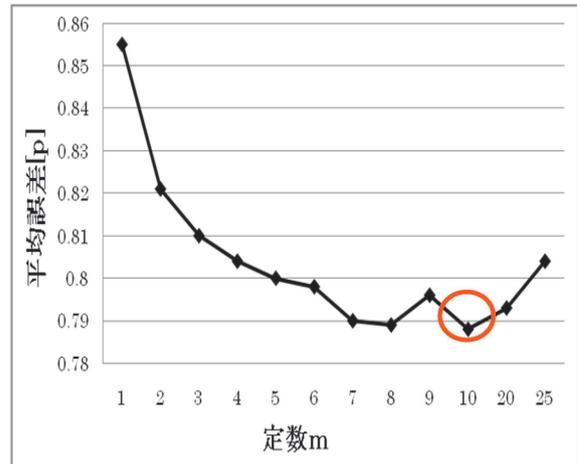
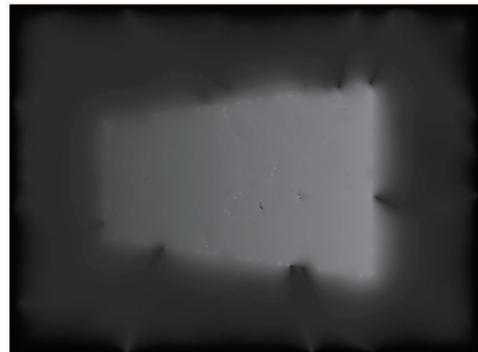


Fig. 6 定数 m を変化させたときの平均誤差



式(6)での解析結果
(平均誤差:0.788)

Fig. 7 輝度により補正した解析結果

式(6)で補正した解析結果は平均誤差が 0.788[p]になり、Fig. 5 の基本式の解析結果と比較すると、式(6)での解析結果では平均誤差を 0.855[p]から 0.788[p]まで減らし、中央部にあった異常値をなくした。

3. 3 補正関数の複合

ここまで視差解析の精度を改善する方法として、視差の変化に応じて重みを補正する解析方法と輝度により補正した解析方法を考案したが、これらの方法を複合させると、より精度の良い結果が得られると考え、解析を行った。

式 (4) と式 (6) を組み合わせた視差解析式を式 (11) に

示す。

$$g_n(x,y) = \frac{1}{2m(H(x,y) \times T(x,y))} \{f_r(x-g_{n-1}(x,y),y) - f_l(x,y)\} \\ - f_r(x-g_{n-1}(x,y)+1,y) \\ - f_r(x-g_{n-1}(x,y)-1,y)\} + g_{n-1}(x,y) \quad (11)$$

$H(x,y)$ は式(5)と同様であり、 $T(x,y)$ は式(7)を用いた。最適な定数 c の値をシミュレーションにより検討したところ、Fig. 3 に示した値と同様に 0.5 が最も精度が良かった。次に、定数 m の最適な値を検討した。この結果を Fig. 8 に示す。

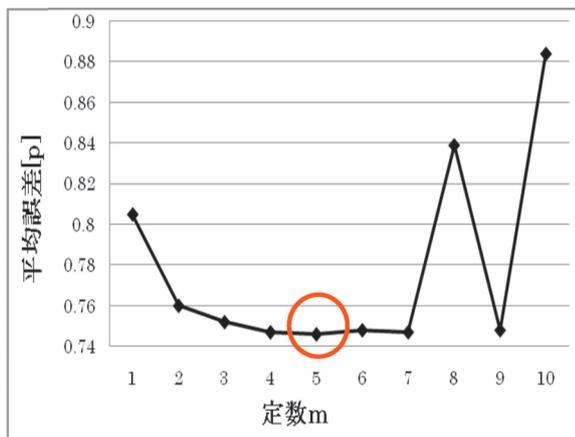


Fig. 8 定数 m を変化させたときの平均誤差 (定数 $c=0.5$)

Fig. 8 は式(11)により解析を行った結果で、定数 m を 1~10 までの数値にした場合の平均誤差を表している。この中で精度の良かった最適な定数 m の値は 5 である。この時の視差の解析結果を Fig. 9 に示す。

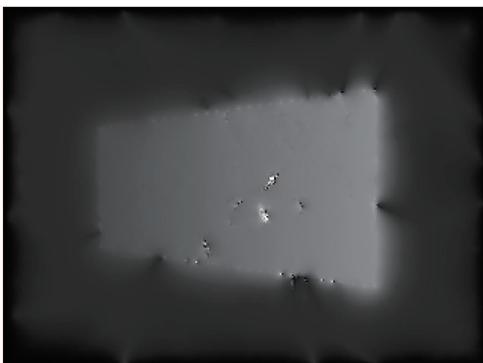


Fig. 9 補正関数を複合させた解析結果
(平均誤差:0.746)

この結果を比較すると Fig. 9 のそれぞれの手法を複合させた解析結果の方が、輝度により補正した方法より平均誤差が

0.788[p] から 0.761[p] と少なくなり、単独で補正を行った結果より精度が改善した。

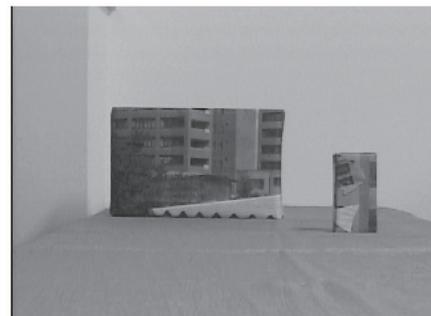
4. 実画像解析

実画像を用いて、今回提案した補正関数を複合させた視差解析法で視差解析を行った。実画像の撮影風景を Fig. 10(a) に示す。手前に写っているのがカメラで、撮影は CCD カメラを用いて行った。この時のカメラ間距離は 2cm とした。

Fig. 10(b) は解析画像の左画像であり、対象物は大箱と小箱とした。大箱までの距離は 170cm、小箱までは 142cm、壁までは 213cm である。それぞれの視差は画素数を数えたところ 15、18[p] であった。Fig. 10(c) は解析結果であり、大箱・小箱共に箱の表面部分は視差が正確に求められており、精度は良かったが、一部周囲がぼやけており、精度が良くない部分もある。



(a) 撮影風景



(b) 解析画像(左)



(c) 解析結果

Fig.10 実画像解析

5. 結 言

視差解析の手法として、視差の大小に応じて重みを補正して解析する方法と、輝度の影響を考慮して解析する方法、そして、それらの手法を組み合わせた方法を提案した。シミュレーション画像を用いて有効性を検討した結果、基本式と比較して精度が改善した。最も良かったのは2つの補正を組み合わせた方法であった。実画像の解析では、シミュレーション画像解析で最も良かった、2つの補正を組み合わせた方法で行った。実画像での解析結果では、対象物の表面部分は視差が正確に求められており、精度は良かったが、一部の周囲がぼやけており、精度が良くなかった等、まだ改善をすべき点がある。

今後は輝度の補正方法を改良する等、より精度を改善するような補正関数について検討する。また、実画像解析の対象物の周囲の精度を改善することを検討する。

文 献

- 1) 綿谷祐一, 橋本基: 画像処理によるステレオ画像からの視差解析法, 第 12 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, 190/191, (2003)
- 2) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, pp72-74, 昭晃堂 (1990)
- 3) 三池秀敏, 古賀和利, 橋本基, 百田正弘, 野村厚志: パソコンによる動画像処理, pp152, 森北出版 (1993)