

パノラマ画像からの任意視点画像の生成

澤 弘義[†] 郡司 尚樹[†] 武田 哲也[†] 岡田 至弘[†]

[†] 龍谷大学 理工学部 電子情報学科

〒520-21 大津市瀬田大江町横谷 1-5

e-mail: hsawa@iota20.elec.ryukoku.ac.jp

あらまし

実写画像を用いた Image-Based Rendering に基づく仮想空間の新たな構成法として、3次元空間を少数のパノラマ画像を用いて表現することを提案する。そして、その中で我々が歩いていることを実感できるような仮想空間を構成し、ウォークスルーの実現を目指す。ここでは、3地点(ノード)からの少数視点からのカメラ入力で360度パノラマ画像を生成し、厳密なカメラパラメータを用いずに、屋外シーンを対象とした仮想空間を構成する。そして、この3つのノードによって囲まれる領域内において、ノードのパノラマ画像を任意視点の円柱に投影することにより、新たな視点である任意視点の画像生成を行う。

キーワード パノラマ画像, 仮想空間, ウォークスルー, ステレオ

A Generation of Any Viewpoints' Image by Using Panoramic Images

Hiroyoshi Sawa[†] Naoki Gunji[†] Tetsuya Takeda[†] Yoshihiro Okada[†]

[†]Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University

Seta, Otsu, Shiga 520-21, Japan

e-mail: hsawa@iota20.elec.ryukoku.ac.jp

Abstract

We propose that 3-D space is expressed in few panoramic images, as a new composition method of a virtual space by Image-Based Rendering which uses the photo image. And, we compose the virtual space which can actually feel to be walking in that, and aim at the achievement of walk through. Here, we generate 360 degree panoramic images with the camera input from 3 points (node), we compose the virtual space which the outdoor scene is targeted without strict camera parameter. And, we generate any viewpoints' image with the projection of the panoramic image of the node to the column of any viewpoints in the area enclosed by these 3 nodes.

key words panoramic image, virtual space, walk through, stereo

1 はじめに

近年、従来のアナログ放送のTVに変わってデジタル放送のTVが注目を浴びてきている。これには、チャンネル数の増加以外に、高精細な画像、インタラクティブな操作が可能になる等の様々な利点があるためである。これらのデジタル画像の操作に必要とされることはさらに実写画像を編集・加工し、よりリアルタイムで表示する技術である。

また、インターネットに代表されるネットワークの発展により、新しい世界としての仮想世界が実験的な試みから少しずつ現実社会に浸透してきている。仮想空間を構成するには今までCGやVRML等におけるModel-Based Renderingによる方法が用いられてきた。しかし、全体に幾何学的であることやテクスチャのリアリティの欠如、モデリングにおける多大な入力作業等の欠点がある。そこで実写画像を用いて3次元情報の復元を目指すImage-Based Renderingの研究が行われるようになってきた。

実写画像を用いて3次元情報の復元を行う研究には、屋外シーンを対象とした場合、3次元空間を円柱に投影する方法[1][2][3]や、シーンをデータベース化し、最適な画素をとりだし任意の視点で生成する方法[4][5]等がある。また、対象をオブジェクトに限定して、復元を行う研究[6][7]も報告されている。これらの利点には、実写画像を用いるためによりリアルで、入力はカメラから行うために簡単であること等があげられる。

本研究では、実写画像を用いたImage-Based Renderingに基づく仮想空間の新たな構成法について述べる。現段階では実写画像を用いて3次元空間の復元を行う手法として、全方位を見渡すことから3次元空間を認知しやすく、かつ計算機上で処理を行いやすいパノラマ画像を用いる。そして、その中で我々が歩いていることを実感できるような仮想空間を構成し、ウォークスルーの実現を目指す。仮想空間を構成するためにパノラマ画像を用いた研究では、[1]があげられるが、ウォークスルーの実現には至っていない。

ここでは、3地点(ノード)からの少数視点からのカメラ入力で360度パノラマ画像を生成し、厳密なカメラパラメータを用いずに、屋外シーンを対象とした仮想空間を構成する。そして、この3つのノードによって囲まれる領域内において任意視点の画像生成を行う。

2 パノラマ画像による仮想空間

2.1 パノラマ画像

パノラマは上下方向の視野は限られるが、全方位を見渡すことができ、また取り込みも簡単である等の利点があげられる。このパノラマ表現を用いて仮想空間を構成する。ここでは、1つの地点から取り込んだ実写画像をつなぎあわせ、360度のパノラマ画像を生成する方法について述べる。まず、図1のように屋外風景を三脚で固定したカメラで、水平方向にパンしながら、等間隔に360度撮影する。次に、撮影した複数枚の画像に対してグラデーション法[8]を用いた貼り合わせを行い、360度パノラマ画像を生成する。このとき、以下のようなことに注意しながら撮影を行う。

- 貼り合わせのときに、重なり領域が十分あるように隣り合う画像を重ね合わせる。そのため使用するレンズに対して、パンの回転角を決定する。
- 貼り合わせのときに、隣り合う画像間での上下のずれが小さくなるように、カメラのレンズを地面に対して常に平行に保つ。
- 貼り合わせのときに、隣り合う画像間での左右の差異が小さくなるように、レンズの節点を装置が回転する中心の真上に置く。
- 撮影するすべての画像は同じ露出時間と焦点距離にする。

これらの条件を満たすことで、隣り合う画像間での差異を少なくし、つなぎ目が目立たない貼り合わせ画像を生成することができる。

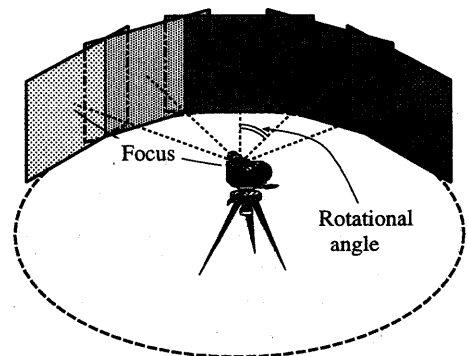


図1: パノラマ画像の撮影

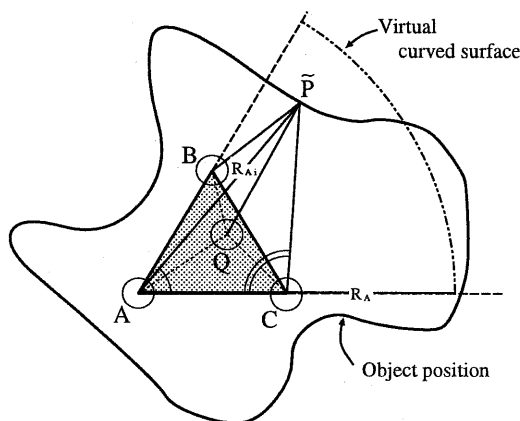


図2: 距離計測から仮想曲面の生成

2.2 3視点パノラマ画像

3地点(ノード)からそれぞれ360度パノラマ画像を撮影し、これを用いて仮想空間を構成する。本研究における仮想空間とは、我々が実際に歩いて、辺りをぐるっと見回したり、建物に近付いたり遠のいたりすることを疑似的に体験できる機能、すなわちウォークスルーの機能を備えたものである。

仮想空間内でウォークスルーを実現するためには、3地点からパノラマ情報のみではできなく、あらゆる任意の地点での情報が必要となる。そこで、図2のように3つの地点(ノード)A, B, Cを頂点とする三角形ABCを構成し、構成された三角形ABC領域内の任意の地点において360度パノラマ画像の生成を行う。そして、このパノラマ画像を順次表示していくことにより、ウォークスルーを実現する。

まず撮影時の拘束条件として、3つのノードと任意の地点のワールド座標系での位置は既知とする。またカメラの向きも既知とし、それぞれのカメラの高さも同じとする。次に、三角形ABCの領域内には物体は存在せず、オクリュージョンはないものとする。また、三角形ABCは正三角形に近い形とする。これは任意視点の画像を生成するとき、もっともノードと任意視点との視差が小さくなるためである。

また三角形の大きさは、1つのノードから残り2つのノードの地点を確認できる範囲とする。これは三角形領域が大きすぎると、ノード間のウォークスルーの際、不自然さを生じるからである。また三角形領域が小さすぎると、3視点から撮影する必要性

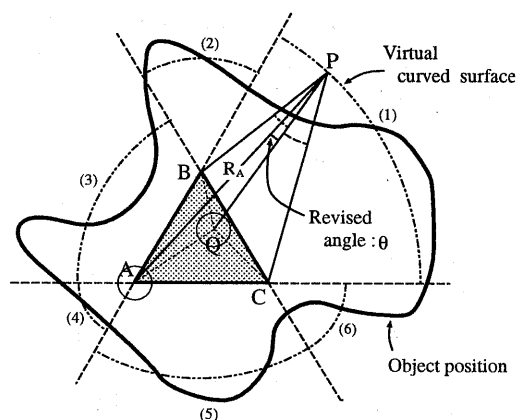


図3: 3視点からの任意視点画像の選択

もなく、カメラの撮影コストがかかるだけである。周りの物体の位置や大きさ、解像度等のカメラの性能によっても変化するが、一辺15～50m程度の正三角形が最適である。

本手法の特徴は、画像の取り込みが3視点からのみであるため、カメラを移動させる必要が少なく、任意視点の画像の生成の多くを計算機上で処理できることである。

2.3 任意視点の画像選択

ここでは、3つのノードのパノラマ画像からどのようにして、最適な任意視点の画像を生成するかについて述べる。図2のように3つのノードをそれぞれA, B, Cとし、Qを任意視点とする。またQからの視線は物体Pの方向を向いているものとする。

まず、三角形領域内の周りにある物体の配置(建物等の位置)を計測するために、2つのノードのパノラマ画像を用いて、三角形の一辺を基線長とするステレオマッチングを行う。ステレオマッチングでは、解像度を $\frac{1}{8}$ 倍までモザイク化をほどし、相関法を用いて行う。このときの計測精度は、物体までの大まかな距離がわかる程度でよい。ノードA, Cからステレオ計測を行った場合、 $\angle BAC$ で囲まれる範囲内で距離計測結果を平均的に R_A とし、ノードAから R_A までの距離を仮想曲面として考える。

仮想曲面を決定した後は、図3のように各ノードにおいて、ノードと物体Pを結ぶ直線と直線QPとのなす角度を算出する。角度が最も小さかったものを補正角度 θ とし、対応するノード(ここではA)を決定する。これにより、任意視点Qと最も視差が

小さいノードを選ぶことができる。これは3角形のそれぞれの辺を延長して区切られるパノラマ画像を選択したものと同一である。

そして、選択したノードAの360度パノラマ画像を部分的に切り出した部分パノラマ画像に対し、3章で述べる投影変換を用いて任意視点Qの画像を生成する。

実際に使用するパノラマ画像は、3つのノードそれぞれについて対極な2方向、計6枚の部分パノラマ画像を用いる。対極な2方向とは、ノードAでは(1)(4)、ノードBでは(2)(5)、ノードCでは(3)(6)にあたり、それぞれの部分パノラマ画像をつなぎ合わせることで、任意視点Qにおける360度パノラマ画像を生成する。

3 任意視点の画像生成

3.1 補正角度による視差

ここでは、ノードAの部分パノラマ画像から任意視点Qの画像の生成法について述べる。その前に、まずノードAと任意視点Qとの画像にはどのような違いがあるかを考えてみる。ノードAの画像と任意視点Qからの画像との間には、図3で求めた補正角度 θ 分の視差がある。

そこで、図4のようなノードAと任意視点Qとのモデルを考える。まず、任意視点Qの視線からノードAの部分パノラマ画像を決定して切り出す(これはFovにあたる)。そして、ノードAから物体Pの向きを ϕ とし、ノードAと任意視点Q(ノードAからの位置 r 、方向 η)から見た画像の変化を θ で表す。 θ は $\vec{AP}$ 、 $\vec{QP}$ から式(3)を用いて算出する。

今、ノードAのパノラマ画像をある部分的な平面画像として考えた場合、任意視点Qからはその画像を θ 度斜めから見ていることになる。そこで、その画像を透視変換を用いて、図5のように変換することによって、任意視点Qから見た画像を生成する。

図6は任意視点Qにおいて、 ϕ を 0° から 60° まで変化させたときの補正角度 θ の変化を表したものである。任意の視点Qはそれぞれ $\eta = 30^\circ$ 、 $\eta = 0^\circ$ の方向にあり、ノードAからの距離が $R \times (\frac{2}{3})$ 、 $R \times (\frac{1}{2})$ 、 $R \times (\frac{1}{3})$ である。

これより分かることは、正三角形にノードを配置した場合、視差は最大でも30度前後であり視差はそれほど感じられないということである。実際に透視変換では、建物の配置やオクリュージョンの影

響などにより正確な画像は生成できない。しかし、ウォークスルーの際には、任意視点で違和感のない画像を生成できると考える。

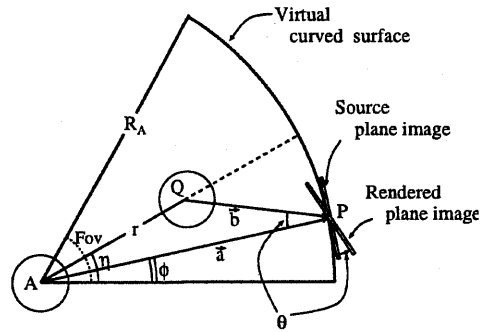


図4: 補正角度の算出モデル

$$\vec{AP} = \vec{a} = (R \cos \phi, R \sin \phi) \quad (1)$$

$$\vec{QP} = \vec{b} = (R \cos \phi - r \cos \eta, R \sin \phi - r \sin \eta) \quad (2)$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{R - r \cos(\phi - \eta)}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\phi - \eta)}} \quad (3)$$

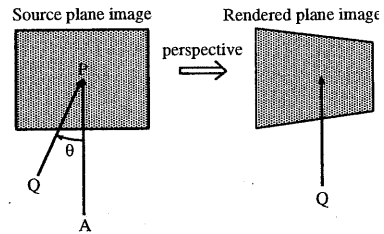


図5: 透視変換

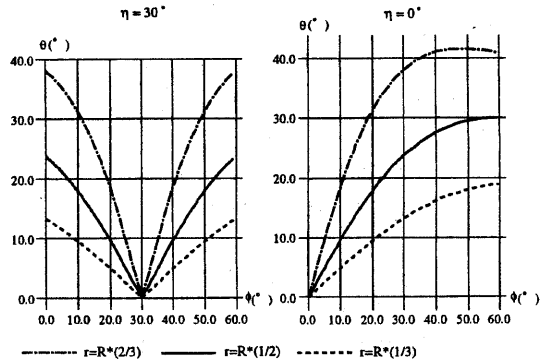


図6: 視差

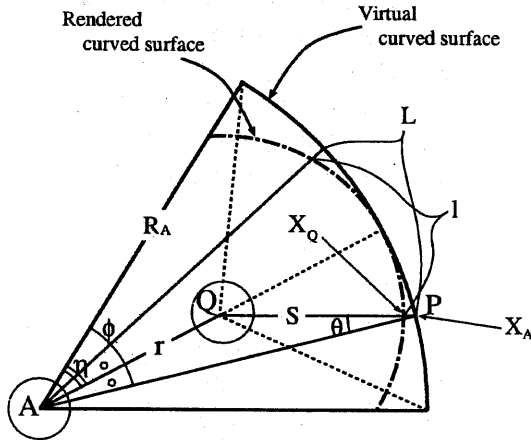


図 7: 変換投影モデル (X 座標)

3.2 任意視点の画像生成投影モデル

任意視点 Q の画像は、補正角度 θ から選択した部分パノラマ画像を用いて生成する。しかし透視変換では平面画像を扱うため、画像を分割しなければならない。そこで、部分パノラマ画像を一括で変換するために、透視変換と同様の効果を生み出す方法を以下に示す。これは、ノードのパノラマ画像を任意視点の円柱に投影する方法であり、焦点距離の情報をいわず、線形変換のみで、任意視点 Q の画像を生成することができる。

図 7、8 のようにノード A の画像 (弧 L) を (弧 I) に投影することにより、任意視点 Q の画像を生成する。これにより、ノード A の部分パノラマ画像の点 (X_A, Y_A) は任意視点 Q の部分パノラマ画像の点 (X_Q, Y_Q) に移る。これをノード A の部分パノラマ画像すべての画素に対して、式 (6)、(7) を用いて、任意視点 Q の画像を生成する。

任意視点 Q がノード A から遠ざかる程、生成した部分パノラマ画像は樽型に歪む。これはカメラレンズの特性の一つである歪曲収差を逆に利用したものであり、これにより遠近感を得る。また、これは図 3 での任意視点 Q からの視線方向が (1), (3), (5) のときであり、(2), (4), (6) のときは図 7 の A と Q を入れ換えて考える必要がある。このとき、生成した部分パノラマ画像は糸巻き型に歪む。

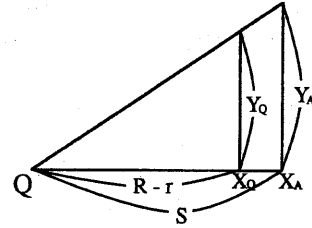


図 8: 変換投影モデル (Y 座標)

$$L = 2\pi R \cdot \frac{2(\eta - \phi)}{360} \quad (4)$$

$$l = 2\pi(R-r) \cdot \frac{2(\theta + \eta - \phi)}{360} \quad (5)$$

$$X_Q = \frac{l}{L} \cdot X_A = \frac{R-r}{R} \cdot \frac{\theta + \eta - \phi}{\eta - \phi} \cdot X_A \quad (6)$$

$$Y_Q = \frac{R-r}{S} \cdot Y_A = \frac{R-r}{r} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\eta - \phi)} \cdot Y_A \quad (7)$$

4 実験結果

実空間上にそれぞれ 3 つのノード A, B, C を設定し、それぞれからデジタルカメラを用いて撮影を行った。レンズは 28mm を用いて、地面に対して水平にバンしながら、等間隔に 20 度ずつ 18 枚撮影した。以上の操作をそれぞれ 3 つのノードで行い、それぞれで 360 度パノラマ画像を生成した。

次にそれぞれのパノラマ画像を用いてステレオ計測を行った。計測結果は $R_A \approx 20\text{m}$ となった。これより任意視点 Q の画像を生成した結果を図 9 に示す。

(a) はノード A を 260 度から 340 度までを切り出した部分パノラマ画像であり、これを本手法を用いて、(b) の任意視点 $Q(r = 11\text{m}, \eta = 40^\circ)$ の部分パノラマ画像を生成した。実際には、これを (R/r) 倍拡大した画像を表示する。(c) は実際に Q で撮影した画像である。(b) と比べてそれほど差異は感じられない。また、(d) は任意視点 Q が辺 AC に寄ったときの $Q'(r = 11\text{m}, \eta = 70^\circ)$ の地点での部分パノラマ画像であり、視点移動したことがはっきりわかる結果が得られた。

5 おわりに

3 次元空間をパノラマ画像で表現することにより、あるノードから直進するウォークスルーの場合、視線の移動は伴わない。このため、画像の変換は少なくて済む。また正三角形にノードを配置することで、視差はほぼ 30 度前後まで済むことが分

かった。これにより、ウォークスルーの際には違和感を感じない程度の任意視点の画像を生成することができた。

この三角形領域を多数つなぎあわせることで、さらに広範囲の仮想空間を生成することができる。今後、実写画像と幾何モデルを統合していくことで、より実シーンに近い任意視点の画像生成を検討していく。そのためには、ステレオ計測の精度向上と、物体と背景の分離、物体の抽出等を行っていく予定である。

参考文献

- [1] S.E.Chen: "QuicktimeVR - An image-based approach to virtual environment navigation", In Proc. SIGGRAPH95, pp.29-38(1995)
- [2] 和田, 浮田, 松山: "Appearance Sphere - パン・チルト・ズームカメラのための背景モデル - ", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'96), vol.2, pp.103-108(1996)
- [3] L.McMillan, G.Bishop: "Plenoptic Modeling: An image-based rendering system", In Proc. SIGGRAPH95, pp.39-46 (1995)
- [4] 亀井 克之, 丸山 稔: "画像に基づく仮想空間の生成", 信学技報 MVE96-19 (1996)
- [5] 曾山, 山内, 安田, 横井, 鳥脇: "景観シミュレーションのための 2.5 次元簡易情景モデル構築の一手法" 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'92)
- [6] C.Poelman, T.Kanade: "A Paraperspective Factorization Method for Shape and Motion Recovery", Technical Report CMU-CS-93-219, December 11 (1993)
- [7] P.E.Debevec, C.J.Taylor, J.Malik: "Modeling and Rendering Architecture from Photographs", Technical Report UCB//CSD-96-893, January 19 (1996)
- [8] 郡司, 左近, 上西, 岡田: "オプティカルフローによるパノラマ画像生成", 電子情報通信学会総合大会, pp350(1997)

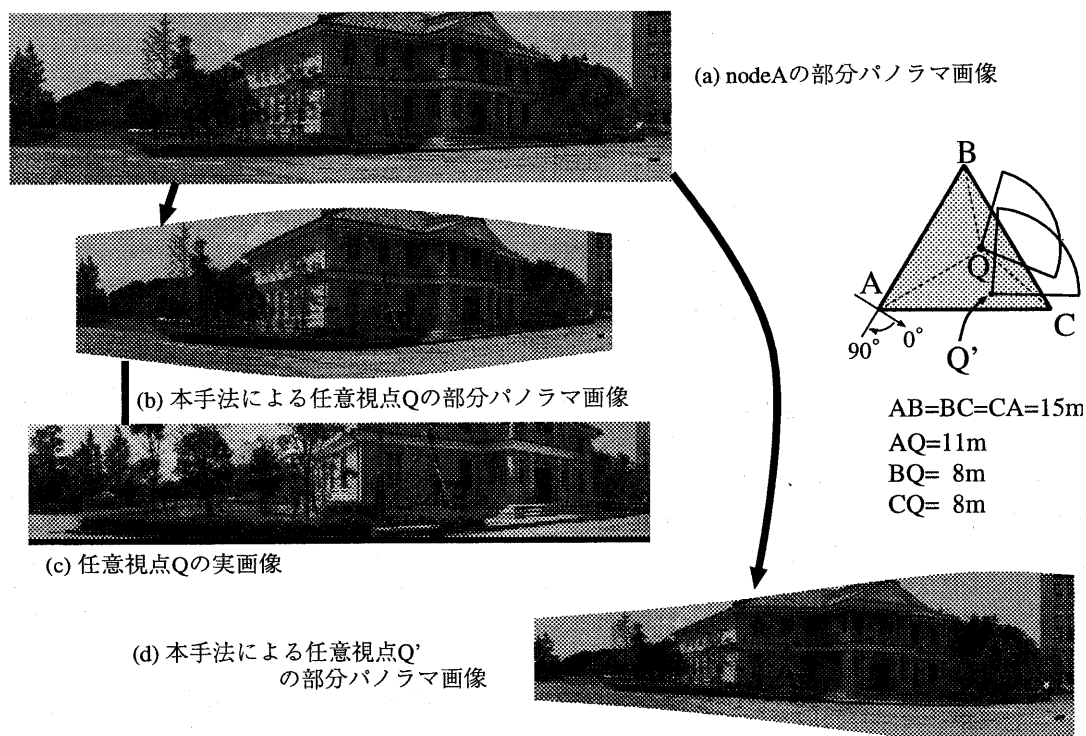


図9: 任意視点 Q 、 Q' の画像生成結果