

## 鏡面反射を持つ金属物体の面の認識

### Recognition of a Metal Surface with Mirror Reflection

漢野 教泰 ·                      中野 幸一 ·                      渡辺 弥寿夫 · ·  
Sukeyasu KANNO      Kouichi NAKANO      Yasuo WATANABE  
· 石川県工業試験場                      · · 金沢工業大学  
Industrial Research Institute      Kanazawa Institute  
of Ishikawa                              of Technology

あらまし      本論文は、金属など鏡面反射を持つ3次元形状の物体に対して、2方向から当てたスリット光群を用いて物体の面を認識する方法について述べている。従来のスリット光投影法では、反射光や鏡像から、距離を算出すると誤った情報が得られる。本手法では、この問題を解決し、スリット光の交点における位置ベクトルだけでなく、面の法線ベクトルも同時に求める。これらのベクトルにより交点をクラスタリングすることで面を識別し、その輪郭を抽出する。

Abstract      This paper presents a method for recognizing the surface of 3-D object such as metals which have mirror reflection by making use of a pair of slit rays. The traditional slit-ray method obtains a wrong distance information using specular slit-ray or mirror image. The method proposed here solves the problem and calculates the positional vector and the surface normal at cross point of two slit-rays. Since the cross points are classified by using these vectors, the object surfaces are identified and the outlines of these are extracted.

#### 1. まえがき

生産ラインの自動化・省力化のため、組立・検査・搬送など各種工程に視覚装置として画像処理システムが利用されているが、2次元形状が主で3次元形状の認識については速度・精度など問題点が多い。このため、近年の3次元視覚の要求に対して十分に実用化できていないのが現状であり、重要な課題となっている。

3次元形状の認識には、ステレオ法、パターン光投影法などいくつかの方法が提案されているが[1-3]、生産ラインへの実用化上、処理時間、照度変化などの外的条件を考慮し、スリット光の投影による方法を用いた。スリット光を利用した生産ラインへの実用システムにもいくつかの方法が提唱されているが[4,5]、対象が金属物体の場合、鏡面を持つため反射光による散乱や鏡像が観測され、従来の方法では誤った距離情報が得られる。そこで、2組のスリット光群を用いてスリット光の交点で3次元情報を抽出することから、誤った3次元情報を除去する。この方法により金属物体の3次元情報を抽出し、その有効性を確認した。また、2組のスリット光群を利用して、位置ベクトルだけでなく法線ベクトルも求め、交点でクラスタリングを行うことで、面を識別し搬送の自動化に必要な面情報を得る方法を提案する。

## 2. 2方向スリット光投影法

図1のように、スリット光を2つの方向から当てる。このとき、物体表面上で交線が観測され、その交点をサンプル点として位置座標及び法線ベクトルが計算できる。今、スリット光  $i$  ( $i = 1, 2$ ) の平面方程式を

$$n_i \cdot (X - C_i) = 0 \quad (1)$$

とし、視点を  $Q$ 、視平面上での交点の観測点を  $P$  とすると、 $P$ 、 $Q$  を結ぶ直線とスリット光平面との交点が位置座標であり、次のようになる。

$$X_0^{(i)} = \frac{(n_i \cdot (C_i - Q)) P - (n_i \cdot (C_i - P)) Q}{(n_i \cdot (P - Q))} \quad (2)$$

反射光による偽の観測データが存在しないときは、スリット光  $i = 1, 2$  の平面に対して、 $X_0^{(1)} = X_0^{(2)} = X_0$  となり一致するが、そうでないときは一致しない。例えば、図2のような状況では、2つのスリット光平面  $P_1$ 、 $P_2$  に対して視平面上の交点  $q_1$ 、 $q_2$  を物体空間の中へ延長して、直線  $l_1$ 、 $l_2$  としたとき、 $P_1$ 、 $P_2$  と  $l_1$  との交点はともに、実際の物体表面上の点  $Q_1$  に一致するが、 $P_1$  と  $l_2$  の交点、 $P_2$  と  $l_1$  の交点は、それぞれ  $Q_2'$ 、 $Q_2$  となり、一致しないからである。

また、物体表面の法線ベクトルは以下のようにして求められる(図3)。位置  $X_0$  において、交わるスリット光のそれぞれの次の交点位置座標を  $X_1$ 、 $X_2$  とすると法線ベクトルは  $N = (X_1 - X_0) \times (X_2 - X_0)$  である。ただし、次の交点が存在しない場合はスリット光線分の端点で代用できる。

このように、2組の平行なスリット光群により生じるそれぞれの交点をサンプル点として、位置ベクトルと面の法線ベクトルが算出できる。ここで、正規化した法線ベクトル  $n = N / |N|$  及び  $n \cdot X$  によりサンプル点のクラスタリングを行うことで、同じクラスのサンプル点が同一平面として面の識別ができる。さらに、面の輪郭は各スリット光線分の端点及びスリット交差パターンを追跡より求められる。

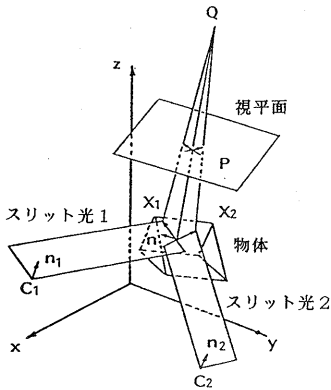


図1. 2方向からのスリット光投影

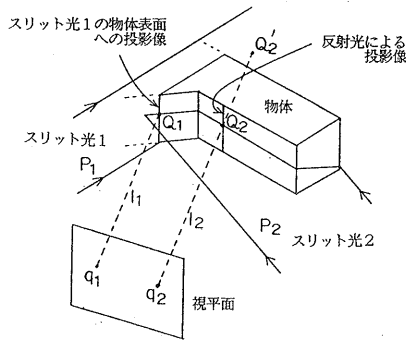


図2. 反射光による影響

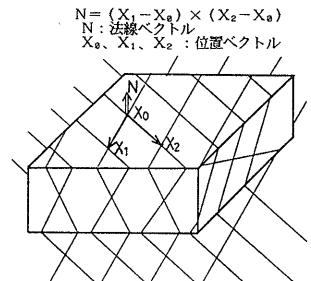


図3. 法線ベクトルによる面の認識

## 3. システム構成

前節概要に従い、2方向からそれぞれレーザスリット光の平行スキャニングを行い、その画像入力からスリット光の線分検出、法線ベクトルの算出を行うシステムを開発した。開発したシステムのブロック図を図4に示す。CCDカメラから物体に投射されたスリット光像を石川工試製画像処理装置に入力し、メインCPUで3次元座標値、法線ベクトルを算出し、面の識別を行う。また、メインCPUからロボット制御用CPUへはRS-232Cで、レーザスリット光のスキャニング及び搬送用ロボットの動作に関する信号を転送する。

スリット光投射部を図5示す。

物体をのせる観測テーブルとCCDカメラは固定されている。レーザスリット光は、He-Neレーザで、プリズム、シリンダリカルレンズを通して作られ、レンズを動かすことにより、物体に任意の角度で投射することができる。CPUからの信号でレーザをのせたロボットが移動することにより、スリット光を平行にスキャンすることができる。2方向からの平行スキャンは、スリット光の投射角を変えてスリット光を往復スキャンさせることで行う。物体に投射されたスリット光像は、CCDカメラから入力されメインCPUで処理する。処理に必要なカメラ、各スリット光の位置、姿勢に関するパラメータは、あらかじめ計測しておき、次の手順で処理する。

- (1) 1方向の平行なスリット光群の各々に対して、雑音除去した後、スリット光を当てた画像と、当てない画像との差から、スリット光のみの画像データを算出する。2値化後、各画像データの加算を行い、1方向1スキャン分のスリット光画像を作る。
  - (2) もう1方向のスリット光群に対しても(1)と同様に処理する。
  - (3) (1)、(2)で得られた画像からそれぞれのスリット光を線分として認識するベクタライズ化を行う。
  - (4) (3)で得られた線分の交点から、偽のデータかどうかチェックし正しい3次元位置を算出する。
  - (5) 法線ベクトルを算出し、クラスタリングを行い、面の認識から搬送のための最適保持位置を計算する。
- (1)、(2)は画像処理装置のハードウェア処理で行い、(3)、(4)、(5)はメインCPU上のソフトウェア処理で実行する。

当场で開発した画像処理装置ハードウェア構成図を図6に示す。

A/D変換は4ビットで、メモリは1画面640×400画素・16階調の128Kバイトを3画面(A、B、C)持つ。各メモリの内容は次に示すとおりである。

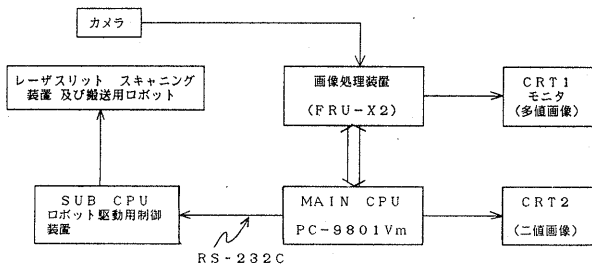


図4. 開発システムブロック図

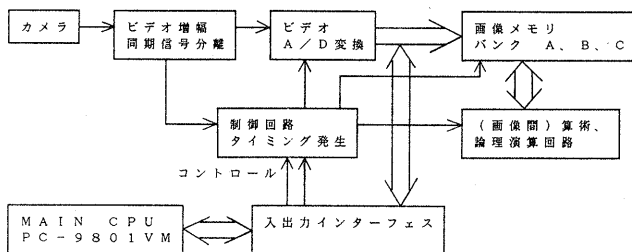


図6. 開発した画像処理装置

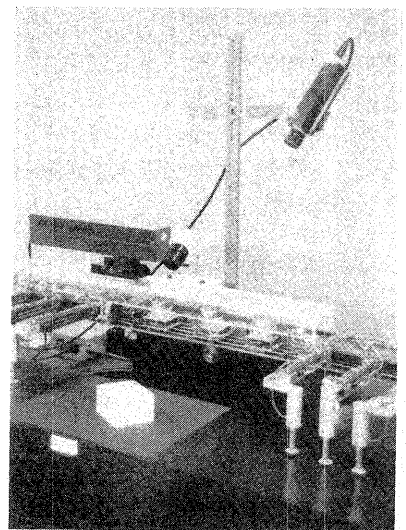


図5. スリット光投射部

A: スリット光を当てない時のバックグラウンド画像。

B: スリット光を当てた時の画像。

C: B - A の画像 (必要とするスリット光のみの画像) を 2 値化処理後、スリット番号を属性として付加し、1 方向 1 スキャン分の各スリットに対して加算した画像。

算術論理演算回路において、制御回路からの信号によりこの画面間の演算を実行する。

1 方向のレーザスリット光 1 スキャン分の画像データは、入出力インタフェースを通してメイン CPU のメモリに入力される。メイン CPU において、スリット光群の線分検出が終了後、もう 1 方向のスリット光 1 スキャン分の画像データを入力する。

#### 4. 処理内容と実験結果

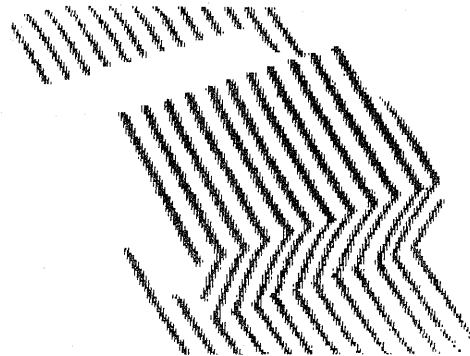
本手法は、方向の異なる 2 組のスリット光群の交点を利用するため、3 次元情報の精度は交点検出の精度に依存する。このため交点の検出は、まずスリット光をベクタライズ化で線分として検出し、交わる線分の方程式より交点を算出することで行う。

線分検出については高精度で行う方法も検討している [6] が、今回、処理の高速性を考慮し、1 スキャン分のスリット光画像データ (2 値) をまとめて処理できるように細線化、追跡の手順で以下のように行った。

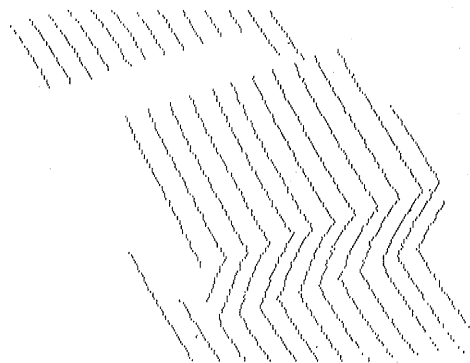
メイン CPU に入力されたレーザスリット光 1 スキャン分の画像データに対して、まずスリット光群の細線化を行う。細線化は画像面走査線方向について、スリットの中点を抽出することで行った。次に追跡を行うための追跡始点を検出する。追跡始点は、細線化データと細線化前画像データを照合し、その座標値をスリット番号別に登録する。そして、検出した追跡始点について、細線化データで順次追跡を行う。線分検出は、追跡と同時に傾きを算出し、その変化度合をチェックすることにより最適端点を捜すことを行い、線分端点 (始点、終点) として画像上の 2 次元座標値で登録する。追跡中に分岐が存在する場合には分岐点をチェックし、後で分岐点より追跡を始める。

図 7 に、この手法によりベクタライズ化した例を示す。直方体の物体に対して、スリット光を平行スキャンさせることでつくった 13 本のスリット光画像をそれぞれ 2 値化後加算し、同時に処理したもので、検出された各線分の始点、終点が登録される。簡単な形状であるが、ほぼ正確に線分検出が行われている。

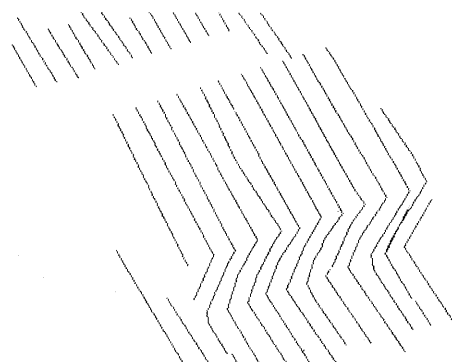
このソフトウェア開発はすべてアセンブラで行ったが 1 スキャン分の画像データに対して、



a) スリット光画像



b) 細線化処理結果



c) ベクタライズ処理結果

図 7. 線分検出処理結果

細線化から線分検出までの実行時間は約2秒である。

ベクトライズ化により、2組のスリット光群がそれぞれ線分群に分解され、次に線分の各交点を算出する。各交点について、画像上の2次元座標値より観測テーブル上の位置ベクトル（3次元座標値）を、2方向のスリットそれぞれで算出する。スリット1、2から求めた位置ベクトル  $X^{(1)}$ 、 $X^{(2)}$  で  $|X^{(1)} - X^{(2)}|$  が、あるしきい値以下であれば正しい座標値として登録し、しきい値以上であれば鏡面反射による偽のデータとして除去する。

図9は、図8のような鏡面反射を持つ金属面に2方向からスリット光を投射した時の画像である。表1はその交点より算出した3次元座標値である。この結果より、本来のスリット光からできた交点Aではスリット1、2からそれぞれ算出した3次元座標値は等しく、正しい座標値として登録するが、反射スリット光からできた交点Bでは3次元座標値は異なり、誤った点として除去することになる。

図10は、図8の物体に投射したスリット光群の各交点より3次元座標値を算出し、理論値と比較したものである。誤差は最大2~3mmで、CCDカメラから物体までの距離500mmに対して誤差1%以内である。

面の識別は、位置ベクトル  $X$  及び位置ベクトルより算出する法線ベクトル  $n$  から、基準の  $X_0$ 、 $n_0$  に対して、 $|n_i - n_0|$ 、 $|n_i \cdot X_i - n_0 \cdot X_0|$  が、あるしきい値以下である  $X_i$  の集合を同一の平面としてクラスタリングすることで行う。さらに、同一面における線分の端点より面の輪郭が求まり、このように認識した平面から物体の形状が認識できる。

現場での真空吸着フィンガを持つロボットによる搬送では、識別した平面のうち吸着面について最適保持位置を求める。

図11は、中空の円筒形状の物体にスリット光を投射し、その交点の3次元座標値より法線ベクトルを算出し、交点及び端点をクラスタリングしたシミュレーション結果である。端点は最も近い交点と同クラスとして分類してある。交点の座標値は物体（直径  $d = 140\text{mm}$ 、高さ  $h = 50\text{mm}$ ）上の正しい座標値  $X(x, y, z)$  の各成分にそれぞれ  $0 \sim \pm 1\text{mm}$  のランダムな誤差を付加した座標値を用いた。

上面は  $n = (0, 0, 1)$ 、 $n \cdot X = h$  に近似する交点及びこの交点を持つ線分の端点の集合として識別され、端点及びスリ

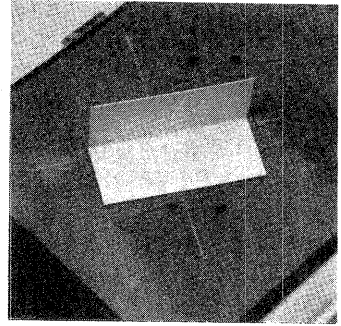


図8. 金属物体でのスリット光の反射

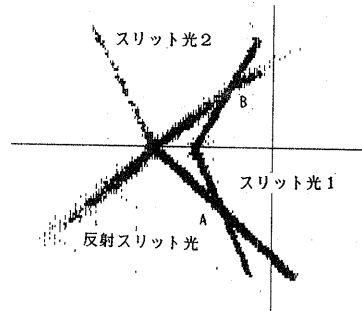


図9. 金属物体のスリット光画像

表1. 図9の2点における3次元座標値

サンプル点		3次元位置座標※ (mm)		
		X	Y	Z
A	スリット光1による点	16.1	23.9	-0.86
	スリット光2による点	16.2	24.0	-0.53
B	スリット光1による点	14.2	-1.59	30.3
	スリット光2による点	11.2	57.8	116.8

(※観測テーブル上での座標)

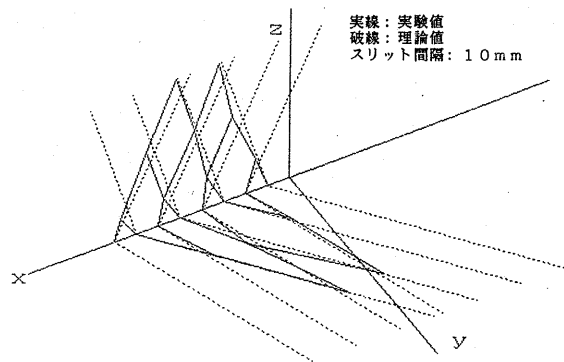


図10. 3次元位置算出結果

ット光線分の交差パターンの解析より輪郭が求まる。側面は曲面であるため、クラスタリングのためのパラメータ ( $n$ ,  $n \cdot X$ ) の値は各々の交点で異なるが、クラスタリングのしきい値を大きくとることで、数個の平面で構成される多面体として近似できる。図11ではスリット光投影部の曲面がA～Eの5つの平面として識別されている。

このような曲面が搬送のための吸着面となる場合には、しきい値は吸着可能な曲率の範囲内となる値で設定される。

### 5. あとがき

金属物体など鏡面を持つ3次元形状の物体の搬送を高速で可能にするため、2方向からのスリット光を利用した形状の認識システムを検討してきたが、この認識方法により、反射光でできる誤った情報を除去し、ほぼ正しく面情報を抽出できることが確かめられた。このシステムを搬送に利用する場合、形状の認識、特に面の領域認識が重要となるため、輪郭の認識方法についてさらに検討する。

精度については、交点検出処理精度の向上の他、カメラの取差による誤差も生じるため光学上のパラメータの補正も必要である。速度に関しては、処理内容が固まり次第DSPの使用でさらに高速化を目指す。

### [参考文献]

- [1] 杉原: "サーベイ: 画像を利用した立体計測の諸手法", 情処研報, CV33-4, 1984
- [2] 渡辺, 榎本: "両眼視による3次元情報の抽出について", 信学情報・システム部門全大, p. 1-126, 1981
- [3] 吉武, 杉藤, 杉江: "規則的パターンの投影像を利用した三次元物体の識別の試み", 情処研報, CV42-2, 1986
- [4] 小関, 中野, 山本: "光切断法を用いた実時間距離検出装置", 信学論, Vol. J68-D, No. 5, PP. 1141-1148, 1985
- [5] 岡田, 秦, 高木: "立体形状の高速認識方式", 精密工学会誌, Vol. 56, No. 6, pp. 82-86, 1986
- [6] 渡辺, 中野, 漢野: "2方向からのスリット光投影による3次元情報の抽出と認識", 情処研報, CV47-5, 1987

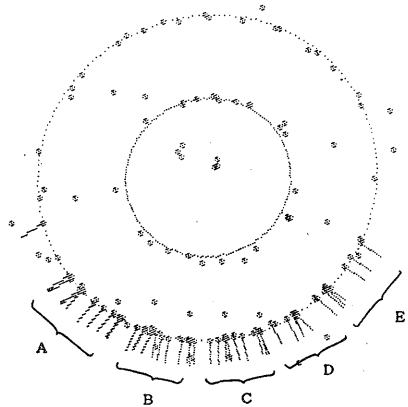
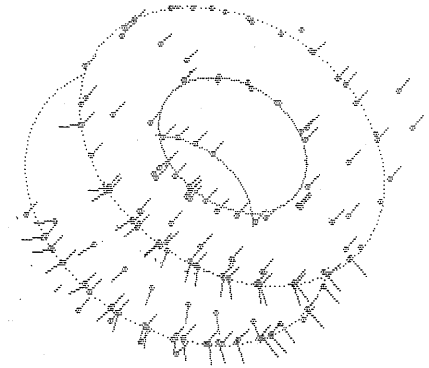


図11. 法線ベクトルによる面の認識シミュレーション