

無限平面内での消失点抽出

松藤 和夫 齋藤 隆文†

東京農工大学工学研究科

†東京農工大学情報工学部コミュニケーション工学科

〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

Email: { kazz@vc.cs, txsaito@cc }.tuat.ac.jp

本研究では、実写画像から三次元のモデリングを行う際の手がかりとして、消失点を抽出する手法を提案する。三次元空間内の平行直線群を二次元平面に透視投影すると、必ず一点で交わる。しかしこの消失点は、無限遠点あるいは非常に遠くに位置する可能性があるため、誤差のある直線群から最も適切な交点を求めることが難しい。

そこで、無限平面を有限の円形領域に変換し、その上で投票によって消失点を抽出する手法を提案する。これにより無限遠の消失点と有限距離の消失点を統一的に扱うことができる。

Extraction of Vanishing Points in Infinite Plane

Kazuo MATSUFUJI Takafumi SAITO †

Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

†Department of Computer, Information and Communication Sciences

Tokyo University of Agriculture and Technology

2-24-16 Nakamachi, Koganei, Tokyo, 184-8588 Japan

This Paper proposes a method that extracts vanishing points from a photograph for image based modeling. By perspective projection, parallel lines in 3D space cross each other at single point on the projected 2D Plane. But such vanishing point, however, can exist at an infinite point or so far from the image area. Thus, it is difficult to extract the most appropriate crossing point from lines with error.

We propose a transformation which converts infinite plane to a limited circular region, where vanishing points are extracted by voting. It enables to unity the extraction process of both infinite and finite distance vanishing points.

1. はじめに

近年のコンピュータグラフィックスの発展に伴い、写実的な映像を作り出すことが可能となってきた。しかし、三次元形状のモデリングには依然として膨大なコストがかかる。そこで、実写画像をもとに三次元形状をモデリングする、いわゆる Image Based Modeling の研究が、最近盛んに行われている。例えば、複数の二次元画像上のエッジを指定し、幾何形状を当てはめることにより三次元のモデリングを行う研究 [1] や、一枚の画像上で消失点を指定して三次元構造を仮定し、三次元アニメーションを作る研究 [2] などが行われている。この場合、コンピュータビジョンの手法を用いた自動処理と、人間が対話的に形状を指定あるいは操作する手動処理とを、いかに効果的に組み合わせるかが課題となる。

建築物などの場合、物体を構成する多くの辺は、互いに平行もしくは直交している。このような対象物では、実写画像における消失点を求めることにより、投影時の視線方向が得られるため、三次元形状を作る際の大きな手がかりとなる。しかしながら、消失点は画像上では無限遠点もしくは有限でも極めて遠い点に位置することもあり、これらを統一的に扱うことが難しい。

本研究では、無限平面を有限円形領域に変換することにより、消失点をその距離にかかわらず統一的に抽出する手法を提案する。

2. 消失点抽出の方針と問題点

2.1. 消失点抽出の方針

三次元空間中の平行直線群を透視投影により二次元平面に投影した場合、一点で交わる直線群となる。この交点が、消失点である。投影した結果も平行直線群である場合は、消失点は無限遠点に存在する。

一つの消失点は、三次元空間内の二本の平行直線を二次元画像上で指定すれば、求めることが

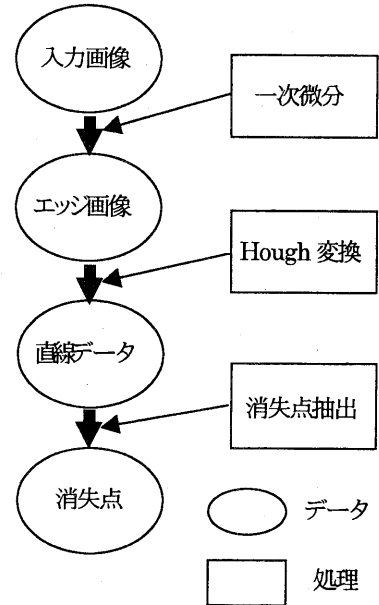


図1 従来の消失点抽出手順

できる。しかし、誤差の影響を考慮すると、多数の平行直線群から求めることが望ましい。そのためには、個々の直線を手作業で指定することは現実的でない。

実写画像上の直線をすべて自動で抽出するためには、実写画像を一次微分によって画像上のエッジ点を抽出し [3]、そこから Hough 変換を用いて直線を抽出する [4] ことが、最も単純で汎用性が高い。そこで、本研究では、Hough 変換によって画像上の直線をすべて自動抽出し、そこから消失点を求める、という方針をとる。(図 1)

2.2. 消失点抽出時の問題点

理論的には三次元空間内の平行直線群は消失点で一点で交わる。しかし、実際には誤差のために一点では交わらない。このため消失点抽出には以下の方法が考えられる。

(A) 直線との誤差が最小になる点を最小二乗法などにより抽出

(B) 二次元平面を細かく離散化した配列を用意し、直線の通る要素に投票 (Voting) する

しかし、どちらの方法でも、消失点の存在する領域は無限平面なので、取り扱いが難しい。

(A) の方法では、遠くにある消失点ほど誤差が大きくなるため、誤差を一律に扱えない。また、直線が平行に近い場合、わずかな誤差で消失点は反対側に出てしまう。さらに、最小二乗法の対象となる直線を判別することは、必ずしも容易ではない。

(B) の方法では、消失点が画像内にあれば画像領域に投票すればよい。しかし、一般に消失点の存在範囲は無限平面上であるから、投票するための領域をどの程度の大きさにすれば適切なかが問題となる。

3. 提案手法

前章の (B) の方法では、投票すべき領域が無限平面であることが問題であった。そこで、これを有限領域に変換して投票する一手法を提案する。

3.1. 無限平面から有限円形領域への変換

以下に提案する変換手法の手順を示す。

- [手順 1] 入力画像の中心を原点として、おおむね ± 1 の範囲に納まる大きさに正規化する。
- [手順 2] 正規化された入力画像の中心 O' において画像平面と接するように、半径 1 の球を置く。この球の中心 O と画像上の点を結んだ線分と球面の交点に、画像上の点を投影する (図 3)。
- [手順 3] 点 O' の反対側の球上の点 O'' から、入力画像と同じ平面上に逆に投影する (図 4)。

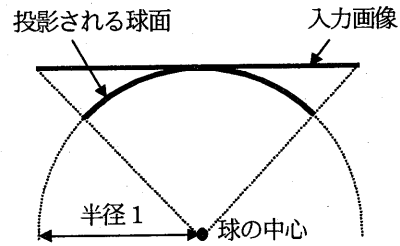


図 2 投影される球面の断面

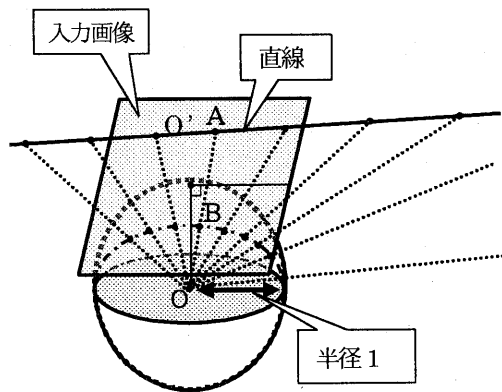


図 3 無限平面上の直線を球へ変換

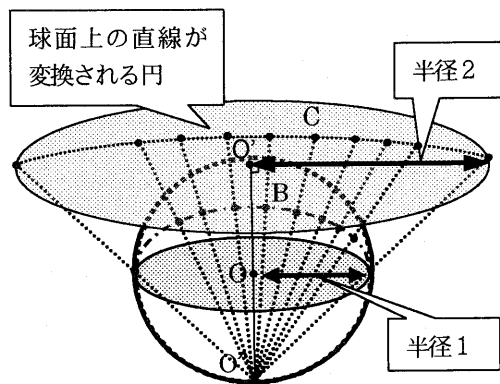


図 4 無限平面上の直線の球への変換

手順1では入力画像の中心が原点で、長辺の半分の長さが1になるように正規化する。正規化を行う理由は、入力画像を球面に変換する際の解像度の低下を防ぐためである。(図2)

手順2では、図3のように、画像上の点を、Aと球の中心Oとを結んでできる線分と球面が交わる点Bに投影する。この変換で、無限平面は半球面上に投影される。画像上の直線は、球面上の大円に変換される。無限遠点は、球の中心を通り入力画像に平行な大円に変換される。

手順3では、図4のように点O'を中心として、手順2で投影した半球面上の点Bを入力画像と同じ平面上との交点Cに投影する。これにより、半球面上のデータは半径2の円盤に変換される。画像平面上の無限遠点は、円周に変換される。また、画像平面上の直線は、円弧に変換される。

3.2. 提案手法の利点

無限平面を有限円形領域に変換して投票することの利点は、以下のとおりである。

- (1) 無限遠点を含むすべての点が、有限円形領域の中で統一的に扱える。これにより、消失点を距離によって区別する必要がなくなる。
- (2) 距離により解像度のバランスが保たれる。消失点は、有限の画像内の線分の交点として求めるため、画像から離れた消失点ほど誤差が大きくなる。一方、円形領域への変換によって、遠くの領域ほど圧縮されるため、相対的に解像度は低くなる。これによって、全体として無駄のない解像度を確保できる
- (3) すべての直線は円弧に変換される。このため複雑な曲線計算は不要である。

3.3. 消失点の抽出例

原画像(図5)からエッジ画像(図6)を作り、Hough変換により、直線を抽出する(図7)。その抽出された直線群を、提案手法により円形領域に変換して投票し、消失点を抽出した例を図8に示す。

4. 直線抽出への応用

提案手法による、無限平面から有限円形領域への変換は、他にもいくつかの応用が考えられる。ここでは、前段のHough変換による直線抽出への応用について述べる。

Hough変換によって、直線を求める場合、通常は

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

ρ : 原点から直線までの距離

θ : 直線の傾きの角度

で表現し、 θ - ρ 空間で投票を行うことが一般的である。図6のエッジ画像に適用した例を図9に示す。一方、点と直線との双対性を考えると、直線を

$$ax + by + 1 = 0$$

で表現し、 a - b 空間で投票を行うことが自然である。この変換では、投票すべき領域は無限平面となる。しかし、3章の方法を適用すると、これを有限円形領域に変換して直線を抽出することができる。図6のエッジ画像に適用した例を、図10に示す。

この方法では、点と直線との双対性を素直に使うため、変換された領域と原画像との対応点が直観的に分かりやすい。また、直線抽出と消失点抽出の投票処理が統一化できる。

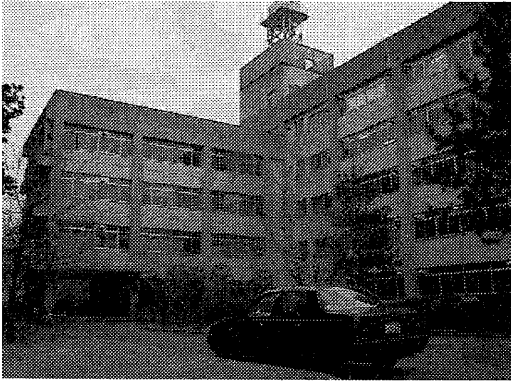


図5 原画像

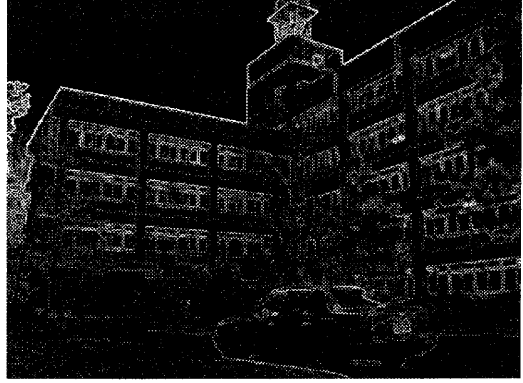


図6 エッジ画像

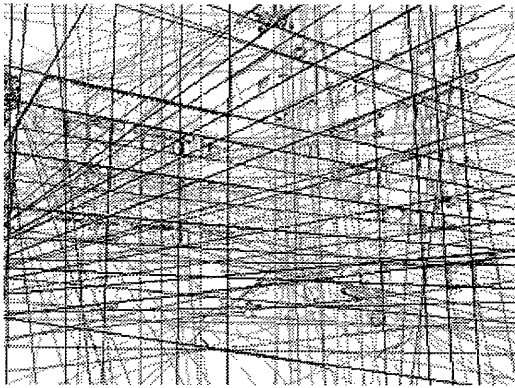


図7 直線抽出画像

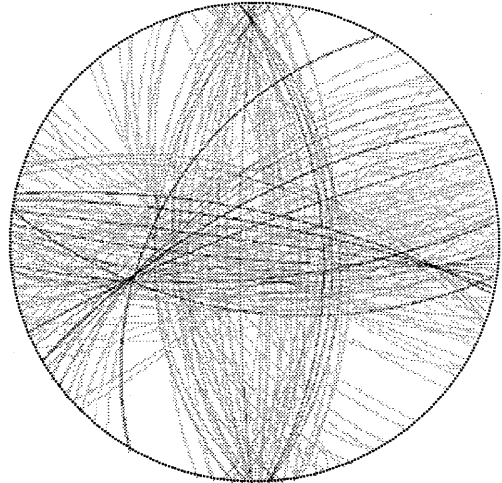


図8 消失点抽出画像

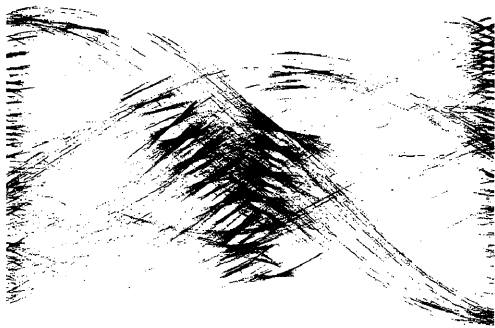


図9 θ - ρ 空間における Hough 変換

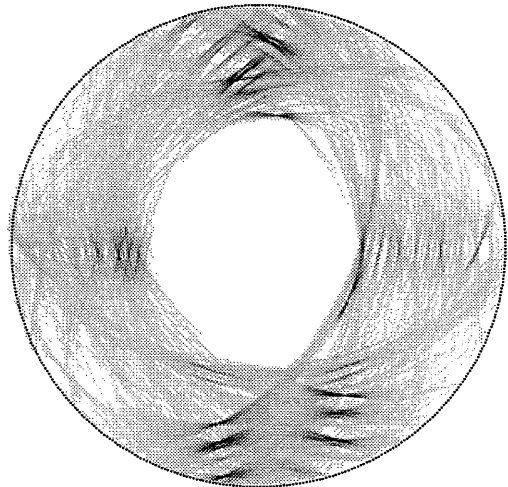


図10 a - b 空間における Hough 変換

5. まとめ

本研究では、無限平面を有限円形領域に変換する手法を提案することにより、消失点をその距離にかかわらず統一的に抽出できることを示した。また、提案手法を直線抽出に適用することにより、直観的な直線抽出を実現した。

今後の課題として、消失点の自動抽出の他、有限円形領域での誤差の解析と適切な解像度設定方法の検討が上げられる。

本論文では、実写画像から消失点の抽出までを実現したが、これを活用して実写画像からの効率的なモデリングを実現したい。

参考文献

- [1] Paul E.Debevec, Camillo J.Taylor, Jitendra Malik: "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach", Computer Graphics Proceeding, Annual Conference Series, pp.11-20, 1996
- [2] Youichi Horry, Ken-ichi Anjyo, Kiyoshi Arai: "Tour into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image", Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.225-232, 1997
- [3] 長尾 誠, 画像認識論, コロナ社, pp.46-53, 1983
- [4] R.Nevatia, 人工知能-コンピュータビジョンのための画像認識と画像理解-視覚的マシン知覚-, 啓学出版, pp.115-135, 1986