

# 全天球画像の平面画像における直線検出を用いた水平補正\*

石井 雄飛<sup>†</sup>  
高知工科大学<sup>†</sup>

栗原 徹<sup>‡</sup>  
高知工科大学<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年、カメラ技術の発展に伴い、全天球カメラがより一般的なものとして普及しており、全天球カメラを用いた空間認識などが盛んに行われている [1]。全天球カメラを用いて撮影された全天球画像において、画像の保存形式として一般的に用いられる手法は正距円筒図法である。正距円筒図法では、緯度経度が直交する画像として展開され、一般に空間中の直線が湾曲する曲線へと変換される。一方で、正距円筒画像の歪曲に注目した処理により、部屋の空間形状を認識する研究 [2] が行われている。Seon らは空間中の平行線分が、全天球カメラでは球の大円に射影されることを利用し、正距円筒画像上でこの線分を検出する手法 [3] や、正距円筒画像から直交する3つの消失点を検出する手法を提案している [4]。

従来、正距円筒画像の水平補正にはカメラに内蔵される加速度センサ出力を用いた回転補正が利用されているが、十分な補正ができない画像も存在する。また、加速度センサ出力の値が欠損した画像も存在するため、加速度センサ出力を用いずに補正する手法が必要となる。

本研究では、全天球カメラを用いて撮影された正距円筒画像を加速度センサ出力を用いてある程度補正された画像を入力として、水平線に湾曲のない画像を出力することを目的とする。正距円筒画像上で水平線が直線で現れるとき、その水平線に対する垂直線は歪むことなく直線となる。歪みが抑えられた画像中であれば鉛直線は直線に近い形で検出され、鉛直線と水平線は直角に近い形で交わることを利用し、垂直線を検出することでカメラが地面に対して垂直に設置されて撮影した画像と同等の画像に補正する。

## 2 提案手法

本提案手法では、全天球カメラとして RICOH THETA 及び RICOH THETA S [5] を用いて撮影を行い、撮影された画像に対して水平補正を行う。

本提案手法において、補正は以下のような手順で行う。

- Step 1 EXIF の情報が欠損していない場合、撮影された画像から EXIF の加速度センサ出力を読み取り、球面上で回転させる。
- Step 2 ハフ変換によって画像中の直線を検出する。
- Step 3 画像中から検出された直線群から縦方向に伸びる直線のみを抽出する。

Step 4 抽出された直線群から密集している直線を除外する。

Step 5 密集が取り除かれた直線群と正距円筒画像上での水平線との直交を判定し、水平線の回転角と位相を1度ずつ動かしながら最も多くの直線と直交する水平線を探索し、回転角と位相を求める。

Step 6 Step 5 によって求められた回転角と位相を用いて、Step 1 で補正された画像を球面上で回転させる。

### 2.1 加速度センサ出力による補正

RICOH THETA 及び RICOH THETA S で撮影された画像には EXIF 情報として MakerNote に ZenithEs が存在する。ZenithEs が撮影時の天頂角を2つの値で保持しており、この値を用いて球面上の逆回転行列を作成する。その逆回転行列を撮影された画像の各ピクセルに適用し、バイキュービック補間を用いて補正画像を作成する。

### 2.2 ハフ変換による直線検出

画像中からハフ変換を用いて直線を検出する。本提案手法では、余分な直線が多く抽出されても必要なもののみを抽出するため、確率的ハフ変換ではなくより多くの直線を検出することができる通常のハフ変換を用いる。

### 2.3 縦方向に伸びる直線のみを抽出

ハフ変換によって求められる直線は画像左上の座標  $[0, 0]$  の点からの距離と角度によって表される。そこで、歪みの抑えられた画像中では水平線が補正されるため、鉛直線は縦方向に伸びる直線として検出されることを利用して直線の角度が閾値内に収まる直線のみを抽出する。

### 2.4 密集直線の除去

服のしわや曲線からは似た直線が近い位置に複数検出される。そういった直線の集まりを本提案手法では直線の密集と表す。歪みの抑えられた画像中では、鉛直線からは2本以下の直線が検出されることが多いため、密集を除去するために、検出された直線群から任意の直線を選択し、その直線と他の直線との類似度を算出する。対象となる2直線と任意の  $y$  座標値を持つ2本の横直線との交点を求め、4つの交点を結ぶことでできる台形の面積を閾値と比較することで類似の判定を行う。類似の判定が2つ以上(3本以上の直線が類似している)と判断された場合、選択されている直線を抽出直線から除外する。

### 2.5 補正角の推定

次に、水平線が鉛直線と直交することを利用し、水平線が正距円筒画像上で直線となるような回転変換の角度を推定する。今、入力画像は、世界座標系で正立した撮

\* Pose correction using vertical line detection in the omnidirectional image

<sup>†</sup> Yuto Ishii · Kochi University of Technology

<sup>‡</sup> Toru Kurihara · Kochi University of Technology

像系から、鉛直線周りの回転  $\alpha$  (方位角回転) と水平軸周りの回転  $\psi$  (仰角回転) の回転変換を受けていると考える。この時、正距円筒画像上では回転角  $\alpha, \psi$  によって定まる湾曲した水平線が現れている。この水平線の仰角は0度であるため、正距円筒画像中の座標を  $x$  と置くと、球面上の水平線の補正後の方位角  $\phi$  は式 (1) で表される。ここで、 $W$  は画像横幅である。

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\left(\frac{2\pi x}{W} + \alpha\right)}{\cos \psi}\right) \quad (1)$$

半径 1 の球面上における仰角は  $z$  座標を用いて  $(\sin^{-1} z)$  で表される。これにより、回転後の 3 次元座標と式 (1) によって求められた補正後の方位角  $\phi$  を用いて入力画像の水平線の仰角  $\theta$  は式 (2) で表される。

$$\theta = \sin^{-1}(\sin \psi \sin \phi) \quad (2)$$

正距円筒画像で球面上の水平線は振幅が 0 の時に画像高さの 2 分の 1 の値をとり、最大振幅は画像高さの 2 分の 1 となるため、水平線の  $xy$  座標の対応式は式 (3) で表される。ここで、 $H$  は画像高さである。

$$y = \frac{H}{\pi} \sin^{-1}(\sin \psi \sin \phi) + \frac{H}{2} \quad (3)$$

パラメタ  $\alpha, \psi$  を動かしながら、前節で抽出された垂直線候補と最も多く直交するパラメタを求め、これを回転補正角とする。

直交性の判定は、水平線を表す曲線の関数と直線の交点をニュートン法によって求め、交点における関数の接線と直線との交差角が  $90$  度  $\pm$  閾値の範囲内であるかどうかによって判定される。

### 2.6 回転角と位相による回転

求められた回転角と位相を用いて球面上の回転行列を作成する。その回転行列を画像の各ピクセルに適応し、バイキュービック補間を用いて補正画像を作成する。

## 3 実験・考察

建物が多く直線が多く検出される環境と空や山などがあり直線があまり検出されない環境で撮影された画像に対して検証を行った結果、あまり直線が検出されない画像では外れ値がある場合でも垂直線が綺麗に検出され、図 1(6) からわかるように建物が垂直になり、ある程度の補正ができています。その反面、線が多く検出される画像においては、図 2(2) からわかるように必要以上の直線が検出されてしまうため、垂直線の抽出過程である密集の除去において必要以上に直線が除去されてしまい、補正ができていなかった。提案手法では、直線の絞り込み時に多くの閾値を用いているため、閾値や垂直線の有無によって結果が左右される結果となった。

## 4 おわりに

EXIF の情報によって不完全な補正が行われた画像、EXIF 情報が欠損した歪みが大きすぎない画像に対して

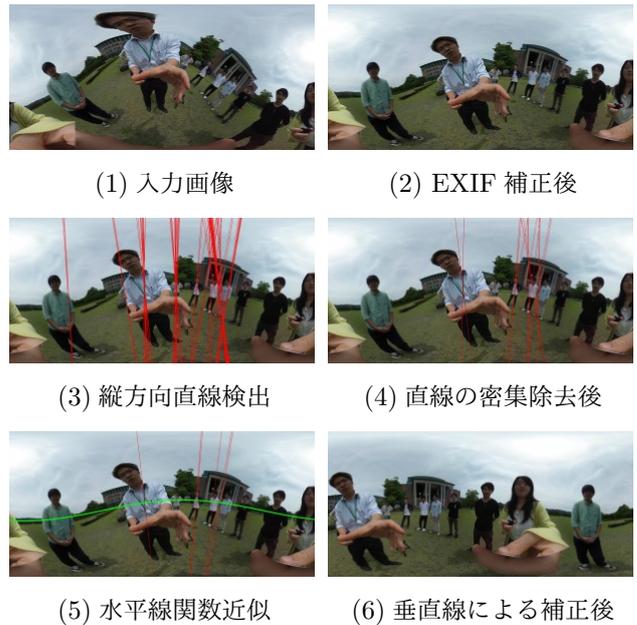


図 1 垂直線が検出された例

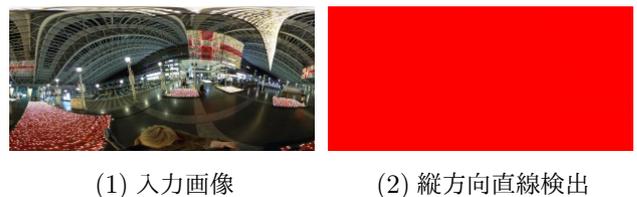


図 2 検出された直線が多すぎて処理できなかった例

完全な補正とは言えないが、垂直線の絞り込みができていた場合、正距円筒画像において補正ができた。課題として、ピクセル計算や直線の絞り込みの処理に有する時間の短縮が挙げられる。また、垂直線の検出有無に依存するため、撮影環境に依存するという課題を解決が必要であり、検出する直線の長さや角度などの閾値を見直す必要がある。

## 参考文献

- [1] J. Gaspar. et.al., "Vision-based navigation and environmental representations with an omnidirectional camera", Robotics and Automation, IEEE Transactions, Vol.16, 6, pp.890-898, 2000.
- [2] 松藤ら, "距離を考慮した正確な全周囲画像変換手法", ITE Technical Report Vol. 39, No. 8, 2015.
- [3] Seon Ho Oh. et.al., "A Great Circle Arc Detector in Equirectangular Images", Conference: International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2012).
- [4] Seon Ho Oh. et.al., "RANSAC-based Orthogonal Vanishing Point Estimation in the Equirectangular Image", Journal of Korea Multimedia Society Vol.15, No.12, pp.1430-1441, 2012.
- [5] RICOH THETA, <https://theta360.com/ja/>.