

シリンダブロック三次元認識システム

Three Dimensional Pattern Recognition System of Cylinder Blocks

沼田宗敏*

奥水大和**

Munetoshi NUMADA*

Hiroyasu KOSHIMIZU**

*横ロセフテクノロジー

**中京大学教養部

*Lossev Technology Corp.

**Chukyo University

あらまし パレット内にバラ積みされたシリンダブロックの三次元的な位置と姿勢を2眼ステレオにより認識するシステムを試作した。本システムでは、シリンダブロックの稜線エッジをGradient型 Hough変換を用いて検出し、直線セグメントの三次元的な対応を用いて、位置・姿勢の計測を行っている。68000 CPUとアセンブリ言語を用いて1ヶ当たり、約3.5秒という処理速度を達成した。

Abstract Three dimensional pattern recognition system for the cylinder blocks is presented. This system recognizes three dimensional positions of the block parts which lie randomly one upon another in a bin.

The ridgeline features of the parts are extracted from a pair of stereo images by means of a fast Hough transform algorithm controlled by the edge gradient vector. The correspondence between a pair of stereo images is realized by using the correspondences between the extracted line segments. This system is implemented on a microprocessor MC 68000 using assembly language. It was required about 3.5 seconds to process a price of cylinder block.

1. はじめに

産業用ロボットの目として、画像処理は部品アセンブリ、材料縮減、物体認識等様々な分野で研究が進められている¹⁾。ロボットが必要とする情報の多くは、形状、位置、姿勢、速度、環境等の三次元的な情報であるが、それを得る為の三次元計測技術には大別してアクティブ距離計測法(Active Range Finder)とパッシブ距離計測法(Passive Range Finder)の二つの手法がある²⁾。人間の目と同じように両眼視差から三次元的な情報を算出する二眼ステレオ法は、後者の代表的な手法である。研究の歴史も古く³⁾⁴⁾従来は画素間の対応付を利用した手法から⁵⁾⁶⁾、最近では、領域の境界線セグメントを対応の単位とする方法も提案されている⁷⁾。

本稿ではこのような背景から二眼ステレオを用いて、市場ニーズの高いロボット部品のほう取り、特にシリン

ダブロックのほう取りを想定した三次元認識システムを試作した。

第2章ではシステムの概要について述べる。シリンダブロックの稜線エッジをGradient型Hough変換を用いて認識する手法を第3章で、得られた2組の直線セグメントと両眼視差からワークの三次元的な位置と姿勢を算出する手法を第4章で紹介する。最後に実際にワークの位置と姿勢を計測した実験結果も報告する。

2. システム概要

本システムは、形状が既知である一種類のシリンダブロックが円筒の面を上にして山積みされている状態を仮定している。

2.1 システム構成

図1にシステム構成を示す。

ワーク台上にシリンダブロックを積み重ね、ワーク上方に2台のカメラを置いて2眼ステレオを形成する。ワーク座標系 x, y, z は、鉛直上方向に z 軸を、カメラ1, 2の光軸を含む面が xz 平面になるように x 軸を設定する。2台のカメラの幅視角はそれぞれ θ_1, θ_2 で、レンズの焦点距離は f 、基線長は l とする。2台のカメラからの映像信号は、三次元認識装置 LIP-30[®] に入力され画像処理される。

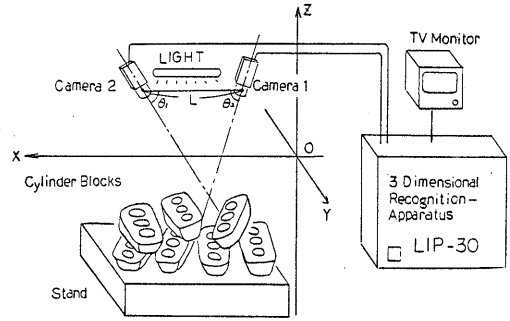


Fig.1 System configuration

2-2. 処理の過程

本システムは、図2に示すような7段階の処理過程からなる。

(1) ワークモデル登録

シリンダブロックのワークモデルを、あらかじめ登録しておく。登録の内容は下記の4項目である(図3)。

- ① 円形条件: シリンダブロックのホア穴Cは円形である。
登録パラメータ — 半径 r
- ② 穴数: シリンダブロックの気筒数 n
登録パラメータ — 穴数 n
- ③ 共線条件: 各ホア穴上部の中心点はピッチ D_1 で直線 l_1 上に並ぶ。
登録パラメータ — 穴間ピッチ D_1
- ④ 平行条件: 直線 l_1 と内側接線 l_2, l_3 は平行でありその距離は等しい。
登録パラメータ — 直線間距離 D_2

(2) 画像入力

カメラから画像をフレームメモリ(512×512×8bit)に入力する。

(3) 特徴抽出

画像中からホア穴の候補となる閉曲面を抽出する。ホア穴選択は、p-タイル法による閾値を用いた画像中の黒い部分の抽出と、登録パラメータによる、輪郭長 $l^{(i)}$ と面積 s 、水平方向径 F_h 、垂直方向径 F_v を使用した条件分岐処理によって行う。ホア穴はワークの傾きにより、楕円形や三日月形に見える場合があるので、 l, s, F_h, F_v の制限範囲は広くとっておく。こうして得られた円形条件を満足する総数 N の閉曲面を $C_i (i=1, 2, \dots, N)$ で表す。そして C_i の重心を $G_i(x_i, y_i)$ とする。

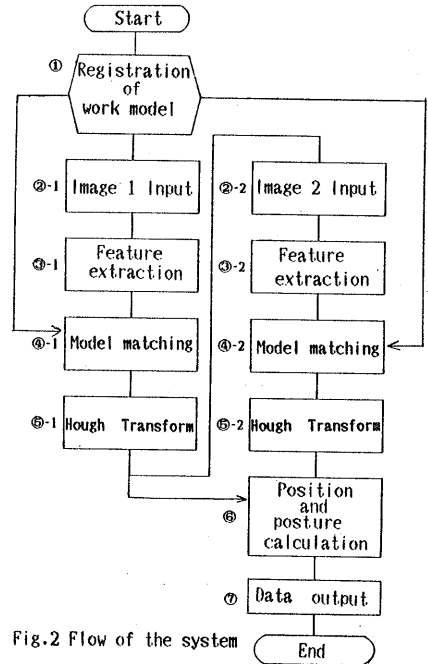


Fig.2 Flow of the system

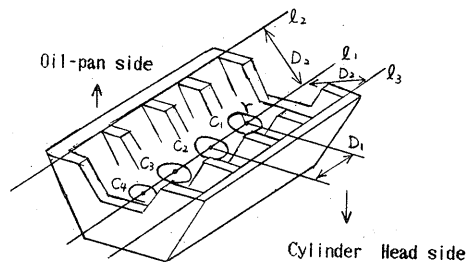


Fig.3 Work model

(4)モデル照合 — ボア穴の検出

得られた閉曲面の組の中で、共線条件を満足するN個の組を探し出す。判定には、穴数n、穴間ピッチD_i、重心間の傾き $(x_i - x_j) / (y_i - y_j)$ を用いる。得られたボア穴をc_i、重心をP_{g_i}(x_{g_i}, y_{g_i})とする(i=1, 2, ..., n)。画像上での直線l₁の式は、P_{g_i}(総数n)を一次の最小二乗法にあてはめて得られる。求めた直線の垂角をθ₁とする。

(5)Gradient型 Hough変換

ボア穴の近辺で内側稜線エッジをGradient型Hough変換を用いて探索する。

(6)位置・姿勢計算

二組の直線セグメントの両眼視差から、ワークの三次元的な位置と姿勢を算出する。

(7)出力

ワークの3次元的位置と姿勢を出力する。

3. Gradient型 Hough変換を用いた稜線検出

直線検出を目的とするHough変換において、直線の垂角θと直線上のエッジ点のGradientの傾きθ(i, j)がほぼ等しい事を利用して

$$\text{変換式 } \rho = x_i \cdot \cos \theta + y_i \cdot \sin \theta \quad (1)$$

の計算範囲を $\theta(i, j) - \Delta \theta \leq \theta \leq \theta(i, j) + \Delta \theta$ に制限可能である。沼田ら⁹⁾はGradient画像に対する非極大点抑制処理とSobelフィルタ、Gradientの傾きの平均値関数を用いて $\Delta \theta$ を2°としたが、本稿では非極大点抑制処理を行っておらず $\Delta \theta$ を10°とする。

さて直線l₁の垂角θ₁は既知であり、遠近法の歪を無視すれば直線l₂, l₃の垂角もこれに等しいので、 $\theta = \theta_1$ についてのみ(1)式を計算すればよい。そして(1)式を適用するエッジ点も、Gradientの傾きが $\theta - 10^\circ$ から $\theta + 10^\circ$ の間にある点群に限定する事が出来る(図4')。

さらに(1)式は $a = \rho / \cos \theta$, $m = \tan \theta$ と変形できるので

$$a = x_i + y_i \cdot m \quad (2)$$

という式になり、次元配列Aを用いて簡単にHough変換を行う事が出来る。

なお、直線l₂及び直線l₃と直線l₁との距離D₂は予め登録されており、図4のように4

ボア穴近くに4つの適当な大きさのウィンドウW₁, W₂, W₃, W₄を設け、その中で直線検出すれば計算コストが小さくて済む。具体的には、ウィンドウW₁, W₃の中心を通る画像水平方向走査線と検出直線の交点をそれぞれP_{w1}, P_{w3}とすれば、直線l₂は直線P_{w1}P_{w3}として与えられる。直線l₃も同様に求まる。この処理により、直線l₂, l₃が直線l₁と少し傾きが違っても正確に直線を検出できる。

4 直線セグメント対応法

左右両画像それぞれ2本の稜線エッジから、ワークの3次元的位置と姿勢を求める方法について述べる。

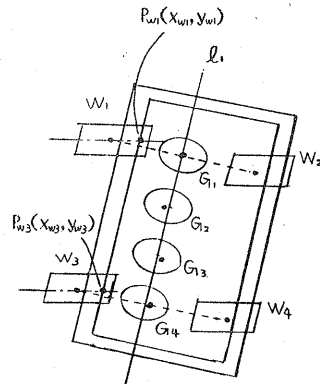
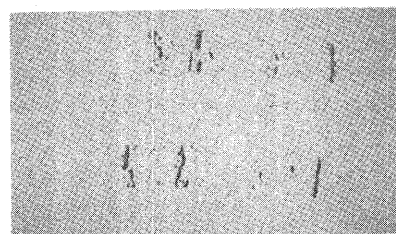
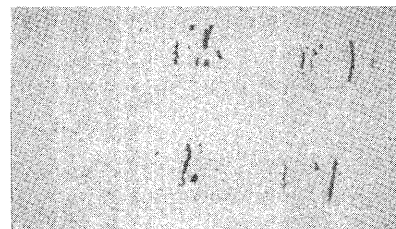


Fig.4 Setting of Windows



camera 1



camera 2

Fig.4' Processing Image

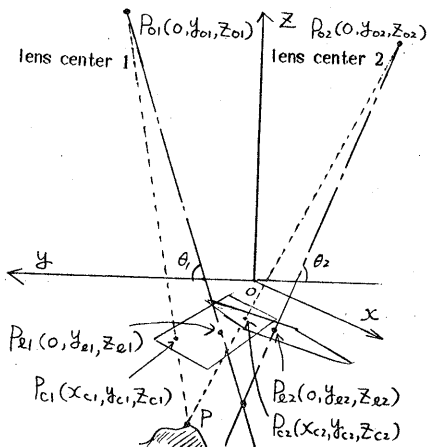


Fig.5 Screen surface

4. 1 スクリーン面

レンズ中心から物体距離だけ離れた光軸に直交する平面に視野の大きさ $A \times B$ のスクリーン面を設定する。今、カメラ1のレンズ中心を $P_{o1}(0, y_{o1}, z_{o1})$ 、カメラ2のレンズ中心を $P_{o2}(0, y_{o2}, z_{o2})$ 、スクリーン面1の中心を $P_{c1}(0, y_{c1}, z_{c1})$ 、スクリーン面2の中心を $P_{c2}(0, y_{c2}, z_{c2})$ とする。そして、ワーク座標系上の1点 P がカメラ1の画像上で点 $P'_{c1}(x'_1, y'_1)$ として、カメラ2の画像上で点 $P'_{c2}(x'_2, y'_2)$ として映っているものとする。この時、画像の大きさを $\xi \times \eta$ 、画像の中心を $P'_e(x'_e, y'_e)$ とすれば、画像座標 (x', y') からスクリーン平面 (x_c, y_c, z_c) への変換 α は次式により行える(図5, 6)。

$$\begin{aligned} x_c &= (y'_e - y') / \eta \times B \\ y_c &= y_e + (x' - x'_e) / \xi \times A \times \sin \theta \\ z_c &= z_e - (x' - x'_e) / \xi \times A \times \cos \theta \end{aligned}$$

なお、変換 α はカメラ1の場合は α_1 、カメラ2の場合は α_2 とする。

さて、ワークの稜線 l_1, l_2, l_3 が画像1上で線分 $P'_1P'_2$ と線分 $P'_3P'_4$ によって、画像2上で線分 $P'_5P'_6$ と線分 $P'_7P'_8$ によって表されているものとする(図7)。これらの点群 P'_1, \dots, P'_8 を画像座標系からスクリーン面に α によって変換する。

$$\left. \begin{aligned} P'_1(x'_1, y'_1) &\longrightarrow P_{c1}(x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}) \\ &\vdots \\ P'_4(x'_4, y'_4) &\longrightarrow P_{c4}(x_{c4}, y_{c4}, z_{c4}) \\ P'_5(x'_5, y'_5) &\longrightarrow P_{c5}(x_{c5}, y_{c5}, z_{c5}) \\ &\vdots \\ P'_8(x'_8, y'_8) &\longrightarrow P_{c8}(x_{c8}, y_{c8}, z_{c8}) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{変換 } \alpha_1 \\ \text{変換 } \alpha_2 \end{array}$$

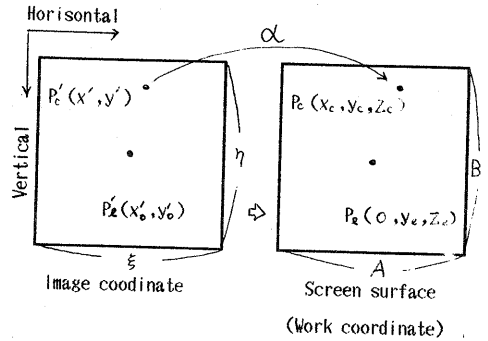


Fig.6 Image coordinate and surface

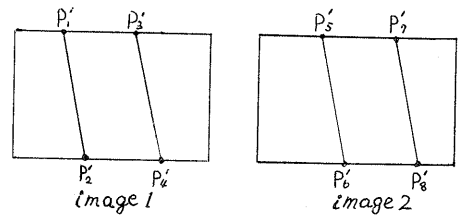


Fig.7 Edge segment model of the ridge in the stereo images.

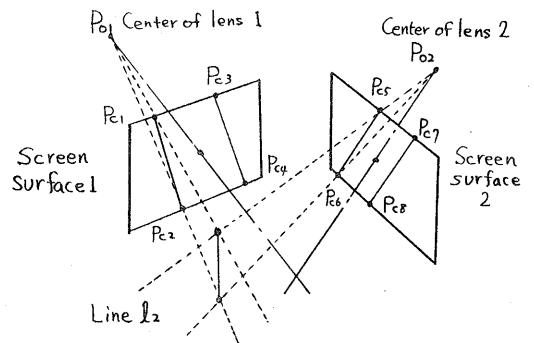


Fig.8 Detection of line l_1

直線 l_2 は平面 $P_{o1}P_{c1}P_{c2}$ と平面 $P_{o2}P_{c5}P_{c6}$ の交線として求める事ができる(図8)。また直線 l_3 も同様に平面 $P_{o1}P_{c3}P_{c4}$ と平面 $P_{o2}P_{c7}P_{c8}$ の交線として求める事ができる。

4. 2 ボア穴群中心点の算出

ボア穴群中心点は、各ボア穴上端面中心の平均座標として定義する。

画像1の各ホア穴の中心の平均座標を $P'_{g1}(X'_{g1}, Y'_{g1})$ 、画像2の各ホア穴の中心の平均座標を $P'_{g2}(X'_{g2}, Y'_{g2})$ で置き換える。これらの座標をワーク座標系に変換する。

$$P'_{g1}(X'_{g1}, Y'_{g1}) \xrightarrow{\alpha_1} P_{g1}(X_{g1}, Y_{g1}, Z_{g1})$$

$$P'_{g2}(X'_{g2}, Y'_{g2}) \xrightarrow{\alpha_2} P_{g2}(X_{g2}, Y_{g2}, Z_{g2})$$

ホア穴群中心点 $G(X_g, Y_g, Z_g)$ は、直線 $P_{o1}P_{g1}$ と直線 $P_{o2}P_{g2}$ の両方に交わる直線 g の、その二交点 H_1 、 H_2 を結ぶ線分の二分点として与えられる(図9)。一般には P'_{g1} と P'_{g2} 算出のあいまいさから、直線 $P_{o1}P_{g1}$ と直線 $P_{o2}P_{g2}$ は交わらないからである。

4. 3 ワーク姿勢と位置の算出

ホア穴群中心点 G から直線 l_2 に垂直に降ろした点を $H_3(x_{h3}, y_{h3}, z_{h3})$ 、直線 l_3 に垂直に降ろした点を $H_4(x_{h4}, y_{h4}, z_{h4})$ とする。この

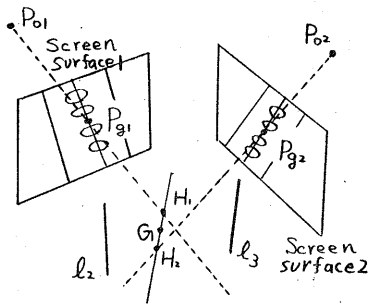


Fig.9 Center of Bores

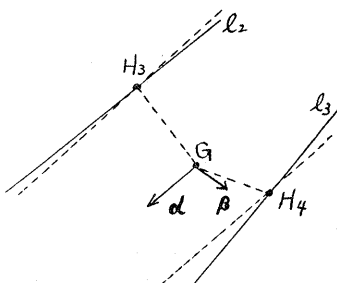


Fig.10 Posture of the work

時、ワークの縦方向の方向ベクトル $\alpha = (\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ は直線 l_2 、 l_3 の方向ベクトルの和として、ワークの横方向ベクトル $\beta = (\beta_x, \beta_y, \beta_z)$ は線分 H_3H_4 の方向ベクトルで与えられる(図10)。

ここにワークの姿勢 $(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ は

$$\theta_z = \cos^{-1}(\alpha_x / \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2})$$

$$\theta_y = \cos^{-1}(\alpha_x / \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_z^2})$$

$$\theta_x = \cos^{-1}(\beta_y / \sqrt{\beta_y^2 + \beta_z^2})$$

で与えられる。

また、稜線IJJを含むワーク上面からワーク中心までの距離を δ とすれば、ワーク中心の位置 (x, y, z) は

$$x = (x_{h3} + x_{h4})/2 - \delta \cdot \cos \theta_x \cdot \sin \theta_y$$

$$y = (y_{h3} + y_{h4})/2 - \delta \cdot \sin \theta_x$$

$$z = (z_{h3} + z_{h4})/2 - \delta \cdot \cos \theta_x \cdot \cos \theta_y$$

5. 実験

ワーク座標系の原点をカメラ2のレンズ中心に設定し、 $z = -1100\text{mm}$ の位置にワーク台を設置して1個の4気筒シリンダ-ブロックを置いた。レンズは $f = 7.5\text{mm}$ の広角レンズを用い、共通視野はワーク台上面で1m四方程度が確保されている。なお、カメラ1の幅角は $\theta_1 = 65^\circ$ 、カメラ2の幅角は $\theta_2 = 90^\circ$ 、基線長は $L = 300\text{mm}$ である(図11)。

三次元認識装置 LIP-30 は 68000cpu(10MHz) 及び 68881FPP を搭載し、画像メモリは $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 構成である。プログラムは位置・姿勢計算のみC言語で記述し、他は全てアセンブリ言語を用いた。

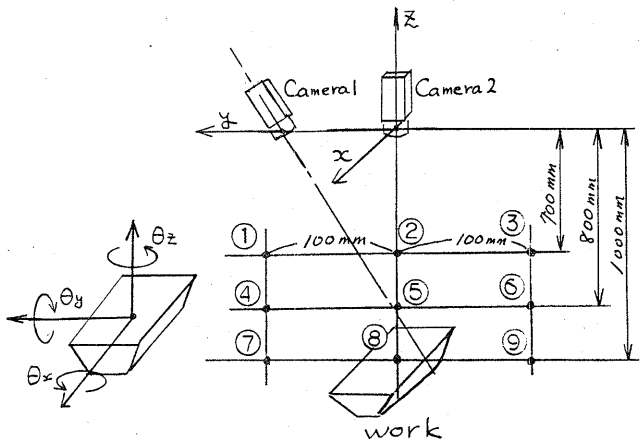


Fig.11 Measurement of work position and posture

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
X	3.0	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	1.0	2.0
Y	2.5	3.0	1.0	2.5	3.0	1.5	1.0	1.5	1.0
Z	-4.0	-1.5	1.0	-1.0	-2.5	0.5	-2.0	-2.0	-2.5

Table 1 Precision of the calculated work position (mm)

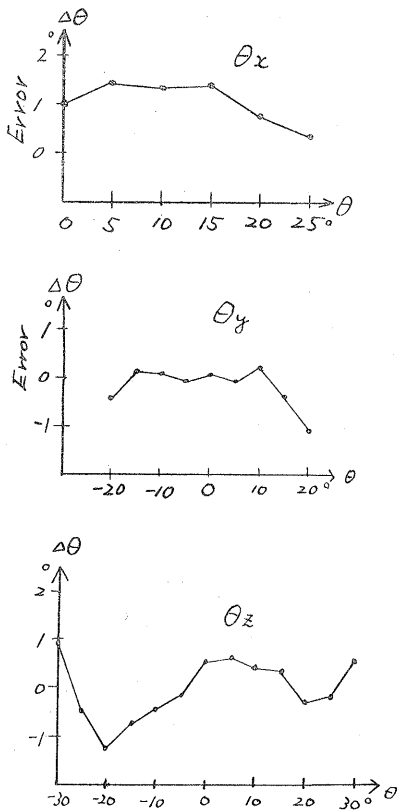


Fig.11 Precision of the calculated work posture

実験は、ワークの姿勢と x 軸の位置を固定し ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$ は全て 0° 、 $x=0\text{mm}$)、ワークの z と y の位置を変えて位置検出精度を測定する実験 (表 1) とワークの位置を固定し ($x=0, y=50, z=-1000\text{mm}$)、ワークの姿勢 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ を変えて角度検出精度

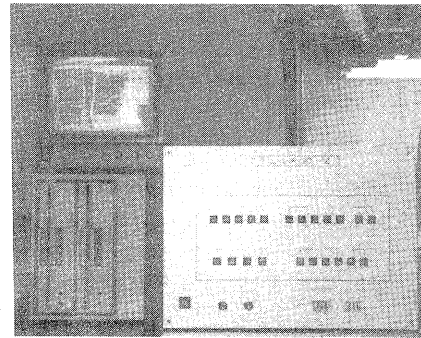
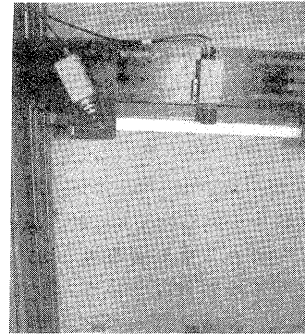


Fig.12 Appearance of the system

を測定する実験とを行った。位置検出精度は $x = \pm 2.5\text{mm}$ 、 $y = \pm 3.0\text{mm}$ 、 $z = \pm 4.0\text{mm}$ 、 $\theta_x = \pm 1^\circ$ 、 $\theta_y = \pm 1^\circ$ 、 $\theta_z = \pm 1^\circ$ 、平均処理時間は 3.5 秒であった。図 12 にシステムの外観を示す。

6. むすび

本稿では、ハレット内に積みされたリニア-ブロックの三次元的な位置と姿勢を 2 眼ステレオにより認識するシステムについて紹介した。Gradient 型 Hough 変換を用いて稜線エッジを検出し、直線セグメント対応法によりワークの位置と姿勢を認識する事が出来た。実験では広角レンズを用いた為に、画像上では直線 l_1, l_2, l_3 は平行にはならないが、ウィンドウ処理により正確に稜線エッジを検出している。また、ワークの傾きは $\theta_x = 25^\circ$ 以内を仮定して実験を行ったが、それ以外の傾きにはワークレシジョンが生じる為、3 眼ステレオを用いる等の対処が必要となる。

ア . 謝 辞

日頃御指導頂く当社山本隆弘常務取締役役に感謝します。又、有益な御討論を頂いた板谷良平技術顧問及びエレクトロニクス部金本哲君に感謝します。

文献

- 1) 興水大和: "産業応用からみた画像処理アルゴリズムの動向", *0 plus E*, 70, pp.107-122(1985)
- 2) 井口征士: "三次元計測研究最近の動向と展望", *映像情報*(1), 6月号(1986)
- 3) Marsha Jo Hannah: "Camera Models and Stereo Image Processing", Stanford University Report(1971)
- 4) 安江, 白井: "物体認識のための両眼立体視", *電総研彙報*, 37, 12, pp.1101-1119(1974)
- 5) Grimson, W.E.L.: "Computational experiments with a feature based stereo algorithm", *IEEE Trans. PAMI*-7, 1(1985)
- 6) 大田, 金出: "走査線間の整合性を考慮した2段の動的計画法によるステレオ対応探索", *情報処理*, 26, 1, pp.1356-1363(1985)
- 7) 富田文明: "ステレオ画像の領域の輪郭線特徴メントに基づく対応", *情処研資*, cv38-1, pp.1-8(1985)
- 8) 沼田, 興水: "Gradient型超高速Hough変換アルゴリズム", *情処研資*, cv51-2, pp.1-8(1987)
- 9) 横井, 鳥脇, 福村: "標本化された2値図形のフーリエ変換の性質について", *信学誌 D*, 56-D, 11, pp.662-669(1973)
- 10) 興水大和: "直線検出のためのHough曲線追跡型アルゴリズムについて", *信学誌 D*, 68-D, 11, pp.1767-1776(1985)