

画像化された運動軌跡による動画像処理†

山 本 正 信††

動画像処理における追跡の問題は、静止画像処理における領域分割と同様に基本的で重要な問題である。3次元運動系では、物体同士が見かけ上重なり合うような場合が生じるため一般に、画像構造が時間と共に変動する。

よく知られた物体追跡の手法は2つのプロセスから成り立っている。まず物体像を検出する、つぎに各時刻で検出された物体像同士を対応付けることにより追跡を行う。この検出と対応付けに物体像パターンに関する情報を利用している。しかし物体像が変化した場合、像パターンに関する情報は一定ではない。そのため追跡処理には相応の手続が必要とされる。

本論文で提案する手法は、動画像より、物体像の運動軌跡が描かれるような画像を合成し、合成画像から直接運動軌跡を抽出し物体の追跡を行うものである。本手法を街頭の通行状況の動画像に適用したところ、見え隠れしながら運動している車や歩行者の追跡が可能となった。

本手法は、物体の像パターンではなく、運動軌跡に関する情報を利用しているため、画像構造の変動や像パターンの複雑さに影響されないのが特徴である。

1. ま え が き

本論文では、画像構造が変動する3次元運動系の動画像を対象に、画像化された運動軌跡を使って、動画像処理を行う手法を提案する。

3次元運動系は、奥行を持つことから、物体同士が見かけ上重なり合う場合が生じ、観測中に物体の新登場、消滅、再登場や背景の移動などが起りうる。これら画像構造の変動が、3次元運動系の動画像処理を平面運動系に比べて困難なものにしている要因である。

本論文で扱う処理目標は、このような運動系において、物体の追跡を行うことである。

よく知られた物体追跡の手法は、次の2つのプロセスから成り立っている。まず各フレーム上の物体像を検出する。つぎに各フレームで検出された物体像同士を対応付けることにより追跡を行う。動いている物体像の検出には、フレーム間の差分画像を利用するのが簡単である。差分画像は、画素点の濃淡値の差や、小領域の類似検定による mismatchingの有無¹⁾などにより作られる。差分画像から物体像の輪郭や移動ベクトルを知ることができるが、物体像が複雑な模様を持つ場合や重なり合っているほかの物体と相対的に運動する場合には、必ずしも差分画像に物体像の輪郭や移動ベクトルが現われ対応するとは限らない。異なったフレームでそれぞれ検出された物体像の対応付けは、

移動ベクトルを使って効率よく、各物体像の構造モデルのマッチングによって行われる^{2),3)}。しかし、画像構造の変動により構造モデルが変化した場合それ相応の処理が必要である。

本論文で提案する手法は、動画像より物体像の運動軌跡が描かれるような画像を合成し、合成画像から直接運動軌跡を抽出し、追跡を行うものである。画像構造が変動する実際の3次元運動系として街頭の通行状況を取り上げ、本手法を適用した結果、見かけ上の重なり合いにより画像構造が変動した場合でも物体の追跡が可能であることを示す。

本手法は、物体の像パターンではなく運動軌跡に関する情報を利用しているため、物体像の複雑さや、重なり合いによる画像構造の変動に依存しないのが特徴である。

2. 原 理

運動軌跡の画像化と物体追跡の手法を説明する。

2.1 運動系のモデル

街頭の通行状況とその撮像系をモデル化する。

カメラの位置、光軸は固定し光軸方向は水平とする。運動系はいくつかの物体から構成される。物体は、運動物体、静止物体、静止背景のいずれかであるとする。運動物体の像は、凸閉領域とし、人間の手足のような部分的な動きは無視する。また、各運動物体は、それぞれ光軸に垂直な異なった平面上を水平方向に等速度で運動し、位置による物体像の変形はないものとする。すなわち、一枚の凸図形で運動物体をモデ

† Motion Analysis by Visualized Locus Method by MASANOBU YAMAMOTO (Automatic Control Division, Electrotechnical Laboratory).

†† 電子技術総合研究所制御部システム制御研究室

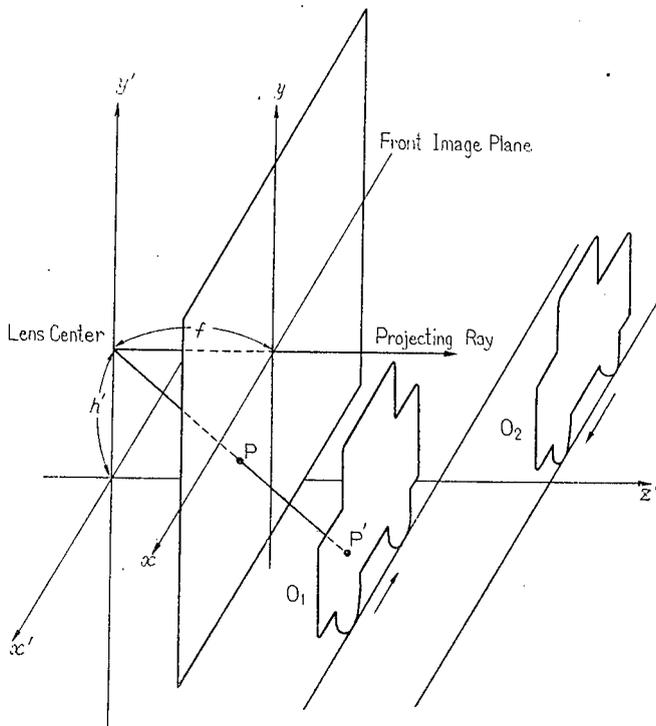


図1 運動系と撮像系のモデル
Fig. 1 Camera and object model.

ル化する。図1にカメラの位置と運動空間と撮像面の座標系を示す。

2.2 運動軌跡の画像化

撮像面上の点 $P(x, y)$ には、レンズの中心 $O'(0, h', 0)$ と P を結ぶ射影線上の任意の点に対応している。 f をカメラの焦点距離とすると、式(1)は射影線の方程式である。

$$\frac{x'}{x} = \frac{y' - h'}{y} = \frac{z'}{f} \tag{1}$$

点 P 上の像は、射影線上に位置する物体上の点のうち最もカメラに近い点の像である。この像を点像とよぶ。

一定時間ごとに撮像されたサンプル画像、フレームをちょうど一冊の本のように一定の間隔で順番に積み重ね奥行を時間軸とする3次元時空間を構成する。この3次元時空間を動画像空間とよぶ。図2に動画像空間を示す。

物体上の点 P' が水平方向に速度 v' で動くとき、フレーム上の対応点 P は動画像空間内に軌跡を描く。点 P の運動軌跡は時刻 t をパラメータとして次式で表わされる。

$$x = v \cdot t + x_0 \tag{2}$$

ただし、 $v = f \cdot v' / z_0'$, $x_0 = f \cdot x_0' / z_0'$, (x_0', y_0', z_0')

は P' の初期位置であるとする。

$$y = y_0 - h \tag{3}$$

ただし、 $y_0 = f \cdot y_0' / z_0'$, $h = f \cdot h' / z_0'$, とする。

式(3)は、動画像空間の水平面である。この水平面による動画像空間の断面を一枚の画像とみなし、この合成された画像を断面画像とよぶ。断面画像は、動画像空間の任意の水平面で作ることができる。断面画像上での点 P の運動軌跡は直線となり、その傾きが、移動速度である。物体上の点 P' が他物体により隠されるかカメラの視野から外れる場合には、その点像は存在しない。点像が存在するとき、断面画像上での点像の連続な軌跡を流跡* とよぶ、すなわち運動軌跡は、断面画像上に流跡として画像化される。流跡は、断面画像上のあらゆる場所で存在するが、実際に見えるのは、物体像のエッジ付近など、近傍点との濃淡値のコントラストが大きい点像の列からなる流跡である。流跡はその始点 $P_i(t_i, x_i)$ と終点 $P_f(t_f, x_f)$ により特徴付けられる。始点と終点が一致する流跡を点流跡とよぶ。流跡は、ある運動軌跡上の線分であることから、流跡から運動軌跡の方程式を求めることができる。しかし、点流跡の場合は、一意に求めることができない。流跡に関するいくつかの性質を挙げる。

性質1 任意の流跡は、ある物体上のある点に対応しその点に限る。 □

性質2 任意の流跡は、動画像空間の断面画像の一つに描かれ一つに限る。 □

性質3 断面画像上の任意の点は、その点を通する流跡が存在し、ただ一本に限る。 □

性質4 同一物体上の相異なる点に対応する流跡は互いに平行である。 □

証明 同一物体上の相異なる2点を $P_1'(x_1', y_1', z_1')$, $P_2'(x_2', y_2', z_2')$ とし、対応する運動軌跡をそれぞれ L_1, L_2 , とする。

$$L_1: x = v_1 \cdot t + x_1.$$

$$L_2: x = v_2 \cdot t + x_2.$$

ただし、 $v_1 = f \cdot v_1' / z_1'$, $x_1 = f \cdot x_1' / z_1'$.

$$L_1: x = v_1 \cdot t + x_1.$$

$$L_2: x = v_2 \cdot t + x_2.$$

ただし、 $v_2 = f \cdot v_2' / z_2'$, $x_2 = f \cdot x_2' / z_2'$.

物体が静止しているとき、 $v_1' = v_2' = 0$ より L_1, L_2 の傾きは等しい。物体が動いているとき、仮定によ

* 流跡 (Path line) は、流体力学上の用語で、“特定の流体要素が通過した点を連ねて描かれた曲線”と定義されている。本論文では、動画像空間中を特定の点像が通過した点を連ねて描かれた曲線という意味で転用して使用している。

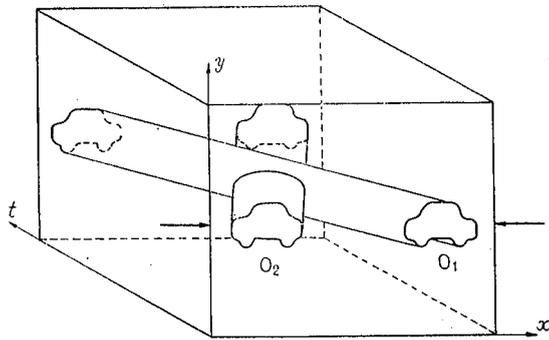


図2 動画像空間

Fig. 2 Image Sequence Space: Three-Dimensional Time-Space made of a sequence of images.

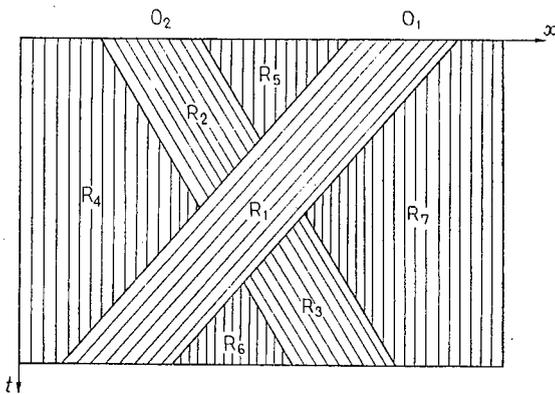


図3 図2の動画像空間の矢印の位置での断面画像

Fig. 3 Cross section image of Image Sequence Space at the location indicated by the arrow in Fig. 2.

り、 P_1', P_2' は同一凸図形上の点であるので、 $v_1' = v_2'$ 、 $z_1' = z_2'$ ゆえに L_1, L_2 の傾きは等しい。また P_1', P_2' は同一射影線上の点ではないので、式(1)を満たさない。すなわち $f \cdot x_1' / z_1' \neq f \cdot x_2' / z_2'$ 。ゆえに L_1, L_2 は平行である。 証明終

図2の動画像空間の矢印の位置での断面画像を図3に示す。

2.3 物体追跡の原理

2.3.1 流域

1つの物体に対応する流跡の集合を流域とよぶ。断面画像は各物体に対応する流域に分割される。物体が他物体に隠されないならば、その流域は平行四辺形となる。他物体に隠されるとき、流域は他物体の流域に分割される。平行四辺形は凸多角形であるが、凸多角形が直線により分割されるとき、結果はやはり凸多角形となる。すなわち流域はいくつかの凸多角形の集合となる。この凸多角形は、その中の流跡が、性質4より同じ傾きを持っているので、等傾凸多角形とよばれる。

る。

性質5 断面画像は、等傾凸多角形の集合に分割される。この分割を Δ とする。 □

図3の断面画像は、7つの等傾凸多角形に分割されている。等傾凸多角形の集合 $\{R_1\}$, $\{R_2, R_3\}$, $\{R_4, R_5, R_6, R_7\}$ は、それぞれ車 O_1, O_2 、静止背景に対応する流域である。

2.3.2 流域の決定

流域を知ることができれば、流域中の流跡をたどることにより物体の追跡が可能である。たとえば、図3の流域 $\{R_2, R_3\}$ を手がかりに、消滅、再登場を行った車 O_2 を追跡することができる。

断面画像上のすべての流跡が得られたとして、流跡の性質を使って流域を求めることを考える。

点流跡を除く全流跡をその傾きにより類別したとき、同じ傾きを持つ流跡の集まりは、断面画像上で一般にいくつかの領域となる。このとき各々の領域を等傾領域とよぶ。

性質6 断面画像は、等傾領域の集合に分割される。この分割を Ω とする。 □

分割 Δ と Ω は、必ずしも一致しない。一般に次のことがいえる。

性質7 等傾凸多角形は、等傾領域に一致するか含まれる。 □

証明 任意の等傾凸多角形内の流跡は傾きが等しい。したがって、それらの流跡はある等傾領域に含まれる。 証明終

等傾領域がいくつかの等傾凸多角形から構成されているとき、各等傾凸多角形に対応する物体は、見かけ上重なり合いながら等速度で運動している。したがって次の仮定が満たされるならば、性質8が成立する。

仮定1 物体が見かけ上重なり合いながら等速度で運動することがない。 □

性質8 仮定1が満たされるならば、等傾領域と等傾凸多角形は一致する。すなわち分割 Δ と Ω は同じ分割である。 □

運動物体の流域を求める際に、運動物体同士は仮定1を満たすが、静止背景中に静止物体が存在することにより仮定1が満たされない場合がよくある。そのときは、静止背景、静止物体の流域を断面画像から除いた小断面画像上で考えることにする。以下仮定1は成立するものとする。

再登場を行った物体に対応する流域は、複数個の等傾領域から構成されている。等傾領域同士が同じ流域

に属するかいなかを判定しなければならない。流跡の幾本かが同一物体上の同一点に対応する場合がある。このときこれらの流域は、互いに同一点関係にあるという。

性質9 点流跡でない流跡 l_1, l_2 が同一点関係にあるためには、 l_1, l_2 が同一直線上に存在することが必要十分である。□

証明 l_1 の始点を $P_{1i}(t_{1i}, x_{1i})$ 、終点を $P_{1f}(t_{1f}, x_{1f})$ 、 l_2 の始点を $P_{2i}(t_{2i}, x_{2i})$ 、終点を $P_{2f}(t_{2f}, x_{2f})$ とする。 l_1, l_2 が同一点関係にあるならば、 l_1, l_2 は同じ運動軌跡上の線分である。逆に、 l_1, l_2 が同一直線上に存在するとき、図4のような位置関係にあるとして一般性を失わない。 l_1, l_2 が同一物体上の異なった点に対応するとすれば、性質4より l_1, l_2 は平行にならなければならないので矛盾する。 l_1, l_2 が異なった物体上の点に対応するとする。 $P_{1f}(t_{1f}, x_{1f})$ 上の点像は、 l_1 に対応する物体上の点 $P_1'(x_1', y_1', z_1')$ の像であるとする。そのとき l_2 に対応する物体上の点を $P_2'(x_2', y_2', z_2')$ とすれば、 P_1', P_2' は同一の射影線上に位置し、 P_2' は P_1' よりもカメラから遠い。すなわち $z_2' > z_1'$ 。つぎに、 $P_{2i}(t_{2i}, x_{2i})$ 上の点像は、 l_2 に対応する物体上の点 $P_2''(x_2'', y_2'', z_2'')$ の像であるとする。

そのとき l_1 に対応する物体上の点を $P_1''(x_1'', y_1'', z_1'')$ とすれば、同様に、 $z_2'' < z_1''$ となる。これは矛盾する。証明終

仮定1が満たされれば、等傾領域は1つの物体に対応する。そのとき次の性質が成り立つ。

性質10 2つの等傾領域 A, B があるとき、各々から適当に取り出した流跡 $l_{1i} \in A, l_{2N+2} \in B$ と、ある等傾領域の集合(空集合であってもよい) $\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ から適当に取り出した流跡 $l_{2i}, l_{2i+1} \in C_i (i=1, 2, \dots, N)$ より、流跡列 $\{l_1, l_2, \dots, l_{2N+2}\}$ を構成したとき、流跡列中で隣り合った流跡の対がすべて同一点関係にあるならば、A, B は同じ物体に対応している。このとき A, B は同一物体関係にあるという。□

性質11 同一物体関係は同値関係である。

すなわち、同一物体関係は、反射律、対称律、推移律を満たす。□

性質10の逆は、必ずしも成立しない。図5は、その例として等傾領域の2通りの解釈を示している。どちらの解釈を採用するかは、さらにほかの知識を必要とする。ここでは、次の仮定により流域を規定する。

仮定2 断面画像上のすべての等傾領域からなる集合を同一物体関係により類別したとき、各同値類を流

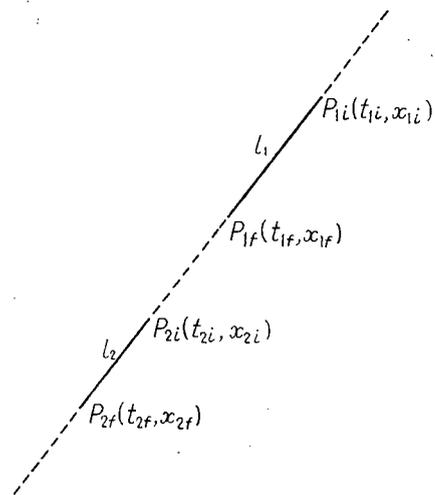


図4 同一直線上の2つの流跡

Fig. 4 Two path lines on the same line in Image Sequence Space (A path line is a sequence of images of a point on the object).

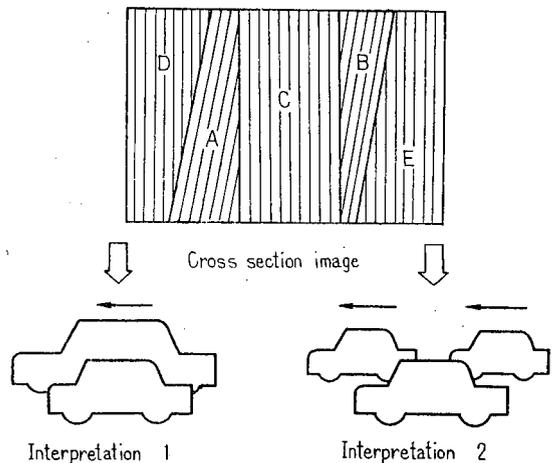


図5 断面画像の解釈

Fig. 5 Two interpretations of the cross section image.

域とする。□

例として、図5の断面画像上の等傾領域を類別した結果、等傾領域 A, B, C, D, E はすべて単独の流域とみなされる。したがって解釈2が採用される。

3. 実験

3.1 データの入力

実験データは、実際の街頭通行状況を 16 m/m フィルムに 1/24 秒間隔で撮影したものをを使用した。画像は、1フレームずつドラムスキャナから、MTを介して計算機に入力される。その際フィルムは、4フレームごとに切断され、専用アダプタを使ってドラムに装填される。1フレームは、128×100画素、濃淡8ピッ

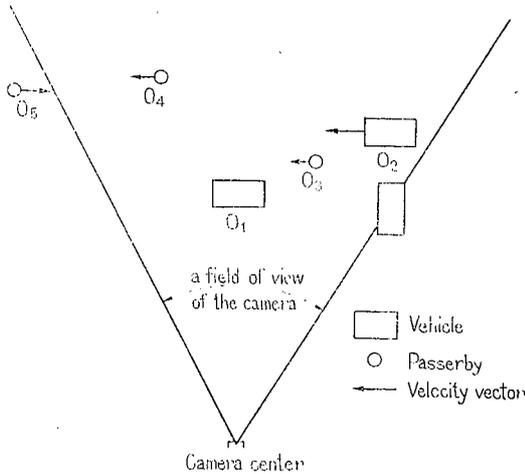


図 6 街頭通行状況の初期状態

Fig. 6 Initial location of objects in the street.

トで、全フレーム数は 64 フレームである。レジストレーションは、専用アダプタのレジストレーションピンをフィルムのスプロケット穴に合わせることでほぼ完全に行われる。

図 6 に本実験で対象とした 3 次元運動系の初期時刻の様子を示す。図 7 は、データフィルムの一コマである。図 8 は、動画像の一部を示している。また、図 9 は、動画像空間の水平面 $Y=54$ (図 7 の矢印の位置) における断面画像 (128×64 画素点、各点濃淡 8 ビット) である。図の真中付近を占める黒っぽい長方形の領域や 2 本の黒い条痕を含む白っぽい 3 つの領域の集まり、3 本の斜めの細く白い条痕は、それぞれ図 6 に示した、車 O_1, O_2 通行人 O_3, O_4, O_5 に対応するものである。

3.2 流域の抽出

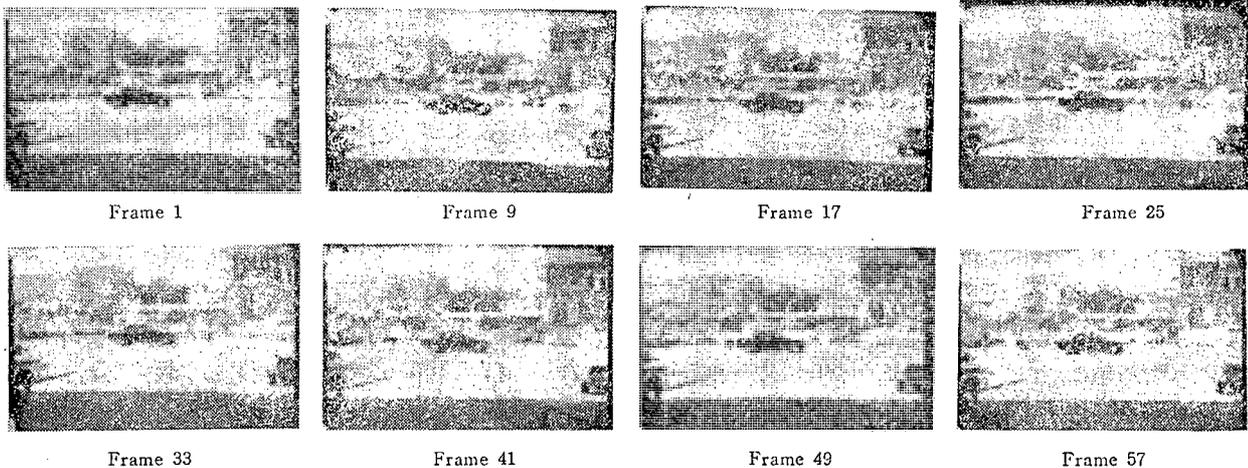


図 8 動画像データの一部

Fig. 8 A part of the sequence of digitized frames.

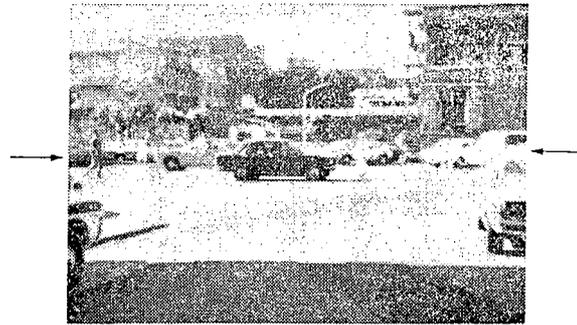


図 7 動画像データの一コマ

Fig. 7 One of the original frames.

断面画像から具体的に流域を抽出する。

3.2.1 流跡要素の抽出

物体像の移動速度を隣接フレーム間で、左右に 2 画素以内と仮定する。流跡が 4 連続フレームからなる小断面画像を通過するとき、小断面画像内での流跡を流跡要素とよぶ。流跡は、直線であることから、流跡要素は図 10 に示された 29 種類のデジタル線分の 1 つになる。本節では断面画像から流跡要素を抽出する。

第 2 章で述べたようにすべての流跡が見えているとは限らない。流跡要素が抽出可能かどうか、可能ならば 29 種類のどの型かを決定しなければならない。

流跡要素の節点を通過フレームの順番に $P_i (i=1, \dots, 4)$ とするとき、 P_1 を始点、 P_4 を終点とよぶ。また、各点の濃淡値を f_i とする。点列 $\{P_i\}$ の一画素左隣の点列を $\{q_i\}$ 、濃淡値を g_i 、右隣の点列を $\{r_i\}$ 、濃淡値を h_i とする。断面画像上の任意の点 P を始点とする点列 $\{P_i\}$ を流跡要素候補の 1 つとすれば、次の 2 つの条件を満たすとき、 $\{P_i\}$ を流跡要素とする。

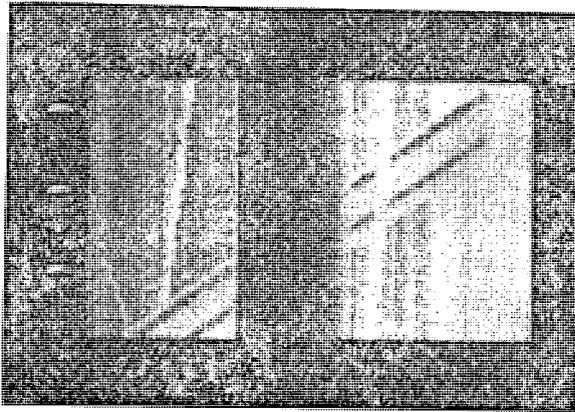


図 9 実験データの断面画像

Fig. 9 Cross section image of Image Sequence Space at $\gamma=54$ (indicated by the arrow in Fig. 7).

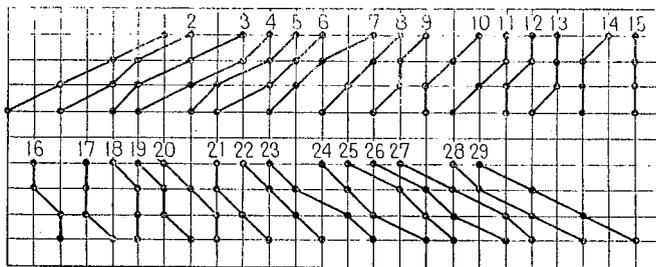


図 10 流跡要素

Fig. 10 Path line elements.

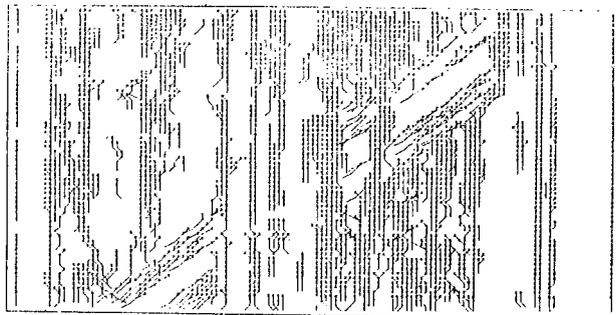


図 11 流跡図

Fig. 11 Path lines map of Fig. 9.

条件 1 流跡上の点像列の濃淡値は一樣であることから、 $\{f_i\}$ の分散を σ^2 とすれば、

$$\sigma^2 \leq \sigma_{in}^2.$$

条件 2 目に見える流跡は、隣接画素点列との濃淡コントラストが大きいことから、

$$\text{Max}_i \{ \text{Min}_i (|t_i - g_i|), \text{Min}_i (|t_i - h_i|) \} \geq w_{in}.$$

閾値 σ_{in}^2, w_{in} は画像入力系のノイズ特性に依存し、実験的に得られる。上の 2 つの条件を満たす流跡要素候補が複数個存在するとき、分散 σ^2 が最小のものを流跡要素とする。

図 11 は図 9 の断面画像から得られた流跡図である。・印は、抽出された流跡要素の始点であり、流跡要素の点列を線分で結ぶことにより流跡が得られている。

3.2.2 流跡のリラクゼーション

前節で得られた流跡のなかには、運動系の特性から導かれる流跡の性質と矛盾するものも含まれている。本節では、正しい流跡図を作ることとする。

流跡が直線の一部であることから、その抽出には、Hough 変換の使用が考えられるが、Hough 変換手法は、流跡の重要な特徴である始点・終点の決定があいまいである。ここでは、第 2 章で得られた流跡の性質に則ったいくつかの流跡変形規則を用いて、矛盾のない流跡を得ることとする。

性質 3 から流跡同士の交差があってはならない。流跡要素がほかの流跡要素と交差する回数を求め、交差する流跡要素がなくなるまで、交差回数が多い順に流跡要素を消去してゆく。

同じく、性質 3 より流跡の分岐・合流があってはならない。合流点に流入する流跡の合流点直前の通過点と合流点を結ぶ線分を合流枝とよぶ。また分岐点から流出する流跡の分岐点直後の通過点と分岐点を結ぶ線分を分岐枝とよぶ。流跡または流跡要素が合流枝または分岐枝を通過するあるいは含むとは、その両端点を共有することである。分岐点・合流点を通過するいくつかの流跡は、そのうちの一本を通過流跡として残し、ほかはその手前で消滅するか、直後で発生するように変形する。どの流跡を通過流跡として残すかは、次の判定規準による。

規準 1 合流枝を通過する流跡要素の数が最も多い合流枝を含む流跡。

規準 2 各合流枝を通過する流跡要素の数が等しい場合、合流枝を通過しその始点が合流点に最も近い流跡要素を含む流跡。

規準 3 始点のフレームが分岐点のフレームに最も近い流跡要素が通過する分岐枝を含む流跡。

ただしこれらの規準を満たさない場合は、判定がつかないものとしてそのまま残しておく。

流跡は線分であるが、ここではその制約を少し緩めて次の 2 つの性質を持つものとする。

1. 流跡は時間に関する単調関数曲線である。
2. 流跡上の曲率が一定値以下である。

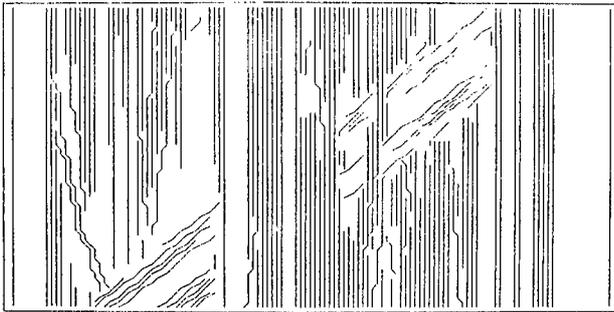


図 12 リラクゼーションを行った流跡図

Fig. 12 Refined path lines map of Fig. 11.

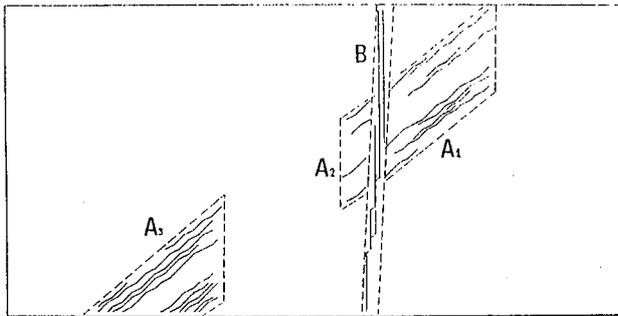


図 13 車と通行人に対応する流域

Fig. 13 Detected sets of path lines $\{A_1, A_2, A_3\}$ and $\{B\}$ correspond to vehicle and passersby respectively.

この2つの性質に則り、流跡の部分的修正と分割を行う。

さらに、2つの流跡が同一点関係にあるとき、両者を結ぶ線分上に、それと交わるほかの流跡が存在しないならば、この2つの流跡は延長結合される。

図12は図11の流跡図に、以上の変形規則を施すことによって、得られた最終的な流跡図である。

3.3 物体の追跡

得られた流跡図を手がかりに物体の追跡を行う。

追跡すべき物体が、追跡開始フレーム上で指定されたとき、任意のフレーム上でのその物体像を求めることにする。そのためには各断面画像上で、物体に対応する流域を知らねばならない。流域は次のアルゴリズムにより得られる。

流域抽出アルゴリズム

Step 1 追跡開始フレーム上で与えられた物体像を通過する流跡を求め、その傾きを流域の傾きとする。

Step 2 流域の傾きと等しい傾きを持つ等傾領域の集合を求め、それを等傾領域集合とよぶ。

このとき仮定1が満たされるとすれば、性質8により等傾領域は等傾凸多角形である。

Step 3 Step 1 で得られた流跡を含む等傾領域を

等傾領域集合から取り出し流域に加える。

Step 4 新たに流域に加えられた等傾領域中の流跡と同一点関係にある流跡を含む等傾領域を等傾領域集合の中からあれば取り出し流域に加える。この操作を流域に加えるべき等傾領域が等傾領域集合に存在しなくなるまで続ける。このようにして得られた流域は、第2章の仮定2の意味での流域である。《終り》

流域の抽出結果を示す。追跡開始フレームを第10フレームとし、追跡物体は、同フレーム上で、前半分が見えている白い車と、画面右に位置している通行人である。図14(e), (i)の黒い画素点は、追跡を指示された車と通行人の第10フレームにおける像を通る流跡の通過点である。車と通行人に対する流域の傾きは、それぞれ -1.25 画素/フレーム、 -0.0625 画素/フレームであった。図13は図12から抽出された流域である。凸多角形の集合 $\{A_1, A_2, A_3\}$, $\{B\}$ はそれぞれ車、通行人に対応する流域である。追跡結果は、第24, 39, 54フレームでの物体像を通る流域中の流跡の通過点として、黒い画素点で図14の(f), (g), (h), (j), (k), (l)に示されている。追跡開始フレームでは、白い車は、部分的にしか見えていないが、その後、全貌の登場、部分的消滅、再登場の場合にも追跡できている。また通行人は車がその背後を一時的に通過することにより背景が変動しているにもかかわらず追跡できている。

4. 結 論

動画画像処理における追跡の問題は、静止画像処理における領域分割と同様に基本的で重要な問題である。

本論文で提案した手法では、物体像の運動軌跡を断面画像とよばれる合成画像に画像化することにより、物体の追跡問題が、断面画像におけるエッジ・線の検出とその解釈の問題に帰着することができた。本手法を3次元運動系としては簡単ではあるが、像パターンが比較的複雑な街頭の通行状況の動画画像に適用した結果、物体同士の見かけ上の重なり合いにより画像構造が変動した場合でも物体を追跡することが可能となった。

本実験では、物体像の流跡抽出を可能な限り行った。このためかなりの計算時間を要したが、これはこの手法の本質的な欠点ではない。物体像中の特定の特徴点の流跡のみを抽出するなど、処理の適当な簡便化により高速化が可能である。また、物体の像パターンに関する情報を利用することによりさらに精密な追跡

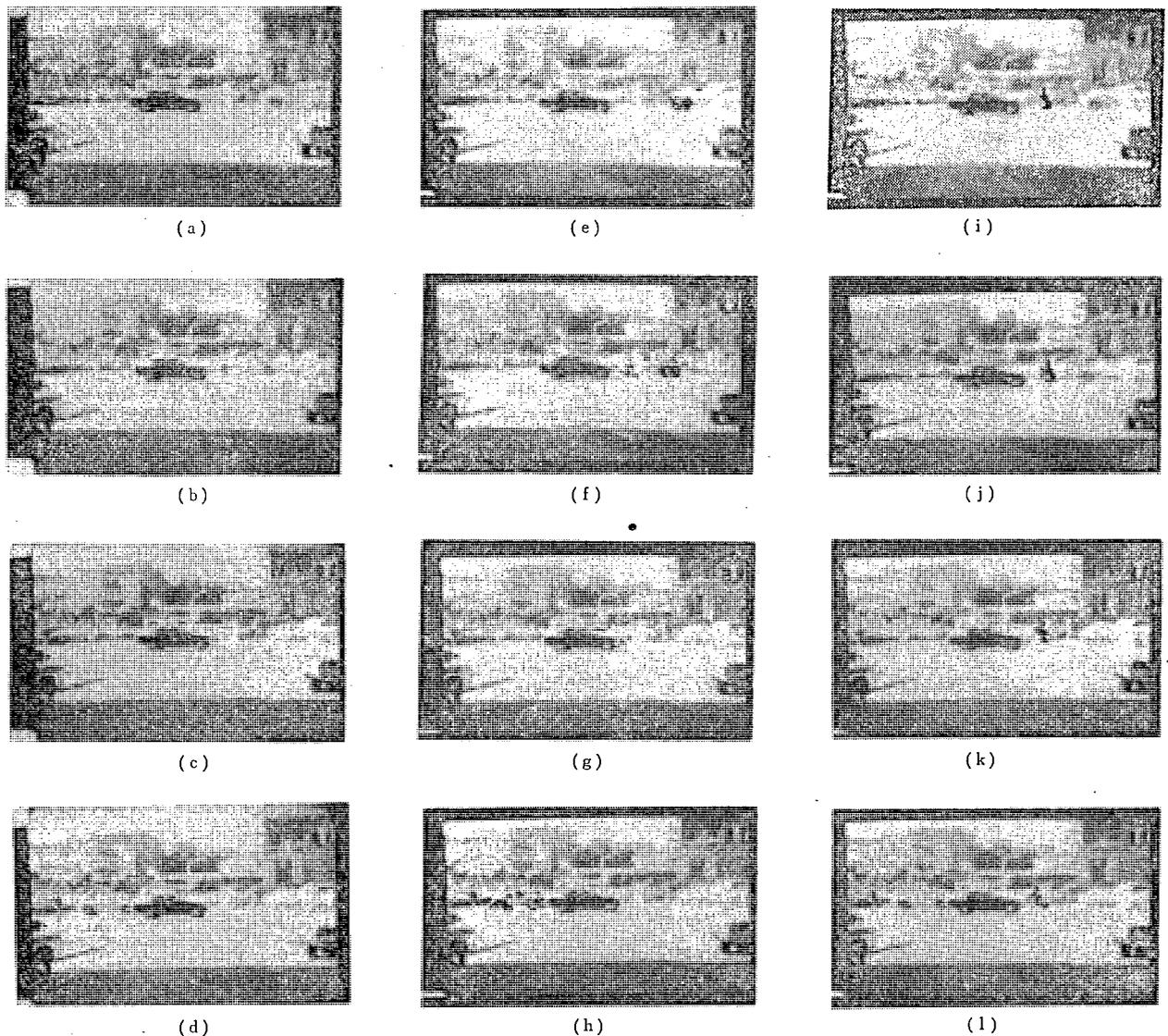


図 14 追跡結果

Fig. 14 Fig. (a),(b),(c) and (d) correspond to frame 10, 24, 39 and 54 respectively. The location of vehicle or passerby at each frame is presented as black points on 2nd or 3rd image of the same low that includes corresponding frame.

を行うことが可能と思われる。今後は、物体の接近・後退・回転などのさらに複雑な3次元運動系に対して本手法の拡張を行う予定である。

謝辞 本研究にご協力されました、当所パターン情報部舟久保登氏と田村秀行氏をはじめとする SPIDER 開発グループの方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) Jain., R., Miltzer, D. and Nagel, H.H.: Separating Non-Stationary from Stationary Scene Components in a Sequence of Real

World TV Images, Proc. 5th IJCAI. pp. 735-739 (1978).

- 2) Takagi, M. and Sakaue, K.: The Analysis of Moving Granules in a Pancreatic Cell by Digital Moving Image Processing, *ibid.* pp. 612-618 (1977).

- 3) Yachida, M., Asada, M. and Tsuji, S.: Automatic Motion Analysis System of Moving Objects from Records of Natural Processes, Proc. 4th IJCP. pp. 726-730 (1978).

(昭和 55 年 11 月 20 日受付)

(昭和 56 年 3 月 19 日採録)