

## 自然風景を仮想空間内で再生するシステムの開発

尾崎 信之\*<sup>1</sup> 館 暉\*<sup>2</sup>

Development of a system that creates natural scene as a virtual world

Nobuyuki Ozaki\*<sup>1</sup> and Susumu Tachi\*<sup>2</sup>

**Abstract** - In Virtual Reality (VR), virtual worlds are mainly created by computer graphics, which is not completely realistic when it is used to describe the existing real world. The best way to do this, therefore, is to create a virtual world with images captured by cameras. For interactive response, which is essential for VR, the system needs to change the image being displayed according to where the human operator, whom we call as a virtual viewing point, is viewing from. In other words the system has to deal with the occlusion problem, which is mainly caused by motion parallax. This paper proposed a solution to the occlusion problem. It introduces scenery planes which sample the real world as flat planes based on the assumption that these planes are sufficient to represent the world while the virtual viewing point is moving. There are two types of scenery planes: far planes, which do not need to consider depth during movement, and near planes, which do need to consider depth. The method is verified by a prototype system with stereoscopic viewing ability

**Keywords** : Tele-existence, Virtual Reality, Virtual World, Motion Parallax, Occlusion.

## 1. はじめに

人工現実感において、実際に存在する対象物を臨場感豊かに仮想空間の中に構築し、視点の位置に基づいてインタラクティブに描画する方法として、近年 Image Based Rendering の手法が注目されている。この手法は、臨場感のある実写画像を用いて、仮想空間の構築を行うもので、汎用的な対象物に関して各種手法が提案されている。これらの手法は構築する対象物の大きさによって、机上サイズ、室内空間サイズ、街角サイズに分類できる。

机上サイズの対象物に限定したのものとして、レーザーなどにより対象物の全周に渡りレンジデータを取得して、それに撮影した画像を貼り付ける方法がある。この方法はほとんど任意の方角からの画像を生成することができるが、手軽に撮影することは難しい。また、対象物の連続画像から形状モデルや反射モデルを作成して、精緻なモデリングを行う研究 [1] や、光線情報を用いた空間記述により仮想空間を生成している研究 [2] がある。一方、カメラの撮影条件を拘束し、エピソードの条件を用いて簡便ではあるが、視点の移動を制限して画像合成する方式が提案されている [3]。

室内空間サイズを対象とした研究としては、50 台余りのカメラを全周に配置し、画像からレンジデータ [4] [5] を作成して、人間大の大きさを任意の位置の視点から合成することが出来る 3D Studio [6] がある。

野外での街角サイズを対象とした研究としては、1980 年にレーザーディスク装置内に蓄積した一連の連続実写画像をランダムにアクセスして、特定の道筋からの街角の景観を再生した Movie-Maps [7] や、街角の風景を定位置からであるが眺め回すことの出来る Virtual Dome [8] などの研究がある。また、街角を特定のルートで歩行しながら事前に連続画像を蓄積し、ルート近くの任意の位置からの画像を回転・拡大・縮小の簡便な補間を用いて、合成する手法もある [9]。しかしながら、いずれの場合も、移動に伴うオクルージョンは考慮していない。

Image Based Rendering の適用例として、世界各地の名所旧跡などを居ながらにして、ウォークスルーすることが考えられる。そのためには、今まで述べたような 3 種類のサイズをすべて取り扱う必要が生じる。また、これらの場所は観光スポットとして見せるべき箇所がかなり明確になっているので、生成した仮想の世界を任意に歩き、任意の方角から見る必要はないと考えられる。そこで、ウォークスルーする自由度をある程度限定し、簡便な撮影装置を用いて仮想空間を構成する必要が生じる。

本論文では移動に伴うオクルージョンに対応するため、まず、運動視差に着目して対象となる実世界を景色

\*1:東京大学 先端科学技術センター、現在 (株) 東芝 東京システムセンター勤務

\*2:東京大学 先端科学技術センター

\*1:RCAST, University of Tokyo, currently working for TOSHIBA corporation

\*2:RCAST, University of Tokyo

平面なる概念を用いて表現する方法について述べる。これは実世界から仮想空間を生成するときの根幹の概念である。次に2種の景色平面に従い、画像合成のアルゴリズムを纏める。これにより、前述の3種類のサイズをすべて取り扱うことが出来る。最後に、提案の方法の検証のため、立体視可能な提示システムを構築した。

2. 景色平面の概念の導入

単眼に於ける立体知覚の主要な要因の一つに運動視差がある[10]。これは視点を移動させると、空間に配置されている物体の相互関係が変化し、物体間の前後位置が判定できることをいう。回転移動では運動視差は生じないので、視点の移動を平行移動に限定して、次の2つの方法でオクルージョンの現象を考える。簡単のため、同一平面上で考える。

2.1 奥行きを考慮が必要な対象物の選定

カメラの内部パラメータが既知の時、視点の移動量の最大を決めると、移動の前後における対象物体の透視変換の効果を計算することができる。この効果がある場合のみ対象物体単位で奥行きを考慮する必要がある。ここでは、物体上の特定の2点間の画像上での距離の変化を算出する。図.1左は視点の移動を水平方向に平行移動する場合の鉛直方向上から見た図である。

1. 移動前

$$I_1 = \frac{f}{f+z-\Delta z_1} \cdot \Delta x_1 \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{f}{f+z-\Delta z_2} \cdot \Delta x_2 \quad (2)$$

2. 移動後

$$I'_1 = \frac{f}{f+z-\Delta z_1} \cdot (\Delta x_1 - \Delta t) \quad (3)$$

$$I'_2 = \frac{f}{f+z-\Delta z_2} \cdot (\Delta x_2 - \Delta t) \quad (4)$$

3. 移動前後の2地点の画像上の距離の差 diff

$$diff = f\Delta t \left( \frac{1}{f+z-\Delta z_1} - \frac{1}{f+z-\Delta z_2} \right) \quad (5)$$

ここで、 $f+z \gg \Delta z_1, f+z \gg \Delta z_2$ の近似が成り立つ範囲内では次のようになる。

$$diff \approx \frac{f \cdot \Delta t}{(f+z)^2} (\Delta z_1 - \Delta z_2) \quad (6)$$

式(6)を画素単位で表現するため、焦点距離の単位換算係数  $k_x(pixel/mm)$  を用い、

$$diff \approx \frac{f \cdot \Delta t}{(f+z)^2} (\Delta z_1 - \Delta z_2) k_x \quad (7)$$

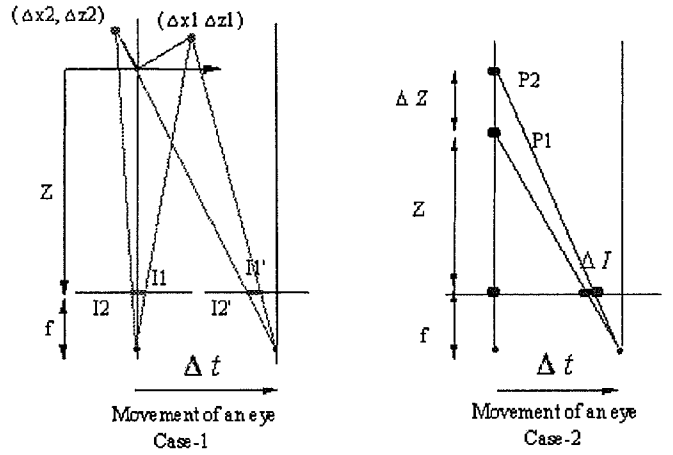


図1 視点の移動  
Fig. 1 Movement of an eye

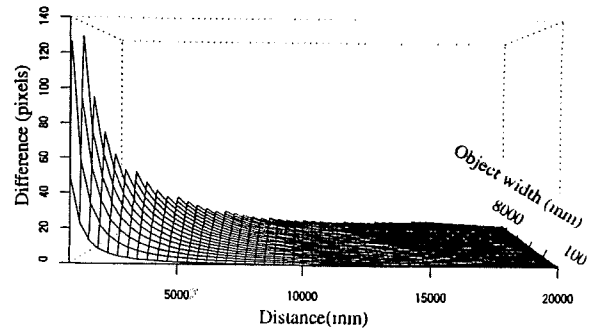


図2 距離の差  
Fig.2 Difference of the distances

となる。図.2に焦点距離  $13mm (k_x = 50 pixels/mm)$  で視点を  $500mm$  移動させた時の、対象物体までの距離と対象物の特定の2点間の奥行き方向の距離に関して、視点の移動前後における、差  $diff$  を示す。移動前後での距離の差  $diff$  が2画素程度の時、透視変換の効果は画面上では小さいと判断できるので、対象物体の奥行きは考慮しなくてすむ。図.2を見て判るように、近い物体または奥行きのある物体に対しては、距離の差  $diff$  が大きくなるので奥行きを考慮する必要がある。

2.2 平面による実空間のサンプリング

同一物体の奥行きを考慮しなくてすむ領域に関して、次に視点が左右に移動することにより、それぞれの物体までの距離が異なる時の見え方の変化(オクルージョンの現象)について考える。そのためには、まず図.1右に示すように、特定の2点間の奥行きとそこまでの距離に着目し、移動による2点のずれの量  $\Delta I$  を画素単位で算出する。

$$\Delta I = f \cdot k_x \cdot \Delta t \cdot \left( -\frac{1}{f+z+\Delta z} + \frac{1}{f+z} \right) \quad (8)$$

ここで、移動前の  $P_2$  の点は  $P_1$  によって隠された(occluded)点である。移動後の  $\Delta I$  の値が画素換算でほとんど零のままの時は、 $P_2$  は隠されたままであり、また  $\Delta I$

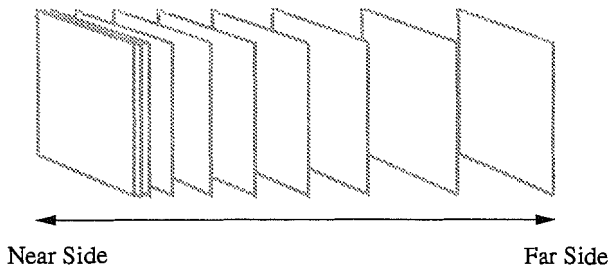


図3 実世界を近似するためのサンプリング平面  
Fig.3 Planes to sample the actual world

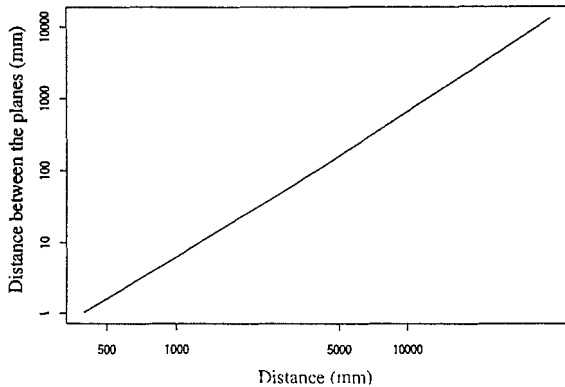


図4 平面のサンプリング間隔  
Fig.4 Sampling distance of the plane

の値が大きいときは2点は重ならず  $P_2$  が単独で見えたことになり、オクルージョンはなくなったと考えることができる。ここで上式を変形する。

$$\Delta z = -(f+z) + \frac{1}{\frac{1}{f+z} - \frac{\Delta I}{f \cdot \Delta t \cdot k_x}} \quad (9)$$

$\Delta I \approx 0$  なる現象は、視点の移動の前後でオクルージョンの状態が変化しないことを表す。言い替えれば、視点からの距離  $z$  の関数として定まる、 $\Delta z$  の区間の実空間は視点の移動の前後の動作に関して不要ということになる。したがって、図.3に示すように、仮想空間に取り込むべき実空間を  $\Delta I$  が非零となる間隔の平面でサンプリングすれば十分であることが判る。図.4に焦点距離、視点の移動距離を図.2と同様にした時の対象物までの距離に応じて  $\Delta I$  が非零 (画素換算で 2 pixels 程度) になるときのサンプリングすべき平面の間隔を示す。当然距離が近いほど、サンプリング間隔は短くなる。

### 2.3 景色平面の導入

今までの考察により、視点の移動距離を決めると、対象とする実空間を奥行きを考慮すべき対象物とそれ以外の考慮しなくてよい領域の2種類に分割できることが判った。奥行きを考慮すべき対象物の画像を本論文では近景 (Near Plane) とよび、対象物の数だけ近景の平面が存在することになる。また、奥行きを考慮しなくてすむ領域は、ある間隔にしたがった平面にサンプリングすることができる。この平面を遠景 (Far Plane) と呼ぶ。景色平面とは仮想空間に取り込みたい実空間の景色の画

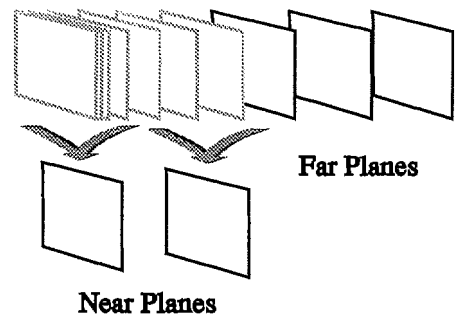


図5 景色平面の概念  
Fig.5 Concepts of the scenery planes

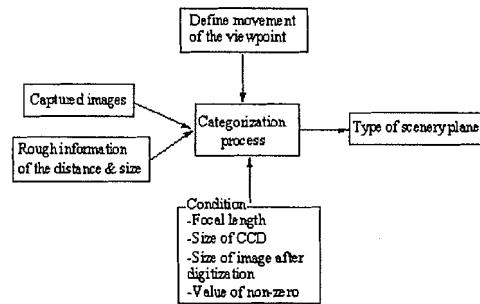


図6 2種の景色平面への分類  
Fig.6 Objects categorization into two scenery planes

像を図. 5に示すように、遠景・近景に分割した後の各平面の総称のことである。

図.6に示すように、視点の移動量を定義し、使用する CCD のサイズ、ビデオキャプチャー後の画像のサイズ、非零の画素数とカメラの焦点距離の条件を設定すれば、対象物までの大まかな距離と大きさから、景色の中の対象物を遠景・近景に分類することが出来る。

### 3. 画像合成のアルゴリズム

前節の結果に基づき、画像の合成を近景と遠景に分けて以下説明する。画像合成は近景、遠景の数だけ実施することになる。

#### 3.1 近景の合成アルゴリズム

##### 3.1.1 3角パッチによる対象物の2次元領域の定義

物体の形によるオクルージョンを取り扱うため、複数角度から撮影した対象物の領域すべてを3角パッチで統一的に分割する。この時、当然主とする角度からは隠れて見えないが他の角度からは見える領域が存在する。この隠れて見えない3角パッチを考慮しなければ、オクルージョン現象を取り扱えないので、3角パッチに2種類の属性を持たせる。尚、物体は凸形と考える。

- 見える部分に関するパッチ領域 (front 属性)  
主とする角度から見える対象物体の領域。
- 隠れ面になって、見えない部分に関するパッチ領域 (back 属性)

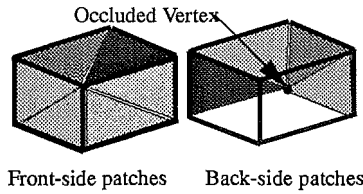


図7 2種類のパッチ属性  
Fig. 7 Two Types of Patches

主とするアングルからは隠れている頂点が存在するため、隠れ面になっているが、他のアングルから見えるような領域。隠れている点に関して、主となるアングルの画像上での位置は、当該点が見える2つ以上の、相対位置が既知のアングルより算出しておく。このパッチ領域は、見える部分のパッチ領域の裏面に存在していると考ええる。

図.7に直方体の時の2種類のパッチ例を示す。

### 3.1.2 画像合成の方法

画像変換を行うために、事前に対象物に関する図.8のような簡易なデータ構造を有する形状モデルを作成する必要がある。この形状モデルで対象の2次元領域を3角パッチ  $patch1, patch2, \dots$  で分割し、各頂点  $vtx1, vtx2, \dots$  に関して、アングル  $image1, image2, \dots$  に対応する座標値とそのパッチの属性を定義する。

視点からの画像合成を両眼立体視により提示するためには奥行きを正しく取り扱わなければならない。言い替えば、左右両目用の画像を合成するとき透視変換効果を正確に考慮しなければ、立体視として融合しない可能性が高くなる。したがって3角パッチを定義している3頂点は透視変換を考慮したアルゴリズムで変換する必要が生じる[11]。

そのためには、対象物を規定した3角パッチの各頂点に関してのみ3次元情報を持っていれば良いことになる。図.8に示すモデルでは3次元情報は陽に持っていないが、それぞれのアングルのカメラの位置姿勢から3角測量の原理により3次元の位置  $P_i = (s_i, t_i, w_i)$  は求めることができる。さらに以下の2つの手順に分かれる。

1. 新視点に基づく3角パッチの新座標値の算出  
新視点までの同次座標表現による座標変換行列  $E_{VW}^n T$  を用いて、新座標値  $(x_{vi}, y_{vi})$  を求める。

$$(s'_i, t'_i, w'_i, 1) = (s_i, t_i, w_i, 1) \cdot E_{VW}^n T \quad (10)$$

$$x_{vi} = -f_{xv} \frac{s'_i}{w'_i} \quad (11)$$

$$y_{vi} = -f_{yv} \frac{t'_i}{w'_i} \quad (12)$$

2. 3角パッチの内部領域のテクスチャマッピング

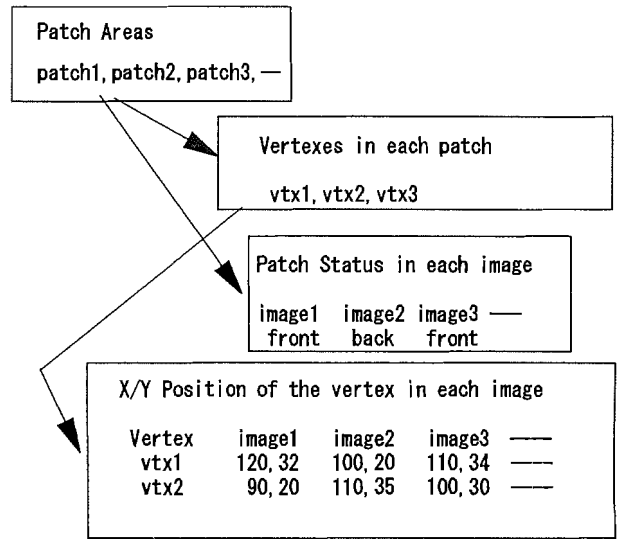


図8 3角パッチによる対象物の定義  
Fig. 8 Object description using triangle patches

3角パッチの属性を用いて描画の有無を決める。まず先に front 属性のパッチエリアを描画する。次に back の属性をテクスチャマッピングする場合、既に描画しようとしている位置に front 属性の3角パッチが描画されて存在している時は、back 属性のパッチは描画しない。逆に、存在していない時は、今まで隠れていた点が、あるアングルにより見えた場合に相当するので、描画する。

### 3.2 遠景の合成アルゴリズム

対象物の奥行きは考慮不要であるので、対象物を囲む矩形の平面そのものを透視変換する。そのためには、対象物の幅と高さ、対象物までの距離を事前に測っておき、対象物を囲む矩形の四隅の座標  $P_i = (s_i, t_i, w_i)$  に変換し、形状モデルとして定義する。

新視点の位置 姿勢に従って式(10)(11)(12)と同様に点  $P_i = (s_i, t_i, w_i)$  の画像上での座標値  $(x_{vi}, y_{vi})$  を求める。

## 4. 実験

図.9に示すように、モニターの管面を仮定の窓と見立て、この窓に対していろいろな姿勢で外の風景を眺めているときの画像を合成し、立体視で提示する。頭の位置姿勢は Polhemus センサーより RS232C 経由で取り込み、立体視は液晶シャッターメガネ CrystalEye を用いる。

### 4.1 仮想空間の構築

次に示すような手順で構築する。

1. 対象物体の範疇分け

仮想空間に取り込む対象は室内の窓の縁の近くに小物を置き、野外に一本の木と建物がある風景とした。窓の近くにおかれた小物、窓枠、一本の木、建物を図.2のグラフに基づいて分類分けをすると表.1のようにな

1:後述の式(16)で算出

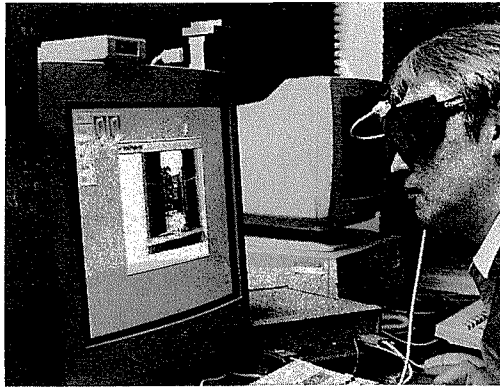


図9 両眼立体視システム  
Fig.9 System overview for stereo display

表1 対象物の分類

Table.1 Object categorization

対象物	距離 (m)	奥行き (m)	移動前後の画素の差	分類
小物 (サイコロ)	1.5	0.15	約 19	近景
窓枠	1.8	0.30	約 19	近景
一本の木	40	6	約 1.2	遠景
建物	53	—	—	遠景

る。なお、距離 幅はおおよその実測値を用いる。ここで建物に関しては、前面の壁のみしか見えないので、奥行きは零と考える。次に、図.4のグラフより遠景の対象に関しては、40m,53m の位置での景色平面のサンプリングが必要となる。すなわち、ちょうど一本の木の位置と建物の正面の壁の部分の位置となる。

2. 近景の対象物の形状モデルの作成

前述したように対象物の画像領域を定義する3角パッチの頂点に関しては3次元情報を取得する必要がある。図. 10に示すような装置を用いて、複数の角度から撮影する。この装置は1台のCCDカメラで4箇所から撮影できるもので、CCDカメラを着脱しても、角度は不変である。この4つの角度の相対関係は、事前にカメラのキャリブレーションを実施することにより、既知となる。3角パッチの各頂点の指定は図11によるマンマシンにより各画像の3角パッチの指定及び対応点を人手により指定する。結果として、特定の角度を対象とした、図.8に示すモデルが完成する。

3. 遠景の対象物の形状モデルの作成

対象物までの距離、対象物の高さ、幅は実測し、撮影した画像をイメージツールを用いて対象物単位の画像に分割する。したがって1角度のみの撮影で充分であるが、本例題のように、木によって隠れた部分の建物の画像を補間するために、当該部分が見える位置での撮影が必要となる。

以上により、構成された仮想空間を概念的に表示したものが図.12である。図中窓枠と小物のサイコロは近景の

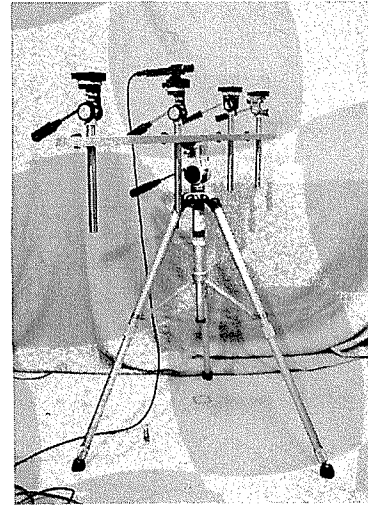


図10 撮影器材  
Fig.10 Image capture device

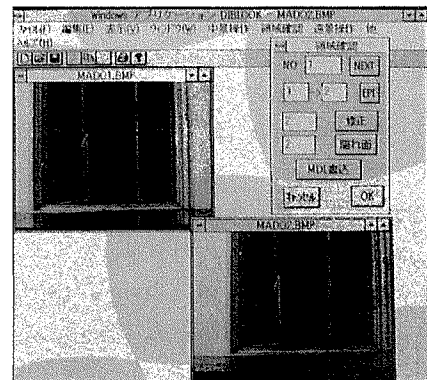


図11 3角パッチの定義用画面  
Fig.11 Procedure in defining triangle patches

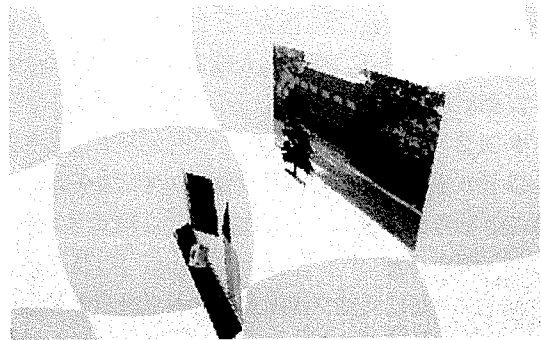


図12 実写画像から構成された仮想空間の例  
Fig.12 Example of the virtual space extracted from the captured images

対象物であるので、便宜的に奥行きを持たせており、一本の木と建物は遠景であるので平面に貼り付けてある。この仮想空間内の対象物を管理するため、パッチ属性を含めた対象物の前後関係が表現できるように、表.2に示すような便宜的な番号である描画平面番号を用いて定義する。

表2 景色の記述  
Table.2 Scene description

対象物	分類	パッチ属性	描画平面番号
小物 (サイコロ)	近景	front	0
		back	1
窓枠	近景	front	2
		back	3
一本の木	遠景		4
建物	遠景		5

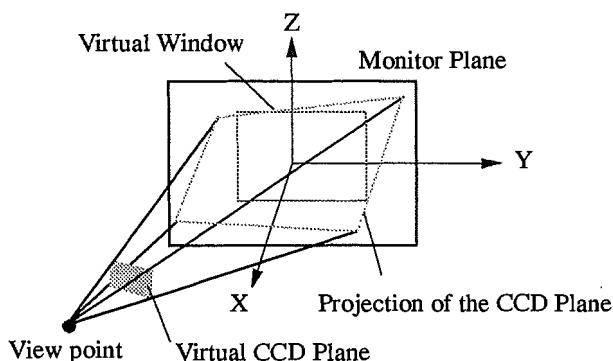


図13 モニターへの投射  
Fig.13 Concepts of the projection toward monitor

## 4.2 固定画面に合成画像を提示する方法

### 4.2.1 仮想窓のサイズの計算

1/2 インチ (横 6.4mm、縦 4.8mm) の CCD カメラを使用し、焦点距離が  $f$  で眼の初期位置をモニター中心から垂直に  $x_{int}$  の離れた所とすると、画角を一定に保つことにより、CCD 面がモニターに投影されるときにの大きさが判る。この時の大きさを仮想の窓のサイズと考える。本実験では、 $f = 13mm$ 、モニター面までの距離  $x_{int} = 400mm$  とすると窓のサイズは縦 14.7cm (263 画素)、横 19.7cm (729 画素) となる。なお、モニター面上の 1mm あたりの横方向と縦方向の画素数 0.27, 0.56 は実測値を用いた。

### 4.2.2 描画の基本方針

以下の2点に着目し、グラフィックシステムに実装することを考える。

#### 1. 画角一定

モニター面に画像を描画するとき、提示する画角を一定にする必要がある。すなわち、図.13に示すように、現在の視点から焦点距離離れたところに仮想の CCD 面を置き、まず、この面で画像を合成する。次に視点からの画角を一定に保ったまま、仮想 CCD 面で得られた画像をモニター平面に投影しなければならない。

#### 2. Z-バッファ、アルファバッファの利用

表.2中の描画平面番号を用いたテクスチャマッピングは、Z-バッファ、アルファバッファを利用する。すなわち、描画平面番号に応じて、少しずつ Z 値 (視点からみた奥行き値) を変えた平面にマッピングす

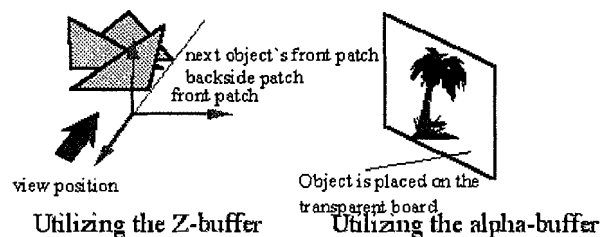


図14 CG手法の適用  
Fig.14 Utilizing CG techniques

る。これにより、描画手続きそのもので視点からの見えかたを制御するオクルージョンの現象を直接制御せず、図.14(左)に示すように、グラフィックシステムに一任することができる。遠景の対象物を張り付けている矩形の板は、図.14(右)のように透明にするため、アルファバッファを使用する。

### 4.2.3 計算手順

固定画面に描画する時、まず実世界での観察者の視点の位置・姿勢を求め、それから仮想空間内の仮想視点の位置・姿勢を算出する。その後3.1節、3.2節で述べた変換を行い、仮想視点に仮想的に設置した CCD カメラ上に画像を合成する。さらに、固定画面に描画するため画角を一定にした投影を行う。以下具体的な手順を示す。なお、大幅な移動の時はジョイスティックなどから入力される移動量を加算すればよい。

#### 1. 現在の眼の位置の算出

図.15にモニター中心から両目までの座標系を示す。図中  ${}^M_S T$ ,  ${}^L_{pol} T$ ,  ${}^R_{pol} T$  は固定値であるので、平行移動の値を実測して事前に求めておく。ポヒマスの計測データは位置と姿勢角であるので、変換行列  ${}^S_{pos} T$  が求まる。したがって、モニターの中心の座標系からみた各眼を中心とする座標系までの変換行列  ${}^W_{En} T$  ( $E = L$  または  $R$ ) は以下のようになり、眼の位置  ${}^W P = (x_p, y_p, z_p)$  が求まる。

$${}^W_{En} T = {}^E_{pol} T \cdot {}^S_{pos} T \cdot {}^M_S T \quad (13)$$

$${}^W P = (0, 0, 0, 1) \cdot {}^W_{En} T \quad (14)$$

#### 2. 仮想空間内の仮想視点の位置姿勢の算出

眼の初期位置、姿勢に対応する変換行列を  ${}^W_{E0} T$  とし、現在の眼の位置に対応する変換行列は  ${}^W_{En} T$  であるので、そのときの眼の移動量  ${}^E0_{En} T$  を求める。また、構築する仮想空間内での初期の位置・姿勢に基づく変換行列を  ${}^V_{E0} T$  とすると、仮想空間内での現在の仮想視点の変換行列  ${}^V_{En} T$  は次のようになる。

$${}^E0_{En} T = ({}^W_{E0} T)^{-1} \cdot {}^W_{En} T \quad (15)$$

$${}^V_{En} T = {}^V_{E0} T \cdot {}^E0_{En} T \quad (16)$$

2: 例えば撮影に使用した特定のカメラの位置姿勢

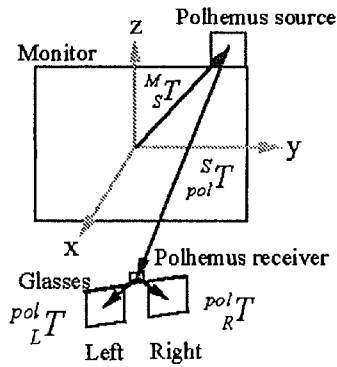


図15 現在の視点の位置の算出  
Fig.15 Present eye position calculation

### 3. 画像合成の計算

3.1節、3.2節で述べた変換を用いて特徴点の座標値を算出する。この座標値は図.13に示したように仮想的な CCD 面上の点と考えることができる。

#### 4. モニター面上での座標値の計算

前述したように画角を一定に保つため、仮想 CCD 面上の各点を、視点を中心としてモニター面に投影する。前段で計算した特徴点を仮想視点に固定した3次元座標系で表現すると、 $(-f, u, v)$  となり、さらにモニター座標系で表現することを考える。その後、モニター座標系で表現されている仮想視点と特徴点を通る直線を求め、モニター面と交差する  $(x=0)$  座標  $(p, q)$  を算出することにより求まる。

$$(x_i, y_i, z_i, 1) = (-f, u, v, 1) \cdot \begin{matrix} VW \\ En \\ T \end{matrix} \quad (17)$$

$$p = \frac{x_p y_i - y_p x_i}{x_p - x_i} \quad (18)$$

$$q = \frac{x_p z_i - z_p x_i}{x_p - x_i} \quad (19)$$

#### 5. テキスタマッピング

テクスタマッピングすべき端点のモニター面上での座標値  $(x, y)$  座標が求められているので、前述したように、Z 値 (奥行き値) をパッチの前後関係及び景色平面の前後関係により適当な幅の間隔で決め、仮想空間内の平面にテクスタマッピングする。このとき、アルファバッファを有効にする。

#### 4.3 実験結果

図.9に示すように、計算機のモニター上に提示されている窓を室内を覗く仮想の窓に見立てることにより、あたかもその仮想の窓に立っているかのようにいろいろな角度から見た景色を合成することができた。合成した画像の一例を図.16に示す。

本実験の条件では、図.10の撮影器材を1地点に置き、4アングルから撮影を行った。したがって、このアングル内の視点の移動しか保証できない。さらに視点の移動距離を大きくするためには、この器材をカメラとほぼ直



図16 合成した画像  
Fig.16 Synthesized image

角に移動させながら複数地点で撮影する必要がある。最大の間隔は、使用する CCD カメラの画角が水平約 27 度 (焦点距離  $f=13\text{mm}$ ) で、近い物体が  $1.5\text{m}$  であり、必ず  $1.5\text{m}$  の距離にあるものがいずれかの撮影地点からの画角に入るような条件を設定することにより、約  $74\text{cm}$  となる。当然、対象物体が複雑な形状ほど、間隔は短く取る必要がある。また、広角のレンズを用いれば、間隔は広く取れる。

### 5. 結 論

本論文は実世界を対象に仮想空間に取り込む時の手法に関して述べたものである。特に運動視差に着目して、実空間を景色平面を用いてサンプリングし、オクルージョンの問題を距離に起因するものと同一物体の形に起因するものに分離して解決する方法を示した。以下に詳細を列挙する。

- 撮影した対象物を近景・遠景の景色平面に分類する基準を明確にし、平面単位に画像合成する事により距離に起因するオクルージョンを解決した。
- 近景の対象物に関しては奥行き考慮が必要であることを示し、同一物体のオクルージョン問題を解決するため、2種類の属性を持つ3角パッチで対象物を定義し、像合成のアルゴリズムを纏めた。
- 遠景の対象物に関しては奥行き考慮が不要であることを示し、視点の位置に応じて、対象物を張り付けた矩形の板を用いて像合成のアルゴリズムを纏めた。
- 対象物体の領域の前後関係、各平面間の前後関係を描画平面番号を用いて管理し、Z-バッファ、ア

ルファバッファを用いてグラフィックシステムに実装した。

提案する方法に基づき、プロトタイプを試作して、本手法が妥当である事を確認した。

本手法は従来の書き割り手法を運動視差の観点から定量的に纏め直したもので、特定の端点の3次元情報と参照する2次元画像をもとに仮想空間を構築できるため、必要とする情報量は3次元の幾何形状モデルと比較して、かなり小さくてすむ。

本論文が提案する方法を用いる事により、立体視可能な仮想空間の構築が簡便にできることになる。

### 参考文献

- [1] H.Y.Shum, K.Ikeuchi, R.Reddy: "Virtual reality modeling from a sequence of range images," in Proc. of IEEE/RSJ Intern. conf on Intelligent Robots and Systems, (Munich, Germany), pp. 703-710, IEEE, 1994.
- [2] 内山晋二ほか : "光線空間理論に基づく実写データとCGデータを融合した仮想環境の実現" 3次元画像カンファレンス'96, 1-3, pp13-18, 1996.
- [3] 片山昭宏ほか : "多視点画像データの補間処理による視点追従型立体画像表示" 3次元画像カンファレンス'94, pp. 7-12, 1994.
- [4] M.Okutomi, T.Kanade: "A Multiple-Baseline Stereo," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15., No. 4, pp. 353-363, 1993.
- [5] S.Kimura et.al.: "CMU VIDEO-RATE STEREO MACHINE", Mobile mapping Symposium, Columbus OH, May 24-26, 1995.
- [6] T.Kanade, P.J.Narayanan, P.W.Rander: "Virtualized Reality: Being Mobile in a Visual Scene," International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT/VRST'95), pp. 133-142, 1995.
- [7] A.Lippman: "Movie-Maps: An Application of the Optical Videodisc to Computer Graphics," ACM Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 32-42, 1980.
- [8] Michitaka Hirose, Kensuke Yokoyama, Shinichi Sato : "Transmission of Realistic Sensation : Development of a Virtual Dome," in Proc. of Virtual Reality Annual International Symposium(VRAIS), pp. 125-131, Seattle, Washington, Sep.18-22, 1993.
- [9] 渡辺洋一、廣瀬通孝、高橋和久、腰塚智己 : "臨場感体験のための画像編集技術の研究" ヒューマンインターフェース, Vol. 9, No. 3, pp. 273-278, 1994.
- [10] 応用物理学学会光学懇話会編 : "生理光学", 朝倉書店, pp. 212-214, 1975.
- [11] 尾崎信之、館暲 : "透視変換下における仮想視点からの画像合成の一手法", 計測自動制御学会論文集, Vol. 31, No. 12, pp2027-2029, 1995.

(1996年10月21日受付)