

物体認識

— 単眼視による三次元認識 —



北橋忠宏*

1. まえがき

物体認識とはComputer Visionの訳で、人間が日常的に行っている視覚による外界認識を計算機を用いて実現しようとするものである。このように書けば解ったような気になるが、何をどのように認識し、それをどのように使おうとしているのか明確ではない。通常は計算機を用いて比較的小世界、例えば机上とか室内とか家とその周辺などが写った画像を解析し、認識された対象がどのように三次元的に配置されているのかを記号的に表現する処理をいう。このようにしておけば、必要に応じて、認識結果をブラウン管上にモデル化して表示したり、その内容に関する質問に答えたりできる。すなわち、計算機によって画像の内容が理解できたと称してもそれほど不遜ではないだろうというわけである。

この処理には画像中に何が存在するかという認識に係わる要素とどのように配置されているかという計測に係わる要素とが含まれている。人間の視覚機構の中で計測に最も深いつながりのあるのは両眼立体視であろう。焦点調節機構も筋の張力を意識にのぼらせれば距離情報が得られるのであろうが、そのような機構はない。両眼立体視では、一つの物が左・右の目で違って見えるのが普通で、場合によっては一方では見えて他方では見えないこともある。したがって計測よりも認識が先行する必要がある。さらに、人間は一枚の写真からでも三次元空間を推察する能力をもっている。一枚の画像から三次元空間を復元するには画像情報以外の情報が必要にな

る。そのためには既知の物体の見かけの大きさや形の変化、見え隠れの様子、テクスチャの変化、物体表面の明暗の変化など様々な要素が利用されていると考えられる。このときにはまさにパターン認識が主体になる。

したがって、物体認識あるいはコンピュータビジョンと呼ばれる分野においてはこのような、画像にどのような操作を施して画像を切り分けそれぞれの部分の濃淡とその変化あるいは部分の形状、さらにはまた他の部分との位置関係からどのような概念と対応づけるのが合理的かを判断すること、すなわち認識が中心的課題と考えられる。

しかし、ここでは認識がある程度できた上で、それをもとに対象物の三次元的配置を知るために、人間が巧みに利用している経験的な知識に基づく三次元認識方法の基礎となる原理を見だし、如何に計算機に代行させているかについて述べる。なかでも一枚の画像をもとに三次元空間を復元しようとする単眼視の技術を中心に紹介する。

2. 単眼視

単眼視の正確な定義づけについては一般的な合意があるわけではない。前章では“一枚の画像をもとに”と簡単に述べたが、少し考えてみるとそう単純ではないのである。

単眼視を定義付けるのは、文字通り一台のカメラから得られる画像に基づく処理と限定しても、次のように3つの付加条件がある。

- (1) カメラの位置および姿勢は一定とする。
カメラの移動により対象を種々の位置から観察を可能にすれば、多眼視と同一になる。
- (2) 対象となる世界は静止しているとする。
対象の移動はカメラの移動とほぼ同義である。

*北橋忠宏 (Tadahiro KITAHASHI), 大阪大学産業科学研究所, 電子科学部, 教授, 工学博士, 情報工学

- (3) 照明によって空間が分割されないとする。
単に光を照らすだけの受動的照明のみ許す。これに対しスポット光とかスリット光による能動的照明は空間を光の当たる部分と当たらない部分に分割する。これは両眼視原理の変形に相当する。

以上のように、“固定した1台のカメラで静止した対象を受動的な照明下で観察すること”と単眼視を定義すると、「単眼視」と「単一画像の処理」とはほとんど同義になるが、一つ例外的に上述の定義を満足する複数画像を扱う場合がある。それは光源の位置または方向を変化させて得られる複数の画像を扱う場合であり、次章に述べる照度差ステレオに利用される。

3. 三次元復元のための制約条件

上記のように単眼視という条件は極めて厳しい制約になるため、画像入力時に付加的な制約を加えることは難しく、まえがきに述べた経験的知識が三次元復元に必要とされる重要な制約になる。これをまとめると次のようになる。

- (1) 対象の特徴
- a) 点に関する情報—三次元的な位置関係の分った複数の点の画像上位置 (中心投影)
 - b) 線に関する情報
 - (i) 二直線の交角—予め交角の分った二直線の見掛けの交角から線の方向を知る。
 - (ii) 無限遠点—後述
 - c) 面に関する情報
 - (i) テクスチャ (エッジ要素の分布) — 予めエッジ要素の方向・分布が与えられたときその見掛けの分布から面方向を知る。
 - (ii) 平面図形に関する情報—表面上の小図形の歪みと大きさから面方向を知る。
- (2) 照明 (受動的)
- 明度分布に関する情報
- (i) 明度分布—明度の変化から面方向を予測
 - (ii) 照度差ステレオ—2章末尾参照。
- (3) その他
- a) 線画情報—実在する多面体の稜と頂点は一定の関係を満たすものに限られる事を利用。

- b) 見え隠れ—不完全な形状から対象が認識できてはじめて隠れが分かる。しかし隠れから求まるのは前後関係のみ。

これらの制約を利用した様々な手法が提案されているが、決定的な手法はなく、照度差ステレオを除けばいずれも高度な画像処理を要求する。

4. 透視図法の変形の利用

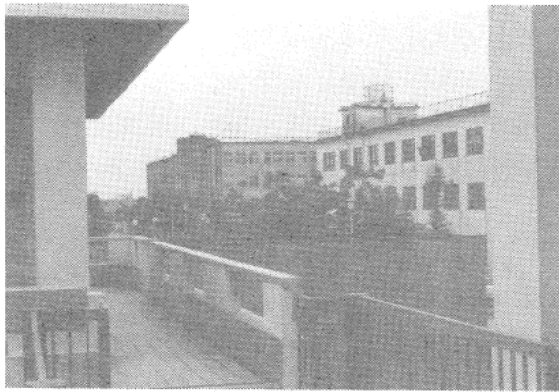
われわれはこれまで前章の(2)–b)–(ii)に述べた無限遠点 (消失点) を利用した三次元の復元に関する研究を行って来た。周知のように無限遠点は、外界が中心投影によって画像に投影されたとき、その中の直線が透視図法の変形を受け、本来無限に続く直線の一端が画像中の一点に収束する、その点をいう。無限遠点の画像中での位置は直線の三次元的方向と一対一の対応関係にあるので、何らかの方法で無限遠点の位置が求まれば直線の三次元的な方向が分かる。さらに、直線上の2点の相対的な奥行き方向の距離が射影幾何学の基本原理である複比不変性に基づいて、無限遠点と2点の座標とから簡単に計算できる。それゆえ透視図法の変形による三次元認識の問題は無限遠点を如何にして抽出するかに集約される。

4.1 無限遠点の抽出

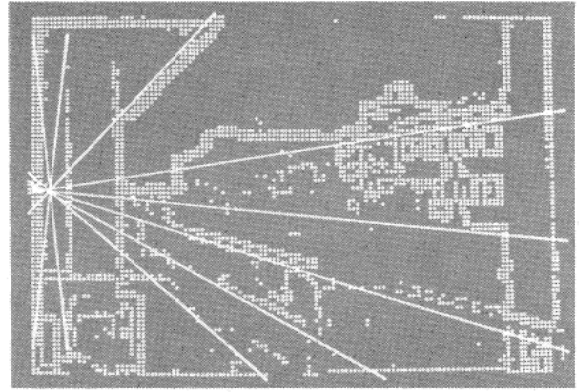
人間は画像を見ると一目で近景遠景の判断がつき、無限遠点も見えて取れる。しかしその判断の根拠は明示できない。したがって現在用いられている無限遠点の判定は画像中での直線成分の集中点であるという性質に頼っている。

最も単純な方法は、空間中で平行であることがわかっている直線群を画像処理により抽出し、その交点を求めることである。通常これらは切れ切れになるため断片的な平行線成分が集中する点を見いださねばならない。このときHough変換がしばしば利用される。この変換は散在するエッジ要素から直線を構成するものを抽出するのに有効な手法である。これを2度用いて無限遠点を求める手法も提案されているが、われわれはその変形を用いている。この種の方法では強いエッジを持つ建物の角などと無限遠点との区別が困難である (図1.参照)。したがって、

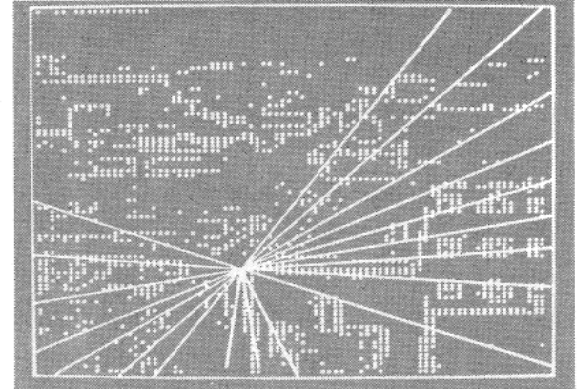
図1 情景画像中の無限遠点の抽出



成功例



失敗例



無限遠点をより正確に求めるには近景遠景の有効な分離方法など周辺技術の開発が必要と思われる。

そこで発想を変え、先に述べた無限遠点から相対的な奥行き距離を求める手法を逆に利用し、一直線上に距離の比が既知である3点間を求め、その像から無限遠点の位置を算出する手法を提案している。この手法は次節の物体移動の認識のさらに一般的な場合に用いている。

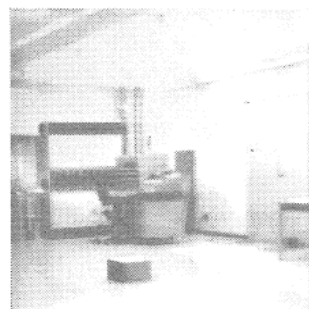
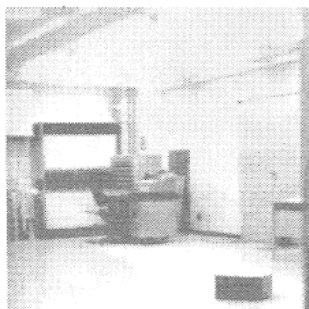
4.2 物体移動の認識への応用

2章で求めた単眼視の定義からは外れるが、

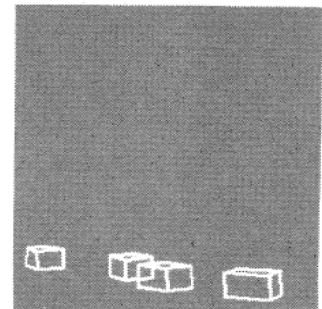
一台の固定カメラで捕らえた移動する物体の連続画像を処理することによって、三次元的な物体運動を認識できれば応用範囲は広い。このような場合にも無限遠点が活用できる。とくに平面上を移動する物体の移動軌跡はカメラの俯角が分かれば極めて単純な計算式で求められる事が無限遠点の導入によって導かれる。図2に示した系列画像を処理することによって得られた実験結果を図3に示す。

4.1の終りに述べた手法を用いて空間中を自由に動き廻る物体の運動の認識実験にも成功している。また移動カメラから得られる映像の系

図2 (1)入力画像の一部

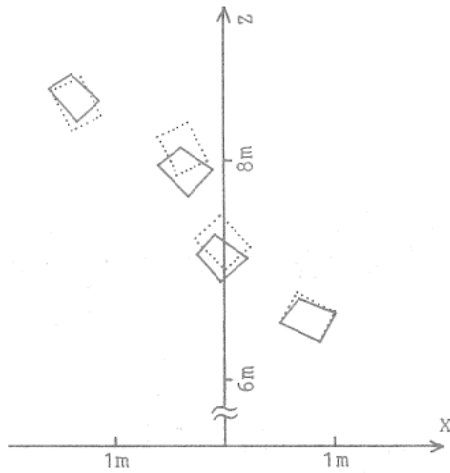


(2)系列画像中の移動物体の線画



列からカメラ自体の運動も求めている。

図3 前回の(2)に基づく計測結果(実線)



5. むすび

以上のほか平面上の二つの直線の無限遠点が求まれば無限遠線が求まり、その面の方向が定

まる。すると一点を基準として平面上のすべての点の相対的な位置を定めることもできる。無限遠点の抽出法の改良が待たれる。

物体移動の認識・計測には代数幾何や流体力学の応用が可能である。このとき複雑な式の計算が必要になるため、この種の問題には不向きだと考えていた。しかし、計算式が誤差に敏感であったり、無縁根が多数現われるものでなければ、少々複雑な形をしていても、計算式にとってはパターン認識よりは遥かに性のよい問題であり、これらの手法も運動認識には有効かも知れない。

話は戻るが両眼視を導入したとしても、単一の手法では物体や環境の認識は容易ではなく、いくつかの手法の融合が必要となろう。人間はごく自然にこのような方式を用いている。人間の眼と頭脳がここまで発達を遂げるには気の遠くなるような歳月を要したであろうが自然の摂理の巧みさにはただ撃たれるばかりである。