(58) パノラマカメラの高密度グリッド撮影画像を用いたテレイグジスタンスに関する提案

張　天豫[1]・矢吹　信喜[2]・福田　知弘[3]・道川　隆士[4]

[1]非会員　大阪大学　大学院工学研究科　環境・エネルギー工学専攻　博士後期課程
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: zhang@it.see.eng.osaka-u.ac.jp

[2]フェロー会員　大阪大学教授　大学院工学研究科　環境・エネルギー工学専攻
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

[3]正会員　大阪大学准教授　大学院工学研究科　環境・エネルギー工学専攻
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: fukuda@see.eng.osaka-u.ac.jp

[4]非会員　大阪大学特任助教　大学院工学研究科　環境イノベーションデザインセンター
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: michikawa@ceids.osaka-u.ac.jp

VR技術は都市計画などの分野で、広く利用されつつある．従来のCG技術で作ったVR空間と比べ，実写真を利用したVR空間は作成時間が短い，開発費用が低いという利点がある．特に，パノラマ写真の広い視野と写真の特徴である真実性を利用し，より高い現実感を要求されるVR環境やウォークスルーに関する研究が多く行われている． そこで本研究では，複数のパノラマ写真を利用し，広い範囲のVR空間を作ることを目的とする．本研究の提案では現実空間を高密度グリッドで分けて，各グリッドの中で立体視ができるパノラマ写真を写し，VR空間を作る．且つ，各グリッド内のパノラマ写真の対応関係を利用し，現実空間内の任意点におけるパノラマ写真を生成し，VR仮想空間の中で自由移動ができるウォークスルーを提案する．

Key Words : *panoramic camera, arbitrarily walkthrough, tele-existance, stereoscopic, VR*

1. はじめに

近年，パノラマ写真を利用し，都市や室内の仮想VR空間を作る研究が多く行われている．パノラマ写真を利用するVR空間は現実の写真を利用するため，本物に近い印象を与えるとともに，従来のCGで作られるVR空間よりモデル作成の時間が短い．特に，災害を受けた建物の現状などを理解するのに役立つと考えられる．

パノラマVR空間に関する研究についてChenら[1)]は初めて，移動可能なパノラマ空間を開発した．彼らは多数の点でパノラマ写真を撮って，各点のパノラマ写真を切り替えて，移動ができるようになった．しかし，パノラマ写真を切り替えるため，滑らかな移動ができない．Uyttendaeleら[2)]はパノラマビデオを扱い，ビデオカメラが通過したパスの現実空間を記録し，Image-Based VR空間を開発した。彼らの研究ではビデオカメラが多くのビデオ画像を記録して，2D平面内で，滑らかな移動を達成し． Tomiteら[3)]は既知の3点でパノラマ写真を撮って，そして，3点は3角形の頂点として，3角形の内部で補間パノラマ写真を生じて，連続の移動を実現した．また，パノラマVR空間に関する研究は多くの研究者らによって行われた[4)~6)]．現在，様々なパノラマVR空間に関する研究結果を利用して，作られたアプリケーションが数多くある．グーグル社のストリートビューもその１つである．

本研究で提案する方法は，現実空間に3次元グリッドを仮想的に構築し，グリッドの交点でパノラマ写真を撮る．次に，パノラマ写真の位置関係を利用し，任意の位置のパノラマ写真を合成する．任意の位置でのパノラマ画像により，VR空間内で自由移動ができるウォークスルーを目的とする．

2. 立体視パノラマカメラ

(1) パノラマカメラ撮影の概要

パノラマ写真の撮影はカメラを固定し，カメラを中心として，ある角度の間隔（一般のパノラマ写真の撮影の経験により，隣の写真の重なる部分は30%~50%を確保することが必要である．）で回転しながら，周囲の写真を撮る．あるいは，Hyper Omnivisionを使って全方位画像を取る方法などがある．しかし，カメラを回転しながら撮影する場合は，画像は同時に取得できないため，撮影できない物体（カメラの後ろに，同じ角速度で移動する物体など）や，何回撮影された物体（カメラのFOV（field of vision）の中で，同じ角速度で移動する物体など）がある．Hyper Omnivisionは同時に360°の水平方向の撮影ができるが，縦方向の制限がある．複数のカメラを球体や立方体の上に固定し，同時に撮影すると，半球のパノラマ写真が取得することができる．しかし，以上の三つの撮影方法はいずれも立体視ができるパノラマ写真の撮影が難しい．

(2) 立体視できるパノラマカメラの提案

a)立体視カメラの配置

立体視を可能にするために，2台のカメラが必要である． 2台のカメラのレンズの間隔は人間の両目の平均間隔6cmとする．**図-1**は立体視するためのカメラの配置図である．左カメラのFOVは赤色の三角，右カメラのFOVは緑色の三角．青い三角で囲まれた左右カメラのFOVが重なる部分は立体視ができる部分である．

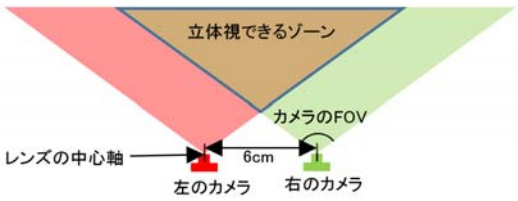
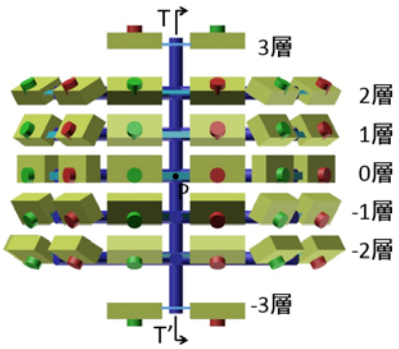


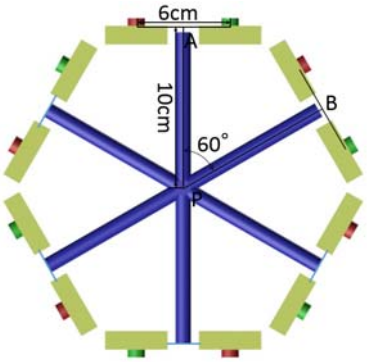
図-1 立体視カメラの配置図

b) 立体視パノラマカメラの配置

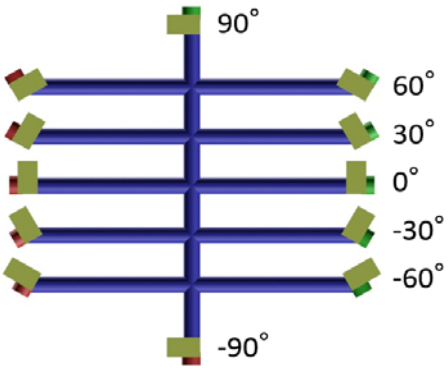
全方位の立体視ができるパノラマ写真を取得するために，カメラは上記のように，左右2台のカメラが一組として配置する．立体視パノラマカメラの立面図は**図-2**（a）に表す．0層は水平とする．上に30°上げるカメラは1層，60°上げるカメラは2層，90°上げるカメラは3層．下に下げるカメラは-1，-2，-3層とする．-2から2層までのカメラは6組で配置するが，3層と-3層は1組のみ配置する．**図-2**（b）は0層の平面図である．2台カメラのレンズの中心点Aと点Pを繋がって，60°の間隔で，6組の2台カメラを円の一周で配置する．また，PAは10cmとし，P点は立体視パノラマカメラの中心とする．これで，



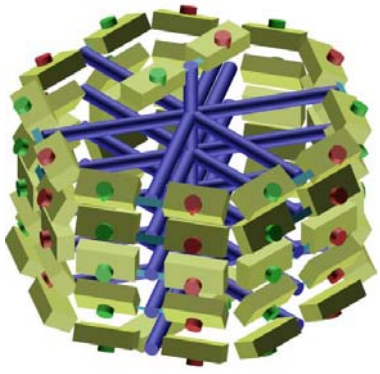
(a) カメラの立面図



(b) 0層の平面図



(c) TT'面の断面図



(d) 立体視パノラマカメラの3次元図

図-2 立体視パノラマカメラの構造図

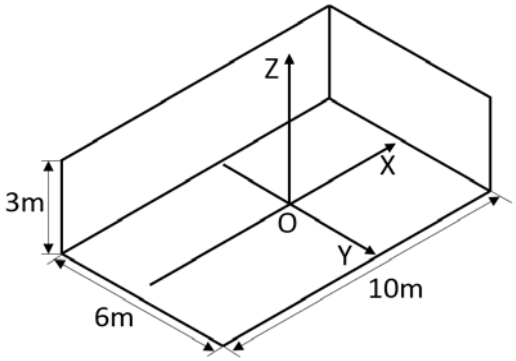
水平の360°の各方向を同時に取得することができる．また，各層の間隔は10cmとする．**図-2**（c）はTT'面の断面図である．**図-2**（d）は立体視パノラマカメラの3次元

のモデルである．6層のカメラは円柱のように配置する（ここは見やすいために，**図-2**（a）と（c）に円柱を追加したが，実際のシミュレーションの際には円柱はない．）．これで，360°の立体視ができるパノラマ写真の撮影ができる．この方法では，カメラは64台を使用する．

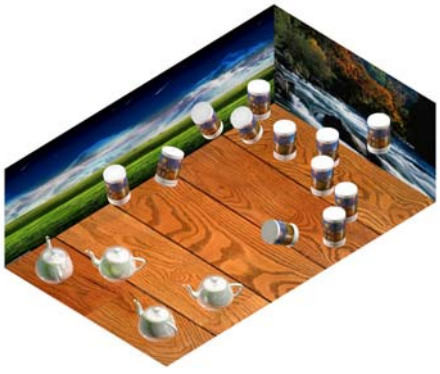
c) 立体視パノラマカメラのシミュレーション

本研究は，Autodesk 社の3DsMAX2014を扱って，立体視パノラマカメラのシミュレーションを行った．

シミュレーションは長さ10m，幅6m，高さ3mの仮想的な部屋の中で行った．パノラマ写真を合成する際，隣接する写真の特徴点（特徴点が足らない場合は，パノラマ写真の合成は難しい）が必要ので，部屋の壁に特徴点が多い自然の風景写真を貼り付けた．部屋の床の中心の点Oを原点として，座標系X, Y, Zを設置する．立体視パノラマカメラは部屋の水平中心に置き，立体視パノラマカメラの中心P点と床の距離は1.6mとする．立体視パノラマカメラの中心点P座標は（0, 0, 1.6）である（**図-3**）．今回，シミュレーションを行う際，すべて64台のカメラは28mmのレンズを使った．また，立体視を検証するため，部屋の中で，ティーポットと円柱のモデルを設置した．



（a）仮想部屋の寸法



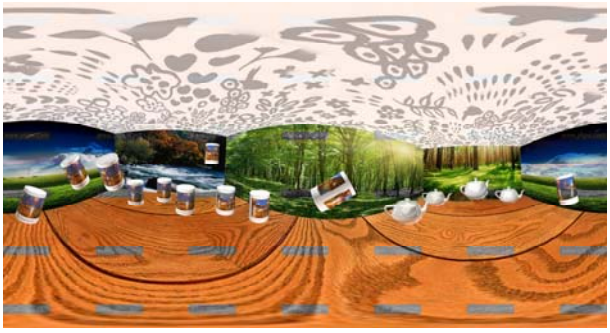
（b）仮想部屋のイメージ

図-3　立体視パノラマカメラの位置と仮定部屋

d) 立体視パノラマカメラのシミュレーションの結果

左目用の32台のカメラと右目用の32台カメラによる全部で64枚の写真をレンダリングした．New House Internet Services BV社が開発したPTGuiを使って，左のカメラまたは右のカメラがレンダリングした32枚の写真を一枚のパノラマ写真を合成した。**図-4**（a）は合成した左目用のパノラマ写真である．**図-4**（b）は右目用のパノラマ写真である．**図-4**（c）のパノラマ写真はPhotoShopを使って，**図-4**（a）左目用のパノラマ写真の赤色チャネルを閉めて，**図-4**（b）右目用の写真の緑色チャネルを閉めて，2つの写真を1枚に合成して，立体視ができるパノラマ写真になった．**図-4**（c）は左目が赤，右目が緑のメガネを掛けることで，立体視が可能になる．

（a）左のパノラマ写真



（b）右のパノラマ写真

（c）立体視ができるパノラマ写真

図-4　立体視パノラマカメラのシミュレーション結果

3. 現実空間内の撮影方法

Tomiteら[3]はHyper Omnivisionカメラを使い，既知の3点でパノラマ写真を撮り，IBR（image-based rendering）で3点内の任意点の補間パノラマを生成して，自由移動ができることを示した．例えば，図-5に表わすように，既知のA, B, C 3点でパノラマ写真を撮って，IBR で任意のP点で補間パノラマ写真を生成することができた．しかし，この方法は平面内の自由移動ができるが，3次元の移動はできない．

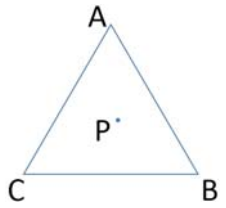


図-5　任意の新視点の生成

本研究では，3次元の自由移動ができるようにするために，図-6が表わす方法を提案した．まず，A, B, C, D 4つの点でパノラマ写真を撮る．Tomiteら[3]の研究により，3角錐ABCDの平面での移動ができるが．次に，ACの結ぶ線のE点で補間パノラマ写真を生成する．これで，DEB面での移動ができる．P点の補間パノラマ写真の生成が可能になる．3次元移動する時は，まず，P点の座標とD, B点の座標により，E点の座標を計算して，E点の補間パノラマ写真を生成する．次に，E点とD, B点により，P点のパのラマ写真を生成する．この3角錐で現実空間を満たせば，広い範囲の3次元移動も可能だと考えられる．

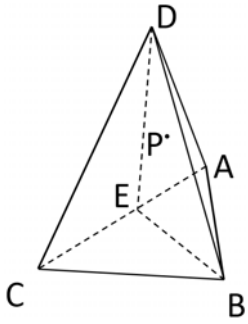


図-6 3次元移動のイメージ

4. 結論

本研究では，立体視ができるパノラマVR空間内で，自由移動ができるウォークスルーを行う方法を提案した．この方法によって，立体視ができるパノラマカメラのシミュレーションをコンピュータ内で実装し，検証を行った．今後は，自由移動ウォークスルーのシミュレーションを中心に研究を進む予定である．

参考文献

1) Chen, S. E.: 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, ACM, 1995.

2) Uyttendaele, M., Criminisi, A., Kang, S. B., Winder, S., Szeliski, R., & Hartley, R.: Image-Based interactive exploration of real-world environments, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 24(3), pp.52-63, 2004.

3) Tomite, K., Yamazawa, K., & Yokoya, N.: Arbitrary viewpoint rendering from multiple omnidirectional images for interactive walkthroughs, *Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 3, pp. 987-990, IEEE. 2002.

4) Shum, H. Y., & He, L. W.: Rendering with concentric mosaics, *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.299-306, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999.

5) Shimamura, J., Takemura, H., Yokoya, N., & Yamazawa, K.: Construction and presentation of a virtual environment using panoramic stereo images of a real scene and computer graphics models, *Proceedings of 15th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 4, pp. 463-467, IEEE. 2000.

6) Jiang, W., Okutomi, M., & Sugimoto, S. : Panoramic 3D reconstruction using rotational stereo camera with simple epipolar constraints, *Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 371-378, IEEE. 2006.

7) Takahashi, T., Kawasaki, H., Ikeuchi, K., & Sakauchi, M . : Arbitrary view position and direction rendering for large-scale scenes, *Proceedings. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 296-303, IEEE, 2000.