

人工物のエッジ検出による画像のロール角度推定

○石黒 達万 (明治大学), 橋本 健二 (明治大学)

Image Roll Angle Estimation by Edge Detection of Artificial Object

○Tatsuma ISHIGURO (Meiji University), and Kenji HASHIMOTO (Meiji University)

Abstract: This paper proposes an image roll angle estimation method by edge detection of artificial objects. The edges of artificial objects in an image are detected as line segments by the Canny edge detection algorithm and Hough transform. The tilt angle of the image is estimated from the angles of the detected line segments. We succeeded in estimating the roll angle of 26 images out of 30 images.

1. はじめに

近年, バーチャル・リアリティ (virtual reality : VR) が急速に普及している. 一般的な VR 装置とはヘッド・マウント・ディスプレイやゴーグルをつけ, 人工的な視覚的感觉データを提示して現実と同じような世界を体験させるものである. 頭の動きに応じて映像が動くことにより, 視覚からの情報のみであるにも関わらず, 実際にその景色にいるような感覚を得る. 被験者は動いていないときに, VR 映像が傾いたり, 動いたりすると, 被験者も傾きや動きを感じる[1]. これは「ベクション (Vection) : 視覚誘導性自己運動感覚」[2]というものであり, 一定方向に運動する視覚パターンを観察した場合に, 観察者がその逆方向に運動しているかのように知覚する錯覚現象, およびその感覚のことである.

人の重力環境下における姿勢の維持に関与している器官の一つに前庭器官がある. 前庭器官には半規管と耳石器官があり, 半規管は回転加速度を, 耳石器官は直線加速度を感知する. 人はこの器官でのみ, 直接的に加速度の変化を感じ取ることができる. その他の感覚器官は重力を含め, 加速度を二次的に知覚しているのである[3].

ベクションが起こる理由は, 体に加速度入力がない, すなわち, 前庭器官に入力がゼロのときに, 視覚から等速運動をしているような入力が入り, 中枢が視覚の入力を優先的に取り入れるためといわれている[3]. このことから, 人は姿勢制御に前庭感覚のみでなく, 視覚からの情報も少なからず利用しているということが分かる. しかし, 姿勢維持について, 前庭感覚と視覚がどの程度の感覚を共有しあい, 姿勢を制御しているかは具体的に解明されていない[2]. この問題の解決策としてロボット工学の観点から解析する方法, すなわちヒューマノイドロボットに人に近いセンサを搭載し, 複数のセンサの協調の仕方を調べることで, 人間の感覚共有を理解することを本研究では試みる.

長期的目標は視覚も含めた人間の姿勢制御とそのメカニズムの解明である. 本研究では, 視覚情報からロボットの傾きを推定する第一歩として, 撮影した画像からカメラの傾き角度を推定することを目標とする. 今回は推定する角度をロール角度に限定し, 撮影環境は屋内のみを対象とした.

2. 画像のロール角度推定の手法

2.1 提案手法の概要

カメラの傾きを推定する方法として, 人工物のエッジに着目した. 現代では屋内・屋外ともに人工物であふれており, 多くの人工物のエッジは地面に対して鉛直, または水平で, かつ, 直線であることが見て取れる. すなわち, 人工物のエッジを検出したとき, 結果として地面に鉛直・水平な直線が最も多く検出されるだろうと予測できる. そこで本研究では, オープンソースの画像処理ライブラリである OpenCV に含まれる機能を用いて, 人工物のエッジ検出・直線検出を行い, 画像の傾き角度を推定することとした.

2.2 ロール角度推定の流れ

2.2.1 Canny 法によるエッジ検出

読み込んだ画像のエッジを検出する. 画像処理の面からいうエッジとは, 色が極端に変化する場所のことである. 検証画像として Fig. 1 を例に挙げる.

本研究ではエッジ検出に Canny 法を用いる. Canny 法は画像にあるノイズを平滑化することにより削減し, x 方向と y 方向の一次微分式を取得する. これらの方向微分値が極大となる点がエッジに組み入れられる候補となる. 候補になったエッジの内, 正しいエッジとそうでないものを区別する方法としてヒステリシス閾値を適用している. 画素数の微分値に上限と下限の二つの閾値を設けることによって, 上限の閾値を超えていたらエッジのピクセル, 下限の閾値を下回っていたら破

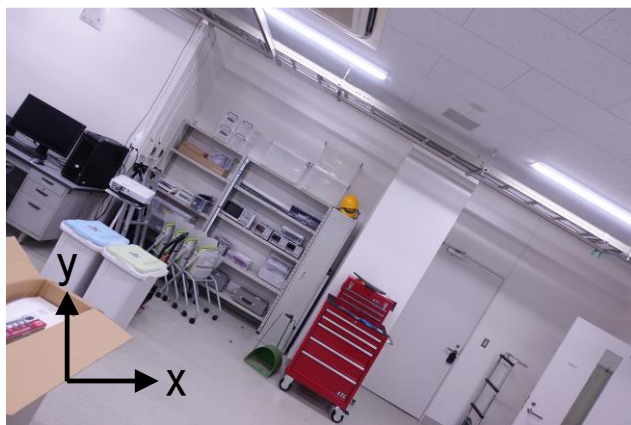


Fig. 1 検証画像 (1)

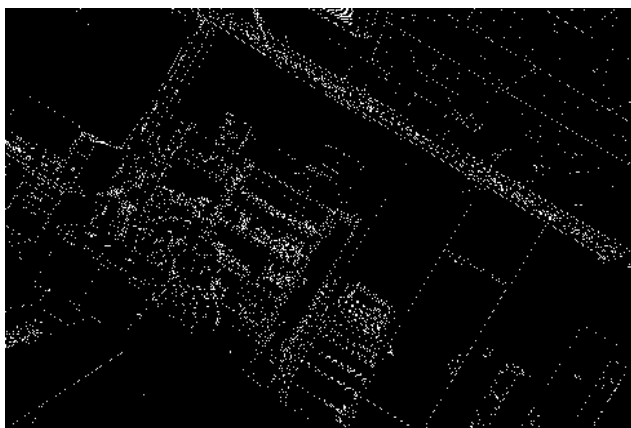


Fig. 2 エッジ検出画像

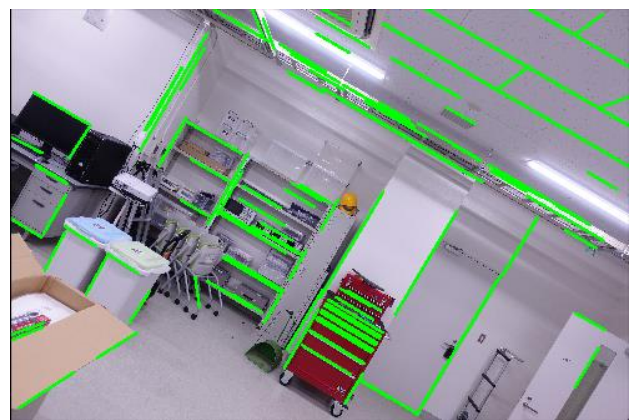


Fig. 3 Hough 変換画像 (1)

棄, 中間の場合は上限よりも上のピクセルと繋がっているときのみエッジとみなされる, という選別を行う手法である. Fig. 2 に Fig. 1 の画像をエッジ検出した結果を示す.

2.2.2 Hough 変換による直線検出

Hough 変換は画像内にある線や円などの形を見つけ出す方法である. 今回はエッジ検出した点群データの画像から, 人工物の直線を検出したいため, Hough 円変換ではなく, Hough 線変換のみを用いる. Fig. 3 に Fig. 2 を Hough 変換した画像の例を示す.

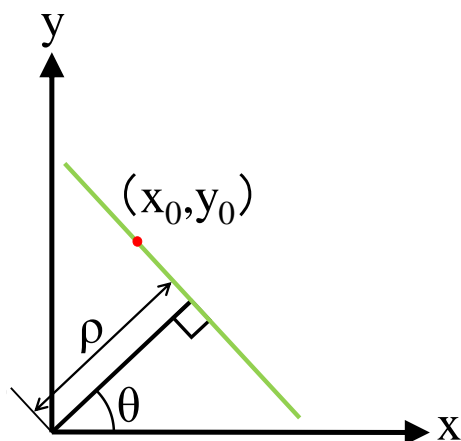


Fig. 4 座標 (x_0, y_0) を ρ と θ でパラメータ化

基本的な理論は, 二値画像内の点はどの点も, 何かしらの線の一部である可能性があるというものである. 画像内のすべての直線は極座標 (ρ, θ) にパラメータ化することによって, 式(1)の形で表すことができる.

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

ここで, ρ は原点から直線までの距離, θ は直線の法線と横軸のなす角である (Fig. 4).

入力画像内のある座標 (x_0, y_0) は異なる ρ と θ でパラメータ化された多くの線を示す. OpenCV の Hough 変換では (ρ, θ) 平面内の極大値を返す[4].

また, Hough 変換により検出される線分に閾値を定め, あまりにも短い線分は除去することにした. これは, 短すぎる線分は人工物のエッジではない可能性があると考えたためである.

2.2.3 水平成分の線分除去

Fig. 5 のような奥行きのある画像を考えたとき, 水平成分の線分は一点透視図法のように消失点に向かって斜めに検出される (Fig. 6). このとき, 本来は水平であった線分が斜めに検出され, 画像のロール角度推定の妨げになる. そこで, 水平線分を除去し, 奥行きのある画像でも線分の傾きに影響のない鉛直成分のみで, ロール角度推定をする手法をとる.

水平成分の線分を除去する方法として, 水平成分が検出される角度の範囲を限定し, その範囲内で検出された線分を排除することとした. しかし, 画像内だけでは, 重力方向が分からず, 水平成分と鉛直成分の区別がつかない. そこで, 多くのヒューマノイドロボットは慣性センサ (Inertial Measurement Unit : IMU) を搭載しているため, 重力方向は IMU の加速度センサを用いて既知であるものとする. これにより, 重力方向により近い傾きの線分が, 鉛直方向のものであることが分かる.

また, 水平成分の検出される範囲を限定するため, カメラの傾き角は ± 45 度以内であると仮定する. これらの仮定により水平成分の線分は, 必ず ± 45 度の範囲内にあ



Fig. 5 検証画像 (2)



Fig. 7 検証画像 (3)



Fig. 6 Hough 変換画像 (2)



Fig. 8 Hough 変換画像 (3)

り、それ以外の範囲に鉛直成分の線分が存在することになる。よって、検出角度の中から ± 45 度の成分を除外し、それ以外のデータを用いて鉛直成分を検出し、画像のロール角度を推定することとした。

2.2.4 直線検出結果に基づく画像のロール角度推定

画像のロール角度推定にあたり、検出された直線を角度ごとに選別する。提案手法から、鉛直成分の線分が多く検出されると考えられるため、これを基準に画像の傾き角度を推定する。本研究では、検出本数の最も多かった線分の角度が、撮影したカメラのロール角度と一致していたときに角度推定が可能と判断する。

2.3 検出線分の角度間隔

撮影時、カメラのロール方向の傾きを実測するために使用したデジタル角度計の読取精度が ± 0.2 度であったため、線分の検出角度間隔は ± 0.2 度より大きくすべ

きである。そこで、提案手法による画像のロール角度推定の精度検証のための線分の検出角度間隔を 0.5 度刻み、1.0 度刻み、2.0 度刻みの三種類にすることとした。

3. 実験

3.1 検証画像

検証画像は 10 カ所の室内で撮影したものを使用した。カメラの傾き角度を決める際に、 ± 45 度以内、かつ、ロール角度推定の検証が分かりやすいという条件を考え、本研究では 0.0 度、+20.0 度、-20.0 度の三種類の角度で撮影することとした。実験で検証した画像は、合計で 30 枚である。それぞれの画像に対して本数が多く検出された角度を順に五つ挙げ比較した。

3.2 実験結果

検証画像のうちの一つを例として Fig. 7 に示す。Fig.

Table 1 線分の検出角度間隔と本数の関係 (カメラ角度 : 20.0 度)

推定角度の間隔	0.5 deg		1.0 deg		2.0 deg	
検出本数の多い順	検出角度 deg	本数	検出角度 deg	本数	検出角度 deg	本数
1	20.0	92	20.0	116	20.0	120
2	19.5	24	-15.0	8	-14.0	9
3	4.5	5	5.0	5	-16.0	7
4	-14.5	5	40.0	4	4.0	6
5	-15.0	5	8.0	4	-12.0	6

7はカメラをロール軸周りに+20.0度傾けて撮影したものである。Fig. 7のHough変換画像はFig. 8のように、線分の検出角度間隔と本数の関係はTable 1のようになった。Fig. 7の画像では三種類の検出角度間隔すべてにおいて最も多く検出された線分の角度は20.0度と撮影時のカメラのロール角度と等しくなった。

撮影した30枚の画像を解析したところ、推定角度が真値と同じ角度になったものは、線分の検出角度間隔が0.5度間隔では21枚になり、70%にとどまった。1.0度間隔ではさらに5枚多い26枚になり86%の画像が、2.0度間隔では30枚すべての画像で推定可能であった。

以上より、人工物のエッジ検出により、カメラのロール角度推定は可能であることが示唆された。

4. 考察

同じ景色でカメラのロール角度を変化させて撮影し、検出角度間隔を0.5度刻みに設定し実験を行った。その結果、カメラのロール角度が0.0度の時は角度推定が可能であったが、-20.0度と20.0度の時は角度推定値が真値と異なるという画像もあった。同じ画像であるにもかかわらず、撮影時のカメラのロール角度によって推定可能かそうでないかと異なる結果が出るのは、撮影時に生じた誤差や、デジタル角度計の読取精度が原因であると考えられる。

また、同じ景色で撮影したカメラのロール角度0.0度、20.0度、-20.0度の画像で、検出角度間隔を0.5度刻み、1.0度刻みと変化させても、角度推定値と真値が等しくならない、Fig. 5のような画像があった。カメラのロール角度0.0度、20.0度、-20.0度で撮影した画像が三枚とも角度推定できないということは、撮影時の誤差や、角度計の読取精度以外の原因が考えられる。考えられる原因の一つとしては、撮影した景色には物が多かったため、人工物のエッジと物が重なり、検出線分が途切れて短くなったことが挙げられる。そのため、Hough変換において設定した閾値より検出線分が短くなり、本来であれば検出されるべき線分が、除去されてしまったのではないかと考えられる。そこで、検出線分の閾値の長さを短くし、より多くのエッジを検出するように変え、再び実験を行ったところ、短すぎるため排除されていた線分が検出された。Fig. 5をHough変換した画像はFig. 9のようになり、検出線分が増えていることが分かる。その結果、撮影時のカメラのロール角度と等しい値を推定することができた。

5. まとめ

本研究では、人工物には水平・鉛直の成分が多いという予測から、人工物のエッジを検出することにより、画像のロール角度の傾きを推定することを目的とした。



Fig. 9 Hough変換画像(4)

画像内の人工物のエッジをCanny法、Hough変換により線分として検出し、多く検出された線分の角度から画像の傾き角度を推定した。また、検出角度の間隔を0.5度、1.0度、2.0度の三種類で比較した。

10カ所の室内において、カメラの角度を0.0度、±20.0度の三種類で撮影した計30枚の画像において検証し、提案手法において、検出角度の間隔が0.5度であれば70%の精度で、1.0度であれば86%の精度で、2.0度であればすべての検証画像で、推定可能であることが分かった。

今後の課題として、人工物の少ない屋外での実験、ピッチ・ヨー角度の推定、映像からリアルタイムでの角度推定、角速度の推定などを考えている。また、本提案手法では、検出角度間隔が2.0度間隔のときに誤差なくカメラのロール角度推定が可能であったが、検出角度間隔が広いと推定精度が悪い。そのため、画像以外のセンサーデータも使用し、推定精度を向上させたい。

謝辞

本研究は明治大学科学技術研究所研究費（重点研究B）の助成を受けた。

参考文献

- [1] 三浦勇樹, 古賀宥摩, 新井啓介, 小西晃広, 橋口哲志, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “没入型映像空間における傾き知覚の分析(1)～左右方向の傾き知覚について～”, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 31B-04, pp. 649-652, 2016.
- [2] 日本視覚学会編: “視覚と他感覚との融合”, 視覚情報処理ハンドブック, pp. 507-510, 2004.
- [3] 大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正: “新編 感覚・知覚心理学ハンドブック Part2”, 誠信書店, pp. 457-462, 2007.
- [4] オライリー・ジャパン: “詳解 OpenCV3 —コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識”, pp. 334-338, 2018.