

確率的表現に基づく消失点の安定検出に関する研究

舛本高紀¹ 陳謙² 今井敏行³

¹ 和歌山大学大学院システム工学研究科 ² 株式会社センスタイムジャパン

³ 和歌山大学システム工学部

1 はじめに

3次元空間内の平行線群をカメラで撮影すると、画像上の平行線群の像は1点に集まる直線群になる。この点を平行線群の消失点という。画像上の消失点と投影中心を結ぶベクトルの向きは、平行線群の3次元方向と一致する。そのため、消失点検出によって平行線の3次元方向を推定することができる。我々の身の回りにある人工物の多くは平行線を持っているため、コンピュータビジョンにおいて消失点検出によって平行線の方向を分析することは重要な処理である。3次元空間内で同じ方向の平行線群の像は、理論上は1点で交わる。そのため、画像から直線を検出し、直線ペア同士の交点を計算し、多くの直線が通る交点を見つけることで、消失点を検出できる。しかし実際は、デジタル画像の標本化誤差や直線検出に含まれる誤差などの影響を受けるため、検出した直線は1点で交わらなくなる。この問題を解決するために、[1][2]等様々な手法が提案された。しかし、その多くは画像から検出した直線や線分を、直線の方程式のパラメータや線分の2つの端点を使って記述している。そのような方法だと、1本の直線や線分のみが計算に採用され、それ以外の直線(検出した直線からわずかにずれた直線)は無視されるため、誤差を十分に考慮できない。田畑[4]は与えられたエッジ点列を通過する直線を記述する際、エッジ点列の情報から直線のパラメータの確率分布を求めることで直線のパラメータの不確実性を表現し、画像平面上の点が直線にのる確率を推定した。そして求めた確率を投票法によって累積することで、消失点検出を行う新しい手法を提案した。しかし、この手法は、投票結果に基づいて直線を消失点ごとにクラスタリングしている。そのため、別の消失点に属する直線が投票に影響を

与えてしまうため、誤検出を起こすことがある。本稿では、[4]の手法を改善し、安定した消失点検出手法について提案を行う。

2 直線の確率的表現

本章では、田畑[4]の行った直線パラメータの確率分布表現と任意の点を直線が通る確率の計算について説明する。入力として与えられた画像内のエッジ点列を用いて直線をフィッティングする際、エッジ点列を通る可能性のある直線を表現するために、検出した直線の周囲に分布する直線の束を使って表現する。その際、元の点列を通る直線としての信頼性を、検出した直線とのずれ (ρ, α) に関する正規分布 $p(\rho, \alpha)$ によって表現する。

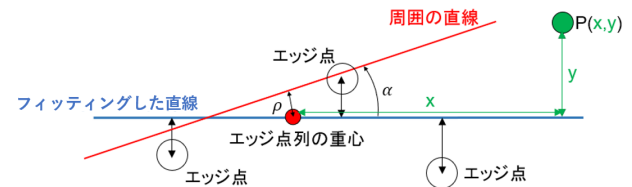


図 1: 直線の表現

点列の重心を原点、検出した直線を X 軸、検出した直線の法線を Y 軸とする座標系において、画像平面上のある点 (x, y) を通る直線には次の式が成り立つ。

$$-x \sin \alpha + y \cos \alpha = \rho \quad (1)$$

直線の確率分布 $p(\rho, \alpha)$ に式 1 を代入すると、ある点 (x, y) を通る直線の確率分布 $p(-x \sin \alpha + y \cos \alpha, \alpha)$ となる。点列を通る直線がある点 (x, y) を通る確率 $p_L(x, y)$ を、点列を通る全ての直線の中で (x, y) を通る直線の確率の合計とすると、式 2 が導出される。 (σ_x^2, σ_y^2) は点列を構成する点の分散、 σ_e は正規化のための定数である。図 2 に式 2 の分布を図で示す。計算を行う範囲は $|y| \leq 3\sigma_L(x)$ とする。

Vanishing point detection by voting based on probability

Koki Masumoto¹, Qian Chen² and Toshiyuki Imai³

¹ Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

² Sense Time Japan Ltd.

³ Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

$$\begin{aligned}
 p_L(x, y) &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} p(-x \sin \alpha + y \cos \alpha, \alpha) d\alpha \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L(x)} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_L^2(x)}} \quad (2) \\
 \sigma_L(x) &= \sigma_e \sqrt{1 + \frac{x^2}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}}
 \end{aligned}$$

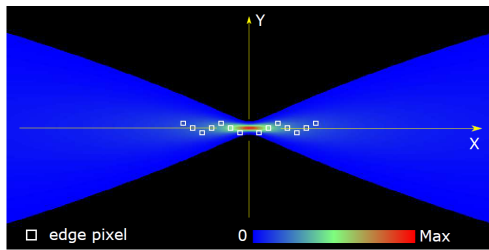


図 2: 直線が通る確率の分布

3 提案手法

本章では、直線の確率的表現を用いた消失点検出手法について説明する。直線が通る確率を全てのエッジ点列で求めて累積することで、多くの直線が通過する可能性の高い座標を消失点として求める。その際、消失点は無限遠点になる可能性があるため、投影中心を囲む立方体を用いる。格子状に離散化された立方体表面に直線を投影し、各格子に求めた確率を累積（投票）する。これにより、複数の直線の交点の確率分布表現を行い、画像平面上の無限遠点を含むすべての点の中から消失点を検出する。検出後は直線の抽出と再投票を繰り返すことで、各消失点を通る直線に分類する。多くの直線が交差する消失点を検出するため、立方体表面の格子には、(1) 累積確率、(2) 通過回数の2つの属性を持たせる。累積確率の投票では、式2によって求めた値を投票する。通過回数の投票では、直線の通過回数をカウントするために、各格子で累積確率が投票された回数を数える。消失点検出の手順は以下の通りである。

1. 検出したエッジ点列を用いて累積確率と通過回数の投票を行う
2. 通過回数最大の格子の集合内で累積確率の重心を消失点として検出
3. 消失点を通る確率の高い直線を抽出
4. 抽出した直線で再投票
5. 検出した消失点が含まれる格子の累積確率が最大になるまで2-4を繰り返す

6. 消失点を通る確率の高い直線を今後の処理から除外して1に戻る

4 実験

本手法の有効性を検証するために、3つの手法 [1], [2], [4] との消失点検出結果の比較を行った。実験には、York Urban Database[3] の画像 102 枚を用いた。人間の目で識別した画像内のエッジ点列を抽出し、抽出したエッジ点列を用いて計算した消失点を正解として扱う。102枚の画像の正解の消失点の合計は 313 個であった。消失点検出結果の評価には、投影中心からの正解の消失点へのベクトルと、検出した消失点へのベクトルとの間の角度を用い、これを角度誤差と呼ぶ。表1に実験結果を示す。検出数 (total) は消失点の検出総数を示し、検出数 (good) は角度誤差が 5° 未満の検出数を示す。

表 1: 実験結果

検出手法	検出数 (total)	検出数 (good)	検出率 [%]	平均角度誤差 [degree]
提案手法	360	265	73.6	1.43
[1]	315	145	46.0	2.50
[2]	306	116	37.9	1.48
[4]	662	268	40.4	1.63

5 おわりに

本稿では、直線の確率的表現に基づく消失点検出手法の提案と、実験による評価を行った。実験の結果、提案手法は従来手法に比べ、精度を落とすことなく誤検出を減らすことが出来た。

参考文献

- [1] J.Kosecka and W.Zhang. Video Compass. *ECCV*, 657-673, 2002.
- [2] B.Li, K.Peng, X.Ying, and H.Zha. Simultaneous vanishing point detection and camera calibration from single images. *Intl.Symposium on Visual Computing*, II(LCNS 6454):151-160, 2010.
- [3] P.Denis, J.H.Elder, and F.J.Estrad. Efficient edge-based methods for estimating manhattan frames in urban imagery. *ECCV*, II(LCNS 6454):197-210, 2008.
- [4] 田畑皓資. 確率分布投票法による消失点の検出. 和歌山大学システム工学研究科修士論文, 2016.