

被写体の傾斜分布に着目した全方位画像の自動傾き補正

河合 直樹[†]

大日本印刷株式会社[†]

1 はじめに

全方位画像は表示領域を対話的に変更することでシーンを見廻すような表現が可能であり、市街地の案内や不動産物件の紹介など、実在する空間の様子を詳細に伝える用途に適している。単体の全方位画像を閲覧するだけでなく、複数の全方位画像を合成することで撮影地点間で視点位置がスムーズに移動するように表示する研究[1]も報告されている。近年は片手で把持して撮影できるデバイスも普及し、三脚等を用いることなく簡単に全方位画像を撮影できるようになったが、手持ちによる撮影では鉛直に撮影することが難しく VR 酔いなどの原因となりやすい。撮影後にツールを使って補正することや、撮影時に記録した傾き情報を用いた補正も可能であるが、傾き情報がない場合や不正確な場合もあり、ツールを用いずに自動的に傾き補正できることが好ましい。石井ら[2]は、正距円筒図法に投影された全方位画像中で概ね縦方向に現れる直線群を検出し、それらから本来の水平線を推定することにより傾き補正を行うための回転変換を求める手法を提案した。この方法では密集した直線を除去する工程に起因して、直線が過多に検出された場合に補正できない場合があるなど、不安定であることが報告されている。

本研究では傾いて撮影された正距円筒図法形式の全方位画像に現れる被写体の鉛直構造から、画像の上下方向の中央部を通過する直線のみに着目して左右方向の位置に応じて変化する傾斜を解析し、補正に必要な回転軸の位置と回転量をロバストに推定することで、付帯情報を要せず画像のみから傾きを安定に自動補正する手法を提案する。

2 提案手法

本研究では石井らの手法と同様に、正距円筒図法の全方位画像中から、概ね縦方向に現れる直線を検出して、補正に必要な回転軸の位置と回転量の推定に用いる。石井らが密集した直線を除去したのに対して、本手法では画像の上下方向の中央線（中央ライン）上に現れた直線だけを用いる。また、直線の傾斜分布をロバスト推定を用いて単純な周期関数で近似することで、異常値の影響を回避した安定な推定を行う。

2.1 鉛直構造の検出

屋内や市街地ではシーンの多くで建造物が含まれ、これらを構成する鉛直構造のエッジは画像中で本来の鉛直方向を特定する手がかりとして利用できる。画像中から抽出されるエッジには、天井や床面、道路面等に見られる鉛直でない直線パターンも含まれるが、これらは撮影時の傾きが一定範囲内であれば画像の中央ライン附近に位置しないと仮定できるため、画像中に現れる直線のう

ち中央ラインを通過する直線だけを選別して推定に用いる。さらに、壁面の模様や梁などの鉛直構造以外から抽出されたエッジを除外するために、画像上で垂直に近い角度で現れる直線だけを利用する

まず、Cannyのエッジ検出を用いて原画像全体からエッジを検出する。図1に傾いて撮影された全方位画像、およびCannyのエッジ検出結果を示す。次にエッジとして抽出された画素の隣接関係を調べて多数の連結成分に変換した後、画像の中央ラインを通過する連結成分のみを残して他の連結成分を削除する。図2左に抽出された中央ライン上の連結成分を示す。この中から鉛直構造のエッジだけを抽出するため、連結成分の縦横比が一定範囲外の（相対的に横幅が大きな）連結成分を削除する。また、小さな連結成分は画素の空間的な離散性に起因した誤差が大きくなるため、画素数が一定未満の連結成分も削除する。以上の手順により、中央ライン上で一定面積以上の概ね垂直方向の連結成分だけが抽出できる。正距円筒図法では画像の中央ライン付近は歪みが少なく、直線は概ね直線として記録される[3]ため、残った連結成分をハフ変換により直線で近似する。以降、このように直線近似された連結成分をセグメントとよぶ。図2右に抽出されたセグメント群を赤色の線分で示す。

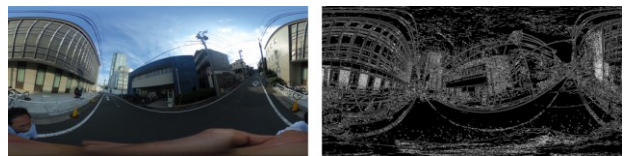


図1. 原画像およびエッジ検出結果

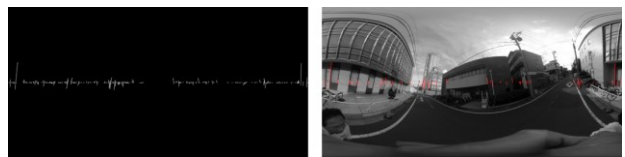


図2. 中央ライン上のエッジおよびセグメント

2.2 回転軸と回転量の推定

ここまで求めたセグメントの傾斜分布に基づいて、回転軸位置と回転量を推定する。図2右を観察すると、セグメントの傾斜は画像の幅方向に対して1周期の増減を示していることがわかる。画像の幅方向はシーンの方角角に対応しており、傾斜の変化を方位角つまり幅方向の位置 x に関する周期関数と考えると、傾斜が最大および最小となる位置 x が撮影時における傾きの軸であることがわかる。セグメントの抽出位置は離散的であるが、周期関数が推定できればその振幅はセグメントがとり得る最大傾斜を示し、これは撮影時の傾き角度に一致する。以上より、周期関数の位相と振幅を推定することで回転軸と回転量が特定でき、画像上で3次元的に回転写像を作用させることで、各セグメントは画像中で直立し、画像全体の傾き補正ができると考えられる。

An Automatic Angle Correction for Omnidirectional Images Based on the Leaning Distribution of Objects

[†] Naoki Kawai · Dai Nippon Printing Co., Ltd.

ここでは最小二乗法を用いて、周期関数を正弦波で近似することを考える。各セグメントの中央ライン上の幅方向位置を x 、傾きを α とすると、正弦波は x の関数、

$$\alpha = f(x) = A \cos\left(\frac{2\pi x}{W} - \varphi\right) \quad (1)$$

と表記することができる。ここで、 W は画像幅を表す。正弦波を特定するためには振幅 A と位相 φ の2つのパラメータを推定する。まず、 A と φ を一定間隔で変化させながら、ハフ変換により求めた各セグメントの位置 x に対する関数値 $f(x)$ と実際のセグメントの傾き α の誤差を二乗して累積し、二乗和が最小となる A と φ の組み合わせを暫定的な推定値とする。推定した曲線を赤紫で、各セグメントの傾斜を水色のドットでプロットした図を図3左に示す。

同図からはセグメントの傾斜分布が正弦波によって近似されていることが確認できる一方で、事前の選別で排除しきれなかった不適切なセグメントの傾斜が正弦波から乖離していることがわかる。これらは推定精度に影響を与えていると推測され、この影響を回避するために、推定曲線からの乖離に応じて式(2)で定義される重み ω を用いてロバスト推定を行う。

$$\omega = \begin{cases} \left\{1 - \left(\frac{d}{\Omega}\right)^2\right\}^2 & (|d| \leq \Omega) \\ 0 & (|d| > \Omega) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 d は推定した正弦波とセグメントの傾斜誤差、 Ω は許容値を表す。セグメント毎に求めた重み ω を用いて、最小二乗法による A と φ の推定を改めて行う。このとき、1回目の推定による誤差の大きさに応じて減衰する重みにより、不適切なセグメントの影響が抑制される。2回目の推定曲線を黄色で描画したものを図3右に示す。1回目の推定結果と比較して、振幅が約 0.5° 大きく、また位相は約 1.7° 画像左側にシフトした位置に推定された。

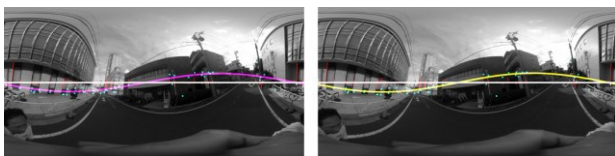


図3. 正弦波の推定結果

3 実験結果

提案手法による推定結果を用いて、3次元的に回転を施し、傾き補正を行った結果を図4左に示す。具体的には、推定された φ に相当する位置 x を回転の軸とし、振幅 A として推定された傾斜の最大値を回転量とした回転変換を施し、正距円筒図法に再写像した。この補正結果では、図1左に示した原画像と比較して、鉛直構造が概ね画像縦方向に一致していることが確認できるが、一方で左側建物2階の格子状構造のように歪みが残存していることもわかる。図4右は、左の補正結果に対して再度同じ処理を繰り返した結果であり、1回目の補正で残存した歪みもほぼ直立して見える程度に改善されていることがわかる。原画像において最も傾斜が大きかったエッジは約 12.6° の傾斜を持っていたが、補正を1回施すこ

とで約 1.2° に減少し、さらに2回目の補正処理により約 0.2° に改善した。これは1回目の補正により不適切なセグメントが中央ライン上から移動した結果、選別過程で除外することができるようになり、推定結果もより妥当になったものと思われる。



図4. 傾き補正結果

RICOH 社製 THETA S を用いて屋内外で手持ちにより撮影したサンプル画像(解像度: 5376×2688 画素)40点を用いて同様の実験をした。原画像での最大傾斜角はおよそ 6° から 20° の範囲をとっており、平均は 11.4° であった。1回目の補正により最大傾斜角は平均 3.3° となり、さらに2回目の補正で平均 1.5° に改善した。

4 むすび

本研究では傾いて撮影された全方位画像を解析して自動的に傾き補正する手法を提案した。石井らの手法と比較すると、画像中央ライン附近に現れる鉛直構造のみから傾きを本質的に捉え、位置に依存する傾斜分布から撮影時の傾きの軸位置と回転量を推定した。これらにより種々のシーンを撮影した全方位画像に対してロバストに補正量を推定することを可能にした。

実験結果では、手持ちで撮影した全方位画像40点の全てについて提案手法を適用することで改善が認められた。一方で、より精度を求めたい場合には同じ処理を複数回施すことが効果的であることも明らかになった。これは原画像の傾きが大きいと、屋内では天井や床など、屋外では電線や道路のペイントなどのエッジも中央ライン上に現れるため垂直エッジの選別時に残存して、曲線フィッティングに影響を与えているため、傾きがある程度是正された後にはこれらが中央ラインを通過しなくなることで削除できたことによる。このことは注意深く撮影することで原画像の傾きが数度程度であれば一回の補正で実用的な効果が得られることを示唆している。

また、本研究では鉛直構造の傾斜分布を便宜的に正弦波で近似していることも誤差の一因となっていると考えられる。実験結果からは、位相の推定は概ね正しくできているものの、振幅=回転量が実際よりも小さく推定される傾向があることがわかった。この点は、幾何学的により妥当な関数で近似することによって精度が向上すると期待できる。

参考文献

- [1] 河合直樹, "正距円筒図法による全方位画像間の方位調整に関する一考察", 第23回日本バーチャルリアリティ学会論文集, 22B-4, 2018.
- [2] 石井雄飛, 栗原徹, "全天球画像の円筒平面における直線検出を用いた水平補正", 第79回情報処理学会全国大会, pp.2-259--2-260(1N-05), 2017.
- [3] Hajime Taira. et. al., "Robust feature matching for distorted projection by spherical cameras", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 7, pp. 84-88, 2015.