



# ウォークスルーに好適な全方位画像表現の提案

## A Projection of Omnidirectional Images for Walk-through Applications

河合直樹

Naoki KAWAI

大日本印刷株式会社 (〒 162-8001 東京都新宿区市谷加賀町 1-1-1, kawai-n@mail.dnp.co.jp)

**概要:** 複数の全方位画像を用いて実写空間内をウォークスルーする手法が提案されている。全方位画像の代表的な投影法である正距円筒図法では画像上の被写体の歪みに起因して再生像が歪む。キューブマップでは直線性が維持されるものの、撮影像が分割され境界処理が煩雑になる欠点がある。本研究では、キューブマップの考え方を拡張することで被写体の直線性と画像の連続性を両立させた、ウォークスルーに好適な全方位画像の投影法を提案する。

**キーワード:** 全方位画像, パノラマ画像, ウォークスルー, ビューモーフィング

### 1. はじめに

全方位画像を活用したサービスが道案内や不動産物件の紹介などを中心に広がっている。また、安価な全方位カメラが入手できるようになり、全方位画像を撮影することが容易になった。動画共有サービスでも全方位の動画に対応しており、Web ブラウザなどで観光地を紹介した動画等を見廻しながら閲覧することもできる。全方位を対象にした動画の撮影や編集ではブレの対処などの課題があり、品質を維持したコンテンツの作成には一定のノウハウが必要になる。静止画は撮影は容易だが、閲覧時の対話性は固定された視点から周囲を見回すことに限定され、対象シーンの魅力が効果的に伝わりづらい。

複数の全方位画像を用いてビューモーフィングを施すことにより、撮影地点間の中間ビューを生成する手法 (Plenoptic Modeling) が提案されている。Plenoptic Modeling を用いれば複数の全方位画像からウォークスルーが表現できるが、実サービスとして活用されている例は少ない。ビューモーフィングを駆動させるためには画像間で被写体毎の視差を設定する必要があり、自動的あるいは簡易的に視差を与える手段が望まれる。一方、全方位画像の投影方式に着目すると、主な投影方法として円筒図法、正距円筒図法、キューブマップなどがあげられるが、それぞれに全方位をカバーする範囲や被写体の歪み、境界処理などの課題があり、Plenoptic Modeling に使いづらい。

本研究では、全方位画像の投影方法に着目し、被写体の直線性と画像の連続性を両立させることで、前処理や描画処理が単純で、かつ歪みが少ない中間ビューの再生が可能で投影法を提案する。

### 2. 関連研究

#### 2.1 全方位画像の閲覧

Chen[1] は円筒図法で表現した全方位画像を用いてシーンを見廻しながら閲覧する QuickTimeVR を提案し、3D モデルを用いないイメージベースの VR を提唱した。Anguelov ら [2] は一定の間隔で撮影した全方位画像を多数蓄積し、ユーザからの指示に応じて隣接する全方位画像を提示することで、実写に基づいた広域な VR 空間の構築を提案した。現在実用されている全方位画像の閲覧サービスの多くはこれらのコンセプトを継承している。

#### 2.2 Plenoptic Function

Adelson らは空間中の光の振る舞いを 7 次元の関数 Plenoptic Function[3] として記述できることを示した。実在する空間中で Plenoptic Function を取得できれば、対象空間内のビューを自在に再現できるが、光束を密に取得することは難しい。Plenoptic Function から自由度を減らして密なサンプリングを可能にする手法 [4][5] も提案されているが、再生時の自由度も限定される。疎な Plenoptic Function から新たなビューを再サンプリングする手法 [6] も報告されているが、再生像にアーティファクトが現れ実用的ではない。

#### 2.3 ビューモーフィング

2 地点で撮影された 2 枚の画像から、その中間での視点のビューを生成するビューモーフィング [7] が提案されている。ビューモーフィングでは運動視差による像の移動がエピポーラ線上に限定されることを利用して中間ビューを生成する。2 つの全方位画像におけるエピポーラ線の性質を明らかにし、円筒図法上でビューモーフィングを施すことで、任意視点での全方位ビューを生成する手法 Plenoptic Modeling[8] が提案されている。エピポーラ線を直線で扱うためにキューブマップ表現を用いた方法 [9] や、リアルタイムの画像生成による対話的なアプリケーション [10][11] も報告されている。

## 2.4 全方位画像の較正

複数の全方位画像から任意視点の中間ビューを生成するためには、エピポーラ線を精度良く設定することが必要で、そのために天頂補正や入力画像間での方位を一致させるキャリブレーションが重要となる。撮影した画像をツールで対話的に補正する他、被写体の構造を解析しながら自動処理で天頂補正 [12][13] や方位較正 [14] を行う手法も提案されている。被写体に依らないアプローチとして、加速度センサや地磁気センサで得られた撮影時のカメラの姿勢に基づいた 3 次元的な回転（撮影時の傾きの逆変換）によるキャリブレーションも可能である。

## 3. 全方位画像の投影法

全方位画像の投影には地球を平面の地図で表現する場合と同様の問題がある。全方位画像の主な投影方法について、ビューモーフィングに着目して特性を整理する。

### 3.1 円筒図法

原点を中心とした単位径の円筒を考え、原点から全ての方位に投射した直線が円筒面と交差する点に画素値を写像することで得られる。円筒の長手方向の極に表現できない領域が生じることや、直線が曲線として投影されてモーフィング像にも歪みが生じるという欠点がある。

### 3.2 正距円筒図法

画像の縦軸と横軸を緯度と経度に割当て、対応する方向の画素値を写像して作成する。極方向を含めて全方位を表現できるが、円筒図法と同様に被写体の歪みが生じる。

### 3.3 キューブマップ

原点を中心とした単位立方体を考え、原点から投射した直線が立方体の 6 面のいずれかと交差する点に画素値を写像することで得られる。全方位が表現可能なことに加え、直線の被写体は画像上も直線となり歪みを生じない。また、エピポーラが直線となり、2 画像で被写体の対応付けがしやすく、キューブの各面は透視投影画像となるため前処理やビューモーフィングに一般的な画像処理手法を適用しやすいなどの利点がある。一方、画像が分割されることで被写体の現れ方が 2 画像上の同一面、隣接面、対向面となる場合があり、境界を考慮した場合分け処理が必要となる。

## 4. 提案手法

被写体の直線性と画像の連続性を両立した投影法として管状マップを提案する。ここでは撮影した 2 地点を結ぶ直線を、シーンの共通軸とよぶこととする。また、撮影した 2 つの全方位画像は事前に天頂方向と方位が較正されているものとする。

### 4.1 投影法の要件

リアルタイムのアプリケーションではビューモーフィングの結果をグラフィックライブラリによるテクスチャマッピングで描画することが一般的となるが、グラフィックライブラリではテクスチャを三角形単位でマッピングするため、円筒図法や正距円筒図法のように元の画像に歪みがあると直

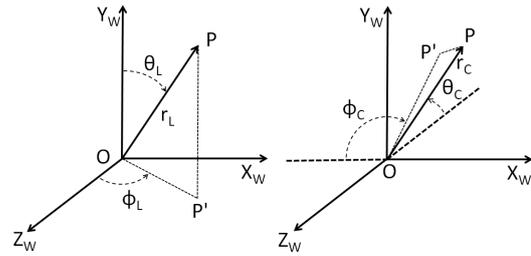


図 1: ローカル極座標系と共通軸極座標系。

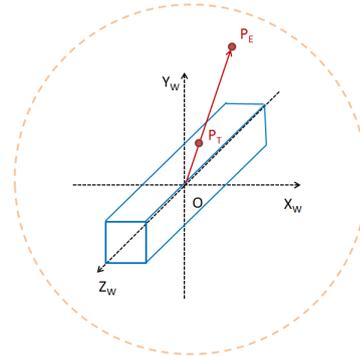


図 2: 空間中の管状投影面の配置。

線を直線として描けない。キューブマップでは歪みの問題がないが、投影面の分割に起因して境界をまたぐ被写体の対応付けやレンダリング処理が複雑になり効率的でない。被写体の直線性が維持され、かつ、境界が無く全方位を連続して表現できる投影方法が望まれる。

### 4.2 座標系

ワールド座標系として、図 1 に示す 3 次元右手直交座標系を導入する。撮影した全方位画像は単位球上の極座標で表現でき、これをローカル極座標系とよぶ。また、2 画像の撮影位置は  $Z_W$  軸上で一定間隔であるとし、 $Z_W$  軸を基準としてエピポーラ幾何を扱うための極座標系を共通軸極座標系とよぶ。ワールド直交座標系  $(X_W, Y_W, Z_W)$ 、ローカル極座標系  $(r, \theta_L, \phi_L)$ 、共通軸極座標系  $(r, \theta_C, \phi_C)$  は以下の式により相互に変換可能である。

$$X_W = r \sin \theta_L \sin \phi_L = -r \sin \theta_C \cos \phi_C \quad (1)$$

$$Y_W = r \cos \theta_L = r \sin \theta_C \sin \phi_C \quad (2)$$

$$Z_W = r \sin \theta_L \cos \phi_L = -r \cos \theta_C \quad (3)$$

### 4.3 管状マップの概要

図 2 に示すように、キューブマップを共通軸方向に伸長した管状の投影面を設定する。別言すれば共通軸方向に設定した円筒図法の円筒投影面に対し、多角形の断面をもつ管状投影面となる。ここでは管の断面形状を  $X_W$  および  $Y_W$  の範囲がそれぞれ  $\pm 1$  となる正方形とする。管の  $Z_W$  軸方向の長さは任意に設定できる。管を構成する 4 平面の各位置（各画素）には、原点から当該位置の方向に相当する全方位画像の画素値を割り当てる。



図 3: 管状マップの構成.



図 4: 正距円筒図法 (左) から作成した管状マップ (右).

#### 4.4 管状マップの作成手順

管状マップは図 3 に示すように横長の 4 領域から構成される 1 枚の画像 ( $X_T, Y_T$ ) となる。画像の横軸  $X_T$  はワールド直交座標系の  $Z_W$  軸に対応し、縦軸は位置に応じて 4 側面のいずれかに属することを示す。左右の側面はそれぞれ  $X_W = \pm 1$  に位置する平面の一部であり  $Y_W$  は  $Y_T$  と線形に対応した値となる。同様に、上下の側面はそれぞれ  $Y_W = \pm 1$  に位置する平面の一部であり  $X_W$  は  $Y_T$  と線形に対応した値となる。

管状マップ内の各画素の画素値は、当該画素のワールド座標からローカル極座標を求め、正距円筒図法の原画像上で対応する画素からコピーする。

#### 4.5 管状マップの特徴

上記手順で作成した管状マップの例を図 4 (右) に示す。図 4 からは、被写体の直線構造は管状マップにおいても直線で表現されていることが確認できる。また、5 刻みで重ねて描いたエピソード線は、正距円筒図法では曲線であるが管状マップでは長手方向に平行な直線となっている。

一方で管状マップでは円筒図法と同様の理由で共通軸の前後方向に表現できない領域があり、この領域ではレンダリング時にマッピングすべきテクスチャが存在しない。

### 5. 管状マップによる全方位ビューモーフィング

#### 5.1 被写体の対応付け

2つの入力画像から作成した管状マップ上で、同じ被写体が現れる点を対応付ける。管状マップでは被写体の直線構造は画像上でも直線で現れるため、直線毎に対応付けを指定する。対応付けられた部位はビューモーフィング時に画像の変形を駆動する基準となるので、壁や柱、什器等の見た目が顕著な境界を優先して指定する。このとき同一被写体の直線部は、2つの管状マップにおいて同じエピソード線上で現れることが保証される。指定された直線は、画像上でエピソード線との交点を求め、複数の特徴点として分解

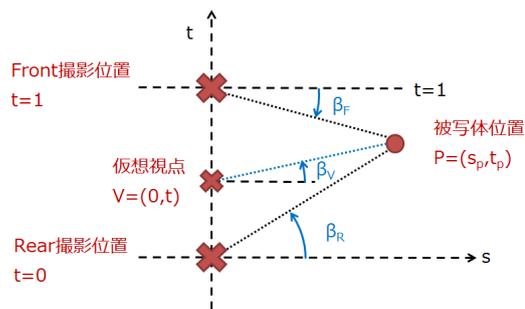


図 5: 仮想視点における被写体位置.

される。

#### 5.2 特徴点情報の生成

得られた特徴点には、それぞれ空間位置の情報とテクスチャ座標を割り当てる。

空間情報には 2つの全方位画像で当該特徴点の方向を示す共通軸極座標系の方位角と天頂角を割り当てる。方位角は 2画像で共通となるため、共通の方位角  $\phi_C$  と前後の画像に固有の天頂角  $\theta_{CF}$  および  $\theta_{CR}$  の 3変数で記述する。

テクスチャ座標には 2つの管状マップ上の特徴点位置 ( $U_F, V_F$ ) および ( $U_R, V_R$ ) を直接割当て、レンダリング時にマッピングするテクスチャの座標として用いる。

#### 5.3 ポリゴン生成

次に多数の特徴点を接続して、全方位を隙間なく充填するポリゴンを生成する。後述のようにレンダリング時には頂点位置が視点位置に応じて移動するため、位相の変化による充填の綻びを回避する必要があり、特徴点の指定には視差の逆転が起きない被写体を選択する。これにより前処理として一度接続関係を定義しておけば、レンダリング中を通して静的な接続関係として利用できる。

#### 5.4 中間ビューのレンダリング

レンダリングでは Plenoptic Modeling の考え方に基づき、視点位置の変化に応じて特徴点方向を更新しながら、テクスチャをマッピングしたポリゴンを順次描画する。各特徴点では視点位置に依存して天頂角  $\theta_C$  が変化するが、エピソード線と一致した方位角  $\phi_C$  は一定である。 $\theta_C$  は仮想視点位置を図 5 のように  $t$  で表すと、前後の画像で採取した天頂角の正接の線形和で特定できる。

$$\beta = t \tan \beta_F + (1 - t) \tan \beta_R \quad (4)$$

ここで、 $\beta = \theta_C - \frac{\pi}{2}$  とする。

毎フレームの  $t$  の値に応じて全特徴点の方角を再計算し、視点位置を中心にした単位球に配置して、事前に設定した接続関係に従ってポリゴンを描画する。ポリゴン内部は  $t$  に応じた割合でアルファブレンドを施しながら、2つの画像からテクスチャマッピングする。

### 6. 実験結果

正距円筒図法から変換した管状マップ 2枚を用いてビューモーフィングを行った。72本設定したエピソード線に対して、

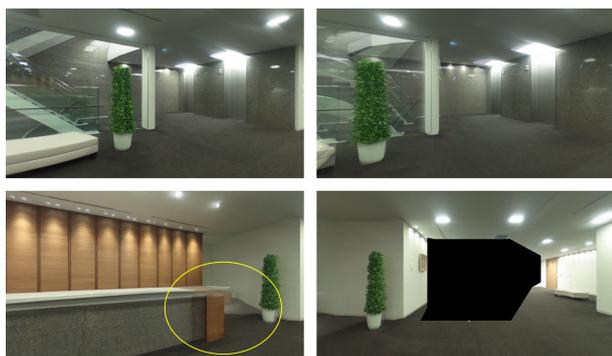


図 6: ビューモーフィング例 (上段), 遮蔽部と空虚部 (下段).



図 7: 正距円筒図法と管状マップによる歪み.

71本の直線対で対応付けを行った結果, 547点の特徴点と950個のポリゴンが生成された. レンダリング部はWebGLで実装し, Webブラウザを用いて仮想視点位置を変化させながら対話的に見廻すことができる.

生成された中間ビューの例を図6に示す. 視点位置に応じた場面遷移が再現できていることが確認できる一方, 遮蔽により片側の原画像で不可視の領域ではアーティファクトが生じている. また, 管状マップで表現できない極領域ではテクスチャが充填できず空虚が生じている. 図7では原画像として正距円筒図法を用いた場合との中間ビューの比較を示す. 原画像に直線性が維持されている管状マップを用いたことで歪みが低減したことが確認できる.

## 7. むすび

本研究では複数の全方位画像を入力して中間視点位置のビューを生成することでウォークスルー表現を実現するための, 直線性と連続性を両立した投影方法を提案した. 実験では, 被写体の直線部を一括して対応付けることで歪みの少ない描画ができ, 少ない作業負担で自然なビューモーフィングを可能にすることを確認できた.

今後の課題として, 空虚部の処理や遮蔽によるアーティファクトの改善があげられる. 空虚については管状の投影面が充分長ければ小さくなり, 描かれる被写体には顕著な視差がなくなるため, 一枚の遠景としてビルボード処理で充填する対処が有効と考えられる.

## 参考文献

[1] Chen, Shenchang Eric : Quicktime VR: An image-based approach to virtual environment navigation, Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 29–38, 1995.

[2] Anguelov, Dragomir and Dulong, Carole and Filip, Daniel and Frueh, Christian and Lafon, Stéphane and Lyon, Richard and Ogale, Abhijit and Vincent, Luc and Weaver, Josh : Google street view: Capturing the world at street level, Computer, Vol. 43, No. 6, pp. 32–38, 2010.

[3] Adelson, Edward H and Bergen, James R and others : The plenoptic function and the elements of early vision, Computation Models of Visual Processing, 1991.

[4] Levoy, Marc and Hanrahan, Pat : Light field rendering, Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 31–42, 1996.

[5] Gortler, Steven J and Grzeszczuk, Radek and Szeliski, Richard and Cohen, Michael F : The lumi-graph, Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 43–54, 1996.

[6] Kawai, Naoki : A simple method for light field resampling, ACM SIGGRAPH 2017 Posters, 15, 2017.

[7] Seitz, Steven M and Dyer, Charles R: View morphing, Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 21–30, 1996.

[8] McMillan, Leonard and Bishop, Gary: Plenoptic modeling: An image-based rendering system, Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 39–46, 1995.

[9] Fiala, Mark: Immersive panoramic imagery, The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05), pp. 386–391, 2005.

[10] Zhao, Qiang and Wan, Liang and Feng, Wei and Zhang, Jiawan and Wong, Tien-Tsin : Cube2Video: Navigate between cubic panoramas in real-time, IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 15, No. 8, pp. 1745–1754, 2013.

[11] Kawai, Naoki and Audras, Cédric and Tabata, Sou and Matsubara, Takahiro : Panorama image interpolation for real-time walkthrough, ACM SIGGRAPH 2017 Posters, 33, 2016.

[12] Jung, Jinwoong and Kim, Beomseok and Lee, Joon-Young and Kim, Byungmoon and Lee, Seungyong : Robust upright adjustment of 360 spherical panoramas, The Visual Computer, Vol. 33, No. 6–8, pp. 737–747, 2010.

[13] Kawai, Naoki : A method for rectifying inclination of panoramic images, ACM SIGGRAPH 2019 Posters, 23, 2019.

[14] 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大会論文集, 22B-4, 2018.