

# 写実的な広域仮想空間構築のための画像補間手法

遠藤 隆明<sup>\*1</sup>, 片山 昭宏<sup>\*1</sup>, 田村 秀行<sup>\*1</sup>, 廣瀬 通孝<sup>\*2</sup>

## Image Interpolation Method for Building Image-Based Large-Scale Virtual Space

Takaaki Endo<sup>\*1</sup>, Akihiro Katayama<sup>\*1</sup>, Hideyuki Tamura<sup>\*1</sup>, and Michitaka Hirose<sup>\*2</sup>

**Abstract** - This paper describes a new approach for building a photo-realistic large-scale virtual world. For this purpose, an image-based rendering (IBR) technique seems promising compared to conventional CG techniques. We developed a new image interpolation method which can generate novel images with little distortion. By dividing base image into layered images and applying image interpolation procedure layer by layer, we can avoid the problem of occlusion. This method makes it possible for a user to freely walk around positions where base images are sampled. In order to record existing large-scale scenes with the information of the position and the orientation, we developed a novel image capturing system. In this paper, some experimental results are shown as well as the details of the approach and the system.

**Keywords** : mixed reality, image-based rendering, image interpolation, vehicle-mounted cameras, cybercity

### 1. はじめに

近年, 街並みのように広域にわたる実空間の映像情報をコンピュータ内に取り込み, その中を自由にウォークスルーしようとする試みが多数なされている. 通常, 仮想空間の記述と表示にはコンピュータグラフィックス(以下, CG)技術が用いられている. しかし, 広域にわたる仮想空間を構成するあらゆる対象物を正確に記述する幾何形状モデルを作成することは容易でない. 特に複雑な形状を有する自然物を正確に記述することは困難である. また, もし対象物を正確に記述できたととしても, ポリゴン数が膨大となるため, 実時間で描画することが困難となる.

このような問題を回避するためには, イメージベースストレンダリング(以下, IBR)と呼ばれる手法が有効である. IBR の基本的な考え方は, 実写画像を基に任意の視点位置からの画像を合成して提示するというものである. 3次元仮想空間は通常は2次元の映像ディスプレイ装置に提示される. 従って, 2次元の画像を基に, 提示する2次元画像を適切に生成できさえすれば, 3次元幾何形状モデルを介さなくても3次元仮想空間を表現できることになる.

最も単純には, 必要な画像を全て記録しておくという方法が考えられる. ある視点位置における周囲の映像情報を全周パノラマ画像として記録しておき, 観察者の視線方向に応じた部分を切り出して変形処理して提示する手法[2][3]や, 様々な視点位置における映像を記録しておき, ユーザの視点位置に最も近い位置からの画像を選択して提示する手法[4][2], 様々な視点位置における全周パノラマ画像を記録しておく手法[5]

などが提案されている. しかし, 視点移動を自由に行うためには, 膨大な量の画像を記録しておかなければならない.

一方, 画像群を光線情報として取り扱い, 4次元の情報空間を用いて対象物を記述する手法[6][7][8]が検討されている. この手法を用いれば任意視点位置からの写実的な画像を生成することができる. しかし, この手法では正確な位置・姿勢情報が付加された膨大な量の画像を必要とする. 広域にわたる実空間で正確な位置・姿勢情報を求めることは非常に困難である.

膨大な量の画像を用いずに自由な視点移動を実現するためには, 記録した画像から任意視点位置の画像を生成する必要がある. もし画像中の全画素の奥行き値又は複数枚の基画像中の全画素同士の対応が求められるのであれば, それらの情報に基づいて画像を構成する各画素を適切に移動させることにより, 任意視点位置における画像を生成することができる. 実画像を対象とする場合には, Computer Vision の手法を用いて2枚の基画像中の全画素の対応を求め, 補間画像を生成する手法[10]が検討されている. しかし, 基となる画像同士の相関が高くない場合には正確な対応が求められず, 正確な補間画像を生成することができないという制限がある. これに対し, 基画像中の少数の特徴点を手作業などによって対応付け, 中間の画像をモーフィングによって擬似的に生成する手法[11][12]が検討されている. モーフィングとは, 2枚の基画像中の対応する領域の形状をなだらかに変形させ, 同時に色をなだらかに混合して, 中間の画像を生成する手法である. [12]の手法を用いれば, ある程度離れた位置で撮影した画像からでも, 歪みの少ない補間画像を生成できるという利点がある. しかし, この手法には, 画像を撮影するカメラの配置によっては補間画像が生成できないという問題と, オクルージョンに対

\*1: (株)エム・アール・システム研究所

\*1: Mixed Reality Systems Laboratory, Inc.

\*2: 東京大学先端科学技術研究センター

\*2: Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

応できないという問題が存在する。

そこで本研究では、[12]の考え方を発展させ、カメラの配置に係わらず歪みの少ない補間画像を生成できる手法について検討した。さらに、オクルージョンに対応する方法について検討した。そして、現実の街並みで収集した画像に対して補間手法を適用して、自由に視点移動することができる写実的な仮想空間を構築した。

以下、2.において画像補間の基本アルゴリズムについて述べる。次に 3.において自由な視点移動の実現方法とオクルージョンへの対応方法を述べる。そして、4.において実空間の映像情報を収集するために作成したデータ収集システムについて述べ、5.にて実験結果について述べる。最後に 6.でまとめる。

## 2. 画像補間の基本アルゴリズム

本章では、2 枚の画像から歪みの無い補間画像を生成する基本アルゴリズムについて述べる。

### 2.1 線形補間による誤差の見積り

2 枚の入力画像の対応する画素の座標を単純に線形補間した場合には特別な場合を除いて誤差が発生する。この誤差が画像中で何画素程度に相当するかを計算によって見積もった。図 1 左に示すように、視点位置を原点とし、視線方向を Y 軸とする座標系を考える。Y 軸方向を向いた、画角 60 度の 2 台のカメラが 4m の間隔で配置されており、それらのレンズ中心を結ぶ線分(基線)の midpoint に視点があるとする。そして、X 軸と基線がなす角度を 0 度から 90 度まで変化させながら  $(L_x, L_y, 0)$  にある対象物を観察するものとする。このような場合に、単純な線形補間によって計算される座標  $(x_1+x_2)/2$  と、実際に視点位置で観察される座標  $x_e$  との差を計算した。なお、カメラの x 軸方向の画素数は 640 画素とした。

計算の結果、図 1 右に示すように、視点位置から 10m 程度の距離の対象物に対して線形補間を用いた場合には、カメラの配置によっては 10 画素以上の誤差を生じることが分かった。画像中の 10 画素は視野角では約 1.0 度に相当する。従って、2 枚の入力画像の対応する画素の座標を単純に線形補間するだけでは、歪みの無い補間画像を生成することは不可能であることが分かった。

### 2.2 歪みを生じない補間手法

線形補間を用いても歪みの無い画像が生成される場合が存在する。それは、入力画像の光軸同士が平行で、かつ各光軸と基線(2 台のカメラのレンズ中心を結ぶ線)が垂直な場合である。従って、このような条件を満たすように 2 枚の入力画像を予め射影変換してから線形補間すれば、補間画像に歪みが生じないことになる[12]。このような射影変換を画像の正規化と呼ぶことにする(図 2)。

ここで、画像の正規化の式は

$$\hat{v}' = AR'R^{-1}A^{-1}v \quad (1)$$

と表すことができる。ただし、 $v$  及び  $v'$  はそれぞれ入力画像と

射影変換後の画像における対応する点の座標(画像中心を原点とする同次座標)であり、 $R$  及び  $R'$  はワールド座標からカメラ座標への回転行列である。そして  $A$  は入力画像を撮影したカメラの内部パラメータ行列である。これは入力画像の座標を歪みの無い理想的な画像の座標に変換する  $3 \times 3$  の行列であり、カメラ固有の 5 つのパラメータのみによって構成されている。

$$v_e = (1-w)v_1 + wv_2 \quad (2)$$

すると、線形補間の式は、  
 となる。ただし、 $v_1 = (x_1, y_1, 1)^T$ ,  $v_2 = (x_2, y_2, 1)^T$  はそれぞれ正規化された画像  $I_1$  及び  $I_2$  中の対応する特徴点の座標であり、 $v_e = (x_e, y_e, 1)^T$  は  $I_1$  を撮影した地点と  $I_2$  を撮影した地点の座標を  $w:1-w$  の比率で内分又は外分した地点における画像  $I_e$  中の特徴点の座標である。なお、画像  $I_e$  中の特徴点の色は、画像  $I_1$  及び  $I_2$  中の対応する特徴点の色を  $w:1-w$  の比率で混

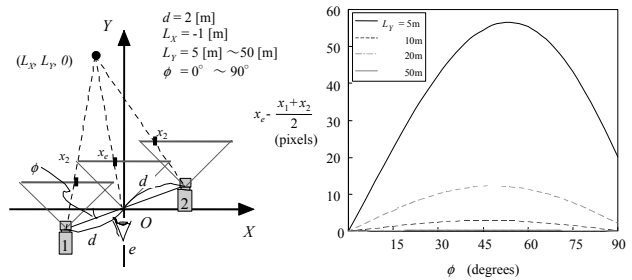


図 1 線形補間による誤差

Fig.1 Errors caused by linear interpolation.

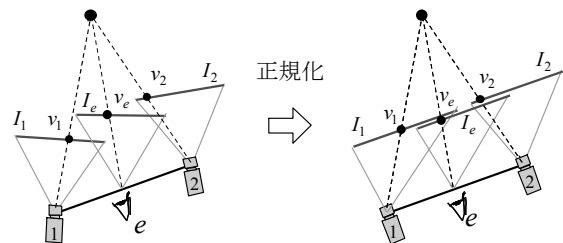


図 2 画像の正規化

Fig.2 Image rectification.

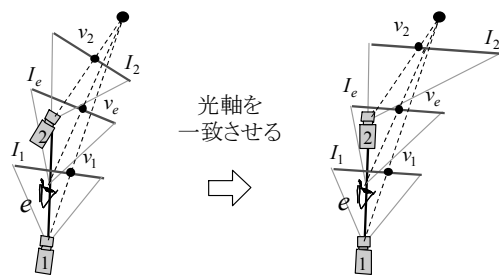


図 3 光軸を一致させる画像の射影変換

Fig.3 Image transformation to coincide optical axes.

合したものとす。

### 2.3 画像を正規化できない場合の補間方法

一方のカメラの視野内にもう一方のカメラのレンズ中心が入り込む場合には、画像中に正規化することができない部分が生じる。このような場合には、線形補間に基づく[12]の手法では歪みの無い画像を生成することができなかった。

ここで、カメラ1とカメラ2の光軸が一致している場合には、カメラ1で撮影した画像 $I_1$ とカメラ2で撮影した画像 $I_2$ において、

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_e} &= (1-w)\frac{1}{x_1} + w\frac{1}{x_2} \\ \frac{1}{y_e} &= (1-w)\frac{1}{y_1} + w\frac{1}{y_2} \end{aligned} \quad (3)$$

という関係式が成り立つ。ただし、各パラメータの意味は2.2と同じである。したがって、画像を正規化できない場合には、光軸が一致するように画像を射影変換してから式(3)に従って補間することによって、歪みの無い画像を生成することができる(図3)。なお、画像 $I_e$ 中の特徴点の色は、2.2と同様に画像 $I_1$ 及び $I_2$ 中の対応する特徴点の色を $w:1-w$ の比率で混合したものとす。

### 2.4 補間の戦略

以上まとめると、次のような戦略を用いれば、2台のカメラの向きに係わらず、2点で撮影した画像を基に2点を結ぶ直線上の任意地点における歪みの無い画像を生成することができることになる。

- A) 画像を正規化できる場合には、正規化してから式(2)に従って線形補間する。
- B) 画像を正規化できない場合には、光軸が一致するように画像を射影変換してから式(3)に従って補間する。

なお、視野角が90度より大きい時には、正規化することも光軸が一致するように画像を射影変換することも不可能な場合が存在する(図4)。このような場合には、基の画像 $I$ を、正規化する部分 $I_1$ と光軸が一致するように射影変換する部分 $I_2$ に予め分割してから上述の手法を適用すれば良い。

## 3. 自由な視点移動の実現

本章では、2.で述べた手法を拡張して、自由な視点移動を実現する方法について述べる。

### 3.1 2段階補間アルゴリズム

2.で述べた手法を、例えば図5に示すように2段階に渡って適用すれば、同一直線上に無い3点で撮影した画像を基に、3点を含む平面上の任意地点における歪みの無い画像を生成することができる。この2段階補間のアルゴリズムは以下に示す通りである。ここで、3枚の入力画像を $I_1, I_2, I_3$ とし、ユーザの視点位置における画像を $I_e$ とする。

(step 1) 3枚の入力画像を撮影した地点の座標と視点の座標から補間係数を求める。

図6中に示す補間係数 $s, t$ は、式(4)によって求められる。

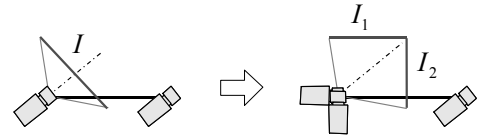


図4 部分画像への分割

Fig.4 Image division into the partial images.

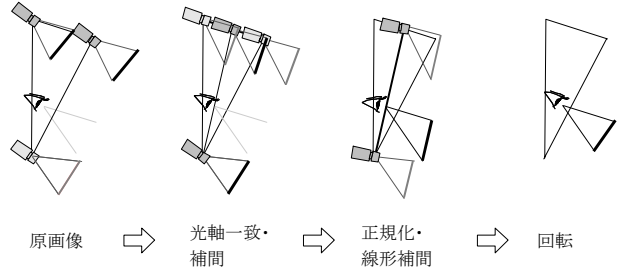


図5 2段階補間

Fig.5 Two step interpolation.

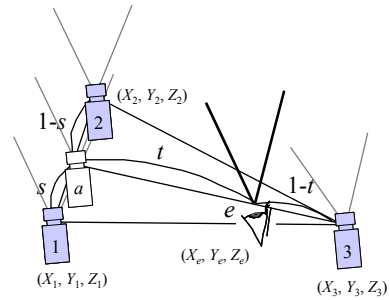


図6 補間係数

Fig.6 Parameters for interpolation.

$$\begin{aligned} s &= \frac{w_2}{1-w_3} \\ t &= w_3 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで $w_n (n=1, 2, 3)$ は、撮影地点の座標を $(X_n, Y_n, Z_n) (n=1, 2, 3)$ 、視点の座標を $(X_e, Y_e, Z_e)$ とした場合に、式(5)によ

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

て求められる係数である。

(step 2)  $I_1$ 及び $I_2$ を射影変換して $I_1'$ 及び $I_2'$ を生成する。

カメラ1とカメラ2の一方の視野内にもう一方のカメラ中心が入り込まない場合(条件Aとする)には $I_1$ 及び $I_2$ を正規化し、入り込む場合(条件Bとする)には光軸が一致するように射影変換する。

(step 3)  $I_1'$ 及び $I_2'$ から補間画像 $I_a$ を生成する。

条件Aの場合には式(2)に従って線形補間する。ただし、式(2)における $w, 1, 2, e$ はそれぞれ $s, 1', 2', a$ となる。また、条件

B の場合は式(3)に従って補間する。ただし、式(3)における  $w, 1, 2, e$  はそれぞれ  $s, 1', 2', a$  となる。

(step 4)  $I_3$  及び  $I_a$  を射影変換して  $I_3'$  及び  $I_a'$  を生成する。

$I_a$  は仮想的なカメラ  $a$  によって撮影されたものとする。カメラ 3 とカメラ  $a$  の一方の視野内にもう一方のカメラ中心が入り込まない場合 (条件 A' とする) には  $I_1$  及び  $I_2$  を正規化し、入り込む場合 (条件 B' とする) には光軸が一致するように射影変換する。

(step 5)  $I_3'$  及び  $I_a'$  から補間画像  $I_b$  を生成する。

条件 A' の場合は式(2)に従って補間する。ただし、式(2)における  $w, 1, 2, e$  はそれぞれ  $t, 3', a', b$  となる。また、条件 B' の場合は式(3)に従って補間する。ただし、式(3)における  $w, 1, 2, e$  はそれぞれ  $t, 3', a', b$  となる。

(step 6)  $I_b$  をユーザの視線方向と一致するように射影変換して  $I_e$  を生成する。

ユーザの視点位置は任意に選ぶことができるので、上述のアルゴリズムにより、3つの撮影地点を含む平面上の任意地点における歪みの無い画像を生成することが可能である。

### 3.2 3段階補間アルゴリズム

2. で述べた手法を3段階に渡って適用すれば、前節と同様のアルゴリズムにより、同一平面上に無い4地点で撮影した画像を基に、3次元空間内の任意視点位置における画像を生成することができる。この3段階補間のアルゴリズムは、前節で述べた2段階補間アルゴリズムの step1 及び step6 を以下に示す step1' 及び step6' ~ step8' に変更したものである。

(step 1') 4 枚の入力画像を撮影した地点の座標と視点の座標から補間係数を求める。

3.1 で述べた2段階補間アルゴリズムの step1 と同様にして補間係数  $s, t, u$  を求める。図7中に示す補間係数  $s, t, u$  は、式(6)によって求められる。

$$s = \frac{w_2}{(1 - \frac{w_3}{1-w_4})(1-w_4)}$$

$$t = \frac{w_3}{1-w_4}$$

$$u = w_4$$

(6)

ここで  $w_n$  ( $n = 1, 2, 3, 4$ ) は、撮影地点の座標を  $(X_n, Y_n, Z_n)$  ( $n = 1, 2, 3, 4$ )、視点の座標を  $(X_e, Y_e, Z_e)$  とした場合に、式(7)によって求められる係数である。

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(step 6')  $I_4$  (4枚目の入力画像) 及び  $I_b$  を射影変換して  $I_4'$  及び  $I_b'$  を生成する。

カメラ 4 とカメラ  $b$  の一方のカメラの視野内にもう一方のカメラ

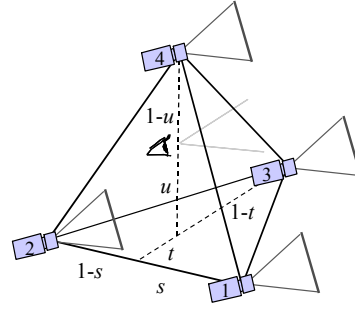


図7 補間係数

Fig.7 Parameters for interpolation.

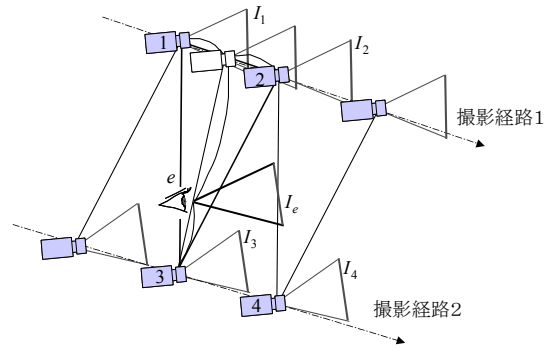


図8 移動可能範囲の拡張

Fig.8 Extension of the movable area.

中心が入り込まない場合 (条件 A'' とする) には  $I_4$  及び  $I_b$  を正規化し、入り込む場合 (条件 B'' とする) には光軸が一致するように射影変換する。

(step 7')  $I_4'$  及び  $I_b'$  から補間画像  $I_c$  を生成する。

条件 A'' の場合は式(2)に従って補間する。ただし、式(2)における  $w, 1, 2, e$  はそれぞれ  $u, 4', b', c$  となる。また、条件 B'' の場合は式(6)に従って補間する。ただし、式(6)における  $w, 1, 2, e$  はそれぞれ  $u, 4', b', c$  となる。

(step 8')  $I_c$  をユーザの視線方向と一致するように射影変換して  $I_e$  を生成する。

上述のアルゴリズムを、ユーザの視点位置及び視線方向の変化に応じて適用することにより、ユーザに対して3次元世界を自由にウォークスルーしている感覚を与えることができる。

### 3.3 移動可能範囲及び見回し可能な方向の拡張

上述のアルゴリズムでは、移動可能な範囲は3枚又は4枚の入力画像を撮影した地点の近傍に限られていた。そこで、ユーザの視点位置に応じて、補間の基となる入力画像を適宜切り替えれば、移動可能範囲の制限を取り払い、広域にわたって視点を移動させることが可能である。例えば図8において、 $I_1, I_2, I_3$  の次に  $I_2, I_3, I_4$  を選択すれば、ユーザは前方に視点を移動させることができる。

また、上述のアルゴリズムでは、見回し可能な範囲はカメラの視野角の範囲内に限られていた。そこで、外向き全周方向に複数台のカメラを配置しておき、ユーザの視線方向に応じ

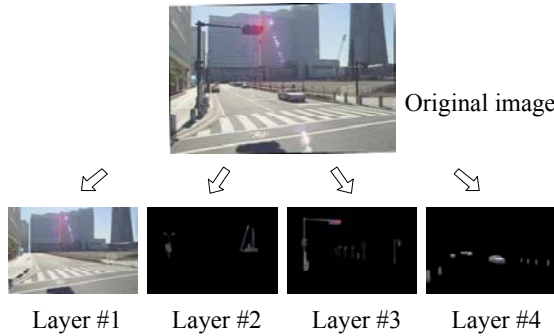


図9 レイヤ画像への分割

Fig.9 Division of original image into layer images.

て補間の基となる入力画像を適宜切り替えれば、任意方向を見回すことが可能である。

つまり、全天周を向けて配置した複数台のカメラを用いて、対象となる実空間を多数の地点から撮影しておけば、上述の2つの拡張を組み合わせることで、広域にわたる実空間の任意視点位置における任意方向の画像を再現できることになる。

### 3.4 オクルージョンへの対応

入力画像の全ての画素を対応付けることができれば、前節までに述べた手法によって補間画像を生成することができる。しかし、オクルージョンの影響によって、ある画像で観測できている画素が他の画像では観測できない場合が存在する。このような場合には前節までに述べた補間アルゴリズムを適用することができない。ここではこのようなオクルージョンに対処する方法について述べる。

#### 3.4.1 レイヤ画像への分割

オクルージョンは、ある対象物が他の対象物を隠すことによって発生する。そこで図9に示すように、入力画像を重なり合った対象物毎に別々のレイヤ画像に分割して、別々に補間することを考える。レイヤ画像への分割は以下の手順で行う。

##### (step1) レイヤ数を決定する。

オクルージョンは対象物までの距離が不連続な部分で発生する。そこで、そのような部分を境にして入力画像を別々のレイヤ画像に分割する。ただし、全ての不連続部分で分割するとレイヤ数が膨大になってしまうため、入力画像は人間が見て違和感が少なくなる程度まで分割する。

##### (step2) 入力画像をコピーして必要な枚数のレイヤ画像を生成する。

##### (step3) 各レイヤ画像中の対象物以外の領域を指定色で塗りつぶす。

##### (step4) 対象物の一部分が他のレイヤ画像中の対象物によって隠されている場合には、隠された部分の画素を近傍の画素から推測して埋める。

ここで、補間の基となる3枚又は4枚の入力画像は同数のレイヤ画像に分割する必要がある。そして同一レイヤの画像が同一の対象物を含むようにする必要がある。したがって、3.3の



図10 データ収集システム

Fig.10 Data capturing system.

ように入力画像のセットを切り替える際には、同じ入力画像が用いられる場合でも、セット毎に異なるレイヤ分割を行わなければならない。

なお本手法は、対象物の面が3枚又は4枚の入力画像中で同じ向きとまらない場合には適用することができない。

#### 3.4.2 オクルージョンに対応した補間

以上のような手法で作成した各レイヤ画像に対して前節までに述べた画像補間アルゴリズムを適用することにより、オクルージョンに対応した補間画像を生成することができる。まず、上述のstep3において指定色で塗りつぶした領域を透明にする。そして、各レイヤ画像に対して補間アルゴリズムを適用し、遠距離の対象物を含むレイヤ画像から近距離の対象物を含むレイヤ画像という順番で描画することにより、重なり合った対象物の見え隠れを表現した画像を生成することが可能となる。

## 4. データ収集システム

屋外の実環境を撮影する場合、時間の経過に伴って光と影の状態が刻々変化する。撮影画像ごとに光と影の状態が異なると、撮影画像を基に補間画像を生成した場合に視覚的に違和感を生じるため、なるべく短時間で多数の画像を撮影する必要がある。そこで、データ収集システムの移動ベースとして自動車(トヨタ社:NOAH Field Tourer)を使用し、屋根上に8台のビデオカメラ(SONY社:DCR-VX1000)を配置した(図10)。各カメラには水平画角約60度の広角レンズを装着した。8台のビデオカメラは外向きに放射状に配置されており、水平全周方向を同時に撮影することができる。

3.で述べたアルゴリズムを用いて正確な補間画像を生成するためには、正確な位置・姿勢データが必要である。そのため、位置センサには高精度のGlobal Positioning System(GPS)(Trimble社:4400)を使用した。このGPSはキネマティック方式を用いており、5Hzのサンプリングレートで±3cmの精度の位置測定が可能である。また、姿勢センサには3軸角度センサ(データ・テック社:GU-3020)を使用した。これは振動ジャイロと加速度センサを各々3個使用したもので、精度はピッチ角及びロール角が±0.5度、ヨー角が±0.9度であり、サンプリングレートは60Hzである。そして、ヨー角に生じる誤差補正用に地磁気方位センサ(TOKIN社:TMC-2000)を使用した。この

センサの精度は±2度である。なお、角度センサから出力される方位角データに含まれる誤差の測定結果を付録でまとめる。

位置・姿勢センサの出力データ及びビデオカメラのタイムコードはPC(Pentium Pro 200MHz)で同時にロギングした。タイムコードはビデオ/コンピュータインタフェース(SONY社:Vbox II CI-1100)を介してロギングした。タイムコードをインデックスとすることにより、画像と位置・姿勢データを対応付けることが可能である。

つの並行する経路で画像列を撮影した。そして、一方の経路上の2箇所と、もう一方の経路上の1箇所における入力画像を選択して、それらの画像に対して2段階補間アルゴリズムを適用した。ここで、3枚一組の入力画像の全画素の対応を求めることは非常に困難であり、またもし全画素の対応が求められたとしても、補間処理を実時間で実行することは困難である。そこで、全画素の対応は求めず、以下の処理を行った。なお、既存の特徴点検出手法では十分な精度が得られないと考え、本

## 5. 実験結果

### 5.1 処理の流れ

以上で提案した一連の処理を通じて手法の有効性を検証した。まず、データ収集システムによって、図8に示すような二

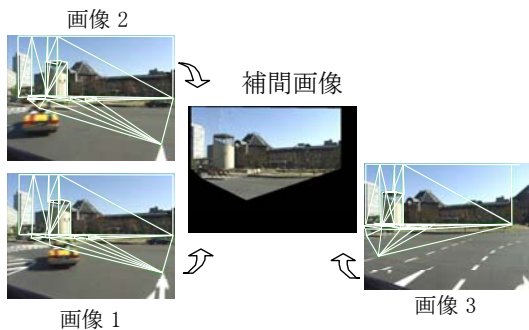


図 11 領域の対応付け

Fig.11 Specification of corresponding regions.

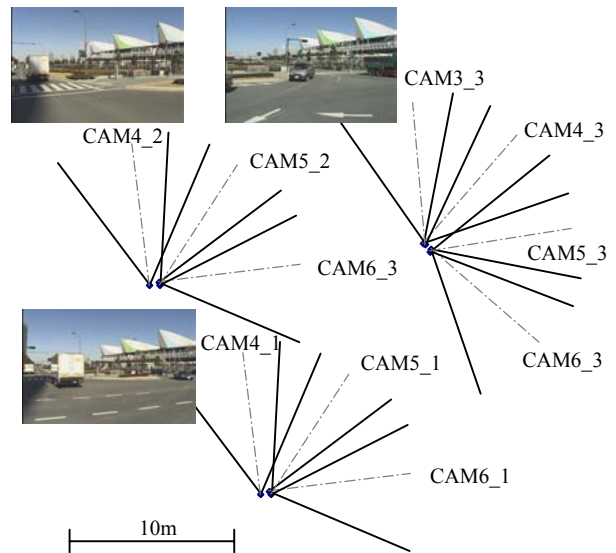


図 12 実験に用いた基画像

Fig.12 Base images used in the experiments.

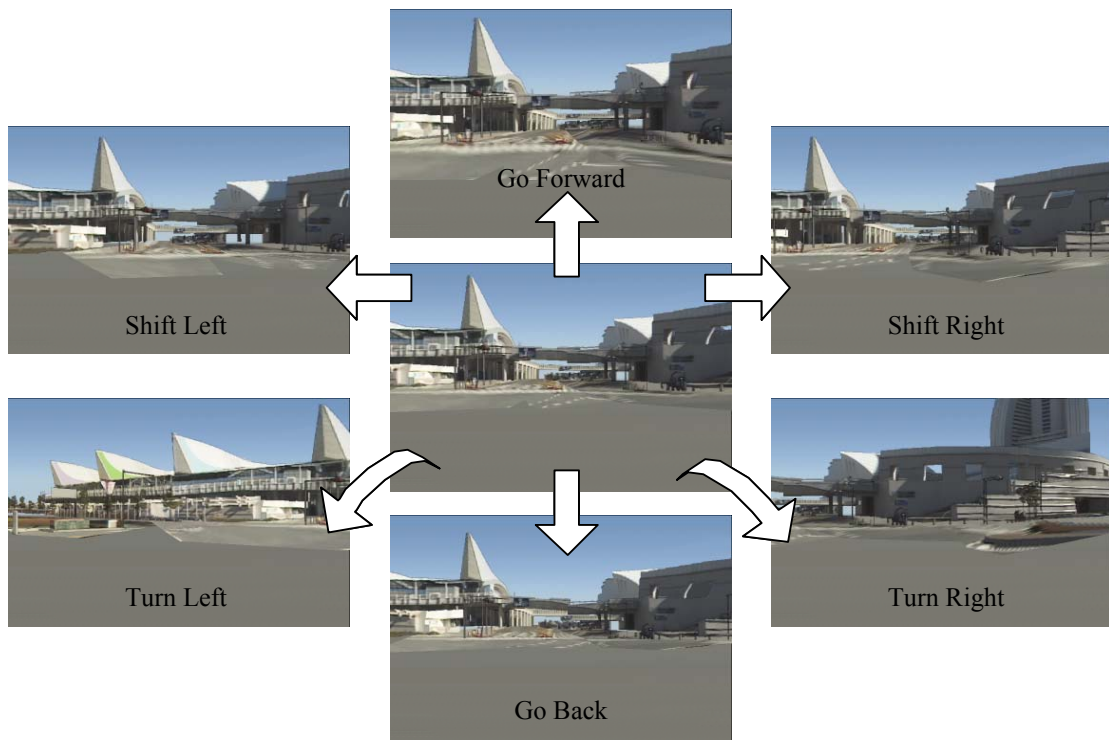


図 13 実験結果

Fig.13 Experimental results.

研究では特徴点の対応付けは手作業で行った。

- (step1) 3枚の入力画像中で同一の対象物が映っている領域を、手作業により3角形パッチで対応付ける(図11)。
- (step2) 3角形パッチの各頂点に対して2段階補間アルゴリズムを適用し、補間画像中の各頂点の座標値を求める。
- (step3) 補間画像中の3角形パッチに、予め決めておいた1枚の入力画像中の対応する3角形パッチ内のテクスチャを貼り付けることによって補間画像を生成する。

なお、今回の実験では、各カメラの方位角はGPSによって取得される位置データに基づいて計算した。位置データから車の移動経路が求められ、そして移動経路が求めれば車の方位角を推定することができる。そして各カメラは車に固定されているため、車の方位角を基に各カメラの方位角を計算することができる。今回の実験で用いる画像を取得したカメラの位置と向きを図12に示す。

## 5.2 画像再構成結果

図12に示す位置において取得された基画像に対し、2段階補間アルゴリズムを適用して生成された画像を図13に示す。これらの画像はオクルージョンに対応した補間アルゴリズムによって生成されたものであり、視点移動に応じて見え隠れが表現されていることが分かる。この例では、3枚の画像セットを5つ用意している。画像セットの一例{CAM4\_1, CAM4\_2, CAM3\_3}を図12中に示す。視線方向に応じて使用する画像セットを切り替えることにより、水平視野角は約180度となっている。基画像はそれぞれの画像セットで3~6枚のレイヤ画像に分割しており、合計のデータ量は約40MBである。各レイヤ画像は平均約50個の3角形パッチによって対応付けを行っている。画像の合成にはSGI製Onyx2 Reality (R10000 185MHz)を用いており、約30fpsでの描画が可能であった。

## 6. むすび

本稿では、任意視点位置からの写実的な画像を生成する画像補間手法を提案した。この画像補間手法を2段階又は3段階に渡って適用することにより、写実的な仮想空間内をインタラクティブにウォークスルーできることを示した。そして、レイヤ画像への分割によって、オクルージョンへの対応が可能であることを示した。また、実空間の映像データを効率的に収集するデータ収集システムを作成し、収集した画像データに対して画像補間手法を適用することにより、手法及びシステムの有効性を示した。

今後は、街並みのような大規模な仮想空間の構築に向けて、レイヤ画像の分割や特徴点の対応付けを自動化する方法の検討と、画像をハードディスクから直接読み出しながら描画することで移動可能範囲を現在よりも拡張する方法の検討を行っていく予定である。

## 参考文献

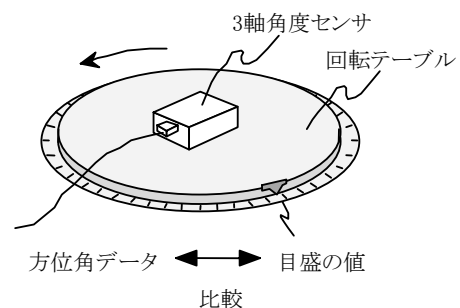
[1] P. E. Debevec, C. J. Taylor, and J. Malik: "Modeling and

Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach," Proc. SIGGRAPH '96, pp.11-20, 1996.

- [2] S. E. Chen: "QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation," Proc. SIGGRAPH '95, pp.29-38, 1995.
- [3] M. Hirose, K. Hirota, and R. Kijima: "A Study on Synthetic Visual Sensation through Artificial Reality," 7th Symposium on Human Interface, pp.675-682, 1991.
- [4] A. Lippman: "Movie Maps: An Application of the Optical Videodisc to Computer Graphics," Proc. SIGGRAPH '80, pp.32-43, 1980.
- [5] 廣瀬, 渡辺, 谷川, 遠藤, 片山, 田村: "移動車輛搭載カメラを用いた電脳映像都市空間の構築(2) - 実写画像を用いた広域仮想空間の生成 -", 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp.67-70, 1997.
- [6] 苗村, 柳沢, 金子, 原島: "光線情報による3次元実空間の効率的記述へ向けた光線空間射影法", 信学技報, IE95-119, 1996.
- [7] M. Levoy and P. Hanrahan: "Light Field Rendering," Proc. SIGGRAPH '96, pp.31-42, 1996.
- [8] S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, M. F. Cohen: "The Lumigraph," Proc. SIGGRAPH '96, pp.43-54, 1996.
- [9] S. E. Chen, L. Williams: "View Interpolation for Image Synthesis," Proc. SIGGRAPH '93, pp.279-288, 1993.
- [10] L. McMillan and G. Bishop: "Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System," Proc. SIGGRAPH '95, pp.39-47, 1995.
- [11] 廣瀬, 宮田: "二次元実写画像を用いた三次元仮想世界の構築", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.1, pp.31-34, 1996.
- [12] S. M. Seitz and C. R. Dyer: "View morphing," Proc. SIGGRAPH '96, pp.21-30, 1996.

## 付録

データ収集システムによって取得される位置・姿勢データには誤差が含まれている。特に3軸角度センサから出力される方位角データは絶対値ではないため、誤差が蓄積する。そこ



図A センサ誤差の評価方法

Fig.A Method for evaluating errors.

で、画像に対応付けられる位置・姿勢データの精度を評価するために、これらの誤差を実験により計測し、画像上で何画素のずれに相当するか計算した。

方位角データの誤差に関して、次の3種類を評価した。

- (a) 連続回転の影響
- (b) 回転速度の影響
- (c) センサの姿勢の影響

実験では、回転テーブルに3軸角度センサを固定し、テーブルを回転させる前後での目盛の値と方位角データをそれぞれ比較することによって誤差を計測した(図A)。回転テーブルは直径40cmで0.5度単位の日盛付きのものを使用した。

(a)の誤差は、回転テーブルを約60度/秒で360度回転させ、回転前後のデータを比較することにより求めた。また、(b)の誤差は、回転テーブルをそれぞれ約3度/秒、10度/秒、30度/秒、60度/秒で60度回転させて計測した。そして(c)の誤差は、ピッチ角又はロール角が約20度傾いている状態で、約60度/秒で360度回転させて計測した。

実験の結果を表Aに示す。なお、表中の4の値は画像の水平方向の画素数が720画素の場合について算出した。表中の数値から分かるように、画像に対応付けられる位置・姿勢データには無視できないレベルの誤差が存在する。これらの誤差は画像や地磁気方位センサとのセンサフュージョンによって補正する必要があると言える。

表A 角度センサの誤差

Table A Angle sensor error.

1 実験 項目	2 サンプル数	3 角度センサの誤差 [度]	4 画像中での誤差 [画素]
(a)	5	1.25	13.6
(b)	3	0.38 (3度/秒)	4.1
		0.44 (10度/秒)	4.8
		0.48 (30度/秒)	5.2
		0.50 (60度/秒)	5.4
(c)	6	1.06 (ピッチ角20度)	11.5
		0.64 (ヨー角20度)	7.0

#### 遠藤 隆明 (正会員)



1996年東京大学大学院工学系研究科修士。同年、キヤノン(株)入社。1997年1月より2001年3月まで(株)MRシステム研究所に出向。現在、複合現実感に関する研究に従事。博士(工学)。

#### 片山 昭宏 (正会員)



1986年九州大学大学院工学系研究科修士。同年キヤノン(株)入社。現在同社MRシステム開発センターMR技術第二研究室室長。博士(工学)。1997年4月より2001年3月まで(株)MRシステム研究所に出向。複合現実感に関する研究に従事。

#### 田村 秀行 (正会員)



1970年京都大学工学部電気工学科卒。電子技術総合研究所主任研究官を経て、1986年キヤノン(株)入社。現在同社MRシステム開発センター所長。工学博士。1998年より静岡大学情報学部講師。1997年1月より2001年3月までMRシステム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会理事及び同複合現実感研究委員会委員長。

#### 廣瀬 通孝 (正会員)



1982年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。同年東京大学工学部専任講師。1983年同助教授。1999年東京大学先端科学技術研究センター教授。現在に至る。人工現実感に関する研究に従事。

(2001年3月12日受付)