

物体移動による仮想的無限遠点を用いた 3次元移動の解析

名倉 道長 齋藤 制海 北橋 忠宏
(豊橋技術科学大学)

あらまし カメラ固定の連続画像から奥行き方向の成分をもつ移動をしている物体の3次元運動の解析を行なった。奥行き方向に直線運動をしている物体は画像中では大きさを変化させながら移動するように見える。物体の運動を代表する点として物体の像を多角形で近似しその頂点を特徴点とした。各画像間に対応する特徴点を結んだ線は「仮想的無限遠点」で交わる。この点と各特徴点との画像中の位置関係から3次元的な位置関係を求める式を用いた。実験室内で撮影した連続画像を用いて処理を行ないその実験結果を示す。

1. まえがき

移動物体を含む連続画像の処理において、物体が画像平面に対して平行に移動するような場合にはその解析は比較的容易であり、すでに多くの考察が報告されている⁽¹⁾。しかし、物体が奥行き方向に移動している場合には、大きさや形状が変化するためその移動量を求めることは単純でなく、これまでほとんど考察されなかった。

各時点における移動物体までの距離を計測できれば移動状況が求まる。距離測定の方法はステレオグラムやレンジファインダによる方法があるがそれぞれに難点がある。前者は処理すべき画像が多くなりしかもその処理は容易でない。後者は高価な特殊装置を必要とする。画像は透視図法の変形を受けることはよく知られている。本報告は透視図法に基づく画像からの3次元的情報抽出法を利用する。

本報告では、物体の移動を単純な直線移動と仮定することによって、「仮想的無限遠点」なる概念を提案し、各画像中で変化する移動物体上の点との3次元的な位置関係を求める式を導出

1. 実際の画像から3次元的な移動量を求めることに成功したのでその実験結果を報告する。

2. 仮想的無限遠点

一般の位置を保ちながら物体が奥行き方向の成分をもつ運動をしているとき、画像中の移動物体は、形状を保持

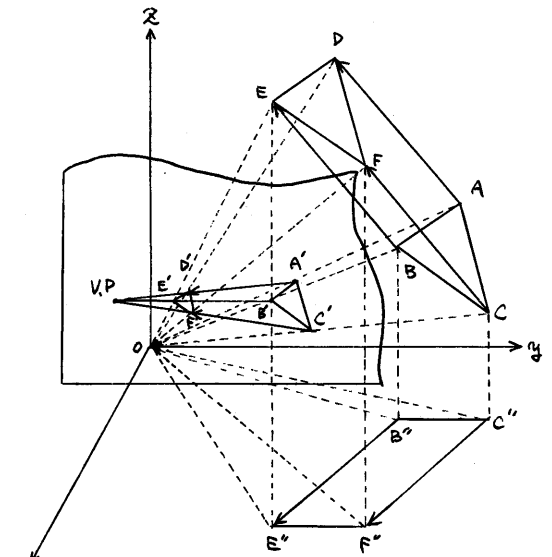


図1 仮想的無限遠点

相似的变化させながら多くの場合上下移動を伴った左右方向への移動を行なっているように見える。移動物体が剛体で形を変えずに直線運動をしていると仮定すると、この現象は次のように説明される。図1のように移動物体上の各点の軌跡は、空間中に平行線分を形成する。(AD//BE//CF) よく知られているように、これらの線分を延長した直線はレンズを通して画面上に投影されたとき、射影変換を受け画像中では1点(図1のV.P.)を通る直線となる。この点を「仮想的無限遠点」と名付け、移動物体上の特徴点との位置関係から次節のように奥行き方向を含む次元な移動量が算出できる。

3. 幾何学的解析

画像平面内の「仮想的無限遠点」と3次元空間の直線との関係について述べる。^{(2),(3)}便宜上図2のように3次元空間の座標系を定義する。カメラの位置を原点にとり、光軸方向をx軸、それ

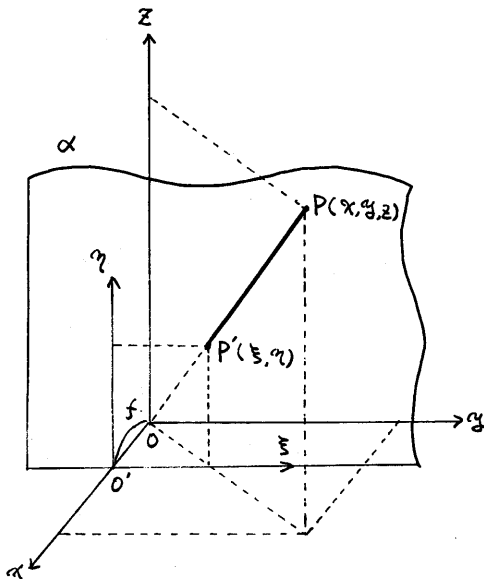


図2 3次元座標と画像平面座標

と直角に水平方向をy軸、垂直方向をz軸とする。

いま画像平面 α を3次元座標系の平面の方程式 $x=f$ で与えるものとする。このとき画像平面の座標系をxi軸とeta軸に平行にxi軸、eta軸に平行にeta軸にとると3次元空間の任意の点 $P(x, y, z)$ はその点と原点 O とを結んだ直線が画像平面 α と交わる点 $P'(\xi, \eta)$ に写像される。このとき3次元座標系と画像平面の座標系との間には、

$$\begin{cases} \xi = \frac{f}{x} \cdot y \\ \eta = \frac{f}{x} \cdot z \end{cases} \quad (1)$$

なる関係がある。

次に直線が画像平面上にどのように写像されるかを考える。方向余弦 l, m, n をもつ点 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ を通る直線の方程式は、

$$\frac{x-x_0}{l} = \frac{y-y_0}{m} = \frac{z-z_0}{n} \quad (2)$$

で表わされる。(2)式を(1)式に代入すると、

$$\begin{cases} \xi = \frac{x-x_0}{x} \cdot \frac{m}{l} \cdot f + \frac{f}{x} \cdot y_0 \\ \eta = \frac{x-x_0}{x} \cdot \frac{n}{l} \cdot f + \frac{f}{x} \cdot z_0 \end{cases} \quad (3)$$

を得る。(3)式は x を消去することによって容易に直線を表わす式であることが分かる。また $x \rightarrow \infty$ としたときの ξ, η の値をそれぞれ ξ_∞, η_∞ で表わすと、

$$\begin{cases} \xi_\infty = \frac{m}{l} \cdot f \\ \eta_\infty = \frac{n}{l} \cdot f \end{cases} \quad (4)$$

となる。(4)式は同じ方向余弦をもった直線群は、1点 $(\xi_\infty, \eta_\infty)$ に収束する

ことを示している。この点が「無限遠点 (消点: *vanishing point*)」と呼ばれるものである。この点は画像平面内の2直線が、3次元空間で平行線であることを示している。この点を、その交点として求めることができることを示している。 ξ_0, η_0 を用いて(3)式を変形すると(5)式を得る。

$$\begin{cases} \xi = \xi_0 \left(1 - \frac{x_0}{x}\right) + \frac{f}{x} x_0 \\ \eta = \eta_0 \left(1 - \frac{x_0}{x}\right) + \frac{f}{x} z_0 \end{cases} \quad (5)$$

点 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ に対応する画像平面内の座標を $P'_0(\xi_0, \eta_0)$ 、同様に点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ に対応する座標を $P'_1(\xi_1, \eta_1)$ としたときの関係を求めると、

$$\begin{cases} \xi_0 = \frac{y_0}{x_0} \cdot f \\ \eta_0 = \frac{z_0}{x_0} \cdot f \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \xi_1 = \xi_0 \left(1 - \frac{x_0}{x_1}\right) + \frac{y_0}{x_1} \cdot f \\ \eta_1 = \eta_0 \left(1 - \frac{x_0}{x_1}\right) + \frac{z_0}{x_1} \cdot f \end{cases} \quad (7)$$

を得る。(6), (7)式より

$$\begin{cases} \frac{x_1}{x_0} = \frac{\xi_0 - \xi_1}{\xi_1 - \xi_0} = \frac{\eta_0 - \eta_1}{\eta_1 - \eta_0} \\ \frac{y_1}{y_0} = \frac{\xi_1}{\xi_0} \cdot \frac{x_1}{x_0} = \frac{\xi_1}{\xi_0} \cdot \frac{\xi_0 - \xi_1}{\xi_1 - \xi_0} \\ \frac{z_1}{z_0} = \frac{\eta_1}{\eta_0} \cdot \frac{x_1}{x_0} = \frac{\eta_1}{\eta_0} \cdot \frac{\eta_0 - \eta_1}{\eta_1 - \eta_0} \end{cases} \quad (8)$$

を得る。(8)式によって3次元の移動量を求めることができる。

また方向余弦 l, m, n には、

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (9)$$

なる関係があるから(4), (9)式より

$$\begin{cases} l = \frac{\pm f}{\sqrt{f^2 + \xi_0^2 + \eta_0^2}} \\ m = \frac{\pm \xi_0}{\sqrt{f^2 + \xi_0^2 + \eta_0^2}} \\ n = \frac{\pm \eta_0}{\sqrt{f^2 + \xi_0^2 + \eta_0^2}} \end{cases} \quad (10) \quad (\text{符号同順})$$

を得る。したが、 f が既知であれば方向余弦も決定することができる。

4. 実験

移動量算出に画像から抽出する必要のあるものは「仮想的無限遠点」と移動量算出の対象となる特徴点である。「仮想的無限遠点」の抽出には種々の方法が考えられるが本実験では、抽出した特徴点の対応づけを行ない各対応点どうしを結んだ線の交点として求めた。移動量の抽出にもこの特徴点を利用した。

図3は処理手順を簡単に表わしたブロックダイヤグラムである。以下この手順に従ってその詳細を説明する。

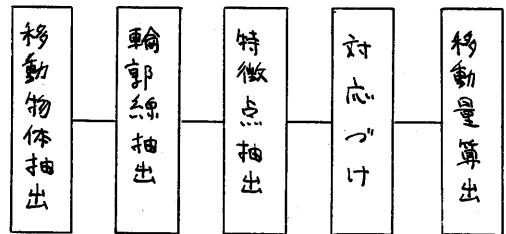


図3 処理手順

4.1 移動対象物のモデル

移動物体の3次元の運動を解析する場合、対象物の形態によってその処理に固有な問題が生ずる。

- (1) 移動物体が剛体でない場合
- (2) 移動物体が回転移動をしている場合
- (3) 移動物体の一部が他の物体のかけにかくれてしまう場合
- (4) 移動物体が奥行き方向に移動して大きさが変化する場合等

これらの移動によって画像中の移動物体の形状や大きさに変化が生ずる。これらの変化はまったく同じように観測され何によって生じた変化なのか区別することが難しいものもある。すべての変化を含む運動を解析することが困難であることは言うまでもない。

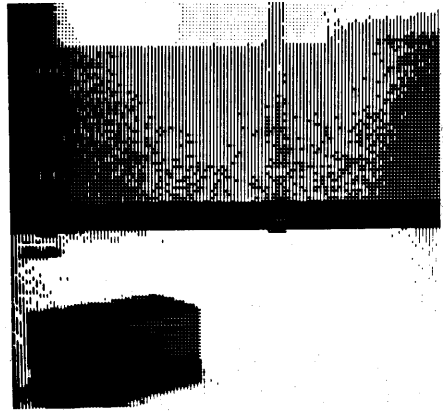
したがって多くの場合、移動物体の形状の変化をある特定の原因によって生じたものと限定して、一つのモデルを作り解析している。すでに(1)、(2)の場合についてはいくつかの研究が報告されている^{(4),(5)}。(3)の場合は単独で研究されることは少なく他の場合とともに研究されている。

本実験では今まで比較的研究されていなかった(4)の場合の運動を解析することを目的としたモデルを考える。特徴点などの抽出を容易にするために移動物体を簡単な幾何学的図形(直方体の箱)とし、物体の各面の明るさはそれぞれほぼ均一であり、一般の位置にあって形状変化をもたらしないうような直線運動を考える。

4.2 入力画像

図4は実験に使用した画像の一部をグラフィックディスプレイで表示したものである。これらの画像は実験室内の床に移動対象物となる直方体の箱を置き、直線に沿って一定の間隔で移動させたものをテレビカメラで撮影し入力したものである。画像はすべて画素数 256×128 で、量子化レベル数は 256 レベルである。実験ではこのよう

な画像を5枚と、後で述べる移動物体抽出用の背影画像の計6枚の画像を使用している。



(a) 1枚目の入力画像

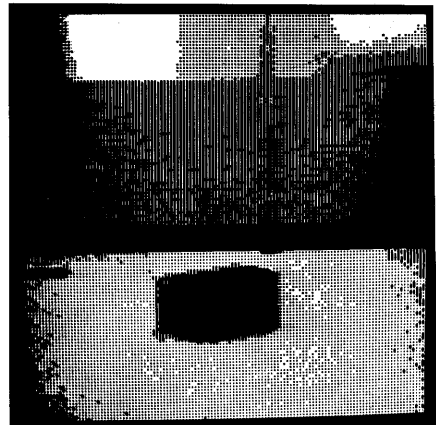


図4 (b) 3枚目の入力画像

4.3 階層構造

処理する画像が 256×128 と大きいので画像全体を取り込で処理するのは処理時間を長くする原因となる。実験では移動物体の部分のデータが必要であって、他の部分のデータはあまり必要でない。画像に階層構造をもたせて処理することは処理時間を短縮する上で有効である。粗い画像を用いて移動物体の大きさを求め、細かい

画像からその部分を切り出して計算機上で処理するデータの量を減らして高速化を計り特徴点などを抽出した。

4.4 移動物体の抽出

移動物体の抽出方法に関する多くの研究が報告されているが、移動物体の形状、明度分布、移動量、処理する画像の数等によってその処理方法は大きく異なる。これらの処理は複雑で処理時間も比較的長いのが普通である。

本報告では移動物体の抽出は1種の前処理と考え、アルゴリズムが簡単で処理時間の短い方法を用いることにした。何らかの方法で各画像に共通する背景を抽出し、その背景との差画像から容易に移動物体が抽出できる⁽⁷⁾。本実験では予め背景画像を用意しておいて、その差画像から移動物体を抽出している。

4.5 輪郭線の抽出

移動物体は背景画像と入力画像との差画像を適当な値で2値化することで容易に得ることが出来る。しかし、移動物体はふっやう影を伴っていることが多く、このため2値化レベルの値によって形状が大きく変化することがある。この現象を防ぎ移動を代表する特徴点を抽出しやすくするために差画像を微分し、その絶対値の大きい部分を輪郭部として抽出した。このときの微分オペレータには輪郭部が細い線状に得られるようにロバートのクロスオペレータを用いた。

図5は背景画像と図4(a)の入力画像との差画像のエッジ検出を行ない、上位5%をとって2値化したものである。さらに太さ1の輪郭線を抽出するために、このエッジ画像を田村の並列型アルゴリズムによる2値図形の細線

化プログラムを用いて細線化を行なった。このときの連結数は斜めの線を強調するために8連結を用いた。

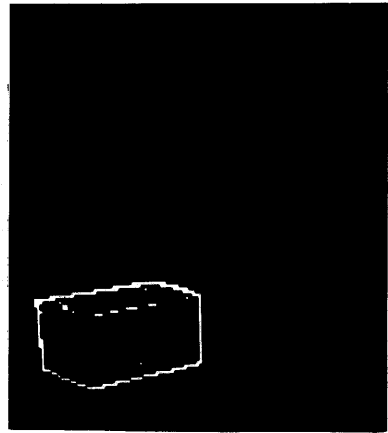


図5 エッジ画像の例

4.6 特徴点の抽出

移動物体の像が奥行き方向の移動によって相似的な変形を受けることは前にも述べたが、このような変形に対して常に維持され、抽出し易い点が特徴点として望ましい。多角形に相似的な変形を加えた場合、その頂点が維持されることはその作図方法からも明らかである。そこで抽出した移動物体の輪郭線を多角形で近似し、その頂点を特徴

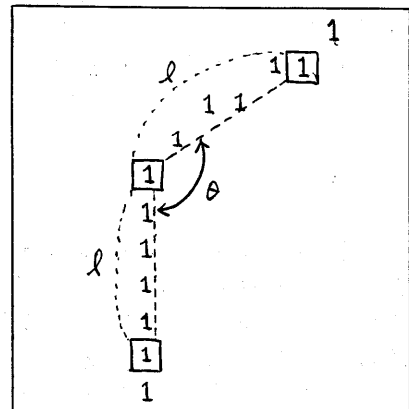


図6 角度の測り方

点として抽出した。

図6のように輪郭線上の各点でその点から距離 L (実際にはピクセル)だけ離れた2点とその点を結んだ2線分のなす角度を求めると図7のような分布になる。

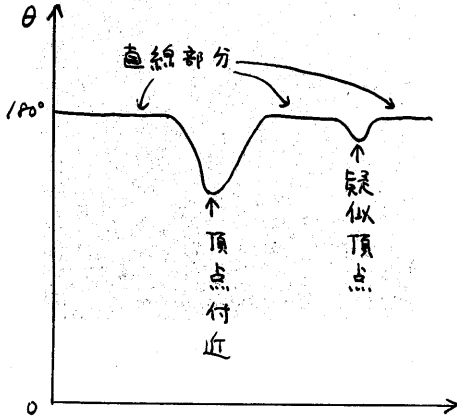


図7 角度の変化

移動物体に直方体の箱を用いているので図7のように角度の変化のない直線部分と角度の変化する頂点部分の2種類に分類される。この頂点部分で極小値をもつ点が求めるべき頂点である。しかし、輪郭線抽出のときに本来直線である部分が位置ずれを起こし、頂点のごとく検出されることがある。このような点での角度の変化は小さいので直線部分にはさまれていて、ある値以下の極小値をもつ点を特徴点として抽出した。

4.7 対応づけ

物体の移動量を求めるには抽出した特徴点を他の画像から抽出した特徴点と対応づけなければならぬ。各特徴点の移動ベクトルは移動物体の見かけの大きさが大きく変化しないかぎり重心の移動ベクトルで近似することができる。各特徴点を重心の移動ベクトル

に従って移動させ最も近くにある他の画像の特徴点を対応点とした。

ここで問題となるのは重心以外の特徴点は他の画像に対応点が抽出される保証はなく、対応づけを難しくしている。抽出できない原因として考えられるのは、そのような点での内角が大きく疑似頂点として処理されて多角形の頂点として認識されにくいことである。このような点はたとえ抽出されても位置が大きくずれることがあり特徴点としては不適当である。また移動量算出にはすべての特徴点の対応づけを行なう必要はなく2~3個の特徴点を対応づければよいので一定の範囲内に対応する特徴点のない点は削除した。

対応づけられた特徴点の組の中から移動量算出のための特徴点を、誤差が小さくなるように重心の移動ベクトルの方向に対して垂直に最も離れた2組を選んだ。図8は対応づけの結果である。

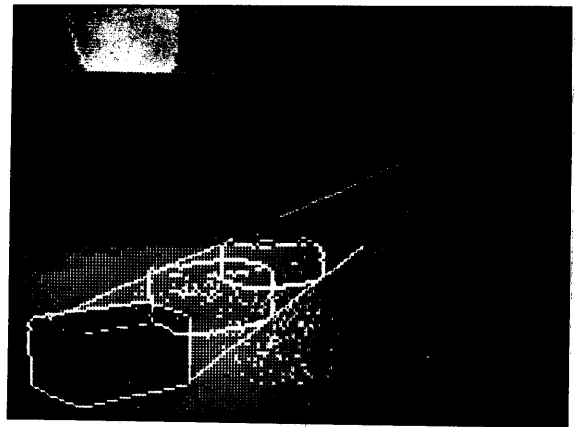


図8 対応づけの結果

4.8 結果

対応づけられた特徴点は細線化などによって抽出した位置が実際の物体上の同一点からずれることがあり、計算の精度を低下させる原因になる。この

表 実験値と実測値の比較

	X 座標		Y 座標		Z 座標	
	実験値	実測値	実験値	実測値	実験値	実測値
画像0		315 ^{cm}		60 ^{cm}		31 ^{cm}
		315		10		53
画像1	360 ^{cm}	360	44 ^{cm}	45	24 ^{cm}	25
	352	360	-7	-5	47	47
画像2	399	405	29	30	19	19
	393	405	-26	-20	41	41
画像3	437	450	12	15	15	14
	431	450	-43	-35	35	35
画像4	477	495	-2	0	9	8
	462	495	-56	-50	30	30

問題を解決する一つの方法として特徴点付近のマッチングを行ない位置補正を行なう方法が考えられる。しかし単純なマッチングでは精度が逆に低下する原因になった。⁽⁴⁾

本実験では直線移動を想定しているので各対応点の組から最小二乗法で近似した直線を求めその交点として無限遠点を求めた。この方法で求めた結果は前者の方法で求めた結果よりよい結果が得られた。表にその結果を示す。画像中の1画素は数cmに相当することからもほぼ予想どおりの結果を得た。

5. 考察

移動物体による「仮想的無限遠点」という概念を導入することによって2次元の連続画像から3次元的な相対的移動量を求めることを示した。

算出の精度にやや問題があるので原画像のサンプリング数およびプログラムの検討をする必要がある。形状の変化を伴う物体移動についても研究していく予定である。

6. 謝辞

実験に協力して下さった小田正、山松一美両氏に深謝する。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金(課題番号355/65)によって行っている。

参考文献

- (1) H-H. Nagel, "Analysis Techniques for Image Sequences," Proc. of 4th ICPR, p186, (1978).
- (2) R. M. Haralick, "Using Perspective Transformation in Scene Analysis," Comp. Graph. & Image Proc., vol13, p191, (1980).
- (3) R. O. Duda & P. E. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis," New York, John Wiley & Sons, 1973.
- (4) S. Tsuji, M. Yachida, M. Osada, "Three Dimensional Movement Analysis of Dynamic Line Images," Proc. of 6th IJCAI-79, p896, (1979).
- (5) M. Asada, M. Yachida, S. Tsuji, "Three Dimensional Motion Interpretation for the Sequence of Line Drawings," Proc. of 5th ICPR, p1266, (1980).
- (6) R. James, W. N. Martin, J. K. Aggarwal, "Segmentation through the Detection of Changes Due to Motion," Comp. Graph. & Image Proc. vol11, p13, (1979).
- (7) 石倉本橋, "背景抽出に基づく移動物体の抽出," 電気関係学会東海支部大会, P337, (1980)
- (8) 石倉本橋, 北橋, "連続画像の処理(1)," 情報全国大会, P633, (1981)