H-072

複数の任意経路で撮影された全方位画像群からのステレオ画像生成

Stereo Image Generation Using Omnidirectional Images Captured along Multiple Arbitrary Paths

堀 磨伊也 † Maiya HORI　**神原 誠之** † Masayuki KANBARA　**横矢 直和** † Naokazu YOKOYA

1. はじめに

遠隔地の情景を利用者に提示し，あたかもその場にいるような没入感を与える仮想現実感技術はテレプレゼンス [1] と呼ばれ，盛んに研究が行われている．テレプレゼンスにおいて遠隔地の情景を提示する手法の一つとして撮影環境を明示的に 3 次元復元することなく画像の変形・合成により仮想環境を提示する Image-Based Rendering[2, 3] (以下，IBR) がある．IBR では，光線空間内の光線の分布すべてを記録する必要があるが，形状が複雑な物体でも実物体と近い見え方を再現することが可能であるため，広域屋外環境では写実性の高い IBR を用いた試みが多く行われている [4, 5].

テレプレゼンスでは遠隔地の情景を臨場感豊かに提示することが重要となるため，写実性や没入感が高いこと，視線変更による自由な見回しが行えること，両眼立体視が可能であることなどが望まれる．そこで IBR を用いて撮影地点以外の視点画像を生成する手法 [6] を両眼の視点位置に適用することによりステレオ画像を生成し，立体視を行うことで臨場感を高める研究 [7] が行われている．しかしこの手法では，入力となる全方位画像を取得するカメラの撮影経路に制約があり，広域屋外環境のステレオ画像を生成することが困難であった．一方，手法 [8] は，高精度の位置姿勢センサを用いることにより屋外環境の任意経路で撮影された全方位画像から IBR を用いてステレオ画像の生成を行っている．この手法では撮影経路上を移動しながら自由な見回しと立体視を目指しているが，これらを同時に実現するためには多数の光線情報が必要であり，入力となる全方位画像群を眼間距離よりも短い間隔で取得する必要があった．しかし，一般的な屋外環境を車両で移動撮影するため，一度の撮影でステレオ画像生成に用いる光線情報を十分に取得することは困難であった．

そこで本稿では，広域屋外環境で車両などを用いて移動撮影する場合に，同様の経路を複数回にわたり撮影することにより取得した全方位画像群を用いてステレオ画像を生成する手法を提案する．提案手法は従来手法 [8] と同様に，全方位画像群とそれらと同時に取得されたカメラ位置・姿勢情報を入力とし，自由な見回しと立体視を同時に実現するためのステレオ画像を IBR を用いて生成する．手法 [8] では撮影経路上を視点が移動した場合に，移動間隔を撮影時の画像取得間隔よりも短く設定することが困難であったが，提案手法では，複数経路で撮影された画像群を利用することで，視点位置を撮影経路上で，より密に設定することが可能となる．

以下，2 章では，提案する複数の撮影経路で取得された全方位動画像群からステレオ画像を生成する手法について詳述し，3 章では，提案手法を用いた実験として，屋外環境で取得された全方位画像群からステレオ画像を生成した結果を示す．最後に 4 章で，本稿のまとめと今後の課題について述べる．

†奈良先端科学技術大学院大学　情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology(NAIST)

図 1: 全方位カメラを搭載した撮影車両

2. 複数の任意経路で撮影された全方位画像群からのステレオ画像生成

2.1 全方位動画像とカメラ位置・姿勢情報の取得

本研究は広域屋外環境のテレプレゼンスを行うことを目的としているため，ステレオ画像生成に必要な光線情報を大量に得る必要がある．提案手法では，ステレオ画像生成に必要な光線情報を得るために従来手法 [8] と同様に，図 1 に示すように全方位カメラ 2 台を車両に固定して移動しながら撮影を行う．2 台の全方位カメラ間の距離を固定することにより，一定距離離れた位置で経路に平行な光線情報を得ることができる．また同様の経路を複数回にわたり移動撮影することにより，より多くの光線情報を取得する．なお，それぞれのカメラの位置・姿勢情報は後述するセンサによって撮影時に同時に取得される．

2.2 生成画像の視点位置の設定

本研究では，利用者が撮影経路に沿って移動したときに自由な見回しと立体視を実現するために，図 2 のように，左右の視点の中心がある円周上を回転した場合のステレオ画像を生成する．設定する視点位置は，利用者が視線方向を回転させたときの視点位置を近似している．

しかし，図 2 の例のように左右それぞれの視点画像が撮影時の画像群に存在しないために，生成を行う必要がある．従来手法 [8] では，撮影時の画像を見回し時の前方方向の視点画像として用いたため，生成する視点位置があらかじめ撮影された画像の撮影地点に依存する問題があった．また光線情報の不足のためステレオ画像の生成が困難な視点位置が存在した．本手法では，異なる経路で撮影された全方位画像群を用いることにより光線情報の不足を補い，ステレオ画像の生成を行う．これにより生成する視点位置を，撮影時の画像取得位置の間隔よりも短い間隔で設定することを可能にする．

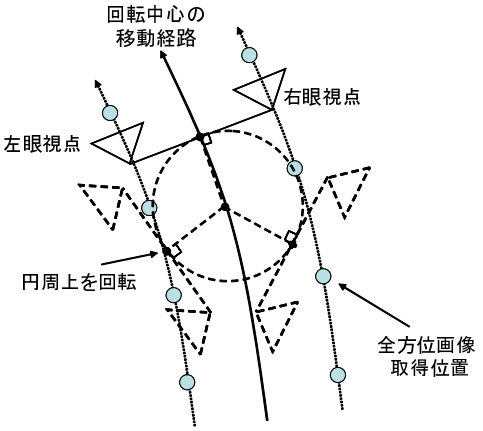

図 2: 生成を行うステレオ画像の視点位置（上から見た図）

2.3 ステレオ画像生成に用いる光線の選択

ここでは撮影された全方位動画像の各フレームにおいて，撮影されたカメラの位置・姿勢情報が既知であるとする．本手法は，Light Field Rendering の原理 [6] に基づき，ステレオ画像を生成する視点位置からの光線情報を全方位画像の取得位置からの光線情報から得ることにより新しい視点位置の画像を生成する．画像生成視点を撮影経路周辺の光線が多く存在する場所に限定した場合，視点画像を複数の全方位画像を用いて擬似的に生成することができる．

しかし，全方位画像は移動経路上で離散的に存在しているため，生成に必要な光線と画像の撮影経路の交点に全方位画像が存在しない場合がある．その場合には，生成に必要な光線との距離が最も近い位置で撮影された全方位画像から生成に必要な光線と平行な光線情報を用いて画像生成を行う．また，生成する視点位置の移動間隔を撮影時の画像取得間隔よりも短く設定しているため，生成視点位置によっては生成に必要な光線情報が一本の撮影経路から十分に得られない場合がある．その場合は図 3 に示すように，異なる撮影経路で撮影された全方位画像群の中から生成に必要な光線との距離が最も近い位置で撮影された全方位画像を用いて生成を行う．新しい視点画像を生成する際には，生成画像を幅 1 画素の縦方向のラインに分割し，それぞれの縦ラインにおいて生成に必要な光線を各全方位画像から選択を行うことにより，生成画像は図 3 に示すような縦の短冊に分割されるような画像となる．

2.4 被写体距離を考慮したレンダリング

上述の手法により選択された光線を用いて視点画像を生成する際に，視点位置からの被写体距離を一定としてレンダリングを行った場合には，生成画像の隣り合う短冊間において歪みが生じることがある．これは，短冊間で生成に用いる全方位画像の取得位置が異なるために生じる視差の影響である．

そこで本手法では，被写体距離を考慮したレンダリングを行うことにより歪みを軽減した画像を生成する．本手法では，図 3 で示した生成画像の隣り合う短冊間で観測される対象物体の被写体距離の推定を行う．被写体距離の推定は，撮影位置が異なり，同等な光線情報を持つ 2 枚の画像においてパターン類似度を用いたステレオマッチングにより同等の光線情報を持つ画素を対応付け，センサから得られる撮影位置情報を用いることにより行う．

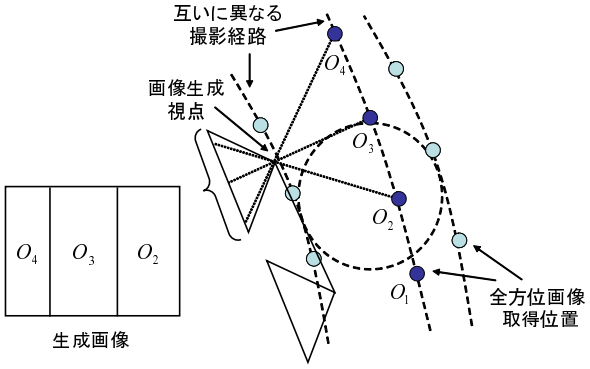

図 3: 視点画像生成に用いる光線の選択（上から見た図）

撮影位置が異なり同等な光線情報を持つ画像として，生成に用いる光線から最も近い位置で撮影された他の経路で撮影された全方位画像を用いる．センサによりあらかじめ計測される画像取得位置を用いることにより，生成に用いる光線が画像上に投影された点の対応点は，もう一方の画像のエピポーラ線上に限定される．このエピポーラ線上でパターン類似度としてとして式 1 に示す正規化相互相関を用いたマッチングを行うことにより対応点を求める．

$$R_{NCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{N-1} I(i,j)T(i,j)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{N-1} I(i,j)^2 \times \sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{N-1} T(i,j)^2}}, \quad (1)$$

ここで，生成に用いる光線が通過する画素位置を中心とするテンプレートの大きさを $M \times N$，テンプレートの位置 (i,j) における画素値を $T(i,j)$，テンプレートと重ね合わせた対象画像の画素値を $I(i,j)$ とする．エピポーラ線上でこの R_{NCC} の値が最も高い画素位置を対応点とし，この対応点とそれぞれの画像が撮影されたカメラ位置から被写体距離を推定する．

推定された被写体距離を用いて，生成する視点位置から対象物体を通る光線が，画像面に投影される位置を算出する被写体距離を考慮してレンダリングを行うことにより生成画像の歪みの軽減を行う．

3. 実験

屋外環境において複数の任意経路で撮影した全方位画像群を用いてステレオ画像を生成し，自由な見回しと立体視が可能であるか検証を行った．実験では，撮影時のある一つの経路上を移動して見回しを行った場合のステレオ画像を生成した．

3.1 実験環境

実験では全方位型マルチカメラシステム 2 台と位置姿勢センサを搭載した車両（図 1）を自由経路で複数回移動させながら全方位動画像と撮影位置・姿勢情報を取得した．全方位型マルチカメラシステムは，Point Grey Research 社製の Ladybug2[9] を用い，図 1 に示すように 2 台を一

図 4: 全方位パノラマ画像の例

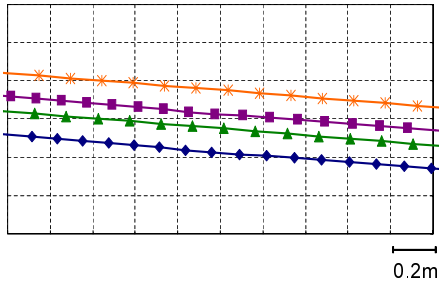

図 5: 全方位画像の取得経路

定距離離して固定しながら撮影を行った．Ladybug2 は横 768 画素，縦 1024 画素の画像を水平方向の 5 台と真上の 1 台の計 6 台の CCD カメラから同期して取得し，上方を含む全方向の約 75% 以上を 30fps の動画像として取得することが可能である．カメラの位置・姿勢計測にはリアルタイムキネマティック GPS (RTK-GPS) と小型慣性航法装置 (INS) を統合したハイブリッドセンサを用いた．RTK-GPS は Nikon-Trimble 社製 LogPakII を用い，INS は Tokimec 社製 TISS-5-40 を用いた．このハイブリッドセンサは GPS の欠点である計測周期の低さと INS の欠点である計測誤差の蓄積をお互いに補うことにより表 1 に示すように高精度で高レートな計測を行うことが可能である [10]．計算機への入力画像として図 4 に示すような解像度が横 2048 画素，縦 1024 画素の全方位パノラマ画像を用いた．なお，撮影は屋外環境の曲線を含む自由経路で複数回行った．ハイブリッドセンサにより得られた全方位画像の取得経路の一部を図 5 に示す．

3.2 ステレオ画像生成結果

実験では，左右の視点間の距離を 20cm とした場合のステレオ画像の生成を行った．以下に示す生成画像の解像度は横 1024，縦 1024 画素である．まず，撮影経路に沿って移動した場合において，進行方向に対して 90 度視線方向を回転した際の左眼の視点位置の例を図 6 に，その視点位置で提案手法を用いて生成した画像を図 8 に示す．視点位置は撮影時の画像取得間隔よりも短い間隔で移動するように設定した．図 8 の例では，視点移動に伴い近景の物体の写る位置が変化している様子がわかる．しかし，各視点画像において生成に用いた全方位画像群は異なる撮影経路で取得され，撮影時刻が異なるために光源環境が変化し物体の影の形が変化する問題が生じた．

次に，同地点において視線方向を回転した場合の視点位置の例を図 7 に，その視点位置で生成されたステレオ画像を図 9 に示す．各ステレオ画像において，近景の物体はそれよりも遠くにある物体と比較して視差が大きくなっており，立体視が可能であることを確認した．

表 1: ハイブリッドセンサの性能

位置・姿勢計測	
方位角	± 0.11 °
経度	± 3.3cm
緯度	± 3.3cm
計測レート	50Hz

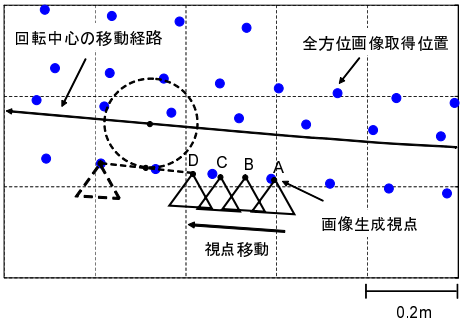

図 6: 撮影経路に沿って移動した場合の視点位置の例

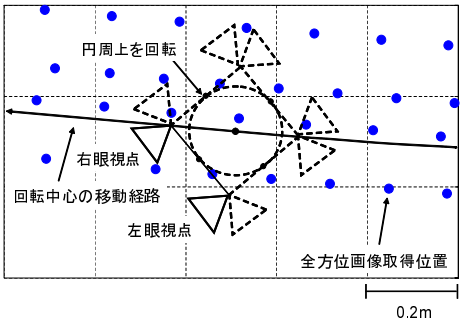

図 7: 見回し時の視点位置の例

4. まとめ

本稿では，屋外環境において任意経路で複数回にわたり入力画像の取得を行い，取得した全方位画像群から IBR を用いて両眼ステレオ画像を生成する手法を提案した．実験において複数の任意経路で撮影された全方位画像群を用いることにより生成に用いることができる光線情報が増大し，視点位置を撮影経路上でより密に設定してステレオ画像が生成できることを確認した．

提案手法では，異なる時刻に撮影された全方位画像を複数用いてステレオ画像を生成するために，撮影された画像内に人や車両などの移動物体が存在する場合に生成したステレオ画像に違和感が生じる問題があった．そこで複数の撮影経路で取得された画像群を用いることにより移動物体を除去してステレオ画像を生成することが今後の課題として挙げられる．

(a) 視点位置 A　(b) 視点位置 B　(c) 視点位置 C　(d) 視点位置 D

図 8: 撮影経路に沿って移動した場合の左眼視点画像の例

(a) 左眼画像　(b) 右眼画像
(i) 進行方向に対して視線を 45 度回転した視点画像

(a) 左眼画像　(b) 右眼画像
(ii) 進行方向に対して視線を 135 度回転した視点画像

(a) 左眼画像　(b) 右眼画像
(iii) 進行方向に対して視線を 225 度回転した視点画像

(a) 左眼画像　(b) 右眼画像
(iv) 進行方向に対して視線を 315 度回転した視点画像

図 9: 見回し時のステレオ画像生成例

参考文献

[1] S. Moezzi. Ed.: Special Issue on Immersive Telepresence, IEEE MultiMedia, Vol. 4, No. 1, pp. 17–56, 1997.

[2] L. McMillan and J. Bergen: "Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System," Proc. SIGGRAPH'95, pp. 39–46, 1995.

[3] J. I. Park and S. Inoue: "Image-Based Rendering from Multi-View Images," Journal of ITE, Vol. 52, No.3, pp. 371–376, 1998.

[4] 高橋, 川崎, 池内, 坂内: "全方位画像を用いた広域環境の自由視点レンダリング", 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. SIG13(CVIM3), pp. 99–109, 2001.

[5] S. Ono, K. Ogawara, M. Kagesawa, H. Kawasaki, M. Onuki, K. Honda and K. Ikeuchi: "Driving View Simulation Synthesizing Virtual Geometry and Real Images in an Experimental Mixed-Reality Traffic Space," Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 214–215, 2005.

[6] M. Levoy and P. Hanrahan: "Light Field Rendering," Proc. SIGGRAPH'96, pp. 31–42, 1996.

[7] K. Yamaguchi, K. Yamazawa, H. Takemura and N. Yokoya: "Real-Time Generation and Presentation of View-Dependent Binocular Stereo Images Using a Sequence of Omnidirectional Images," Proc. 15th IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2000), Vol. IV, pp. 589–593, 2000.

[8] M. Hori, M. Kanbara and N. Yokoya: "Novel Stereoscopic View Generation by Image-Based Rendering Coordinated with Depth Information", Proc. 15th Scandinavian Conf. on Image Analysis (SCIA2007), pp. 193-202, 2007.

[9] Point Grey Research Inc. http://www.ptgrey.com/.

[10] 神原, 横矢: "RTK-GPS と慣性航法装置を併用したハイブリッドセンサによる屋外型拡張現実感システム", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集, pp. 933–938, 2005.