

画像映像情報の立体可視化技法に関する研究Ⅲ —三次元立体表示—

Performance Technology Applied in Making the Three-Dimensional Display Using Visual Image Information

辻岡勝美*1, 和田雄生*2, 古橋秀夫*3, 秦野和郎*4, 比嘉俊太郎*5,
内田悦行*3, 與語照明*6, 劉京南*7, V. T. Chitnis*8

Katsumi TSUJIOKA, Yuki WADA, Hideo FURUHASHI, Kazuo HATANO, Shuntaro HIGA,
Yoshiyuki UCHIDA, Teruaki YOGO, Jing-Nan LIU, Vijay T. CHITNIS

Abstract We have already reported the construction of a 3D shapes measuring system using a spatial modulator. The system is composed of an optical spatial modulator from which grating patterns are projected on the surface of the object, a CCD camera, and a computer. The patterns on the surface of the object were taken into a computer by the CCD camera, and the 3D coordinate of the surface of the object was calculated. Some techniques have been proposed to reduce the error of the measurement and improve the accuracy.

In this paper, we note the problems on the measurements, and discuss further improvements of the system. The 3D shapes of the objects are displayed on a display. We bring the system to an automatic system which project patterns, capture the patterns on the surface, calculate the 3D coordinate, and show the 3D shapes on a display.

1. はじめに

高度情報通信ネットワーク社会において立体可視化技術は、工学の広い分野で必要とされている。本研究の目的は、空間光変調パターン投影による三次元形状計測システムの構築及び精度向上である。空間光変調パターン投影による三次元形状計測法は、電氣的に制御された格子パターン光を測定物に投影し、このパターンを画像計測し、そして物体の三次元座標値を得る方法である。空間光変調パターン投

影に用いる液晶プロジェクタの高精度化は、早い速度で進められている。非接触、非侵襲、短時間計測などの特徴から産業分野や医療などの広い分野での利用が期待されている。スライドを使用するプロジェクタ方式に比べて液晶プロジェクタ方式は、パーソナルコンピュータで制御することができるので、計測作業の効率は格段に向上した。著者らは、すでに制御ならびに計測プログラムを作成し、精度の向上に関して検討を加えてきた⁷⁾。そして、画像差分法の適用により、測定物体にある模様の影響を除去

*1 藤田保健衛生大学 衛生学部 (豊明市)

*2 愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻 (豊田市)

*3 愛知工業大学 情報通信工学科 (豊田市)

*4 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

*5 愛知工業大学 建築学科 (豊田市)

*6 ㈱オプトン (瀬戸市)

*7 東南大学 自動制御系 (南京市, 中国)

*8 Length Standard Section, National Physical Laboratory
(New Delhi, India)

する方法について報告してきた9)。今回, 三次元形状計測結果を示してシステム構築上の問題点と精度向上の検討結果を報告する。

2. 三次元形状計測システムの構築

図1に空間光変調パターン投影による三次元形状計測システムのシステム構成を示す。液晶プロジェクタは, 格子パターンの投影に用いる。CCDカメラは, 物体に投影された格子パターンの測定に用いる。パーソナルコンピュータは, 画像ボードを内蔵し, CCDカメラにより撮影された変形格子画像のビデオ信号を受け取る。そして, 取り込まれたビデオ信号を画像処理し, 物体空間三次元座標値データを計算する。三次元座標値データは, 物体座標系での被写体と液晶プロジェクタ, CCDカメラの位置関係から, 三角測量の原理により画像データを用いて計算される。各データは, プロジェクタで測定物に投影された格子パターンの位置座標である。その際, CCDカメラの観測二次元座標系 $x-y$ から物体空間三次元座標系 $X-Y-Z$ に変換される。

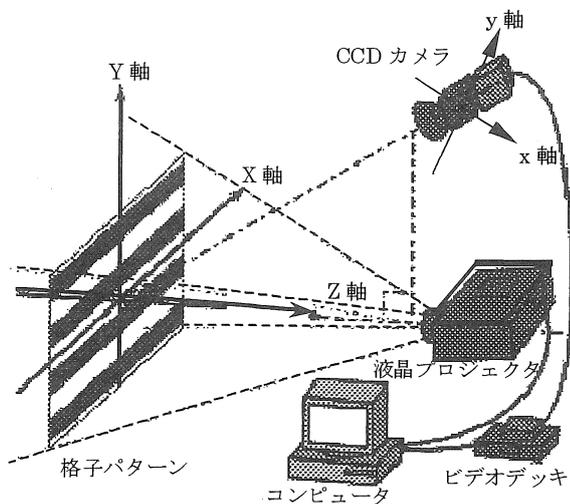


図1 三次元形状計測システムの構成

3. 三次元形状計測の方法と結果の検討

三次元形状計測システムは, 計測システムの設定と画像処理の技法で精度が大きく左右される。システムの設定と画像処理方法の手順を図2に示す。

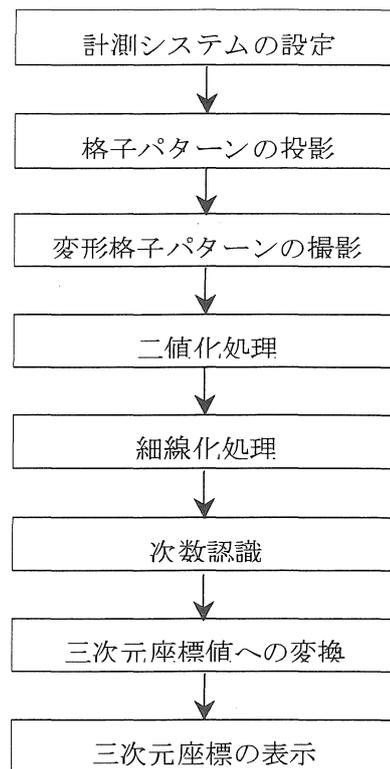


図2 計測手順フローチャート

3.1 計測システムの設定

本研究の計測システムでは, 三角測量の原理により二次元画像座標値から三次元物体座標値に変換する。そこで, CCDカメラ, 液晶プロジェクタ, 被写体の位置関係が重要になる。

物体座標系を $X-Y-Z$ 軸で表わし, 原点 $(0, 0, 0)$ を通る Z 軸をプロジェクタの光軸に合わせる。プロジェクタレンズの主点を座標 $(0, 0, -a)$ に設定する。原点を通る XY 平面に白板を設定し, プロジェクタから原点十字マークを投影して三次元物体座標原点に合わせる。

測定では X 軸に平行な格子パターンを投影するので, CCDカメラをプロジェクタの上方 Z 軸に平行に配置する。カメラレンズの主点座標を $(0, b, -a)$ に設定し, 光軸は原点座標 $(0, 0, 0)$ を通るように設定する。撮影された十字マークはカメラ画像の二次元座標系 xy の原点 $(0, 0)$ に合わせる。

スライドプロジェクタでは, 光軸がスライドフィルムの中央に設定されているが, 市販のスクリーン投影用の液晶プロジェクタでは, 一般に光軸を投影画像の中央からずらして設計されている。

システムの大きさを決める距離 a , b は、物体の測定範囲と精度に影響する値である。

3.2 格子パターンの投影

白黒二値の直線状格子パターンをパーソナルコンピュータで作成し、プロジェクタで測定物体に投影する。

白黒二値の格子パターンエッジ上の点列がデータとして計測される。したがって、格子幅が狭いとデータ量は多くなる。

3.3 変形格子パターンの撮影

CCDカメラにより画像を取り込む。プロジェクタの上方に配置されたカメラで撮影すると、投影した直線状格子パターンが変形して撮影される。プロジェクタとカメラまでの距離 b が大きくなると変形の度合いも大きくなる。プロジェクタのピクセルサイズが小さい程精度が高く、高分解能のプロジェクタといえる。

円筒物体を被写体として取り込んだ画像を図3に示す。

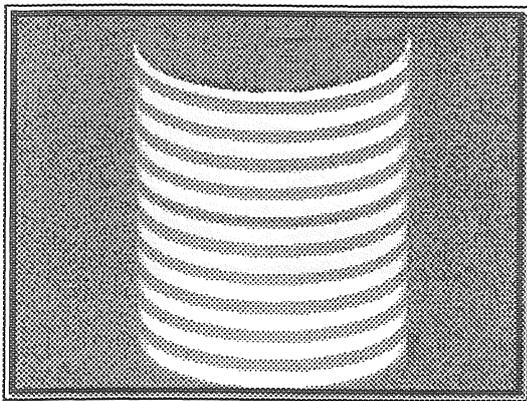


図3 CCDカメラで撮影した画像

3.4 二値化処理

コンピュータで二値化された白黒の格子パターンが投影されるので、プロジェクタの投影光強度分布の不均一性、あるいは測定物体の形状や表面の反射特性の違いなどにより、撮影された画像は二値ではなく連続値となっている。そこで、二値化処理が必要となる。

CCDカメラで撮影し、パーソナルコンピュータの画像ボードにより取り込まれた変形格子の画像を二値化する。ここで、256階調の変形格子画像がしきい値により白と黒の二値画像に変換される。計測精度はこのしきい値の設定の仕方で行き届く。投影パターンの二値に対応させて精度良く変換させるのは難しい。ここでは、処理を簡単化するためにしきい値を一定とした。誤差を減らす方法の一つである画像差分法⁹⁾を用いて二値化した画像を図4に示す。

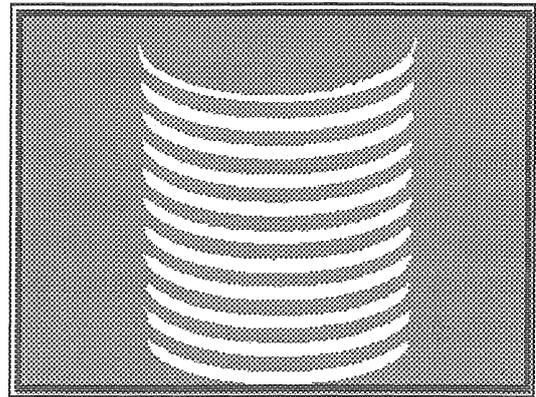


図4 二値化画像

3.5 細線化処理

二値化された変形格子画像は細線化される。パターン投影法における細線化では、座標変換時にサンプリングする点列を作成する。細線化の手法は、二値化された格子パターンについて白から黒、黒から白というように二値化された格子パターンの辺縁を検出するエッジ法が基本である。投影格子パターンのエッジすなわち二値の境界が、正しく二値化された境界となっていれば、精度が良いといえる。しか

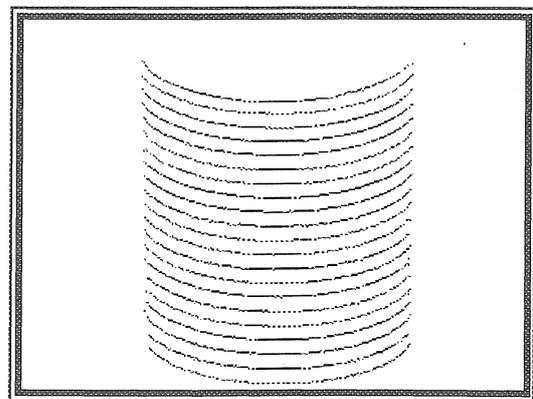


図5 細線化画像

し、二値化処理で精度良くエッジが求められていなければ、格子パターン幅の中央を検出する中点法が広い範囲で計測できる有効な方法となる。図5に中点法を用いた細線化画像を示す。

3.6 次数認識

格子パターンを特定するのに次数が用いられる。原点上の0次パターンから±1次, 2次, 3次と設定される。

3.7 二次元座標値から三次元座標値への変換

細線化された二次元計測データは、三次元座標値に変換される。三次元座標変換は、観測座標系の二次元画像データから物体空間系の三次元座標値に変換する作業である。図6に三角測量原理に基づく座標位置関係を示す。

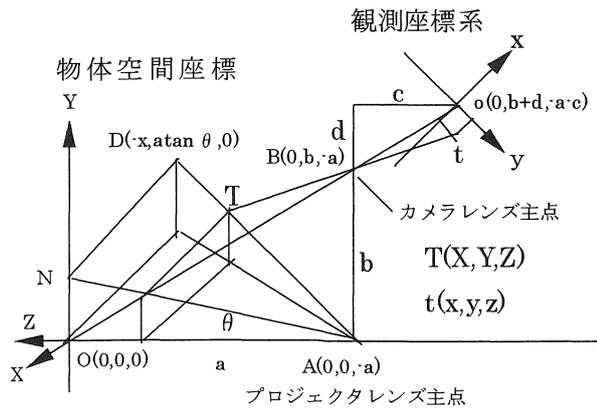


図6 座標位置関係図

物体空間座標系であるX-Y-Z直角三次元座標系と観測座標系となるx-y直角二次元座標系との間には三角測量の原理に基づき次式の関係がある。

$$\begin{aligned}
 X &= -b(a^2 + b^2)^{1/2} x / H \\
 Y &= (m a b(a^2 + b^2)^{1/2} - y b^2) \tan \theta_n / H \\
 Z &= (m a^2(a^2 + b^2)^{1/2} - y a b) \tan \theta_n + y(a^2 + b^2) / H \\
 H &= (m a(a^2 + b^2)^{1/2} - y b^2) \tan \theta_n + m b(a^2 + b^2)^{1/2} + a y \\
 c &= m a, \quad d = m b
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

細線化された画像データについてx軸の各点ごとにy軸方向を走査し、画像中の細線化された点をサンプリングする。各サンプル座標値(x, y)に対して縞の次数と位置関係値a, bならびにカメラ設計値c, dを用いて物体座標系の各座標値(X, Y, Z)値が計算される。

3.8 三次元立体表示

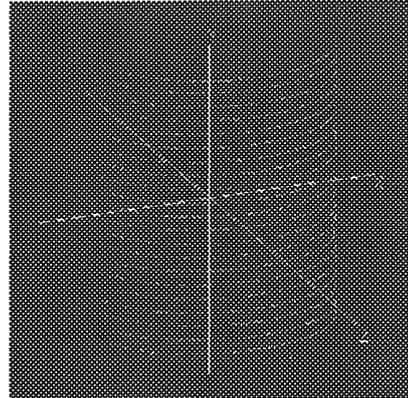


図7 三次元座標変換表示

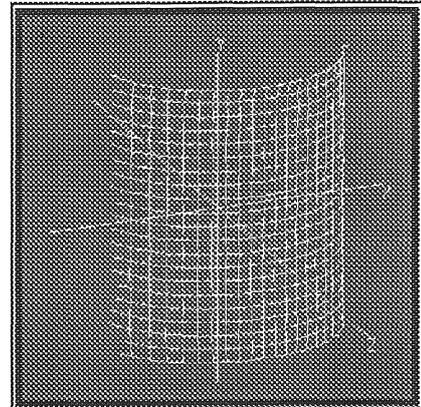


図8 ワイヤーフレームモデル画像

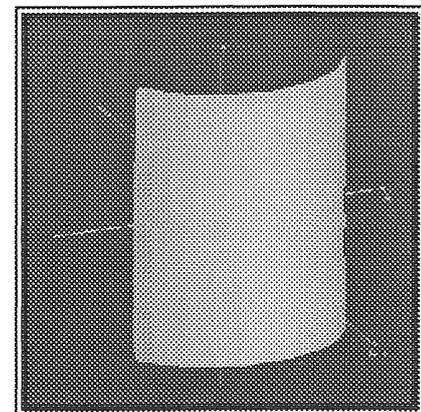


図9 サーフェイスモデル画像

座標変換により三次元形状計測ができる。計測した被写体の三次元立体表示を図7に示す。ワイヤフレームモデル表示を図8に示す。サーフェイスモデル表示を図9示す。

4. おわりに

本報告では、空間光変調パターン投影による三次元形状計測システムの構築、システムの設定、画像処理の結果について述べた。

本報告は、本学総合技術研究所平成10年度～平成12年度プロジェクト研究の一部をまとめた第3報である。

文献

- 1) 井口, 佐藤: "三次元画像計測", 昭光堂, 1990
- 2) 吉沢: "光三次元計測", 新技術コミュニケーションズ, 1993
- 3) C-Y. Chen, J-N. Liu, L-L. Yu and Y. Uchida, "Three-Dimensional Surface Estimation by Grating Projection", *Journal of Application Research of Computers*, Vol.16, No.7, pp.78-79, 1999 (in Chinese)
- 4) K. Tsujioka, J-N. Liu, H. Furuhashi, K. Hatano and Y. Uchida, "Expanding the Measurable Area in Three-Dimensional Shape Measurement System using an Optical Modulator", *Proceedings of the 4th Asian/Pacific International Symposium on Instrumentation, Measurement and Automatic Control*, (Beijing, China), pp.64-67, 1999
- 5) K. Tsujioka, H. Furuhashi, K. Hatano, S. Higa and Y. Uchida, "Acquiring Even Striped Patterns Intensity in Three-Dimensional Shape Measurement System Using an Optical Modulator" *Proceedings of SPIE, Three-Dimensional Imaging, Optical Metrology, and Inspection V*, (Boston, Massachusetts, USA), Vol.3835, pp.215-222, 1999
- 6) 辻岡, 古橋, 秦野, 内田: "空間光変調パターン投影を用いた三次元形状計測システムにおける測定範囲拡大と精度の向上", *電気学会論文誌基礎・材料・共通部門誌*, Vol.120-A, No.4, pp.439-444, 2000
- 7) 辻岡, 古橋, 秦野, 比嘉, 内田, 與語, 劉, V. T. Chitnis: "画像映像情報の立体可視化技法に関する研究", *愛知工業大学総合技術研究所研究報告*, Vol.2, pp.1-7, 2000
- 8) K. Tsujioka, H. Furuhashi and Y. Uchida, "Three-Dimensional Shapes Measurement System Using an Optical Modulator", *Proceedings of the 16th World Congress of International Measurement Confederation, Measurements Enable Technology & Science, XVI IMEKO World Congress*, (Vienna, Austria), Vol.2, pp.307-310, 2000
- 9) 辻岡, 古橋, 秦野, 比嘉, 内田, 與語, 劉, V. T. Chitnis, "画像映像情報の立体可視化技法に関する研究Ⅱ—物体の三次元形状計測における測定精度の向上—", *愛知工業大学総合技術研究所研究報告*, Vol.3, pp.1-8, 2001
- 10) 辻岡, 古橋, 比嘉, 内田, "強度変調と画像差分による光学的三次元形状計測技術", 平成13年度(第34回)照明学会全国大会講演論文集, p.273, 2001
- 11) 辻岡, 古橋, 秦野, 内田, "光三次元形状計測における中間輝度の利用", 平成13年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, p.288, 2001
- 12) K. Tsujioka, H. Furuhashi, K. Hatano, S. Higa and Y. Uchida, "High-Density Sampling Technique Using Spatial Projections of Light Variation Patterns in Three-Dimensional Shape Identification", *Photonics Boston, SPIE Intelligent Systems for Advanced Manufacturing, ISAM, Machine Vision and Three-Dimensional Imaging Systems for Inspection and Metrology II*, (Newton, Massachusetts, USA), No.4567-17, 2001

(受理 平成14年4月10日)