

## 擬似3次元空間の背景となる静止画の視点選択方法について

宮原 伸二 小川 剛史 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

〒565-0871 吹田市山田丘2-1

{miyahara,ogawa,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

筆者らはこれまでに、手軽に WWW 上で仮想空間を構築するための手法として IBNR(Image Based Non-Rendering) を提案している。この手法では、実空間を撮影した数枚の静止画を用いてリアルな仮想空間を構築をしている。しかし、構築された仮想空間の構造は、利用する静止画に依存するため、ユーザから見えない部分があり、もとの実空間の構造を把握することが困難である。そのため、モデルとする実空間において適切な静止画の視点を選択することが重要となる。本稿では、IBNR に基づく仮想空間の構築において、ユーザが空間構造を容易に把握できるような背景となる静止画の視点選択方法について述べる。また、それぞれの選択方法についてシミュレーションを行い、有効性について評価した。

## On Selecting ViewPoints of Background Pictures for Constructing Pseude-3D Space

Shinji MIYAHARA Takefumi OGAWA Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka 565-0871, JAPAN

{miyahara,ogawa,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

We have proposed so far a method to construct virtual space easily on WWW, which we named the image based non-rendering (IBNR). In this method, a user can build virtual space with the high level of reality using pictures taken in the real space. However, it is difficult to grasp the global structure of the real space in this method because a user can look at only these pictures and cannot see the scene from other viewpoints. Therefore it is important to select appropriate view points when a user takes a picture of the scene. In this paper, we propose and discuss three methods for selecting viewpoints so that a user can grasp the global structure of real space. We also show simulation results regarding the evaluation of each method for selecting viewpoints.

## 1 はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術の発展により、仮想空間を用いた遠隔地コミュニケーション支援や協調作業支援に関する研究が盛んに行われている。また、商業分野やアミューズメント分野においても仮想空間を利用したサービスが注目されるようになり、遠隔地会議システム [2] や仮想都市 [3] が実現されている。

これまでの研究やサービスで用いられている仮想空間の多くは、一般にGBR(Geometry Based Rendering)と呼ばれる手法を用いて構築されている。GBRでは、3次元情報を用いて仮想空間と空間内のオブジェクトを表現している。したがって、異なる方向から見たオブジェクトの画像を生成することができ、ユーザは自由に視点を変更してウォークスルーできる。しかし、実空間をモデルとする仮想空間を構築するには、実空間に存在する数多くのオブジェクトに関する3次元情報が必要となり、モデリングコストが増大する。また、オブジェクトの数に応じて、レンダリング処理に必要な計算量も増大する。

筆者らのグループでは、実空間に基づく仮想空間を容易に構築する手法として、IBNR(Image Based Non-Rendering)を提案している [4], [6], [7]。この手法では、実空間を撮影した数枚の静止画を用いて仮想空間を構築している。静止画にアバタの画像を合成し、ユーザはアバタを操作して静止画内を移動する。また、アバタの移動に伴い、背景を移動先の静止画と切り替えることによって広大な仮想空間を表現している。しかし、仮想空間を数枚の静止画で表現しているために空間構造の把握が困難であったり、静止画の切り替え時に視点が変化することで、ユーザが方向感覚を失うなどの問題が生じる。したがって、適切な静止画を選択することは重要な課題である。

本稿では、IBNRに基づいて構築した仮想空間において、ユーザの空間把握を容易にする背景の視点選択方法について述べ、選択した視点によるユーザが把握できる空間の特徴について考察する。

以下、2章でIBNRと背景の静止画の重要性について詳しく述べる。3章で静止画の視点選択方法について説明し、4章、5章においてシミュレーションとその結果についての考察を行う。最後に6章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2 IBNR

IBNRは、風景を撮影した静止画を用いて実空間をモデルとする仮想空間を容易に構築する手法である。図1にIBNRの表示例を示す。廊下の静止画を背景にユー

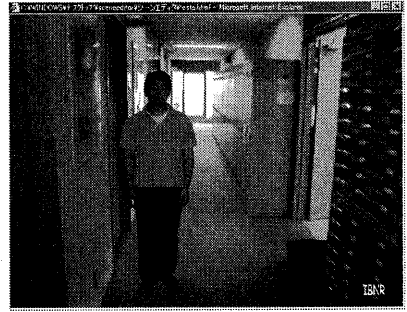


図 1: IBNR シーン 1

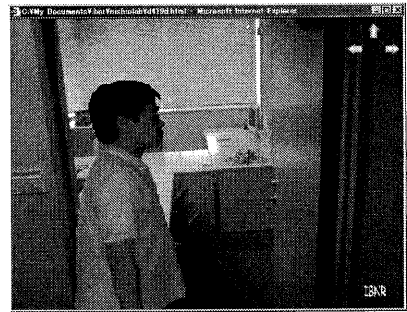


図 2: IBNR シーン 2

ザの操作するアバタの画像を合成している。ユーザの操作に応じてアバタ画像の表示位置や表示サイズを変更することによって、2次元平面上で奥行きを表現している。このアバタを用いて行動できる静止画をシーンと呼ぶ。アバタが静止画の端へ移動すると背景を移動先の静止画へ切り替える。例えば、図1で、廊下の奥へ移動すると図2の背景に切り替わる。このように、複数の静止画を切り替えることにより、広大な空間を構築している。

このような静止画のみで構成した擬似3次元空間を実現するには、アバタによるウォークスルーを可能にするため、静止画に最小限の空間情報を付加する必要がある。IBNRでは、床情報とリンク情報と呼ぶ空間情報を付加することによって、仮想空間を構築している。床情報は、静止画上でアバタが移動できる領域であり、リンク情報は、現在のシーンと次のシーンとのリンクに関する情報である。これらの床領域とリンク情報については、文献 [4], [5] で詳細に述べている。

さらに、これまでに筆者らは、IBNRに基づく仮想空間を容易に構築するためのツールを実装している [5]。実装したツールでは、デジタルカメラやデジタル

ビデオなどのデジタル入力機器を用いて取得した静止画を用いて、手軽に擬似3次元空間の構築が行える。

IBNRでは、実空間を撮影した静止画を背景とする仮想空間の構築を行っている。ここで用いられる静止画は、実空間に存在するすべての建物などのオブジェクトや、あらゆる角度で撮影された数多くの静止画を必ずしも必要とはしていない。静止画は、広大な空間や存在する多くのオブジェクトを数枚で表現できるため、実空間をモデルとする仮想空間は数枚の静止画で構築できる。

しかし、静止画は広大な実空間をリアルに表現できるが、静止画に映っているオブジェクトの奥に存在するようなオブジェクトは、隠れて反映されない。そのため、実際の空間情報よりも静止画が反映している空間情報は少なく、実空間を撮影した数枚の静止画では、詳細な空間構造を把握することができない。結果として、静止画を用いて構築された仮想空間では空間把握が困難である。

IBNRでは、仮想空間内のウォークスルーにおいて方向感覚を失うという問題が生じる傾向がある。特に、静止画の切り替わりにおいて、次のシーンへアバタが進入した方向と、切り替わったシーンにおけるアバタの現れる方向が異なる場合に多い。これは、切り替わる前後のシーンの背景となる静止画の視点が異なるためであり、このような場合には、隣り合う静止画の位置関係の把握が困難となる。

このような問題点を解決するためには、空間全体を詳細に表現できるような視点での静止画を選択して空間の把握を容易に行えるような仮想空間の構築をすることが必要である。また、人間は視覚的な手がかり以上に、空間中のランドマークを手がかりに、それに適合した一連の動きを覚えることで空間を把握していることが知られている[1]。このことをふまえると、シーンの切り替えでは、静止画の視点の変化にともなうユーザの心理的な影響を考慮する必要がある。つまり、IBNRでは、背景となる静止画の視点をどのように選択するかが重要である。

### 3 視点選択

IBNRによる仮想空間のシーンでの背景となる静止画の視点選択方法として、次のようなものが考えられる。

**統一視点:** IBNRによる実空間のモデリングを、仮想空間を構成するすべてのシーンにおいて、ある一定の方向を向いて撮影した静止画を用いて行う方法。

**ランダム視点:** IBNRによる実空間のモデリングを、仮想空間を構成するすべてのシーンにおいて、ラ

ンダムに決定した方向を向いて撮影した静止画を用いて行う方法。

**進行方向視点:** モデリングの際に、1つのシーンにおいてシーンの中心へ向かうような4方向の視点での静止画を用意し、アバタのシーンへの進入方向によってシーンの背景画像を選択するシーン構成で仮想空間を構築する方法。背景となる静止画の選択は、アバタがシーンに進入した方向と同じ方向の視点で撮影した静止画を選択する。そのため、ユーザは常にアバタの正面を向くような静止画で構成される仮想空間を体験できる。

その他に考えられる選択方法として、隣り合うシーンの視点が向かい合う方法や、常にアバタの後方を向くような静止画でシーンを構成するような方法など多数のものがある。本稿では、比較的構成が単純な前述の3手法のみについて比較を行う。

## 4 シミュレーション

前章で述べた統一視点、ランダム視点、進入方向視点の3種類の視点選択方法が、空間の把握や空間内での位置、方向の把握においてどのように有効であるか、また、これらの視点選択方法における特徴を調べるためにシミュレーションを行った。このシミュレーションではDirect3Dを用いて構築した仮想空間を複数のブロックに分割し、それぞれのブロックにおいて1つのシーンを構成するようなIBNRによる仮想空間を作成した。ここで、実空間でなく仮想空間をモデルとしたのは、以下の2つの理由による。

- 街や公園などのあらゆる場所で、複雑な建築方式を採用した空間が多く、規則性のある広大な空間は、ほとんど存在しない。
- 空間内に存在するオブジェクトを頼りに空間把握が容易になる可能性があり、そのような付加情報に影響されることなく視点選択の違いによる評価を行いたい。

このシミュレーションにおける被験者と手続は次のように行った。

**被験者:** 被験者は大学生3名、大学院生6名の計9名(平均年齢23.6歳)である。

**手続:** 4つの仮想空間をそれぞれ3種類の視点でIBNRによる空間に再構成した。それぞれの視点につき3名に別々の部屋で仮想空間を体験してもらい、次のような3つの問題を出題し、質問に対する回答とシミュレーションでのアバタの行動を記録した。

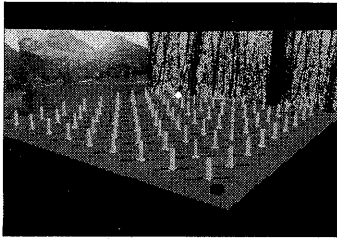


図 3: 問題 1

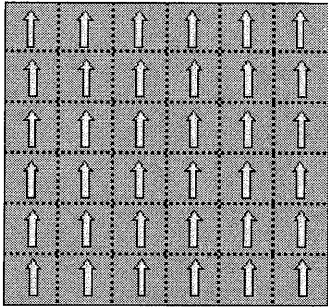


図 4: 統一方向視点

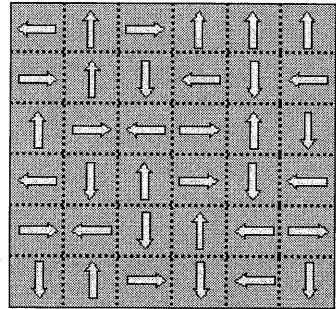


図 5: ランダム視点

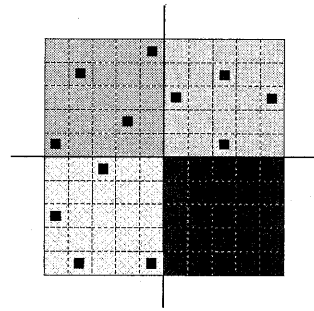


図 6: 問題 2

**問題 1:** 図 3 の仮想空間を縦横  $10 \times 10$  のブロックに分割し、それぞれのブロックにおいてシーンを構成するような仮想空間を用いた。ここで、図 4, 5 では仮想空間を上から見た図であり、矢印はそれぞれのシーンで用いられる静止画を撮影する視点の方向である。統一視点では図 4 のように一定方向の視点での静止画でシーンを構成し、ランダム視点では、図 5 のような視点での静止画でシーンを構成した。進行方向視点では、それぞれのシーンにおいて前後左右の 4 方向の視点での静止画を用意することによりシーンを構成している。また、空間内の 8 つのシーン内にそれぞれ 1 個のオブジェクトと、マップの網目上の交点に柱を配置した。問題内容は、この仮想空間を被験者に 5 分間体験してもらった後、空間内の柱以外のオブジェクトの配置構成を問う。その回答は、配布した格子状の図にオブジェクトの位置を書き込むことにより行う。採点方法として、実際のオブジェクトと同じ位置であれば 10 点、1 ブロック離れていれば 7 点、2 ブロックであれば 5 点とし、合計を 80 点とする。この問題では、ウォークスルーによる空間把握度の計測を目的としている。

**問題 2:** 問題 1 で使用した仮想空間を図 6 のように 4 つの領域に分割し、それぞれの領域において 4 つのりんごやバナナなどのオブジェクトをランダムに配置した。図の四角の黒い点は、配置したオブジェクトを表している。問題内容は、被験者に仮想空間の中央をスタート地点とし、30 秒間体験してもらった後、ウォークスルーの際に視界に入ったオブジェクトの名称を問う。採点方法は、正解したオブジェクトの名称の数で評価を行う。この問題では、短時間での周囲を見渡す視界の広さの計測を目的としている。

**問題 3:** 図 7 のような迷路の仮想空間を用意し、この迷路内にスタート地点とゴール地点を設定した。被験者にはスタート地点からゴール地点までの探索とゴールからスタート地点までの帰還を行ってもらい、それぞれの時間を計測した。また、この問題では、迷路の複雑さに関係なく、被験者の勘などに影響されるため、迷路の仮想空間を 2 つ用意し、それぞれの仮想空間で実験した。ゴールを発見するまでの時間と、スタートに戻るまでの時間

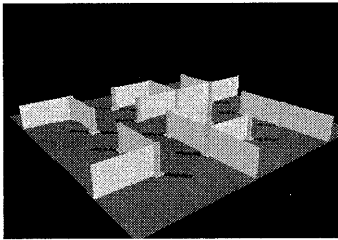


図 7: 迷路

表 1: 採点結果

		統一視点	ランダム視点	進行方向視点
問題 1		56 点	38.5 点	50.5 点
問題 2		4.3 個	6.1 個	5.8 個
問題 3	迷路 1 探索時間	1 分 32 秒	2 分 38 秒	1 分 8 秒
	帰還/探索	0.457	0.519	0.559
迷路 2	探索時間	3 分 12 秒	5 分 38 秒	2 分 54 秒
	帰還/探索	0.563	0.604	0.466

について評価を行う。この問題では、複雑な空間である迷路を用いることによって、ユーザの空間内での位置把握度の計測を目的としている。

これらのシミュレーションの採点結果を表 1 に示す。ここで、表の数値は、各視点において仮想空間を体験してもらった被験者の回答の評価値の平均である。また、問題 3 の各迷路の評価結果では、上段にゴールを探索するまでの時間、下段はゴールを探索した時間とスタートに戻るまでの時間の比を表している。

問題 1 では、統一視点において高得点の結果が得られた。この視点では、すべてのシーンにおいて静止画の視点が一定方向である。その結果、それぞれのシーンから見たオブジェクトの位置関係は、常に一定の位置関係を保って静止画に写っているため、最高得点が得られたと考えられる。また、静止画の遠くに見える風景も常に一定であることから空間全体とオブジェクトの位置関係の把握が容易であったものと考えられる。シミュレーションにおいて被験者は、空間全体が見渡せるように、空間の端に沿ってアバタを移動させる傾向が見られた。ランダム視点では、静止画によって写るオブジェクトの組合せが異なるために、オブジェクトの位置関係を把握するのに混乱した被験者が多数いた。シミュレーション最中では、空間での方向感覚を失う傾向があるといった結果が得られた。進行方向視点では、静止画に写ったオブジェクトへ接近し、次に他のオブジェクトに向かっていくというような、オブジェクトを順番に巡回しながら移動する傾向が強く見られた。そのため、回答には空間内のオブジェクトをすべて発見した被験者が多く、高得点に至ったものと

考えられる。

問題 2 では、ランダム視点において最高得点の結果が得られた。これは、短時間でもいくつかのシーンを体験するだけで、周囲を見渡せるような視点での静止画が得られ、静止画に写ったオブジェクトの数が多くなるからであると考えられる。それに反対して、統一視点では、自分の位置から静止画の視点とは反対方向に位置するオブジェクトを見るために、空間の端まで移動する必要があるため、そのような場所に位置するオブジェクトの名称を答えた被験者はほとんどいなかった。また、進行方向視点では、問題 1 のようにオブジェクトに近づいて他のオブジェクトを巡回して移動する傾向が見られ、結果として短時間で巡回できるオブジェクトの数が少なかったものと考えられる。

問題 3 の迷路問題では、ゴール探索、スタート帰還の両方において進行方向視点が有効であった。この視点においては、ほとんどの被験者が、行き止まりの同じ場所へ再び訪れることなくゴールを探索し、迷わずにスタートへ戻ることができた。これは、ゴール探索時に迷路の構成を理解しながらスタート地点の位置と方向を失わずに行動できた結果であると考えられる。それとは対照的に、ランダム視点では、行き止まりの同じ場所に何度も訪れ、スタート帰還においても迷う被験者がほとんどであった。統一視点では、スタート帰還において迷う被験者は少なかった。しかし、ゴール探索において一定方向からの情報しか得られず、シーンによっては進みたい方向への正面からの静止画が得られないため探索に多くの時間を費やした被験者が多かった。

## 5 考察

前章のシミュレーション結果から、3 種類の視点選択方法について次のようなことがいえる。

**統一視点:** すべてのシーンにおいて一定方向での視点の静止画を用いることにより仮想空間の構築を行っている。そのため、すべての静止画において遠くの風景がほぼ同じである。結果として、遠くに見える風景と近くの風景の関連づけが容易であるため、空間の全体的な把握に有効であると考えられる。しかし、一定で視点方向があるために空間の詳細な部分を写した静止画が得られず、漠然とした空間全体の把握にとどまっているものと考えられる。

**ランダム視点:** この視点では、均一な周囲の見渡しに有効であると考えられる。このことから、広大で存在するオブジェクトの少ない空間では、周囲を見渡すだけで十分であり、空間全体をウォークス

ルする必要がない。それゆえに、この選択方法はそのようなシーン構成に役立つものと考えられる。しかしながら、ランダム視点で構成させたシーンでは、シーンが切り替わった際に、ユーザの方向感覚が失われるという欠点がある。その結果、空間全体の構成についての把握が非常に困難になる。

**進行方向視点:** シミュレーション結果から空間全体の把握、周囲の見渡しにおいても有効性が示されている。この視点で構成されたシーンでは、常にアバタの正面となるような静止画が得られるため、ユーザが方向感覚を保ち易い。そのため、迷路や多くの建物が存在するような複雑な空間では、位置の把握において特に有効である。このことは、進行方向視点によるシーン構成の仮想空間が、実空間でウォークスルーにおける人間の視点で得られる映像に近いためであると仮定される。しかし、シーンにおいて用意する静止画を複数必要とするため、他の選択方法に比べてモデリングコストが多いという問題点がある。

このように、3つの視点選択方法には、空間把握や位置、方向の把握において様々な特性があることがわかった。このような有効性や特性は、空間の特徴にも依存する。そこで、モデリングする空間において、特徴の似た領域ごとに分割し、その領域ごとに有効な静止画の視点でのシーン構成を行うといった、仮想空間全体を視点選択を最適に組合わせて構築する必要があると考えられる。

## 6 まとめ

本稿では、IBNR手法による仮想空間の構築において重要となる背景に用いる静止画の視点の選択方法である、統一視点、ランダム視点、進行方向視点についてシミュレーションと考察を行った。その結果、統一視点では空間全体の把握に有効であり、ランダム視点では、周囲を見渡すのに有効である。また、進行方向視点では、位置の把握に有効である。

今後の課題として、統一視点、ランダム視点、進行方向視点の3種類の視点を組合わせた仮想空間の構築が挙げられる。さらに、実空間内に存在する建物などといった様々なオブジェクトを考慮に入れたシーンの構成が必要である。

## 謝辞

末筆ながら、本研究を進めるにあたって、有益な御助言を頂いた春本要助手、原隆浩助手をはじめ当研究室諸氏に謝意を表す。なお、本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」(プロジェクト番号: JSPS-RFTF97P00501) によっている。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] Tuan, Y.: "Space and Place," University of Minnesota, (1977).
- [2] Ogawa, T., Sakane, Y., Yanagisawa, Y., T-sukamoto, M., and Nishio, S.: "Design and Implementation of a Communication Support System based on Projection of Real Space on Virtual Space," in *Proceedings of 1997 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97)*, Vol.1, pp.247-250 (1997).
- [3] Besselaar, P. and Beckers, D.: "Demographics and Sociographics of the Digital City," In Ishida, T. Ed., *Community Computing and Support Systems*, Lecture Notes in Computer Science 1519, Springer-Verlag, pp.108-124 (1998).
- [4] 小川 剛史, 中村 聡史, 坂根 裕, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: "静止画を用いた三次元空間のブラウジング手法について," 情報処理学会研究報告(データベースシステム研究会 98-DBS-116(2)), Vol.98, No.58, pp.217-224 (1998).
- [5] 小川剛史, 塚本昌彦, 西尾 章治郎: "静止画を用いた擬似三次元空間の構築ツール," 電子情報通信学会第10回データ工学ワークショップ(DEWS'99), 論文集(CD-ROM) (1999).
- [6] 中尾 太郎, 小川 剛史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: "画像データベースのための空間構造を反映したデータ提示機構について," 電子情報通信学会第10回データ工学ワークショップ(DEWS'99), 論文集(CD-ROM) (1999).
- [7] 塚本 昌彦: "WWW上の擬似3次元空間の記述方法について," 電子情報通信学会技術研究報告MVE98-97, Vol.98, No.616, pp.17-24 (1999).