

IBR と MBR を併用した空間モデリングと ウォークスルー環境

篠原 秀俊

八木 康史

谷内田 正彦

Key Words: *Image-based rendering, model-based rendering, walk through*

概要

都市や自然環境などの実環境を正確にモデリングできれば、3次元幾何モデルに基づくモデルベースレンダリング手法により自由な視点移動が可能な臨場感の高い仮想空間が実現できる。しかし、実環境には、単純なシーンから商店街のようにさまざまな物が複雑に配置されたシーンまであり、環境すべてを3次元モデリングするのは不可能である。そこで、本報告では3次元モデリング可能な部分はモデルベースレンダリング(MBR)を用い、不可能な部分はイメージベースレンダリング(IBR)を用いることにより、視点の自由度と実写映像のリアリティをできるだけ満足した仮想空間の表現方法を提案する。

A walkthrough environment by a combination of IBR and MBR

Hidetoshi SHINOHARA Yasushi YAGI Masahiko YACHIDA

Abstract

If a 3D real geometrical model in real environments, such as a city and natural environment, can be generated correctly, the high presence 3D walkthrough space can be created by using model-based rendering (MBR) technique. However, the complexity of a real scene makes difficult to build the 3D model from video stream. Then, in this paper, we propose the 3D modeling method that combines an image-based rendering (IBR) technique with MBR technique.

1. はじめに

近年の計算機の性能の向上に伴い、ナビゲーションシステムやバーチャルリアリティーなどの目的のために画像処理により実画像を解析し、仮想環境を計算機内に構築する研究が広く行われている。その中でも、都市や自然環境など、広域かつ複雑な現実環境を対象として仮想環境の構築を行うことは、都市景観の評価や環境設計など様々な応用が考えられる。仮想空間の提示方法には主にモデルベースレンダリング(MBR)による手法とイメージベースレンダリング(IBR)による手法がある。

MBRはレンダリングする対象の3次元モデルを構築し、そのモデルに基づき自由視点からの画像を再構築する方法である。島村らはステレオ視により空間をモデリングしMBRにより提示するシステムを構築している[1]。また、上原ら、川崎らは動画像と数値地図から都市をモデ

大阪大学大学院 基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science,
OSAKA University

リングし、MBRによって提示するシステムを構築している[2][3]。MBRは3次元モデルに基づき、レンダリングを行うため、自由視点からの映像が忠実に再現できるという利点があるが、モデルの構築には大きな計算コストがかかり、複雑なシーンのモデリングは困難であるという欠点がある。

3次元空間モデリングの困難な環境をレンダリングする手法として、モデルを推定せずに画像を生成するIBRという手法が提案されている。IBRは入力画像をもとに光線の分布を記述し、物体の見え方を記録しておけば新たな視点からの画像を再構築できるというPlenoptic function[4]をフレームワークとするものである。しかしPlenoptic functionに基づく手法では、原理的に対象をあらゆる方向から撮影した画像が必要であり、光線データベースが膨大になるため現実的ではない。そこで実際にはレンダリングに必要な光線をあらかじめ効率よく採取しておき、その光線を視点に応じて再構成する方法がとられる。山口ら、高橋らは全方位ビデオストリームから任意視点での映像をIBRに

よって提示するシステムを構築している[5][6].
 このようにIBRは環境モデルを必要としないため、レンダリングが容易であることや、実写画像を用いるため臨場感ある映像の提示が可能であるという利点がある反面、カメラ経路から大きく離れると、IBRによって生成された画像に歪みが生じるという視点の位置の制限という問題がある。

このように、MBR, IBR共に利点、欠点があり、臨場感ある広域なウォークスルー空間を構築するには、両者を融合させたモデリング方法が望ましい。そこで本報告では、3次元モデリング可能な部分はMBRを用い、不可能な部分はIBRを用いることにより、視点の自由度と実写映像のリアリティをできるだけ満足した仮想空間の表現方法を提案する。

2. IBR と MBR を併用した空間モデリングにおける課題

図1のようにIBR空間とMBR空間が境界面で接している空間を考える。



図1：IBR, MBR空間

MBR空間からIBR空間に向かって進む場合、境界面のテクスチャはMBR空間から見たIBR空間のテクスチャになる。しかし、IBR空間は3次元モデルが存在しないため、境界面に貼るべきテクスチャの位置が分からない。たとえば、そのまま境界面に投影しても、無限遠に投影してもカメラ経路から外れた時には、適切なIBR空間を提示できず、奥行きの不自然さや歪みを感じてしまう。

従って、この問題を解決するためには、人が違和感を感じないIBRの投影面を推定する必要がある。提案手法では、IBRで記述された空間の広さを大まかに推定することで、投影面の位置を求める。

3. 簡易奥行き推定によるIBR投影面の決定

IBR投影面のある部分の大まかな奥行きを求めることができれば、図2のように奥行き推定された部分とその左右の点線部分の3面を投影面と考えることができ、奥行き推定が行われた部分では、ほぼ歪みのないテクスチャの貼り付けが可能となる。同様に左右の領域で部分的に奥行きが推定できれば、同様の処理を行える。すなわち、MBR中にIBRが部分的に含まれる場合は、3次元モデルとビデオストリームの中間状態として、IBR投影面モデルを用意することで、違和感のない視点移動を可能にする。

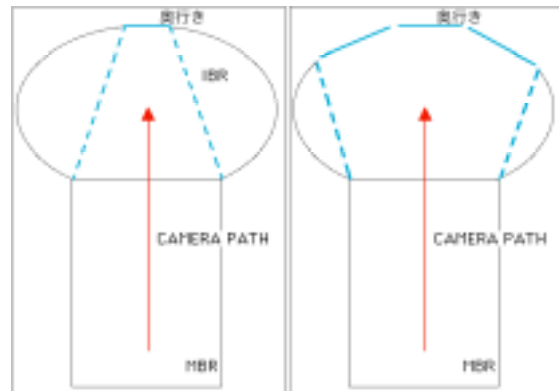


図2：IBR空間の奥行き（左：3面、右：5面）

以下、3.1, 3.2で奥行きの簡易的な推定について述べる。このステップを繰り返せば、IBR空間をIBR投影面モデルとして大まかにモデリングすることができ、より歪みの少ないIBR空間の提示が可能になる。なお、今回の報告では、もっとも粗い投影面モデルである3面への投影の場合について実現し評価を行った。

3.1 投影面領域の推定

ある平面を観察した場合、平面の法線方向へのカメラ運動は、その平面の画像中での大きさが異なるだけである。そこで、IBR空間とMBR空間の境界面における平面領域の推定は、MBR構築に利用した画像のうち、IBR空間に最も接近した位置frame1での画像を基準に、その画像を小領域に分け、それぞれの領域の相関をframe1とframe2, frame1とframe3, ... と調べ、相関が十分高い領域を面領域とする。なお、各フレームでは面までの奥行きが異なるため、画像サイズが異なる。そこでMBR空間では、カメラ位置が既知であることを利用し、frame1をスケールしながら相関演算を行う。

相関値Sは以下の計算式で算出する.

$$S = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m (I_1(u_1+i, v_1+j) - \overline{I_1(u_1, v_1)}) \times (I_2(u_2+i, v_2+j) - \overline{I_2(u_2, v_2)})}{(2n+1)(2m+1) \sqrt{\sigma^2(I_1) \times \sigma^2(I_2)}}$$

ここで,

ウィンドウサイズ: $(2n+1) \times (2m+1)$

$I(u, v)$: 座標 (u, v) における輝度値

$$\overline{I_k(u, v)} = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)}$$

$$\sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k^2(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)} - \overline{I_k(u, v)}^2}$$

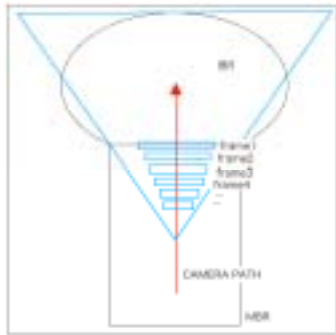


図3: 投影面推定

図4に画像サイズに対し5%刻みで小領域を設定し, 相関をとった結果を示す. この結果では, 相関値が画面中央から左右10%以内で高い相関を示していることから, 中心20%の範囲を投影面領域とした.

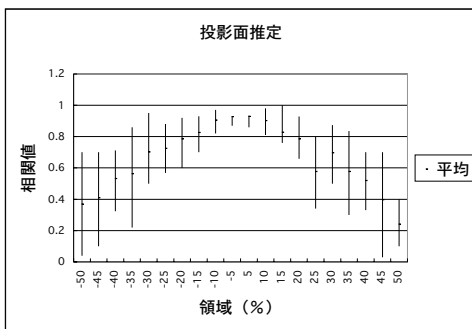


図4: 投影面領域の確定

3.2 奥行き距離の推定

3.1章で求めた投影面領域について図3のframe1とframe2, frame1とframe3, ..., 以下同様に相関をとる. 相関値の求め方は3.1と同様である. そして, frame1をスケリングしながら相関値を算出し, 相関値が最大となったときのスケールと, その時のカメラ位置から, 奥行きを推定

する.

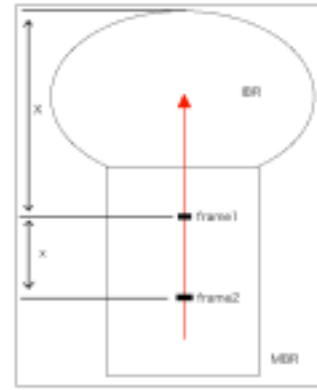


図5: 奥行き距離の推定

図5のようにframe1とframe2のスケールが, $frame2 = frame1 \times scale$ のように得られたとすると,

$$(x + X) \times scale = X$$

$$X = x \times \frac{scale}{1 - scale}$$

となり, 奥行き距離Xを推定することができる. 奥行き距離の推定結果を図6に示す. また, その時の相関値は図7のように変化する. 相関が0.9以上で, 奥行き推定値が安定している領域を4.2のMBR空間内のIBR境界面におけるユーザの可動範囲の評価に用いることにする.

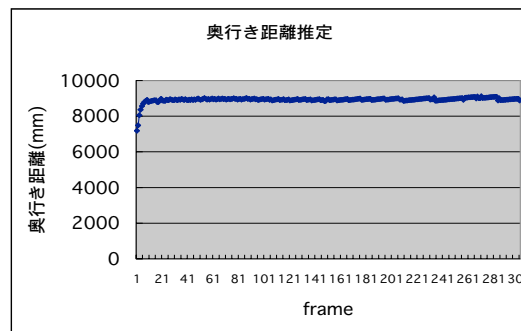


図6: 奥行き距離推定結果

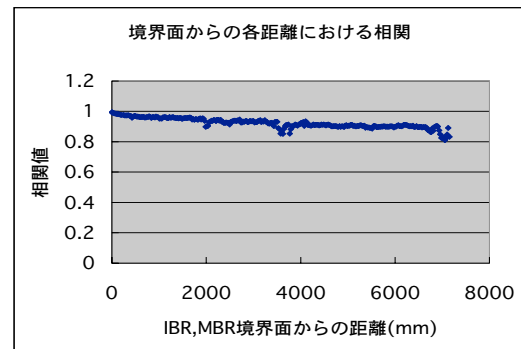


図7: 境界面からの距離における相関値

4. IBR と MBR を併用したウォークスルー環境の構築

4.1 MBR 空間におけるユーザの可動範囲

3次元モデリングに用いた環境を図8に、モデリング結果を図9に示す。縮尺は図8右側に示す。この例ではIBR空間とMBR空間の境界面は図8上の点線(7200mm地点)である。3次元モデルは、床面と平行に移動したカメラで撮影した実写映像から構築することができる。モデリング手法の詳細に関しては、参考文献[7]に譲る。

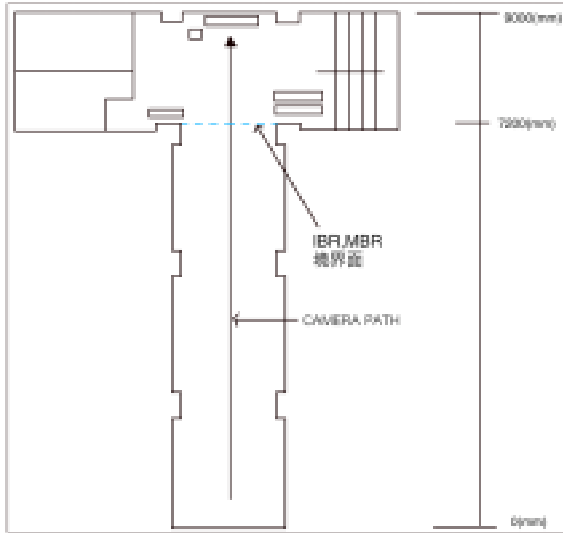


図8：モデリングした環境

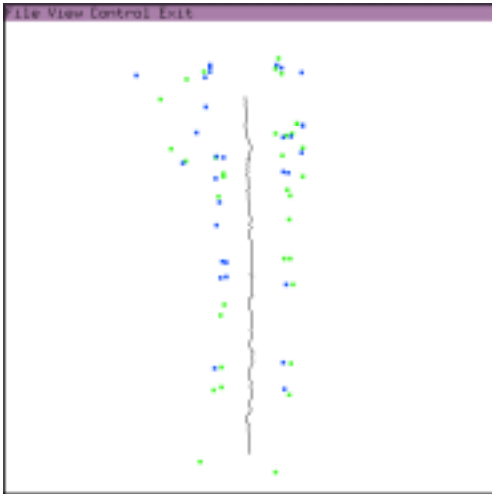


図9：モデリング結果

実画像からの3次元モデリングの場合、どのような手法を用いても、モデル中のオブジェクトには位置誤差が含まれる。そのため、位置誤差が大きい場合では、位置誤差による歪みの影響で正しいレンダリングが行えないことがある。そこで、本手法、3次元モデル構築時の計測誤差を基準にユーザの視点位置の可動範囲を求め

る。具体的には、図10のように3次元モデルの各エッジの持つ誤差の大きさを誤差楕円により表す。そして誤差楕円の見かけの大きさがある一定角度内に見える範囲を可動範囲とする。このように定義された可動範囲では、オブジェクトの位置誤差は一定の角度以内に見える。これは一定以上の精度の映像を提供できる範囲であり、オブジェクトにどこまで近寄ることができるかという基準となる。

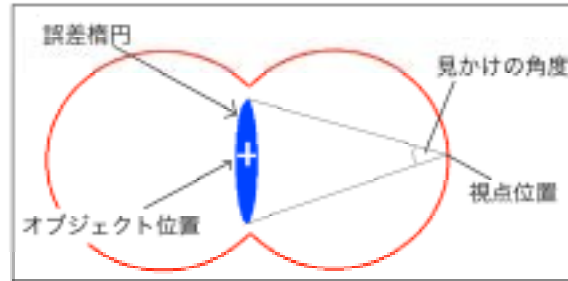


図10：オブジェクト位置の測定誤差の範囲

具体的に、長軸 $2a$ 、短軸 $2b$ の誤差楕円を $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ と表すと誤差楕円上の点 (α_1, β_1) 、 (α_2, β_2) を通る接線はそれぞれ

$$\frac{\alpha_1 x}{a^2} + \frac{\beta_1 y}{b^2} = 1, \quad \frac{\alpha_2 x}{a^2} + \frac{\beta_2 y}{b^2} = 1$$

と表すことができる。この時、それぞれの接線の傾き m_1, m_2 は

$$m_1 = -\frac{\alpha_1 b^2}{a^2 \beta_1}, \quad m_2 = -\frac{\alpha_2 b^2}{a^2 \beta_2}$$

となる。この二本の接線のなす角度を θ とすると、

$$\theta = \left| \tan^{-1}(m_1) - \tan^{-1}(m_2) \right|$$

を満たせば良い。つまり誤差楕円が一定の角度内に見える範囲はこれら2本の接線の交点である。つまり誤差楕円から引いた二本の接線の中で角度差が一定となるようなものの交点の集合である。

図11は、図9のモデルの場合の可動範囲を表す。なお、上記の一定の角度は 1° とした。これにより、MBR空間内で移動可能な領域がなくなったところからIBRに切り替えるという基準ができる。

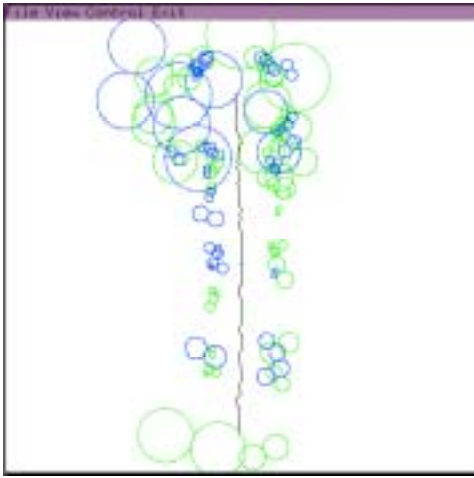


図11：モデリング精度による可動範囲

4.2 MBR 空間内の IBR 境界面におけるユーザの可動範囲

図12に示すように、投影面の領域と奥行きが推定された面は、MBRにおける可動範囲であれば、歪みなく投影することができる。一方、左右両側の投影面は、奥行きが推定できていないため、正確にはテクスチャに歪みが残る。しかし、ウォークスルーでは、ユーザは一か所に止まってじっくり観測することは稀である。また、一般に歪みのある領域の大きさが小さければ、面積効果により人は歪みを知覚しない。そこで、IBR境界面におけるユーザの可動範囲に関しては、予備実験により、歪みの影響を感じない範囲を推定する。

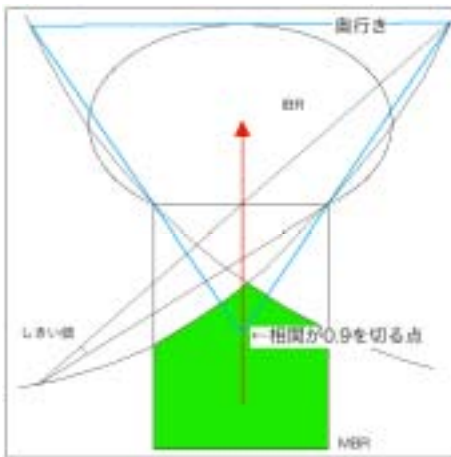


図12：ユーザの可動領域（着色部分）

4.3 実験条件

IBRとMBRを併用したモデル空間内でのユーザの可動範囲を決定するために大学生、大学院生16

人にウォークスルーの様子を見てもらい、違和感の有無の評価実験を行った。16人のうち、8人は事前知識ありのグループで、残りの8人は事前知識なしのグループである。事前知識とは、起こりうる歪みのパターン、および空間中で歪みの現れる場所を前もって事前知識として与えている。

実験1は、経路に対し、平行な移動を行った場合の実験で、通常のウォークスルーではこの移動が中心と考えられる。実験2は、奥行き推定が行えていない投影面の画像中での大きさ（水平角度）の違いによる違和感の評価を行った。この移動がもっとも違和感を感じる動作と考えられる。以下の実験では、違和感を感じた地点の表現にこの水平角度も用いている。

4.3.1. 実験1：カメラ経路に平行な運動

図13の left1, left2, center, right1, right2 をそれぞれ2段階の速度でウォークスルーする様子を被験者に見てもらい、空間的な違和感を感じ始めた地点を指摘してもらった。Left1, left2, right1, right2 の経路はカメラ経路から離れているため、IBR, MBR 境界面のテクスチャには歪みが生じる。

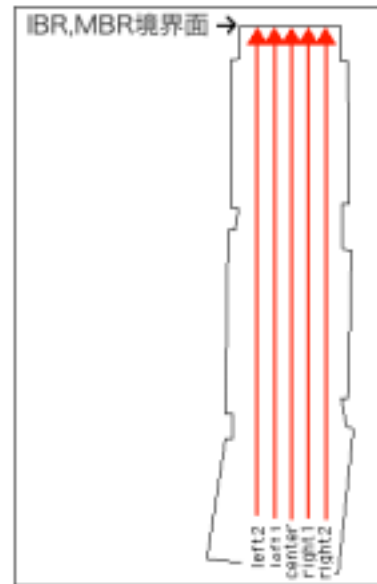


図13：実験1経路

結果を図14(a)(b)に示す。これは各グループ、各経路、各速度において違和感を感じ始めた地点をプロットしたものである。この結果から、しきい値は6°から8°付近にするのが適切と思われるが、この経路上の運動は歪みの変化は小さいと考えられる。そこで実験2で歪みが大きいと考えられる経路について実験する。

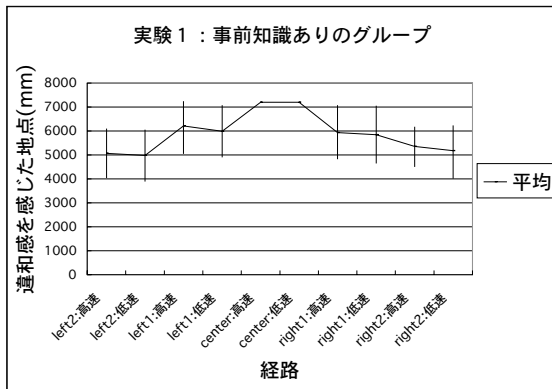


図 14(a) : 実験 1 結果 : 事前知識あり

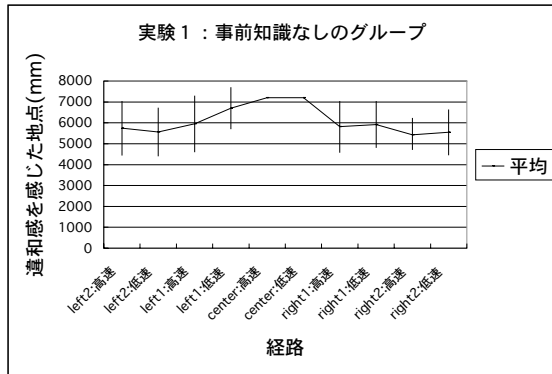


図14(b) : 実験 1 結果 : 事前知識なし

4.3.2. 実験 2 : 境界線上の運動

図15に示すように4.2章の基準におけるしきい値が1° から10° までの各角度の時の境界線上の経路をそれぞれ2段階の速度でウォークスルーする様子を被験者に見てもらい、空間的な違和感を感じたかどうかを答えてもらった。

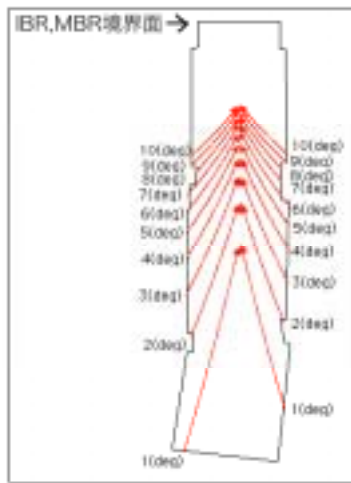


図15 : 実験 2 経路

結果を図16(a) (b)に示す. これは各経路, 各速度において, 違和感を感じたと答えた人数をプロットしたものである.

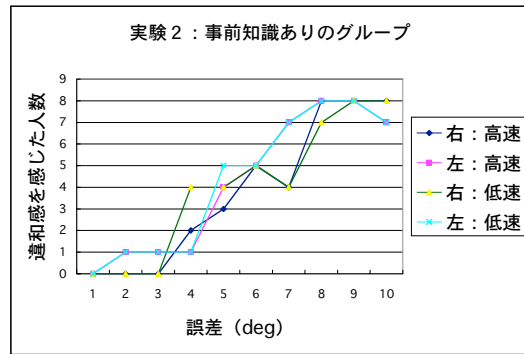


図 16(a) : 実験 2 結果 : 事前知識あり

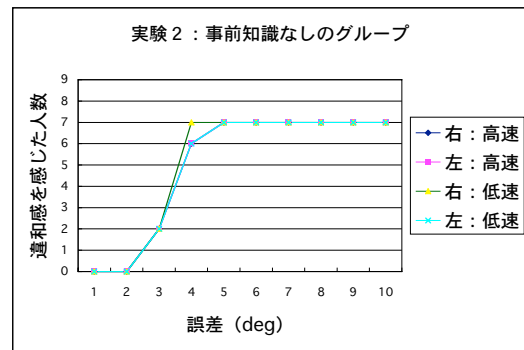


図 16(b) : 実験 2 結果 : 事前知識なし

結果から, しきい値は2° から4° の間に設けるべきだと思われる. さらに, 2° から4° までの経路の中で, どこから違和感を感じはじめたかを実験によって求め, ユーザの可動範囲を求める. 実験 2 の2° から4° までの経路を7分割し (図17), そのなかで, どこで違和感を感じたかを答えてもらう追加実験を行った. 被験者は実験 2 において2° から4° の間で違和感を感じた12人 (事前知識あり, なし合計) である.

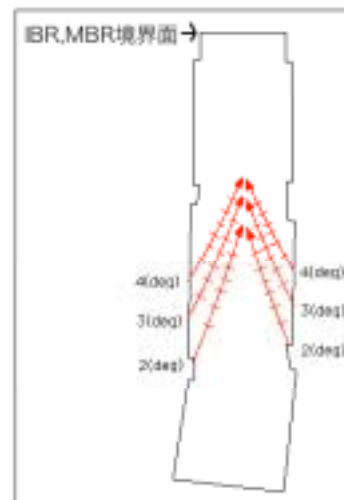


図17 : 追加実験経路

結果を図18に示す. 図18中の(2)は追加実験の

結果の平均値，(1)は(2)からそれぞれの標準偏差を引いたもの，(3)は(2)にそれぞれの標準偏差を足したものである．これにより，ユーザーの可動範囲を(1)より手前の領域とする．なお，この領域は，直線移動の場合も含むため，すべての場合で違和感を感じない条件と思われる．

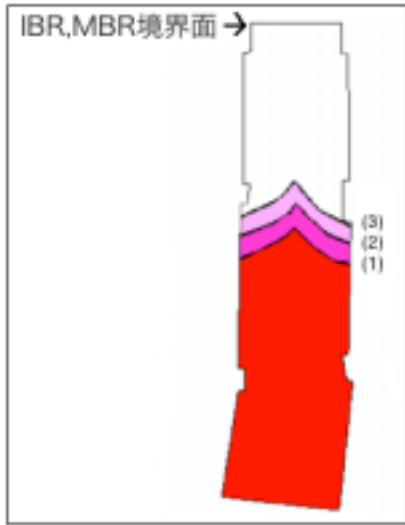


図18：追加実験の結果

5. 結果（IBR, MBR を併用した空間）

図19は，4.1章, 4.2章, 4.3章の結果を統合し，最終的に得られた結果である．ユーザの移動可能な領域は図19の着色部分となる．この範囲内において，IBR空間，MBR空間を滑らかに併用したウォークスルーが実現できる．

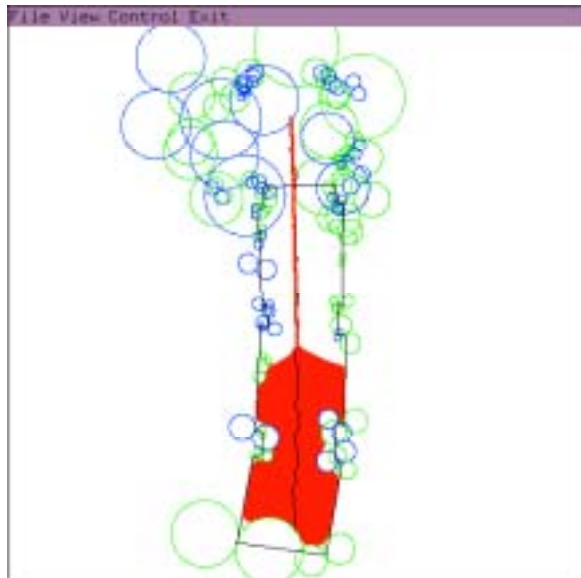


図19：結果

今回提案するウォークスルー環境の提示方法を

映像で例示する．図20の(a) (b) (c)は，それぞれ境界面のテクスチャを境界面，無限遠，推定された奥行きにマッピングした様子である．この時の視点位置を図21に，実際にこの視点位置から見た映像を図22に示す．推定された奥行きへのマッピングが自然なビューを提供していることが分かる．



図 20(a)：境界面テクスチャを境界面にマッピング



図 20(b)：境界面テクスチャを無限遠にマッピング



図 20(c)：境界面テクスチャを推定した奥行きにマッピング

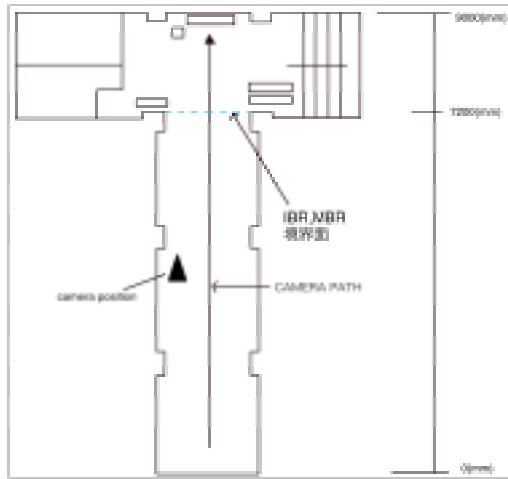


図21: camera position



図22: 図20のcamera positionから見た映像

6. おわりに

臨場感ある広域なウォークスルー空間を構築するには MBR, IBR 共に利点, 欠点があり, どちらか一方だけを用いるのには困難が伴う. そこで本報告では, 3次元モデリング可能な部分は MBR を用い, 不可能な部分は IBR を用い, IBR と MBR を併用した空間モデリングの手法を提案した. またその空間をウォークスルーする環境について述べた.

参考文献

[1] 島村 潤, 山澤 一誠, 竹村 治雄, 横野 直和: “全周実画像と CG モデルの合成による仮想環境の構築”, 画像の認識・理解シンポジウム, Vol. 2, pp. 367-372, 2000.

[2] 川崎 洋, 谷田部 智之, 池内 克史, 坂内 正夫: “Omni ビデオカメラからの3次元都市の自動生成”, 情報処理学会研究報告, CVIM-199-4, pp. 25-32, 1999.

[3] 上原 将文, 塩崎 剛志, 全 炳東: “数値地図と動画像解析による都市空間モデリング”, 画像の認識・理解シンポジウム, Vol. 2, pp. 373-382, 2000.

[4] E. Adelson and J. Bergen: “The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision”, Computer Models of Visual Processing, Chap. 1, MIT Press, 1991

[5] 高橋 拓二, 川崎 洋, 池内 克史, 坂内 正夫: “全方位画像によるレンダリングの手法”, 情報処理学会研究報告, CVIM-199-5, pp. 33-40, 1999.

[6] 山口 晃一郎, 山澤 一誠, 竹村 治雄, 横野 直和: “全方位動画像を用いた任意方向両眼ステレオ画像の実時間生成と提示”, 電気情報通信学会技術研究報告, PRMU-99-159, 1999.

[7] 浜田 博昭, 八木 康史, 谷内田 正彦: “全方位視覚センサを用いた環境地図とロボットの自己位置・姿勢推定法”, 情報処理学会研究報告, CVIM-121-14, pp. 105-101, 2000