

投影法と光切断法の同時測定による サーフェスモデルの生成

大原 広幸[†] 山本 強^{††}

[†]北海道大学大学院 工学研究科

^{††}北海道大学大型計算機センター

全周から見た物体の形状データを取り込むために、本論文では1回の測定で投影法と光切断法を同時に行える手法と両測定データからサーフェスモデルを生成するモデリング法を提案する。光切断法は形状測定を行うのに広く用いられている方法ではあるが、ドーナツの様に穴が空いている物体では正確な測定ができないという欠点がある。

一方、物体を照明してできた影の輪郭から形状を推定する投影法を使えば穴の部分は取り込めるが、その反面として凹となっている部分が欠損する。

しかし両測定法で得られたデータを互いに補うことにより、それぞれの欠点を克服した正確な形状データが得られる。そして得られた両測定データからサーフェスモデルで形状の再生を行った。

Generating Surface Model by Using Simultaneous Measurement of Silhouette and Light Stripe Methods.

Hiroyuki Ohara[†] Tsuyoshi Yamamoto^{††}

[†]Graduate school of Engineering, Hokkaido University

^{††}Hokkaido University Computing Center

In this paper, we propose a method to measure using both silhouette method and light stripe method, and generating surface model by using simultaneous measurement

The light stripe method is inaccurate when measuring objects have open holes since the reconstructed model resulted in a closed up hole.

For objects with open holes, the profile can be taken by applying the silhouette method. However, this method cannot reconstruct concave.

We can take in complete profile with the proposed method by utilizing the advantages of two measurement techniques.

Finally we reconstruct surface models of the object that was measured by using proposed method.

1 序論

近年コンピュータにおける処理の高速化により、リアルな画像を任意の方向から再生できる3次元CGは一般的なものとして使われるようになってきた。しかし複雑な形状をもつ3次元物体のモデルを作り上げることは容易ではない。そこで、2次元CGにおいては絵画を取り込むためイメージスキャナーがよく使われているが、これに相当する物体形状データを正確に取り込めるシステムが3次元CGにおいてより必要とされてくる。

3次元形状データを取り込むための測定方式として、物体に対して何らかのパターンを投射するアクティブ方式が多く使われている。アクティブ方式は投射を行わないパッシブ方式[7]に比べて測定環境に制限がつくがその分精度で勝っている。アクティブ方式の代表的なものに光切断法を用いる方法[2, 3, 6, 8]がある。しかしこの方法で取り込むことができるのは穴のない単連結[1]の物体のみで、ドーナツなど物体内に空間が開いている形状の場合その物体の穴が塞がり、正確に取り込めない。そういった穴が存在する場合、測定物を照明してその後方にできる影の輪郭を次々と観測し、そのデータから形状を推定する投影法を使えば穴の部分が再現されて取り込める。その反面、窪んだ部分の情報が欠落するため[4]凹凸が多い形状だと投影法では正確に再生されない。

本論文では物体形状を全周から取り込むために、1回の測定で投影法と光切断法を同時に行える方法を考案した。投影法による再生は凹の部分に欠損しているものだが連続的な形状で再生することが可能であり、それに光切断法で得られたデータを補うことにより実際の物体に近い形状データが得られると考えられる。また連続的な形状モデルを作成するのにサーフェスモデルを用いて形状のモデリングを行い、その結果の表示および考察を行った。

2 投影法と光切断法による物体形状の同時測定

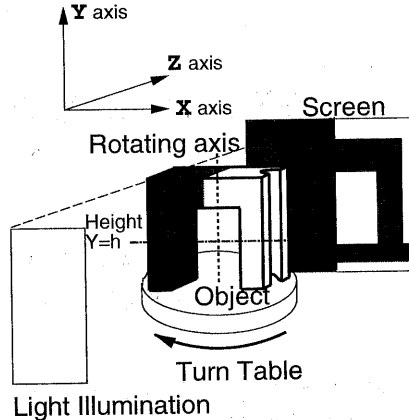


図1: 投影法と光切断法の同時測定

図1で示すように、暗室内で形状測定物体を置いている回転台の中心に対して観測方向側、図の場合では右側に光束を照射した。これにより物体面上に映る明部と暗部の境目を用いて光切断法による測定を行うことができる。また測定物体の投射光束に対し後方にスクリーンを置くことによって、光束の明部で照らされた方に測定物体の影ができこれを用いて投影法による測定も同時に行える。

中心に穴が開いておりさらに側面に溝がある図1で示した物体を中心軸で回転させ、この方法で測定を行った時の高さ h における再生予断面図が図2で示した塗り潰されている部分である。一本のスリット光による光切断法での物体形状の再生は、回転中心からスリット光が当たった物体表面までの奥行き $L(h, \theta)$ をある角度 θ ごとに求め、その奥行きによる一連の断面を重ねて立体を構成することにより行われる。しかしこの時求められた断面には穴による空間が表れないため、構成された立体は図2(a)のごとく穴が埋められて再生される。

ある角度から平面波の光を投射したときにスクリーンに写る一連の影を $S_a(h, \theta)$ とする。投影法での再生はこの影から物体が存在しない空間のデータを得て、その部分を削除していく事により立体を構成する。しかし物体右側面の溝部分は写った影には隠れて表れないため図2(b)で示すように凹となっている部分が埋められて

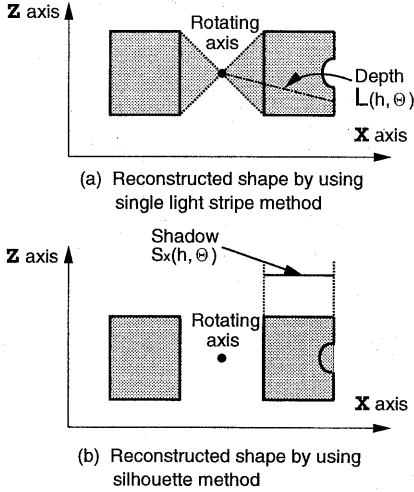


図 2: 形状再生結果 (a) 光切断法によるもの (b) 投影法によるもの

再生されることになる。図 2(b) は平面波であることを前提としているが、実際の測定には球面波の光を投射した。だがどちらの光を用いるにせよ穴は再現されるが、溝は再現されないということには変りない。

このように二つの測定法によって再生される形状を比べてみると一方で正確に再現されない部分はもう一方では再現されているのでこの二つのデータを互いに補完し合えば正しい形状が再生される。

3 測定原理

図 3 の測定原理図は測定装置を上から見た、ある高さにおける断面図である。光源 Q からの球面波による投射光を回転中心 P を通るに投射軸から明部と暗部にわけ、この投射軸に対して α 度の方向からカメラなどの観測機器を配置する。回転中心 P から物体表面 D_L までの奥行きを求めるのは光切断法での求め方 [3] と同じ方法である。まず観測した画像から OB_L を求めそれを用いて

$$OA_L = OB_L \frac{\sin \beta_L}{\sin(\alpha + \beta_L)} \quad (1)$$

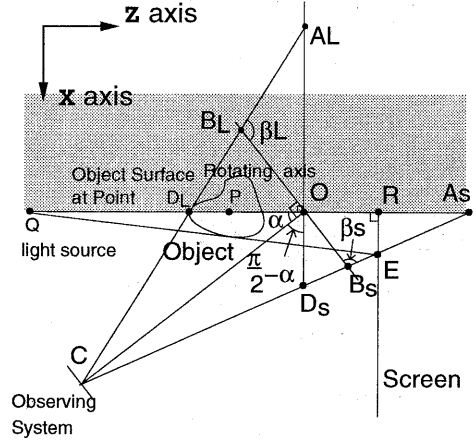


図 3: 測定原理図

ここで $\beta_L = \pi - \arctan(\frac{OC}{OB_L})$ とする。上式で得られた OA_L を用いて OD_L を求める。

$$OD_L = OA_L \frac{OC \cos \alpha}{OA_L + OC \sin \alpha} \quad (2)$$

この値から中心 r とスクリーン O までの距離を引く、

$$PD_L = OD_L - PO \quad (3)$$

こうして物体表面までの奥行き PD_L が求められる。

次に投影法によるデータの算出方法であるが最初に OD_S を求める、これは光切断法での奥行き $D_L O$ とは OD_S に対して対称であることから、 OB_S を求め、 α を $\frac{\pi}{2} - \alpha$ と代えた前式 (1)(2) よって求められる。 OD_S が求まると次式を用いて RE が求められる。

$$RE = OD_S \frac{OA_S - OR}{OA_S} \quad (4)$$

E と Q を結ぶ線分が投影法によるモデリングで物体が存在する部分としない部分をわけデータである。

4 物体形状のモデリング

本手法により光切断法と投影法という異なる方法による測定データが同時に得られ、そのデー

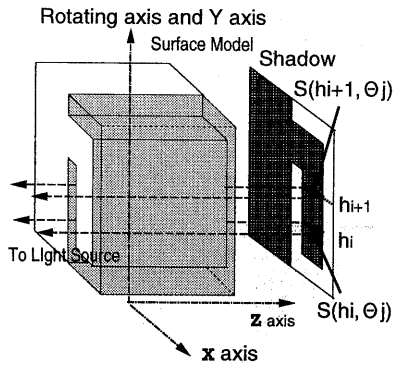


図 4: 投影法で得られたデータからサーフェスの削除

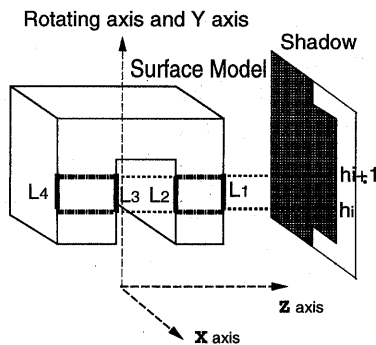


図 5: 投影法で得られたデータからサーフェスの追加

タから物体形状をモデリングする。再生に使用する形状モデルにはサーフェスモデルを用いた。光切断法での奥行きデータや投影法で得られる影の輪郭データから木彫細工を行うように形状を削ってモデリングを行った。これは両測定法ともその特性によって正確でない形状を得る場合があるが、その形状は正しいものと比べて余分なものが付加された形状として出力されると考えられるからである。

4.1 投影法で得られたデータからのモデリング

物体を一定間隔の角度で回転させることにより次々とスクリーン上に影が表れるが、投影法によるモデリングはそれを行ふことによ

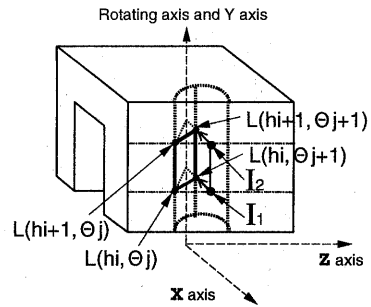


図 6: 光切断法で得られたデータからサーフェスの分割と移動

て物体形状の再生を行う。図 4で示すように物体がある角度 θ_j で回転したときに表れた投影像からある高さ h_i における影が存在している線分 $S_x(h_i, \theta_j)$ と上にある $S_x(h_{i+1}, \theta_j)$ の測定を行う。この測定した線分から影の形状を求め、光源へと向かう空間を調べる。その空間の内側に物体が存在しているということであるから、モデルのサーフェスと空間の交差を調べそれに応じてサーフェスの分割を行い、影が存在しない部分にあたるサーフェスを削除する。

次にサーフェスの削除によって開かれた側面を塞ぐ。これはサーフェスの分割を行ったときに、図 5にある線分 L_1, L_2 のように分割するために調べた交線を記憶しておく。物体が厚みを持っている限りこの交線は偶数個表れるので、影が映るスクリーンに近いものといった条件でソートを行い、その奇数番目と偶数番目の線分の組み合わせが塞ぐための側面となる。

最終的に 360 度全周についてこれを行うことにより連続的な形状のモデルが作成される。しかし、このモデリングだけでは物体に窪みがある場合その部分が再生されないので、作成したモデルに対してさらに光切断法からのデータによるモデリングを行う。

4.2 光切断法で得られたデータからのモデリング

回転軸からの奥行きデータ $L(h, \theta)$ からモデリングを行うためには、対象となるものとそ

れに隣接する四つのデータに対して投影法により作成されたモデルのサーフェスと交わるかを調べる。図6の $L(h_i, \theta_{j+1})$ のように交わらない場合、それは測定した物体にはそこに窪みがあり、投影法のデータにはそれが表れないが光切断法のデータには表れているので形状の変形を行う。

同じ角度 θ_j の隣接する光切断法のデータ

$L(h_i, \theta_{j+1})$ と $L(h_{i+1}, \theta_{j+1})$ からなる面を外側に無限延長した面を考える。その面とモデルのサーフェスとの交線 $I_1 I_2$ などを求め、それでサーフェスを分割する。その後 I_1, I_2 のような光切断法の四つのデータで囲まれている空間内に存在している点を光切断法のデータに合わせ、回転軸方向に向かって移動する。この処理をすべての光切断法のデータに対して行う。

5 測定装置

使用した測定装置の各設定はスクリーン上の基準 O から観測機器である CCD カメラ C までの距離 OC は 1500mm, 角度 $\alpha=45$ 度で配置されている。観測軸と投射軸が交わる基準 O から回転中心 P およびスクリーン R までの距離は両方とも 60mm である。観測機器である CCD カメラからの画像をパソコンの記憶装置にストックしているが、容量は 320×240 ピクセルの解像度で 200 枚分である。全周から観測を行うと物体を 1.8 度の角度刻みで順次回転した画像をとることになる。この画像の水平方向において色が急激に変化したピクセルを捜し、そこを明暗あるいは影の境目とする。物体の位置が画像の中で 1 ピクセル変わると現実の変位は約 1mm 相当であるからこの値が測定装置の精度となる。

6 形状の再生結果

6.1 光切断法と投影法の両モデルからの補完による再生結果

図7に示した幅 80mm, 奥行きと高さが 40mm の大きさの中央に穴が空いており側面に溝が掘られている図1で示したような物体の測定を行っ

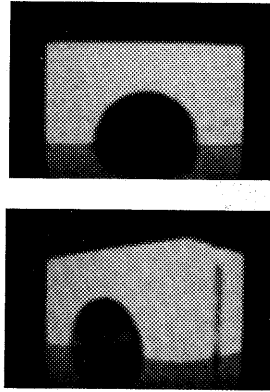


図7: 測定物体 (上) 正面像 (下) 側面像

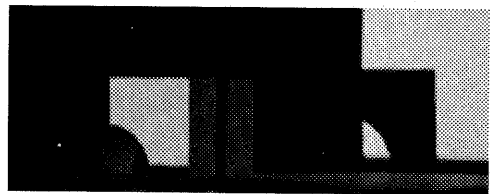


図8: 観測画像

た。図8観測した 200 枚の画像の一つで、これから投影法、光切断法によって形状データを得てサーフェスモデルによる再生を行った。図9は投影法のみからのデータから、図10は光切断法のみからのデータからモデリングして再生表示したものである。測定精度が 1mm と荒いため、形状モデルも荒く再生されたが、投影法のデータによるモデルは中央の穴は再生されているが側面の溝が塞がっており、光切断法のデータによるモデルは逆に溝は再生されているが穴が埋められて再生されている。しかし両測定データから再生された図11のモデルは穴や溝など個々の測定法からでは再生されない部分が存在する。

7 結論

物体を回転させることによる全周からの形状の測定を、光切断法と投影法を同時に行える手法を用いて行った。それによって得られた両測定データからサーフェスモデルを生成することにより、光切断法あるいは投影法のみでのモデリ

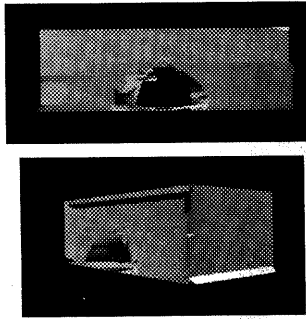


図 9: 投影法による再生像 (上) 正面像 (下) 側面像

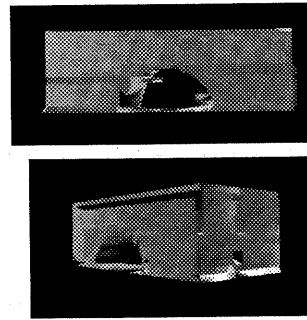


図 11: 図 7 の測定物体の再生像 (上) 正面像 (下) 側面像

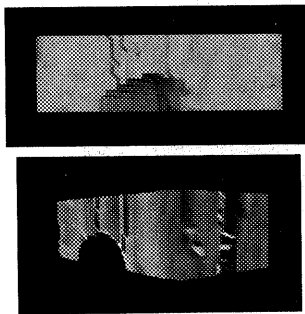


図 10: 光切断法による再生像 (上) 正面像 (下) 側面像

ングでは、測定する形状によってそれぞれ穴が埋まる、凹部が埋まるなどの誤って出力された部分が修正されて再生された。

今後の課題としては再生された形状があまりにも荒すぎるので、観測画像を高解像度で取れるようにするなど測定精度の向上を行うこと。もう一つ物体に照射している光は白色光なので観測画像には物体の表面色のデータも含まれている。それも測定して生成するサーフェスモデルに再現できるようにする。

参考文献

- [1] 高木隆司, “形の数理,” 朝倉書店, 1992
- [2] Gerald J. Agin and Thomas O. Binford, “Computer Description of Curved Objects,” IEEE Transactions on Computers, vol.C-25, no.4, pp.439-449, 1976

- [3] Xiao-Xue Cheng, Xian-Yu Su and Lu-Rong Guo, “Automated measurement method for 360° profilometry of 3-D diffuse objects,” Appl. Opt., vol.30, no.10, pp.1274-1278, 1991
- [4] 出口光一郎, “画像と空間,” 昭晃堂, 1991
- [5] H. Takasaki, “Moire Topography,” Appl. Opt., vol.19, no.6, pp.1457-1472, 1970
- [6] 井口征士, 佐藤宏介, “三次元画像計測,” 昭晃堂, 1990
- [7] 金子俊一, 本田庸悟, 池田恵一, “多視野のステレオ画像を利用した多面物体の認識,” 精密工学会誌, vol.55, no.4 pp.721-728, 1989
- [8] H. Ohara, H. Konno, M. Sasaki, M. Suzuki and K. Murata, “Automated 360° profilometry of a three-dimensional diffuse object and its reconstruction by use of the shading model,” Appl. Opt., vol.35, no.22 pp.4476-4480, 1996