

縞状パターンを投光したシーンの動画画像解析

UTILIZATION OF A STRIPE PATTERN FOR DYNAMIC SCENE ANALYSIS

大阪大学基礎工学部 辻 三郎、浅田 稔

Minoru Asada and Saburo Tsuji

Osaka University

This paper describes a new idea to project a stripe pattern onto a time-varying scene to find moving objects and acquire scene features in the consecutive frames for estimating 3-D motion parameters. At first, a simple temporal difference method detects objects moving against a complex background. A 2(1/2)D representation of moving objects at each frame is then obtained by estimating surface normals from the slopes and intervals of stripes in the image. The 2(1/2)D image is further divided into planar or singly curved surfaces by examining the distribution of the surface normals in the gradient space. Finally, the rotation parameters of the objects are estimated from changes in the geometry of these surfaces between frames. Determining of translational ones is also discussed.

1. はじめに

ダイナミック・シーンにおける物体の3次元運動決定問題は、現在、コンピュータビジョンの重要な研究テーマの一つである。現在まで、単眼カメラでとらえた画像列から、物体の3次元運動を推定する幾つかの試みが発表されてきた。Ullman⁽¹⁾は、動きから構造を決定する理論(Structure from motion)を提唱し、主に直交射影の場合の再構成問題を論じてこの分野の火付け役となった。Roachら⁽²⁾は、中心射影の場合の再構成に必要な点の数やフレーム数について、TV画像を用いて検討した。Fangら⁽³⁾は、実際のシーンへの適用可能性を、幾つかの項目に分けて考察した。

これらの手法では、特徴点の画像中の変位(Image Shift)を利用して、3次元の再構成を試みるので、量子化誤差などのノイズに非常に弱く、実シーンへの適用は困難である。そこで、各画面中に含まれている3次元情報(Scene Features)を獲得する信頼性の高い手法が必要である。

3次元情報を獲得する有効な手法として、構造化された照明法(Structured Lighting)が考えられる。スリット光を走査して距離情報を得る手法や⁽⁴⁾、光源の方向を変化させて面の法線方向を求める照度差ステレオ法⁽⁵⁾は良く知られた手法であるが、スリット光の走査や、照明のスイッチングに時間が掛かり、ダイナミック・シーンには適用出来ない。そこで我々は構造化された照明法として密な縞状パターンを用いた。本手法の第一の利点として、複雑な背景から動物体を抽出するのに、簡単な時間差分法が利用できることが挙げられる。これは運動によって物体上の縞状パターンが変化し物体の領域全体の明るさの分布が変わるからである。

密な縞模様を用いた場合、投光したシーン中のパターンと画像中の縞状パターンを対応付けることは、非常に難しく、特にシーン中に多くの凸物体や面の不連続部分を含む場合は尚更である。そこで我々は、まず始めに面の法線方向を決定する手法を

提案する。即ち、直交射影、平行投光を仮定することにより、画像中の縞状パターンの傾きと、幅から、縞による線上の各点の法線方向を決定できる。これにより、各画面内で動物体の2・(1/2)次元の表現として、法線ベクトル図が得られる。

次に、勾配空間に射影された法線ベクトルの分布図を解析することによって、平面と柱面の様に平面に展開できる曲面(Singly Curved Surface)を抽出し、各画面で得られた法線ベクトル図をこれらに対応する領域に分割する。各点の法線ベクトルは局所的に求められているので、それ程精度は良くない。しかし、分割された領域内の法線ベクトルは、それらの属する面のパラメータを利用することにより、高精度化出来る。

各領域の画面間の対応付けは容易なので、これらの面のパラメータの変化から、3次元運動のうち、回転成分を求めることができる。また並進成分を決定するために必要な距離情報の獲得についても論議する。

2. 手法

2.1 動物体の抽出

静止している部分と変化している部分を切り離すことは、動画像解析の第一ステップである。連続画面間で明るさの差をとる時間差分法は、動物体抽出のための有効な情報を与えてくれるが、動物体の領域全体の形状を正しく抽出することは難しく、通常の照明法による場合、連続差分画像の利用等が考えられる⁽⁶⁾。

縞状パターンを投光した場合、物体上の縞状パターンは平面が自分自身に平行に移動することを除いて、その物体の運動によって、位置、傾き、幅などが変化し、物体の領域全体の明るさの分布パターンが変化する。よって連続画面間の時間差分画像は、動物体の領域全体で高い値を示し、通常の照明法による場合と比較して、計算時間が短縮できる。

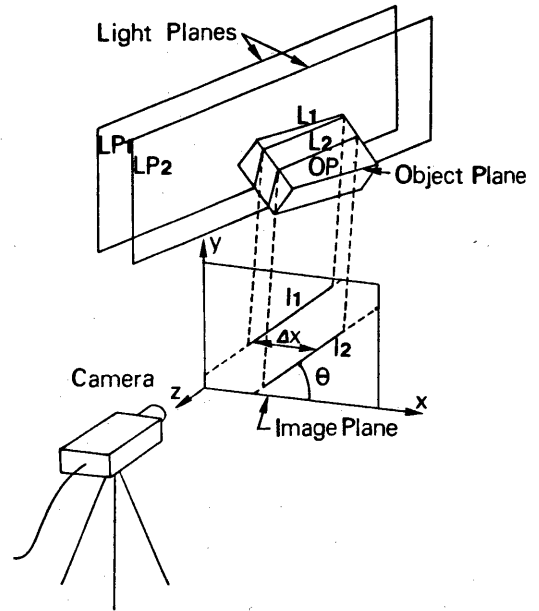


図1. 法線決定原理図

2.2 法線方向の決定原理

面の法線方向は、画像中の縞状パターンの傾きと幅から、局所的に唯一に決定できる。以下では、その原理を示す。

図1は、縞状パターン投光による投光面と物体面の幾何学的位置関係を示したもので、カメラ(観測者)中心のX Y Z-座標系で表している。今、互に平行な投光面LP₁, LP₂と物体面OPの方程式を次の様に定義する。

$$LP_1 : P_s \cdot X + Q_s \cdot Y + Z = D_1 \quad (1)$$

$$LP_2 : P_s \cdot X + Q_s \cdot Y + Z = D_2 \quad (2)$$

$$OP : P_o \cdot X + Q_o \cdot Y + Z = C \quad (3)$$

但し、(P_s, Q_s)は照明方向を記述するパラメータであり、(P_o, Q_o)は求めたい法線方向である。投光面LP₁(LP₂)と物体面OPの交線L₁(L₂)の画像面への投影像l₁(l₂)の方程式は(1-3)より、次式で与えられる。

$$Y = -(P_s - P_o) \cdot X / (Q_s - Q_o)$$

$$+ (D_1(2) - C) / (Q_s - Q_o) \quad (*直交射影)$$

これらの方程式より、画像中の縞状パターン

の傾きと x 軸方向の間隔は次のようになる。

$$\tan \theta = -(P_s - P_o) / (Q_s - Q_o),$$

$$\Delta x = (D_2 - D_1) / (P_s - P_o).$$

よって、物体面 OP の法線方向 (P_o, Q_o) は、

$$P_o = -(D_2 - D_1) / \Delta x + P_s,$$

$Q_s = -(D_2 - D_1) \cdot \tan \theta / \Delta x + Q_s$,
として与えられる。即ち、面の法線方向 (P_o, Q_o) は縞状パターン画像中の傾き ($\tan \theta$) と幅 Δx から局所的に計算できる。

*尚、動物体の抽出や法線決定のための縞状パターンの傾きと幅の算出に関しては、具体的な方法は文献(7)を参照されたい。

2.3 画面間の対応付けと回転運動の決定

各画面で得られた3次元情報(ここでは法線ベクトル図)を利用して、物体の3次元運動を決定する。

個々の法線ベクトル自身は、その点の近傍の面の局所的な特性(向き)しか与えないが、集合として考えると、面の大局的な性質、即ち、平面なのか、平面に展開できる曲面(Singly Curved Surface)なのか、それとも球の様に平面に展開できない曲面(Doubly Curved Surface)なのかの判別に有効な情報を与えてくれる。

球などの曲面は、その法線ベクトルの向きの分布が広範囲に渡り、(1)同定が難しい、(2)仮に同定されたとしても、画面間の対応付け(単に領域としてではなく、運動パラメータも求められるという意味で)が難しい、との理由から、ここでは扱わない。我々はこれらの面よりも、むしろ平面や柱面などの方が、3次元物体の識別や同定のためのkey特徴になると考えている。

そこで、まず最初に得られた法線ベクトルを勾配空間に写像し、平面と平面に展開できる曲面を発見する。同一平面上の法線ベクトルは勾配空間上で、一点に集中シク

ラスターを構成する。クラスター内の法線ベクトルを法線ベクトル図上に逆写像することにより、平面領域が同定できる。また、その領域内で7画素より長い直線と広い間隔(その領域内の左右の端)を利用して、平面の方向をより正確に求める事ができる。

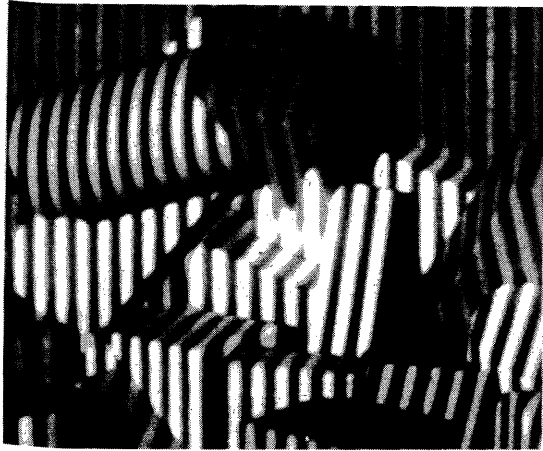
次に、平面に展開できる曲面、例えば柱面などの場合、法線ベクトルは一直線上に並ぶ。そしてこの直線のパラメータから、柱面の母線の3次元空間での向きが判る。この情報を利用して、平面の場合と同様に面のパラメータを高精度化できる。

この様にして、各画面の法線ベクトル図を、領域分割しておけば、画面間の領域の対応付けは、画面間の変化が少ない(時間的に充分細かくサンプルしている。)ので容易である。物体の剛体性を利用して、これらの面のパラメータの変化から画面間の回転運動のパラメータを求める。

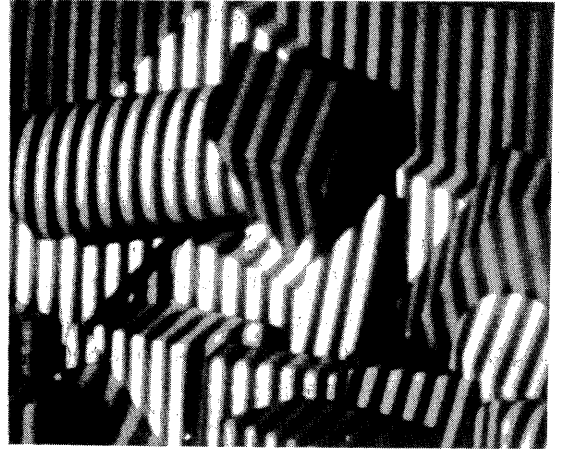
2.4 距離情報の獲得と並進成分の決定

2.3で得られる面の型や方向パラメータから回転運動は求められるが、並進成分の決定に関する情報はあまり与えてくれない。並進成分の決定には距離情報が必要であるが、先にも述べたように投光されたストライプと画面上のストライプとの対応が取れないかぎり、一般には距離情報が得られない。しかし、これまでの解析から各面の領域が既知であり、直交射影、平行投光(光源方向既知)の条件から次の4段階の距離情報の獲得レベルが考えられる。これら4つのレベルと並進成分決定の関係について考察する。

[1] 領域内の距離情報: 既に面の領域として同定されているので(当然、距離連続)、領域内でのストライプの番号付が可能であり、その領域内での距離情報が各画面で得られる。しかし画面間の位置関係が不明なので並進成分決定に関する情報は殆ど得ら



(a) 第2フレーム



(b) 第5フレーム

図2. 入力画像の一部

れない。

[2] ひとつの領域とその近傍の背景との位置関係：動物体と背景が離れている場合、影が見える確率が高い。影の部分が抽出できれば、光源方向が既知なので背景のストライプと動物体のある領域内のストライプとの番号付が可能であり、画面間での領域の位置関係が判る。よって画面間の並進成分に関して、その領域が平面であれば、その面に垂直な成分が決定できる(3つの内1つ)。また柱面であれば、軸方向の自由度が残る(3つの内2つ決定)。但し、各領域ごとの成分であり、動物体全体の並進成分とは異なる。

[3] 領域間の位置関係：領域間でストライプが連続であれば、その領域間で距離連続という仮説が立てられる。全ての画面で連続であれば、この仮説を真と見なす。ただし常に真とは限らない。

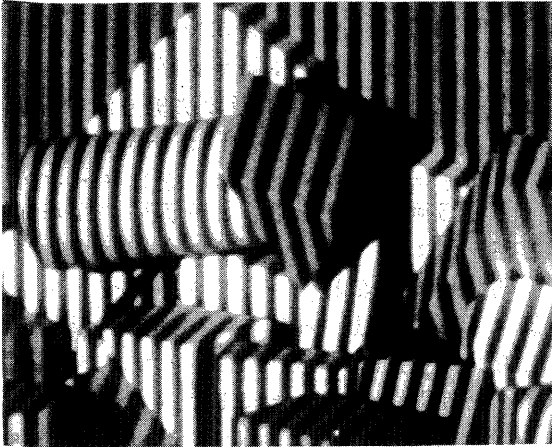
[4] 動物体全体と背景との距離および位置関係：[2],[3]をうまく利用してストライプの番号付の推論を繰り返せば、解が求められる可能性がある。これが求めた時点で異なる向きの平面領域が3つ以上あれば、並進成分を唯一に決定できる。実際のシー

ンでは様々な問題があり、最終レベルの距離情報を得ることは難しい。

3. 実験

3.0 設備

使用した計算機はNEC製16ビットパソコンPC-9801Fを中心としたシステムで、増設メモリをフル装備し、他に8087演算プロセッサ(但し5MHz)、ハードディスク(10MB)、カラーディスプレイ、カラープリンターを擁している。また画像入力装置としてEDEC社製のA/Dコンバータと画像メモリ(256*256点、8bit/点、4画面)を使用している。これらの画像メモリはCPUの主記憶として利用できる。10枚までの実時間画像入力が可能である。使用言語は、CP/M-86上で動くパスカル言語PASCAL/MT+86とアSEMBラー言語ASMT-86である。縞状パターンは、35mmのスライドフィルム上に作成され、1Kwのハロゲンランプを光源とするスライドプロジェクターから投光される。



(c) 第8フレーム

3.1 撮像条件と入力画像

直交射影，平行投光を仮定するために，撮像範囲の水平距離約30cmに対して，カメラ及び投光器から物体までの距離を約4m(水平面角にして約4度)とっている。(カメラと投光器のなす角は約15度。) 近似誤差は画像の両端で最も大きい，決定される法線ベクトルに含まれる誤差は，最悪の場合でも，理論的には約1.2度であり，ほとんど問題ないと思われる。

縞状パターンのパラメータ $P_s, Q_s, D_2 - D_1$ の値は，石膏の球を用いて最小二乗法で求めた。石膏球の真球度がやや落ちるため，各パラメータに対する標準偏差は， P_s で約0.3度， Q_s で約1.1度，縞の間隔 ($D_2 - D_1$) で相対誤差約6%であった。

実験は図2に示すようなシーンを対象に行なった。1秒間に4枚の割合で，連続8画面入力し，その第2,5,8フレームを図2(a), (b), (c)にそれぞれ示している。非常にたくさんの積木があり，その上を三角柱がくっついた円柱が動いている。システムの有効性を示すため，動物体につや消し白などの塗装は施さず，むしろ暗い色(円柱はワインレッド，三角柱はダークブルー)そのままを使用した。背景が複雑なので，動物体の抽出は非常に難しく見える。

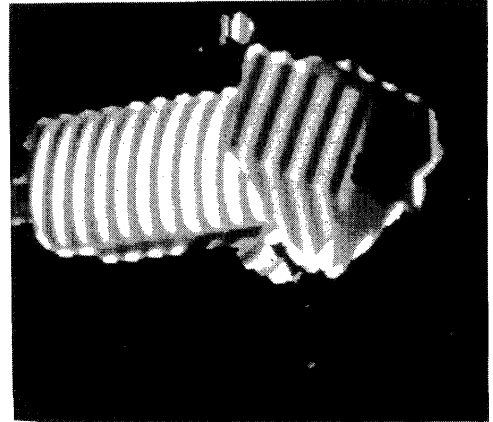


図3. 第5フレーム中の動物体

3.2 動物体の抽出

動物体抽出の詳細は文献(7)を参さされた。ここでは抽出結果を示す。(図3)

3.3 法線ベクトルの決定

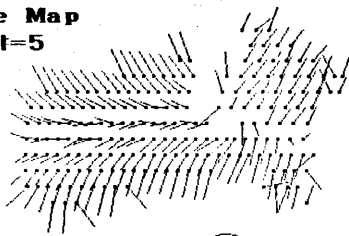
次に，図2を空間微分し，エッジを抽出する。連結するエッジは7画素毎に，最小二乗法で直線近似され，これらの直線パラメータから法線ベクトルが算出される。第5フレーム中の動物体に対して得られた法線ベクトル図，またそれらを勾配空間に写像した時の分布図をそれぞれ図4，5に示す。

3.4 運動解析

図5から判るように，動物体は平面と柱面を持つ。三角柱の下の方の平面は，柱面の母線方向に平行(円柱の底面に垂直)なので，この平面に対する勾配空間でのクラスターは柱面による線上のクラスターに吸収されてしまい，勾配空間だけの解析だけでは，この平面を抽出できない。しかし，法線ベクトル図での領域分割や，柱面のパラメータ(面の曲率等)を調べることにより抽出出来る(図6,7)。

同定された各面に対して，勾配空間から

Needle Map
frame#5



unit vector

図4. 求められた法線ベクトル

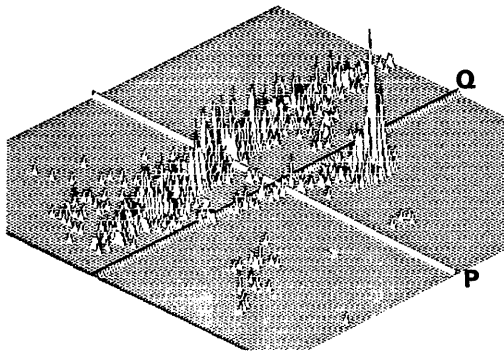


図5. その勾配空間への写像(鳥瞰図)

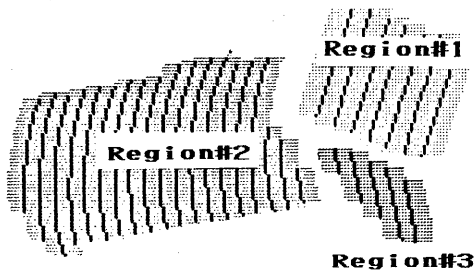


図6. 面の性質を利用した領域分割

法線ベクトル図上に逆写像することにより、法線ベクトル図の分割が出来る。各領域内で母線方向等を利用して、面のパラメータを高精度化する。画面間の領域の対応付けは易しいので、物体の剛体性を利用して、これらの面のパラメータの変化か

ら、画面間の回転運動を求めた。図8に第2, 5, 8画面に対する結果を示す。軸のない小円は面の方向を(平面は法線方向、柱面は軸の方向)、また軸の付いた小円は回転軸の方向を示す。AXIS 1, 2はそれぞれ第2, 5画面間と第5, 8画面間の回転軸方向を示す。

剛体性の目安として各領域間の交叉角を調べると、領域1と2では40.8度、領域2と3では88.5度、領域3と1では88.6度で、画面間のばらつきは1度以内に収まっている(表1.参照)。また回転軸方向のばらつきも3度以下である。

3.5 距離情報について

2.4でも述べたように動物体に関する距離情報は本実験でも部分的に求められる。各領域の距離の再構成図を図9に示す。領域1と2に関しては図10に示すように、それぞれ背景に映った影の情報から、背景に体する距離情報が得られた。領域3に関しては影の抽出が難しく背景との位置関係は不明だが、ストライプが領域1と全画面にわたって連続しており、領域1と連結していると思われる。

今回の実験では背景が複雑なので各領域

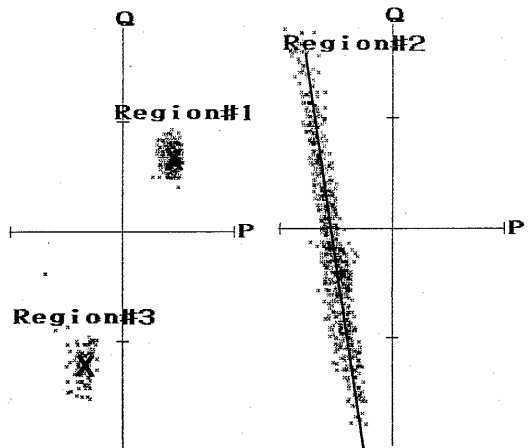


図7. 勾配空間の分布図

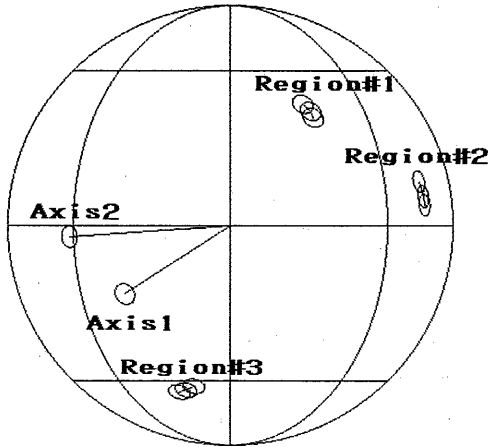


図8. 面の向きの変化と回転運動

Frame#	2	4	5	8	Mean	S. D.
Region#						
1 & 2	40.1	40.9	40.9	41.4	40.8	0.47
2 & 3	87.6	89.7	88.1	88.7	88.5	0.78
3 & 1	87.4	89.5	88.6	88.8	88.6	0.76

(degree)

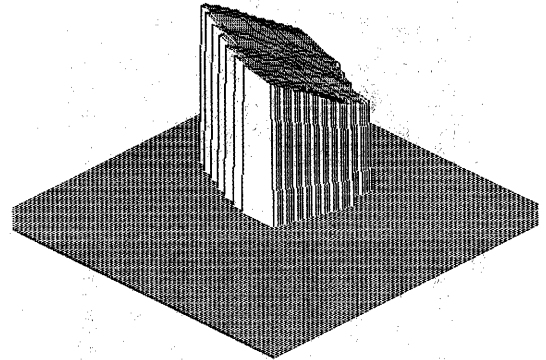
表1. 領域間のなす角度

に対する背景全体の位置関係が求めらず、2.4で述べた[4]のレベルの距離情報は得られなかった。各領域の属性(平面or柱面)が既知なので得られた距離情報から最小自乗近似すると、平面(領域1と3)で偏差が視野(256画素)の0.2%、柱面で同じく0.3%であった。

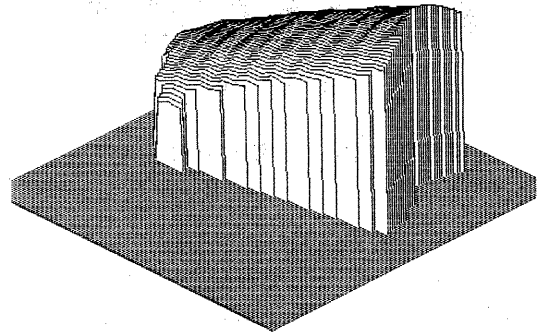
4. まとめ

本報告では、縞状パターン投光法をダイナミックシーンに適用し、その有効性を示した。縞状パターンを投光することにより、

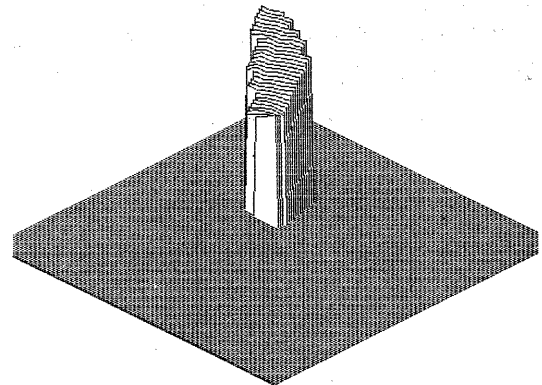
- [1] 簡単な差分法で動物体が抽出できた。
- [2] 各画面で得られた3次元情報、ここでは法線ベクトル図を利用して、回転運動を求めることが出来た。
- [3] 距離情報に関しては、法線ベクトルの解析結果を利用することにより部分的には求められたが、今回の実験では並進成分を



Region#1

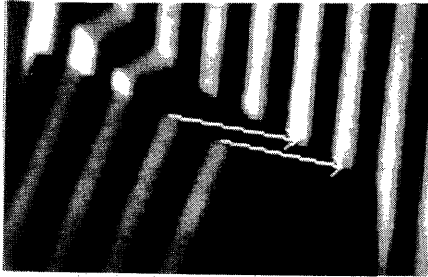


Region#2

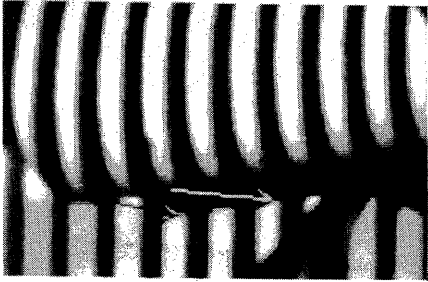


Region#3

図9. 各領域の距離図



Region#1



Region#2

図10. 影の情報

完全に決定するには至らなかった。

縞状パターンの較正には、今回石膏の球を用いたが、材質が実験で使った積木(塗装面)と異なることや、その真球度があまり良くなかった。より正確な法線ベクトルや距離情報は、較正方法をもう少し工夫すれば、得られるであろう。

参考文献

- (1) S. Ullman, "The Interpretation of Visual Motion," MA: MIT Press, 1979.
- (2) J.W. Roach and J.K. Aggarwal, "Determining the Movement of Objects from a Sequence of Images," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-2, pp. 554-562, 1980.
- (3) J.Q. Fang and T.S. Huang, "Some Experiments on Estimating the 3-D Motion Parameters of a Rigid Body from Two Consecutive Image Frames," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-6, pp.545-554, 1984.
- (4) M. Ohsima and Y. Shirai, "A Scene Description Method Using 3-Dimensional Information," Pattern Recog. vol.11, pp.9-17, 1979.
- (5) K. Ikeuchi, "Determining Surface Orientations of Specular Surface by Using the Photometric Stereo System," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-2, 1981.
- (6) 浅田, 谷内田, 辻, 『運動物体の検出と追跡』, 信学論62-D, pp.395-402, 1979.
- (7) 浅田, 市川, 谷内田, 辻, 『縞状パターン投光法による面の法線方向の算出及びその応用(動画像への適用)』, 信学研資PRL84-76, 1985.