

# 時空間画像による 動的3次元世界の理解

山本正信

山本正信：正員 新潟大学工学部情報工学科

Temporal-Spatial Image Understanding. By Masnobu YAMAMOTO, Member (Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-21 Japan).

## 1. はじめに

人間はその網膜に写った像から容易に3次元世界のできごとを理解することができる。この視覚の働きをコンピュータで実現しようとするれば、時間的に連続な画像の集まり、すなわち動画像、の解析が必要となる。この動画像を時空間画像とみなす解析法が注目されている。

## 2. 時空間画像とは

時空間画像の考え方はいたって簡単である。動画像は各時刻ごとに撮像された画像の時系列である。この時系列画像を撮影時刻の順番に積み重ねる。すると、図1(a)のように、ちょうど一冊の本のような厚さ方向を時間軸とする3次元画像が得られる。ここで、 $x$ ,  $y$ は画像の座標軸、 $t$ は時間軸である。この3次元の立体画像を時空間画像とよんでいる。これに対して、通常の画像は2次元画像ということになる。

さて、もし画像の時間的変化が緩やかであれば、時空間画像は時間軸方向に強い連続性を持つことになる。例えば、図1(a)での自動車の像は、時空間画像中では3次元領域を占めることになる。このとき、時空間画像の時間軸方向は2次元画像の座標軸方向と同等に扱って良い。このことを利用して、動く物体の追跡や3次元環境の計測、オプティカルフロー（画像上の移動ベクトル分布）の推定などの問題に対し、時空間画像のさまざまな解析法が提案されている。

## 3. 時空間断面画像

3次元の時空間画像を適当な平面で切断すると、断面上に物体の運動軌跡が現れる。この断面は2次元画像として取り出すことが可能で、時空間断面画像とよばれる<sup>(1)</sup>。例えば、図1(a)の時空間画像を時間軸に平行な水平面で切ると、図1(b)に示す時空間断面画像が現れる。この時空間断面画像の解析により物体の追跡や3次元構造の推定が行える。

### 3.1 物体の追跡

時空間断面画像には物体の見かけの動きが視覚化されている。図1(b)では、自動車1と2、および背景に対応する運動軌跡が視覚化されている。つまり、各時刻での画像上で見られる特徴点が、時空間断面画像上では連続した軌跡として現れるのである。この軌跡を時空間軌跡とよぶ。物体が静止していれば、図1(b)の背景のように時間軸に平行な直線、運動していれば、自動車のように斜線となる。時空間軌跡を抽出したとることにより物体（ここでは自動車）の追跡が行える。断面画像は通常の画像と同じ濃淡画像であるので、時空間軌跡の抽出は画像上のエッジ・線の検出で十分行える。

更に重要な情報をこの断面画像は教えてくれる。自動車1の軌跡は自動車2の軌跡をさえぎっている。また、2台の自動車の軌跡は背景の軌跡を一部遮断している。つまり、カメラに近い物体の軌跡は遠い物体の軌跡に優先して断面画像上に現れる。

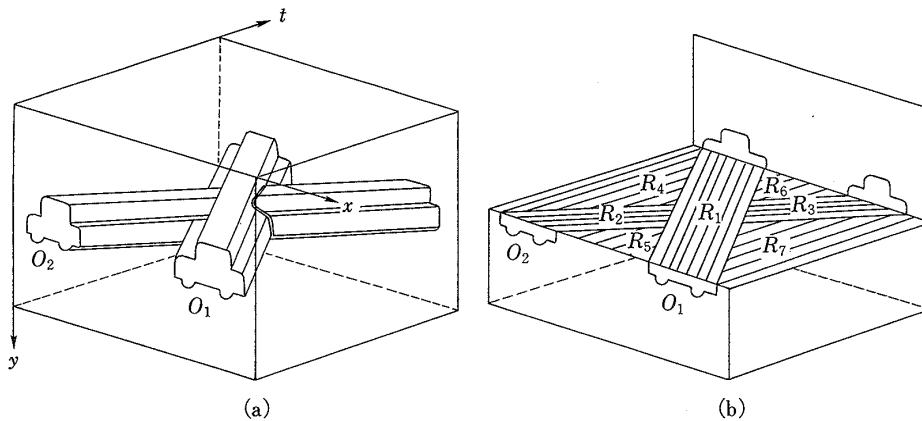


図1 (a) 時空間画像 (b) 時空間断面画像 (文献 (1) より)

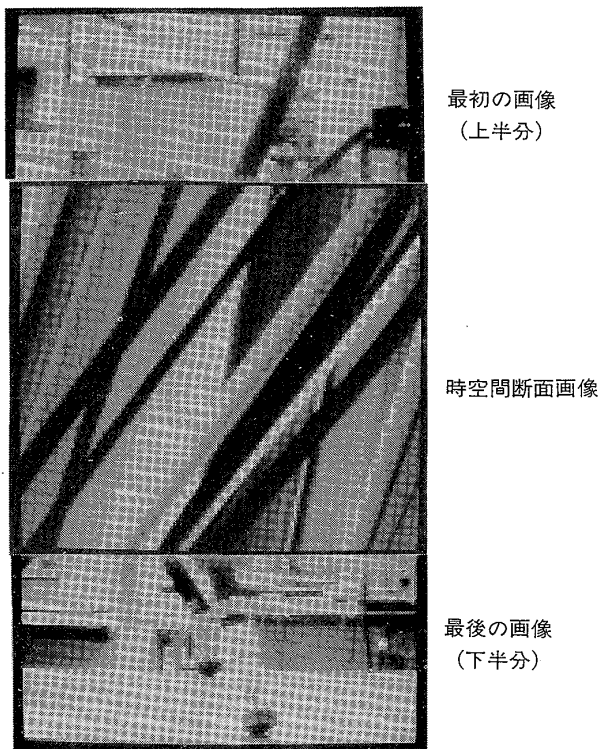


図2 移動カメラからの時空間断面画像 (文献 (3) より)

一方、自動車2の軌跡のように途切れた軌跡も、軌跡の予測延長により(この場合、直線補間)接続することができる。このことは、物体が他の物体に部分的にあるいは一時的に完全に隠された場合でも、物体の追跡が可能であることを意味している。以上のことから、自動車1は2よりもカメラに近く、互いに交差していることが理解される<sup>(1),(2)</sup>。

### 3.2 3次元構造の推定

対象物体に向けたカメラを横方向に等速度で

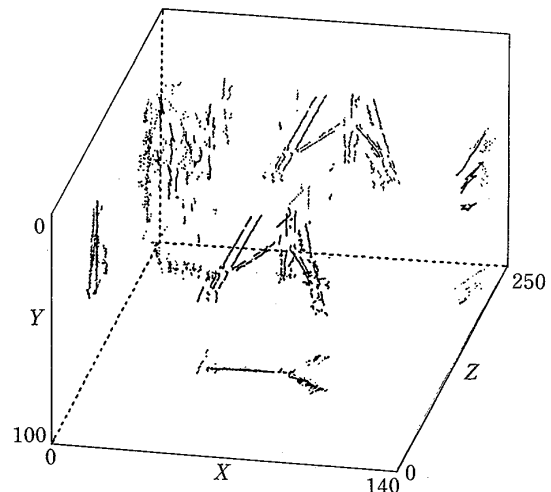


図3 推定された三脚の3次元輪郭線が実線で、その3面への投影が点線で示されている。単位はセンチメートル (文献 (3) より)

移動させる。そのとき、動画像から得られる時空間断面画像には見かけの動きが直線軌跡として現れる。この直線時空間軌跡の傾き(見かけの速度)を測定すれば物体までの距離がわかる<sup>(3)~(6)</sup>。例えば、三脚を対象物体としたとき、その時空間断面画像は図2のようになる。この対象物の3次元構造推定結果を図3に示す<sup>(3)</sup>。

## 4. 3次元画像解析

時空間断面に軌跡が連続して現れるのは、カメラが対象に対して直線運動しているような特殊な場合に限られる。一般の動きを解析するためには、時空間領域そのものを抽出すればよい。時空間領域の抽出には通常の画像処理で使われるエッジ検出や領域抽出の手法を3次元画像処

理用に拡張して使用する<sup>(7)</sup>.

時空間画像から時空間領域を抽出する考え方自体はそう新しいものではない。しかし、時空間領域の抽出<sup>(8)</sup>と利用<sup>(9)</sup>が現実的に可能となったのはつい最近のことである。

## 5. 局所的解析法

時空間画像の局所的性質を利用すれば、オプティカルフローを推定することができる。良く知られた手法としては時空間こう配法とフーリエ解析法がある。後者は像が細かな模様を含んでいる場合、特に有効である。

### 5.1 時空間こう配法

図1(a)の時空間領域の表面上の点を中心に小さな時空間ブロックを考えよう。このブロック内の時空間領域の表面は一つの平面とみなせる。時空間軌跡はこの面上の線分であり、その画像面への正射影が移動ベクトルである。従って、時空間軌跡はこの面の法線ベクトルと直交する。

時空間画像中の点  $(x, y, t)$  での濃淡値を  $E(x, y, t)$  とする。時空間領域の表面上の法線ベクトルは、 $\nabla E$  で表される。単位時間経過後の移動ベクトルを  $(\delta x, \delta y)$  とすれば、時空間移動軌跡は  $(\delta x, \delta y, 1)$  である。これが時空間面の法線ベクトルと直交することから、

$$E_x \delta x + E_y \delta y + E_t = 0$$

が得られる。これが移動ベクトルを求めるための基本拘束式である<sup>(10)</sup>。この拘束式に基づくオプティカルフローの決定法は数多く提案されている。

### 5.2 フーリエ解析法

図1(b)の時空間断面画像を部分的に見れば、向きが一般的な時空間軌跡の縞模様となる領域がある。この領域を2次元フーリエ変換したとき、そのパワースペクトラムは縞の向きに直交する方向にピーク値の広がりを持っている。従って、周波数領域上でのパワースペクトラムから、縞の向き、すなわち、見かけの速度を知ることができる<sup>(11)</sup>。

時空間画像は3次元画像であるから、時空間画像を3次元フーリエ変換すれば、時空間軌跡(その画面上への投影が移動ベクトル)に直交する面上にパワースペクトラムが集中する<sup>(12)</sup>。この3次元パワースペクトラムの分布方向は、特定の動きの方向に周波数領域で反応するバンドパスフィルタから得られる<sup>(13)</sup>。

## 6. むすび

時空間画像は、時間軸方向への連続性が空間方向(通常の画像)と同格であるため、信号処理的手法に馴染みやすく、処理のハードウェア化も容易である<sup>(14)</sup>。紙面の都合で触れることができなかったが、ほかにもさまざまな時空間画像の解析法<sup>(15)</sup>や利用法<sup>(16)</sup>が提案されている。今後の発展が期待される分野である。

## 文 献

- (1) 山本正信：“画像化された運動軌跡による動画処理”，情処学論，22，5，pp.442-449 (1981)。
- (2) 山本，チボラ：“ステレオ動画解析の1手法”，信学論(D-II)，J72-D-II，6，pp.855-865 (1989-06)。
- (3) 山本正信：“連続ステレオ画像からの3次元情報の抽出”，信学論(D)，J69-D，11，pp.1631-1638 (1986-11)。
- (4) Bolles R.C., Baker H.H. and Marimot D.H. : “Epipolar-plane image analysis : an approach to determining structure from motion”, *Int. J. Computer Vision*, 1, 1, pp.7-55 (1987)。
- (5) Zheng J.Y., Asada M. and Tsuji S. : “Color-based panoramic representation of outdoor environment for a mobile robot”, In Proc. 9th ICPR, pp.801-803, Rome, Italy (1988)。
- (6) 安野，浜野：“時空間画像を用いた面構造の復元”，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'92)，情処学会，I-133-144 (1992)。
- (7) 山本正信：“3次元エッジ・3次元領域分割による動画のセグメンテーションと対応付け”，昭56信学情報・システム全大，127。
- (8) Baker H.H. and Bolles R.C. : “Generalizing epipolar-plane image analysis on the spatiotemporal surface”, *Int. J. Computer Vision*, 3, 1, pp.33-49 (1989)。
- (9) 浜野，安野，石井：“空間へのVotingによる3次元環境情報抽出法”，信学論(D-II)，J75-D-II，2，pp.342-350 (1992-02)。
- (10) Horn B.K.P. and Schunck B.G. : Determining optical flow, *Artificial Intelligence*, 17, pp.185-203 (1981)。
- (11) 山本正信：“動画処理による速度計測”，昭56電学全大，1309。

- (12) Adelson E.H. and Bergen J.R. : "Spatiotemporal energy models for the perception of motion", J. Opt. Soc. Am.A, 2, 2, pp.284-299 (1985).
- (13) Heeger D.J. : "Optical flow using spatiotemporal filters", *Int. J. Computer Vision*, 1, pp.279-302 (1987).
- (14) Hattori T., Nakada M. and Kubo K. : "A real time image processor for the extraction of 3-D distance information from image sequence", In Proc. *Info-Japan '90*, pp.211-218 (1990).
- (15) Mori T. and Yamamoto M. : "A method for depth extraction by motion parallax", *IEICE Trans. E74*, 10, pp.3394-3399 (Oct. 1991).
- (16) 上田, 宮武, 吉沢 : "認識技術を応用した対話型映像編集方式の提案", *信学論 (D-II)*, J75-D-II, 2, pp.216-225 (1992-02).



やまもと まさのぶ  
山本 正信 (正員)

昭48九工大・工・制御卒。昭50東工大大学院修士課程了。同年電総研入所。動画像処理、コンピュータビジョンなどの研究に従事。平元～2カナダ国立研究協議会招聘研究員。昭62情報学会研究賞受賞。平4より新潟工学部情報工学科教授。工博。

## 国際会議

### Fifth International Conference on Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation

TMI '93, 第5回機械翻訳の理論的および方法論的問題に関する国際会議

主催：TMI '93 Conference Committee

日時：1993年7月14～16日（3日間）

会場：京都国際交流会館（京都）

参加者：約130名

主要参加国：日本, 米国, イギリス, 韓国, ほか計14か国  
セッション数および論文数：一般セッション9（25件, うち日本13件）, パネル討論1

主たるトピックス

本会議は、機械翻訳の研究者が、理論と実際の両面から活発な意見交換を行える場として貴重な国際会議である。第1回が1985年に米国のColgate大学で開催されて以来、ほぼ隔年で運営されてきたが、本年は神戸で開催される機械翻訳サミット国際会議にあわせて、1992年のモントリ

オールでの第4回会議の1年後の開催となった。最近は、特定のテーマを中心に論文を募集するようになり、今回は「次世代の機械翻訳」がテーマであった。

本会議で最も顕著であったのは、大規模な用例や辞書を利用した機械翻訳あるいは知識獲得に関する論文が10件あり、今や完全に研究の主流となったことであった。その内容も、既存のルールベース方式などのハイブリッド化や、あいまいさ解消のための手法の複雑化といった点で、以前よりも相当詳細化しているといえる。また、研究者にとっても用例による翻訳や、統計的翻訳といった一つの単純な方式ではなく、種々の方式の効果的な統合が、実用的な機械翻訳システムの構築に必須であるという合意が強まってきたのも印象的であった。パネル討論は、翻訳において何が等価であるかを議論するものであったが、統語や意味のレベル以外にも実用的あるいは認知科学的側面など、観点が多過ぎて、明確な定義には至らなかった。次回は1995年ベルギーにて開催の予定。

(執筆者) 武田浩一：正員 日本アイ・ビー・エム株式会社