

画像処理によるステレオ画像からの視差解析 —パターン光照射法による精度改善—

橋本 基* 谷村 大志**

A Parallax Analyze with Stereo Image by Image Processing —Improvement of Accuracy by Pattern Light—

Hajime HASIMOTO* Hiroshi TANIMURA**

Abstract: If robots(machines) have a visual function, they do beneficial works. So it is important to know the distance from robots to objects. The distance can obtain from the parallax calculated from a stereo-image. In this report, we apply our method to actual stereo-image analysis. It is found that the parallax is not calculated correctly in the part of no patterns. This problem is improved by illuminating the pattern light to the objects.

Key words : parallax analysis, stereo image, image processing

1.緒言

人間には自分の周囲(外界)の状態を知るのに、視覚、聴覚、触覚、臭覚、味覚などの感覚があり、主に視覚からの情報が多い。つまり、人間にとって視覚機能は非常に重要であることを示している。この視覚情報を自動的に入力し処理できる機能(ロボットの目)が実現できれば、生産現場や福祉などで役立てることができる。

視覚機能を実現するためには、人間の目に相当する何らかの観測装置が必要となってくる。観測装置は、TVカメラで外界の情景を2次元画像へと写像するものが最も一般的である。得られた画像は、その外界の側面を表したもので、その画像を処理し、そこに表現された情景を解析することで、もとの3次元世界の状況を認識、理解しようとするのがロボットビジョン(マシンビジョン)の機能である。その中でも物体までの距離(奥行き)を認識することは重要な要素であり、2次元画像から距離の情報を解析する研究が進められている¹⁾。

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、ステレオ画像を用いて対応点のずれ(視差)を解析することを目的としている。人工画像を使い

シミュレーションを行った場合良好な結果が得られたので、実画像を用いて視差解析を行ったが、模様のない部分では正確な視差を求めることができないことがわかった^{2), 3)}。そこで、パターン光を照射することで正確な視差を求める方法について検討した。

2.原理

Fig. 1のように左右の目に見た2台のカメラを同じ高さで水平に配置して対象物を撮影すると、右と左の画像の対応点は水平方向にずれた画像となる。この対応点のずれを視差という。視差はカメラからの距離に反比例し、距離が短くなるほど大きくなる。

ステレオ画像から視差を求める方法として、2つの画像の対応点で画素の輝度が同じになるため、その差が0であることや視差は連続であるという条件から視差解析式を導いた。その視差解析式を式(1)に示す。

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

(2013年12月20日受理)

*宇部工業高等専門学校 電気工学科「責任著者」

**宇部工業高等専門学校 生産システム工学専攻

式(1)において、 $g_n(x, y)$:視差の関数、 $fl(x, y)$ 、 $fr(x, y)$:左画像と右画像の (x, y) 点における輝度を表す関数、 n :反復回数、 w :重みを表す。画像は 320×240 画素としている。反

復回数 n は一般的に画像の横の画素数程度でよいとされているが⁴⁾、余裕を持たせるために320の倍の640回を反復回数とした。重み w は反復回数に比例して直線的に変化させると良好な結果が得られることがわかっている。

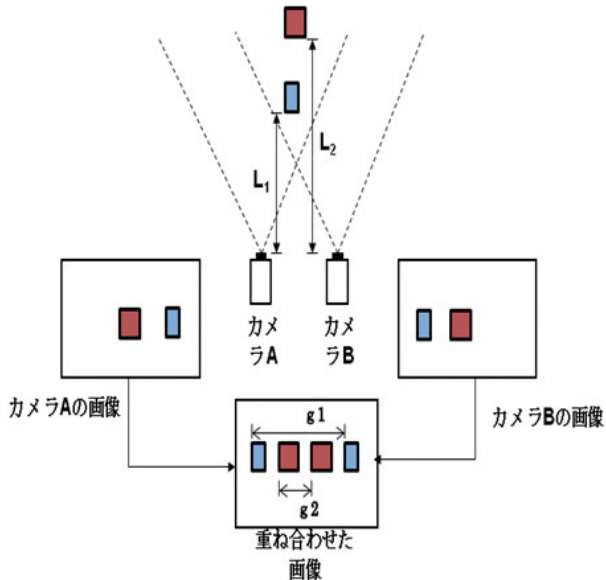


Fig.1 原理図

3.シミュレーション

視差解析式が正しいことを確認するために人工画像を使い、視差を求めた。人工画像はFig2に示し、Aが左画像、Bが右画像である。人工画像では背景の視差は3画素、中央の台形は左端の視差5画素から右端の視差10画素まで直線的に変化するようにした。さらに、sin波をもとに人工的な模様をつけた画像を作成した。この人工画像について視差解析式を用いて解析を行った。その結果をFig3に示す。視差解析の結果は視差マップで表示した。視差マップとは、視差が大きいほど白くなるように視差を輝度に対応させて視覚的に解析結果を表した画像である。また、比較を行うために理論値の視差マップをFig4に示す。人工画像の視差解析結果は、背景の視差は同じなので背景の部分は同じ色になり、台形の部分は左から右へと視差が大きくなるため、左から右へと明るくなると考えられる。このことをふまえて、理論値と解析結果の視差マップを比較すると、背景と台形の境界部分は少し誤差があるが、全体としては背景や台形の視差が正確に求められていることがわかる。また、この画像では、重み w の範囲は1~3000が最適であることがわかった。以上の結果から、ステレオ画像より視差解析式によって実数値として視差を求めることができることがわかる。

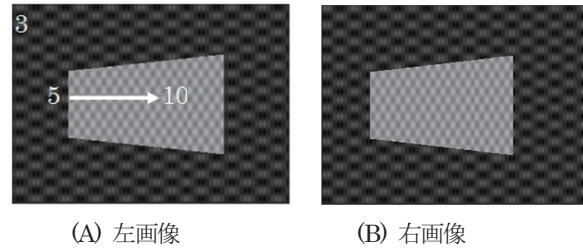


Fig2. 人工画像



Fig3. 視差解析結果の画像

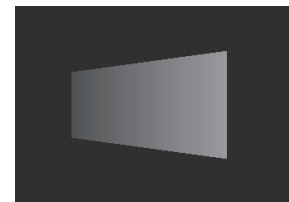
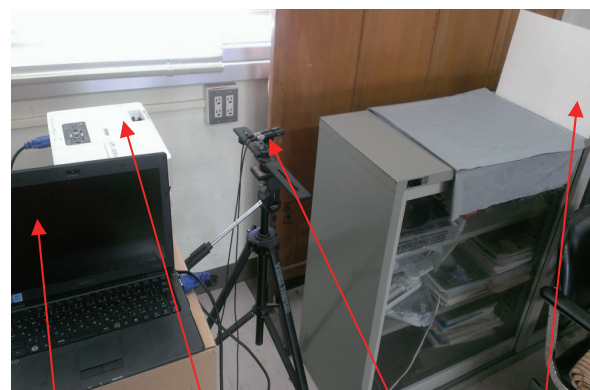


Fig4. 理論値の画像

4.実画像の視差解析

3.シミュレーションで人工画像ではほぼ正確に視差を求められることを確認した。そこで、次に実画像を使い、視差解析を行うことにした。実験装置をFig5に示す。同じ高さで水平にした右カメラと左カメラを使い、右カメラと左カメラの間隔を2cmとした。そして、右カメラと左カメラで対象物を撮影することにした。カメラの後ろにプロジェクターとパソコンを設置して、パソコンで作成したパターン光をプロジェクターで照射する。



パソコン プロジェクター カメラ 対象物

Fig5. 実験装置

4-1.パターン光照射のない場合

カメラと奥の本との距離を 1.25m、手前の本との距離 1.0 m とし、撮影を行った。このときカメラと背景の壁との距離は 2.0m であった。撮影した実画像(左画像)を Fig6 に示す。そして、左右のカメラから得られた画像を用いて式(1)により視差解析を行った。視差解析の結果を視差マップとして Fig7 に示す。Fig7 をみてみると、本の文字や絵の部分では視差が求められていることがわかるが、壁や本に模様のない部分や、絵の部分では同じ色で大きな面積を持つ部分では視差が正しく求められていないことがわかる。このように、輝度に変化がない部分は視差を正しく求めることができなかった。

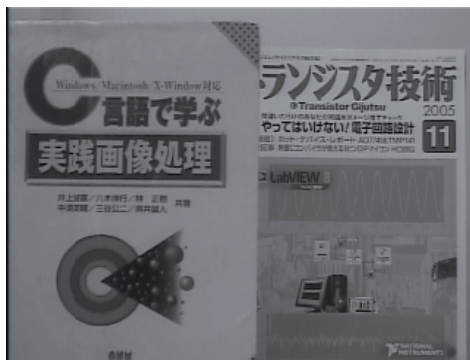


Fig6. 壁 2.0m、手前の本 1.0m、奥の本 1.25m の実画像 (左画像)

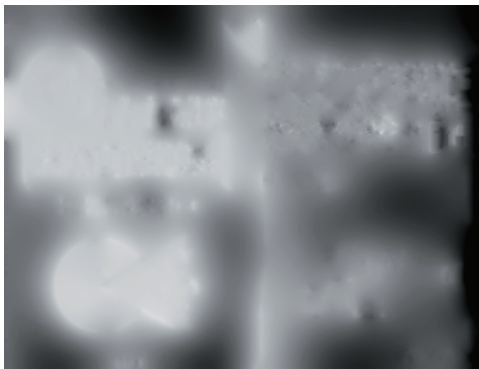


Fig7. 視差解析結果 (視差マップ)

4-2.パターン光について

前節で示したように、実画像解析では模様の無い部分では正しく解析ができなかった。そこで、模様の無い対象物にパターン光を照射し対象物に輝度の変化を与え、精度改善を試みた。

パターン光の種類として、三角波、sin 波、ランダム波、波紋といった波形を使いパターン光の画像を作成した。その例を Fig8 に示す。作成したパターン光の画像は、輝度値を 0~255 とし、画像サイズ 1280×1024 画素とした。

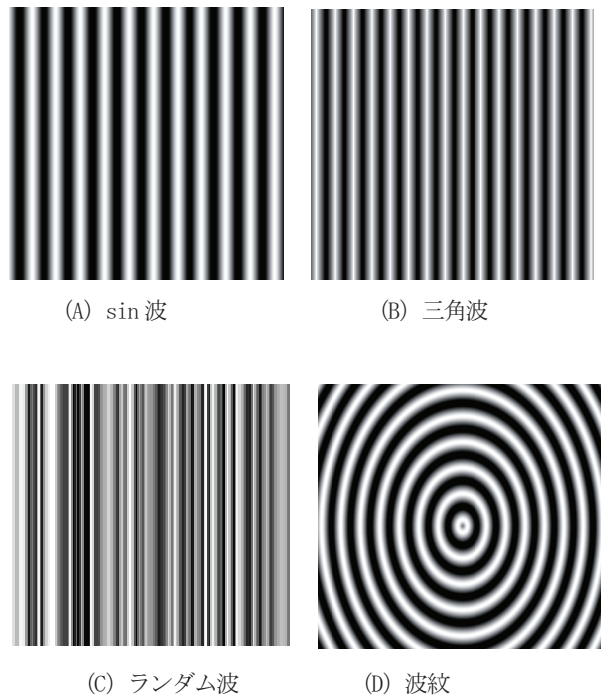


Fig8. パターン光

まず、対象物までの距離やパターン光の波形の周期や横幅を変えることで最適なパターン光について検討した。対象物として、カメラの光軸と垂直に置いた 1 枚の紙とした。カメラと紙との距離を 1.0m にしてパターン光を照射して撮影を行い、視差解析を行った。そのときの sin 波を照射した場合の実画像 (左画像) を Fig9 に示し、それぞれのパターン光を照射した場合の視差解析結果の視差マップを Fig10 に示す。

理想として、対象物が平面の紙なので全体的に同じ視差が得られているはずであり、視差マップでは全体的に同じ明るさになると考えられる。そのことをふまえてみると、どのパターン光でもある程度視差が求められていることがわかる。しかし、ランダム波や波紋には黒い部分があり、正しく求められていない部分があることがわかる。ランダム波の場合、0~255 の値をランダムに発生し、それを輝度値にしている。パターン光と解析結果を比較してみると、周辺と輝度が近い部分で精度が悪かった (Fig. 10(C) の黒い部分)。また、波紋パターンの場合では、中心部分の上下の精度が良くない (Fig. 10(D) の黒い部分)。これは、波紋パターンの中心部分の上下では水平方向に広い範囲で輝度が近いからだと考えられる。

パターン光の横幅は sin 波が 10~30 画素、三角波が 5~15 画素、ランダム波が 1~15 画素、波紋が 3~10 画素の範囲で検討した。その結果、それぞれのパターン光の横幅は sin 波が 20 画素、三角波が 10 画素、ランダム波が 8 画素、波紋が 8 画素で最適であることがわかった。また、重み w の範囲を

1~50000 で検討した結果、sin 波が 1~50000、三角波が 1~50000、ランダム波が 1~30000、波紋が 1~50000 で最適であることもわかった。

視差マップだけでは、具体的な視差の精度がわからないため横軸を視差、縦軸を頻度としてヒストグラムを作成した。その結果を Fig11 に示す。グラフの色はパターン光の種類を示す。今、対象物は平面の紙 1 枚であるためグラフはある視差のところで 1 本になるのが理想である。そこで、Fig11 をみると、視差 21 [画素] のあたりに集中していることがわかる。このことから、カメラと対象物との距離が 1.0m の場合、視差は 21 [画素] であると考えられる。ヒストグラムのみでは、どのパターン光がよいかわかりにくい。そこで、ヒストグラムのばらつきを調べるために分散値を求め、グラフ化を行った。その結果を Fig12 に示す。グラフからランダム波の分散値が大きく、sin 波の分散値が小さいことがわかる。分散値が低いということは、ばらつきが少ないということなので、この例では分散値が一番低い sin 波が最適だと

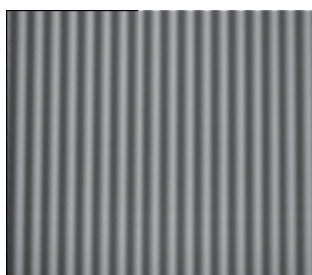


Fig9. sin 波の実画像 (左画像)

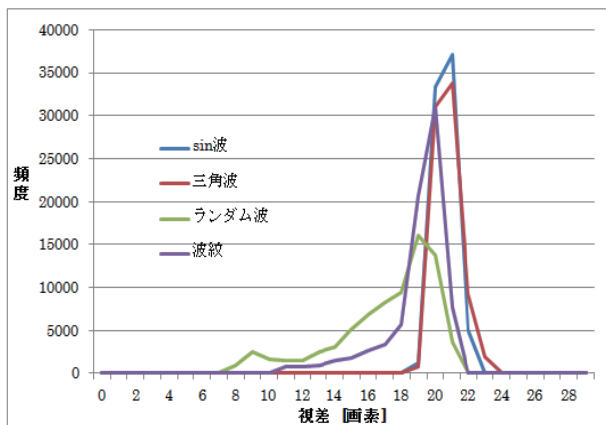


Fig11. 紙 1.0m の視差解析結果のヒストグラム

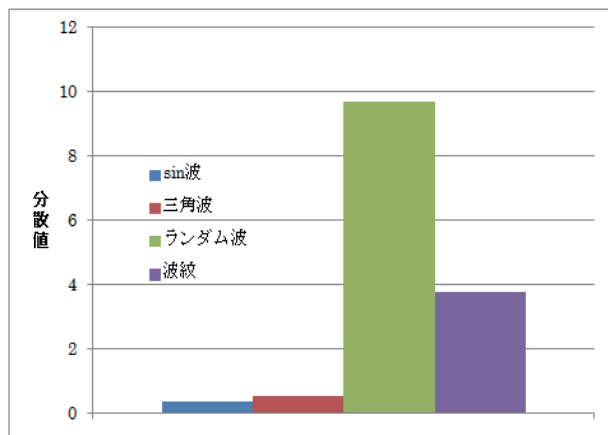


Fig12. 紙 1.0m の視差解析結果の分散

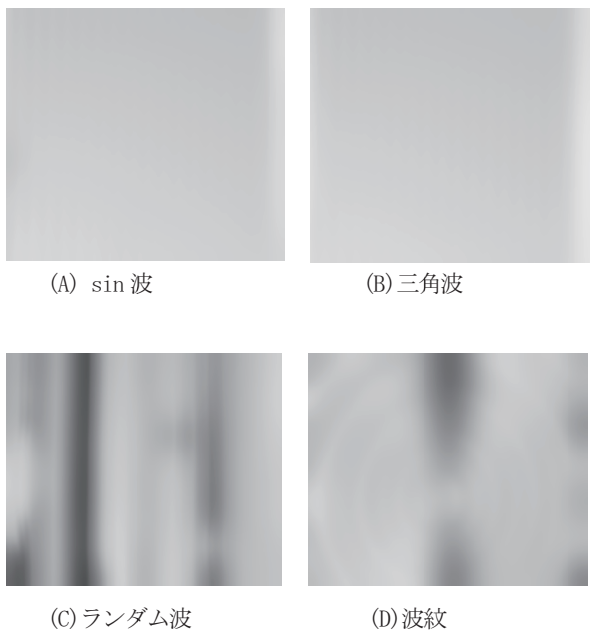


Fig10. 紙 1.0m の視差解析結果 (視差マップ)

考えられる。

次にカメラと紙との距離を 1.25m にし、パターン光を照射して撮影を行った。そのときの sin 波を照射した場合の実画像を Fig13 に示す。それぞれのパターン光の視差解析結果の視差マップを Fig14 に示す。Fig14 を見ると Fig8 よりも紙の部分が暗くなっていることがわかる。つまり、距離 1m の場合と比較すると、視差が全体的に小さくなっていることがわかる。パターン光の横幅は sin 波が 10~30 画素、三角波が 5~15 画素、ランダム波が 1~15 画素、波紋が 3~10 画素の範囲で検討した。このときのパターン光の横幅は、sin 波が 20 画素、三角波が 8 画素、ランダム波が 3 画素、波紋が 5 画素で最適であった。カメラと紙との距離を 1.0m にしたときと比べて、sin 波以外のパターン光は横幅が小さくなっている。このことから、パターン光の横幅は、距離が遠くなると小さくした方がよいといえる。重み w の範囲を 1~50000 で検討した結果、sin 波が 1~5000、三角波が 1~20000、ランダム波が 1~10000、波紋が 1~20000 で最適であることもわかった。

具体的な視差の解析精度を調べるためにヒストグラムを作成した。その結果を Fig15 に示す。Fig15 のグラフを見ると、Fig12 のグラフでは視差21[画素]に集中していたが、視差17[画素]に集中していることがわかる。このことからカメラと対象物の距離が遠いほど視差は小さくなることがわかる。ヒストグラムのみでは、どのパターン光がよいかわかりにくい。そこで、視差のばらつきを調べるためにヒストグラムの分散値を求め、グラフ化を行った。その結果を Fig16 に示す。Fig16 を見てみると sin 波とほとんど差がないが三角波が一番小さいことがわかる。従って、この例では最適なパターン光は三角波であるといえる。

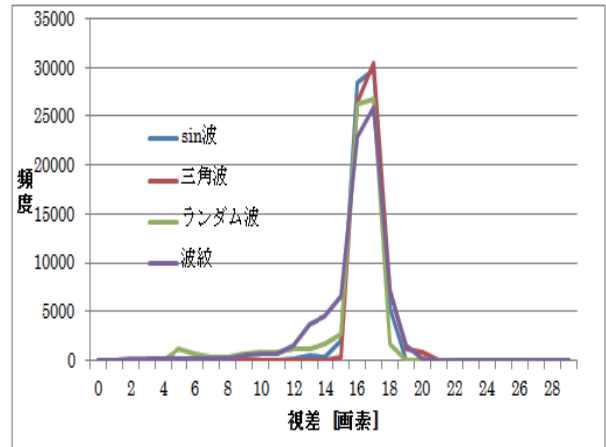


Fig15. 紙 1.25mの視差解析結果のヒストグラム

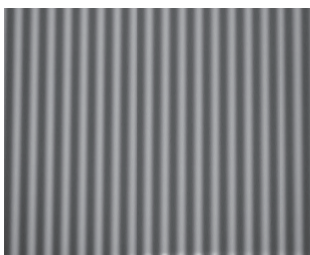


Fig13. sin 波の実画像



(A) sin 波



(B) 三角波



(C) ランダム波



(D) 波紋

Fig14. 紙 1.25m の視差解析結果の画像

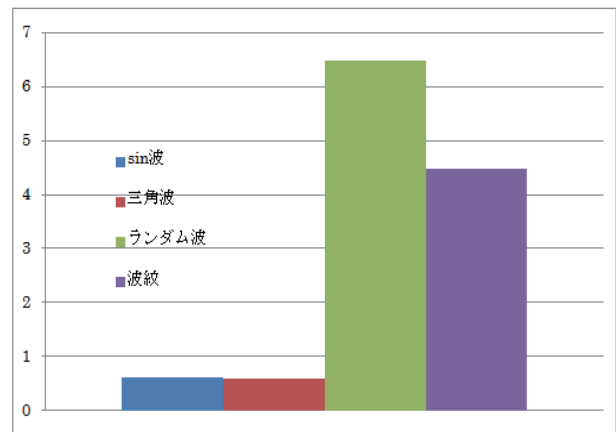


Fig16. 紙 1.25mの視差解析結果の分散

4-3.パターン光照射のある場合

模様のない対象物でもパターン光を照射することで精度よく視差を求められることがわかった。そこで、Fig6 と同じ状況でパターン光を照射し、視差解析を行った。その視差解析結果の視差マップを Fig17 に示す。Fig7 と Fig17 を比較す

ると、壁や本に模様のない部分や周辺が同じ色の絵の部分の視差も求められていることがわかる。パターン光の横幅は sin 波が 10~30 画素、三角波が 5~15 画素、ランダム波が 1~15 画素、波紋が 3~10 画素の範囲で検討した。このときのパターン光の横幅は sin 波が 20 画素、三角波が 10 画素、ランダム波が 3 画素、波紋が 5 画素で最適であった。波紋の場合、本と壁の境界部分や本と本の境界部分がうまく求まっていなかったことがわかる。また、ランダム波の場合、1.0mの本がうまく求まっていなかったことがわかる。原因として、本の輝度とパターン光の輝度が同じになり、対応点を誤認識したためだと考えられる。また、重み w の範囲を 1~50000 で検討した結果、sin 波が 1~50000、三角波が 1~10000、ランダム波が 1~20000、波紋が 1~30000 で最適であることもわかった。

具体的に視差の値を知るためにヒストグラムを作成した。その結果を Fig18 に示す。Fig18 を見てみると、視差 10、17 と 21 画素に集中していることがわかる。このことから、視

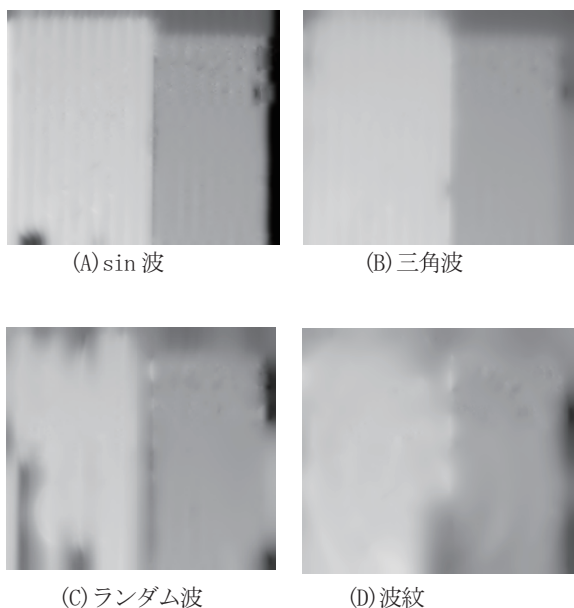


Fig17. 壁 2.0m、手前の本 1.0m、奥の本 1.25m の視差解析結果の画像

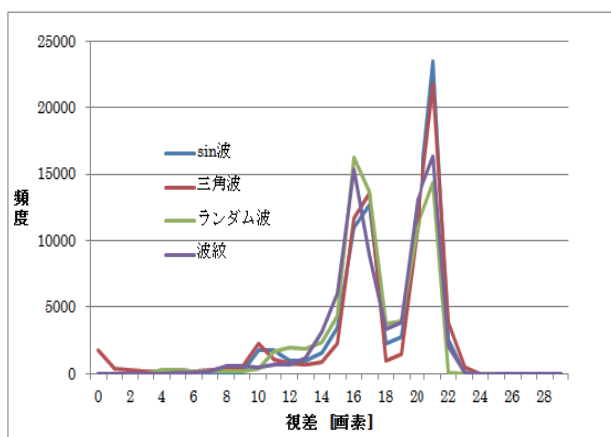


Fig18. 壁 2.0m、手前の本 1.0m、奥の本 1.25m の視差解析結果のヒストグラム

差 10 が壁、視差 17 が 1.25mの本、視差 21 が 1.0mの本だとわかる。また、Fig17 から正しく求められていない部分が少なく Fig18 からばらつきが少ないパターン光は sin 波だといえる。つまり、視差 (距離) の異なる複数の物体がある場合、sin 波がよいといえる。

5.結語

我々の考案した視差解析法について、まず人工画像を使い、シミュレーションによって視差解析式の妥当性を確認した。次にこの方法で実画像の解析を行ったが、模様のない部分ではうまく解析できなかった。そこで、パターン光を照射することを考えた。数種類のパターン光を作成し実験を行った。その結果、パターン光を照射することで模様のない部分でも視差が解析でき、解析精度を向上することができた。また、いくつかの条件で実験を行った結果、総合的に sin 波のパターン光がよいことがわかった。

今回は、縦縞のパターン光を用いたが、格子状のパターン光も考えられる。また、周囲の明るさも考慮する必要がある。今後の課題は、より精度がよく、汎用性のあるパターン光について検討を行うことである。

参考文献

- 1) 谷内田正彦 著：ロボットビジョン、p. 1、昭晃堂 (1990)
- 2) 橋本基 藤本和孝 著：ステレオ画像を用いた視差解析法、宇部工業高等専門学校研究報告第 56 号、p. 9～14 (2009)
- 3) 谷村大志 橋本基 著：画像処理によるステレオ画像からの視差解析—パターン光照射による精度改善—、第 21 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集、p. 158～159 (2012)
- 4) 三池秀敏 古賀和利 橋本基 百田正弘 野村厚志 著：パソコンによる動画像処理、森北出版株式会社、p. 152 (1993)