

# 한 장의 영상으로부터 선분의 중점 정보를 이용한 3차원 모델의 재구성

## (Reconstruction of a 3D Model using the Midpoints of Line Segments in a Single Image)

박 영 섭 <sup>†</sup> 류 승 태 <sup>\*\*</sup> 조 성 동 <sup>\*\*\*</sup> 윤 경 현 <sup>\*\*\*\*</sup>  
(Young Sup Park) (Seung Taek Ryoo) (Sung Dong Cho) (Kyung Hyun Yoon)

**요 약** 본 논문에서는 모델 기반으로 한 장의 사진으로부터 중점 정보를 포함한 선분을 이용하여 물체를 3차원 재구성하는 방법을 제안한다. 미리 정의된 다면체를 원시기하모델로 사용하며 한 장의 영상으로부터 복원을 시도하였다. 미리 정의된 다면체 모델을 원시기하모델로 사용하며 사용자가 원시기하모델(primitive)의 각 대응점(correspondence point)을 사진에 매핑 시키는 것으로서 3차원 재구성이 수행된다. 기존의 모델기반 3차원 재구성은 카메라 파라미터들을 복원하거나 반복(iteration)을 통한 오차최소화 기법을 사용하였다. 하지만 본 논문은 원시기하모델에 포함되어 있는 선분들과 그 선분들의 중점 정보로부터 선분을 3차원 복원하며 복원된 선분들로부터 원시기하모델을 재구성하는 방법을 제안한다. 이러한 방법은 선분을 복원 하는 단계에서 요구되는 최소한의 카메라 파라미터(focal length) 만으로 원시기하모델을 재구성 할 수 있다.

**키워드** : 영상기반 모델링, 3차원 재구성, 원시기하모델, 선분 복원, 카메라 보정

**Abstract** We propose a method for 3-dimensionally reconstructing an object using a line that includes the midpoint information from a single image. A pre-defined polygon is used as the primitive and the recovery is processed from a single image. The 3D reconstruction is processed by mapping the correspondence point of the primitive model onto the photo. In the recent work, the reconstructions of camera parameters or error minimizing methods through iterations were used for model-based 3D reconstruction. However, we proposed a method for the 3D reconstruction of primitive that consists of the segments and the center points of the segments for the reconstruction process. This method enables the reconstruction of the primitive model to be processed using only the focal length of various camera parameters during the segment reconstruction process.

**Key words** : Image Based Modeling, 3D Reconstruction, Primitive Model, Reconstruction of Line Segments, Camera Calibration

### 1. 서 론

영상기반 모델링은 한 장이나 여러 장의 영상으로부터 3차원 정보를 복원하여 사용자가 쉽고 정확하게 3차

원 모델링을 하는 기법이며 영상으로부터 3차원 재구성을 하는 과정에서 카메라의 내부 및 외부 파라미터를 필요로 한다. 카메라 파라미터를 이용한 영상기반 모델링 알고리즘의 경우 입력 영상들간의 관계나 영상 내부의 특성에 따라 많은 오차가 발생할 수 있다. 즉, 이러한 문제는 크게 카메라 보정의 문제, 두 장 이상의 영상에서 카메라의 기하학적인 관계를 구하는 문제, 또 하나는 기하학적 관계를 적용하기 위한 대응점 문제 등이다.

카메라 보정을 통하여 추출된 카메라 파라미터는 물체의 위치 및 방향을 결정할 뿐만 아니라 대응점을 복원하는데 사용되는 정보이기 때문에 취득된 영상의 카메라 보정은 영상의 3차원 복원의 문제를 다루는 분야에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 카메라 보정은 일반

· 본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업(No. 2000-N-NL-01-C-285)의 지원을 받아 수행되었습니다.

<sup>†</sup> 비 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과

cookie@cglab.cse.cau.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 한신대학교 소프트웨어학과 교수

stryoo@hs.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 비 회 원 : LG전자 이동통신연구소 연구원

sodeng@empal.com

<sup>\*\*\*\*</sup> 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수

khyoon@cau.ac.kr

논문접수 : 2003년 3월 5일

심사완료 : 2004년 12월 21일

적으로 여러 영상에 모두 존재하는 대응점들로부터 각 영상에 대한 카메라 파라미터를 계산하거나 유클리드 공간에서 점, 선, 면 간의 기하학적인 정보가 사영공간(projective space)으로 변화되는 관계를 이용하여 수행될 수 있다[1-5].

영상에서 서로 수직인 3개의 소실점 정보가 존재하면 소실점들을 이용하여 카메라 보정을 수행할 수 있다 [6-9]. 소실점은 영상에서 쉽게 찾을 수 있는 정보로서 이용이 간편하고 보다 정확한 카메라 보정을 가능하게 하지만 모델의 재구성 측면에서 보면 소실점이 존재하는 제한된 평면 모델만이 복원 가능하다. Pollefeys[10]은 조밀한 간격으로 획득된 영상 시퀀스로부터 자동적으로 특징점을 검출하고 카메라 보정을 하는 자동보정(auto-calibration)방법을 제안하였다. 이 방법은 조밀한 영상 시퀀스를 요구 하는 대신 사용자의 입력을 필요로 하지 않으며 정확한 카메라 보정을 수행한다. 하지만 일부 카메라 파라미터는 고정된 것이 아니며 영상에 따라 그 적용된 값들이 변화 되기 때문에 각 영상마다 이 파라미터들은 갱신되어야 하며, 영상의 특징점들을 영상간의 관계에 의하여 각각 독립적으로 추출하므로 특징점들 간의 기하학적인 의미가 존재하지 못한다. 이는 복원하고자 하는 모델 형태의 제한은 없으나 복원하고자 하는 물체의 특성 또한 정확하게 표현할 수 없음을 의미한다. Debevec[2]과 Taylor[2,11,12]은 자동보정 기법과는 다르게 사용자 입력을 사용한 기하학적 접근 방법을 추가적으로 사용하였다. 이 시스템은 영상기반 기법과 기하학 기반 기법을 조합하여 가상환경을 모델링 하였다. 이 방법은 대응점을 자동 추출 하는 대신 복원하고자 하는 특정 모델을 정의하고 미리 정의된 모델의 라인이나 점을 사용자가 입력하는 방식을 사용하였다. 미리 정의된 모델을 사용하기 때문에 복원된 결과는 그대로 3차원 모델 정보로 사용 가능하게 되며 복원된 정보들간의 기하학적 특성을 가지게 된다. El-Hakim[8]은 모델 기반 방법과 자동 보정 기법들간의 상호 보완 가능성을 언급하였다. 자동보정 기법은 사용자 입력을 필요로 하지 않는 대신에 조밀한 간격의 영상들을 필요로 하며 오픈된 곳의 복원 불가능한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 모델 기반 기법들을 혼용 하였다. 복잡한 영상들의 경우 오픈 영역들이 많이 발생하며 따라서 대응점 추출이 까다롭다. 이러한 영상의 경우 기하학적인 특성들을 제약조건으로 사용하면 복잡한 영상에서 특정 영역이나 물체를 복원할 수 있도록 하며 추가적인 대응점 정보를 제공 한다. 모델기반 기법들 중에서 미리 정의된 다면체를 사용하여 모델을 복원하는 기법들은 복원에 필요한 입력 영상의 수가 감소하는 장점이 있으나 복원 가능한 모델이 제약적이라

는 단점이 있다. 미리 정의된 다면체를 사용자가 영상에 매핑하게 되고 2차원 영상에 매핑된 다면체의 기하학적 특성, 제약 조건을 사용하면 한 장의 영상으로부터 모델 복원이 가능하다. 예를 들어 미리 정의된 다면체의 평행 선분들을 이용하면 소실점을 추출할 수 있고 소실점 정보로부터 카메라 보정과 선분의 크기를 추정할 수 있다 [11].

본 논문에서는 모델 기반으로 한 장의 사진으로부터 중점 정보를 포함한 선분을 이용하여 물체를 3차원 재구성하는 방법을 제안한다. 미리 정의된 다면체를 원시 기하모델로 사용하며 한 장의 영상으로부터 복원을 시도하였다. Debevec[11,12]과 유사한 방법이지만 하나의 모델을 복원하기 위해 필요한 2차원 입력 영상의 수를 한 장으로 제한하였고 라인 매칭을 통한 카메라 보정이 필요하지 않기 때문에 라인 입력을 위한 사용자 입력을 감소 시켰다.

한 장의 영상으로부터 재구성이 이루어지는 기존 연구들은 소실점을 사용하거나 에러 함수를 사용한 반복문(iteration)을 사용하였다. 이는 미리 정의된 다면체를 사용하는 이점을 충분히 활용할 수가 없다. 소실점은 반드시 한 쌍 이상의 평행한 선분이 존재해야 추출할 수 있으며 추출된 소실점들 사이의 각이 수직을 이루어야 그 소실점으로부터 카메라 정보를 얻을 수 있다. 반복문을 이용한 에러 최소화 방법은 보다 정확한 결과를 얻을 수 있으나 다면체를 정의하는 단계에서 의도한 물체의 특성을 고려하지 않고 있다. 본 연구에서 제안한 시스템은 기존의 소실점이나 에러 최소화 기법을 사용하는 대신 원시기하모델의 점들로 표현되는 선분과 같은 원시기하모델의 기하학적인 측면에서의 접근이며 원시기하모델이 가지는 성질을 유지시킬 수 있다.

## 2. 원시기하모델의 정의 및 표현

본 논문에서는 사용자가 미리 정의된 원시기하모델을 영상에 매핑 시키면서 복원이 진행된다. 이때, 원시기하모델이 포함하고 있는 기하학적인 특성이 복원에 이용되며 복원된 3차원 모델 또한 복원 이전의 원시기하모델 특성을 유지하게 된다. 이러한 미리 정의된 원시기하모델은 사용하기 간편하고 표현이 용이하여야 한다. 이 장에서는 원시기하모델을 정의하는 방법과 원기하모델의 파라미터와 복원된 선분의 표현을 살펴보겠다.

원시기하모델은 세 벡터  $X, Y, Z$ 축을 좌표축으로 하는 로컬 좌표계  $LC(X, Y, Z)$ 와 크기벡터  $\lambda$ 로 정의된다. 로컬 좌표계  $LC$ 는 원시기하모델을 정의하는 좌표계가 되며 원시기하모델의 각 점은 수식 (1)처럼 크기벡터와 1차 함수로 표현된다. 그림 1과 수식 (2)는 원시기하모델의 점 표현을 나타낸 것이며, 로컬 좌표계  $LC$

(X,Y,Z) 상에서 원시기하모델의 각 점들은 크기 벡터  $\lambda$ 에 대한 1차 행렬로 표현된다.

$$P_i = M_i \times \lambda$$

(단,  $\lambda = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ ,  $M_i$ 는  $n \times 3$ 행렬) (1)

수식 (1)에서  $M_i$ 는 원시기하모델의 각 점을 정의하는 행렬로서  $\lambda$ 와 같은 차수의 열을 갖는 행렬이 된다. 또한  $M_i$ 는 원시기하모델을 정의하는 행렬이므로 미리 정의되는 값이며 복원의 대상이 아니다.

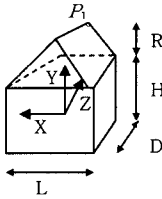


그림 1 원시기하모델의 점 표현(확장)

$$\lambda = (L \ H \ D \ R)^T \text{ 일 때 } M_i \text{는 } 4 \times 4 \text{행렬}$$

$$P_i = \begin{pmatrix} L/2 & 0 & 0 & 0 \\ H/2+R & 0 & 0 & 1 \\ D/2 & 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix} \lambda \quad (2)$$

본 논문에서 복원은 로컬 좌표계 X, Y, Z축과 크기벡터  $\lambda$ 를 결정하는 문제를 풀어가는 것이다. 이러한 파라미터를 복원하기 위해서는 원시기하모델을 정의할 때, 몇 가지 제약조건이 존재한다. 첫째, 각 파라미터를 복원하는 정보로 본 논문에서는 기본 복원 단위로서의 중점 정보를 포함하는 선분을 사용하므로 원시기하모델로부터 선분과 그 선분의 중점 정보를 추출할 수 있어야 한다. 둘째, 원시기하모델의 로컬 좌표축을 복원하기 위하여 2개 이상의 선분과 중점을 요구하며, 크기벡터  $\lambda$  복원을 위하여 크기벡터  $\lambda$  원소 개수(차수) 이상의 선분을 필요로 한다. 3차원 복원을 위한 최소 선분의 개수 N은 다음과 같다.

$$N = \max(\lambda \text{ 원소개수}, 2)$$

카메라의 초점거리를 알고 있다고 가정을 할 때, 선분 중점의 정보만으로 선분을 3차원 벡터로 복원이 가능하다. 본 논문에서 하나의 복원된 선분은 기준점 c로부터 임의의 점 p까지 벡터로 정의한다. 그림 2에서 카메라 A의 위치로부터 이미지 평면의 중점 c'까지 거리는 초점 거리 d이며 초기 복원선분은 선분의 중점이 이미지 평면에 존재 한다. 이 때 이미지 평면상의 중점 c'로부터 복원된 선분의 끝 점 p'까지 벡터를  $\vec{L}'$ 라고 한다. 공간상의 임의의 중점 c까지의 거리가 d일 때 선분의 벡터  $\vec{L}$ 와 양 끝 점 p는 수식 (3)과 같이 d에 대한 비례식으

로 정의된다.

$$\vec{L} = \frac{d}{\alpha} \vec{L}' \quad \text{일 때,} \quad p = c \pm \frac{d}{\alpha} \vec{L}' \quad (3)$$

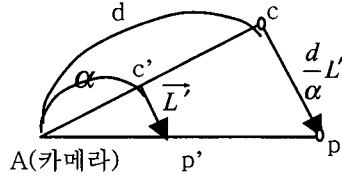


그림 2 점의 상대적인 위치 정의

이러한 표현은 복원된 3차원 물체의 투영된 점의 변화없이 기준점 c의 변화만으로 물체의 크기나 원점으로 부터 거리를 변경할 수 있다.

원시기하모델이 포함하고 있는 하나의 선분과 중점은 하나의 벡터로 3차원 재구성된다. 한 평면은 2개의 벡터로 정의할 수 있으므로 원시기하모델의 한 평면은 2개 이상의 선분과 중점을 포함하고 있어야 재구성이 가능하다.

### 3. 중점 정보를 이용한 선분의 복원

이 장에서는 선분의 중점으로부터 선분을 3차원 복원하는 문제에 대하여 살펴보고 중점 정보를 추출할 수 있는 두 가지 방법을 소개한다. 기존 연구들의 선분의 복원은 여러 장의 사진들 사이의 대응관계를 이용하거나 카메라 보정 방법들을 사용하여 선분의 3차원 벡터나 평면의 정보를 알고 있는 상태에서의 복원이었다. 하지만 본 논문에서는 카메라의 파라미터 중 초점 거리만을 필요로 하며 초점 거리를 알고 있을 경우 선분의 중점을 이용하여 선분을 3차원 복원한다. 이는 카메라 보정 과정을 보다 간략화할 수 있을 뿐만 아니라 대응점 정보 없이 복원 가능하기 때문에 한 장의 영상으로부터 복원 가능하게 한다.

#### 3.1 원시기하모델로부터 중점 정보의 추출

원시기하모델에서 선분과 선분의 중점 정보를 추출하는 것은 원시기하모델의 특성에 따라 다르게 정의될 수 있다. 다시 말하면, 일반적인 방법을 찾기 어려운 단점이 있는 반면에 중점을 추출할 수 있는 어떠한 원시기하모델도 사용이 가능하다. 본 장에서는 3차원 모델을 구성하는데 일반적으로 사용되는 직사각형에 대하여 살펴보고 하겠다.

직사각형의 경우 그림 3과 같이 6개의 중점을 가진 선분  $s_i$  ( $i \in \{1, 6\}$ )을 추출할 수 있다. 직사각형의 두 대각선분의 교차점은 두 대각선분( $s_1, s_2$ )을 이등분하고 교점은 직사각형의 무게중심(w)이 된다. 그렇기 때문에

영상에 매핑된 직사각형의 네 점으로부터 두 개의 대각 선분이 결정되며 두 선분의 교점은 두 선분의 중점이 된다. 소실점을 이용한 방법으로 평행한 두 선분의 만나는 소실점과 직사각형의 무게중심을 잇는 분할직선을 사용한다. 이 분할 직선은 소실점 생성을 위해 사용되지 않은 다른 변들을 이등분한다. 두 개의 평행한 선분의 영상상에서도 평행하게 매핑될 경우 소실점은 생성되지 않으나 직사각형의 무게중심과 소실점 생성을 위해 사용되지 않은 다른 변들의 중점을 잇는 분할직선은 두 선분과 평행하게 된다. 이러한 두 가지 방법으로 사각형 내부에 두 개의 선분과 직사각형을 이루는 내변에 대하여 중점 정보를 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 중점 정보를 이용하여 선분을 3차원 복원하는 과정은 다음 장에서 설명한다. 그림 13은 2장에서 설명한 원시기하모델의 정의 및 표현에서 언급한 제약 조건을 만족하는 모델이 직선에 국한되지 않음을 보여주는 결과이다. 이 모델은 원기둥을 정의하고 3차원 재구성한 결과이다. 원기둥 밑면에 입력한 두 지름은 원의 중심에서 교차되며 교차점은 두 지름을 이등분한다. 때문에 두 개의 선분이 3차원 복원 가능하며, 코일 좌표계 LC와 장축, 단축 두 개의 원소를 갖는 크기벡터  $\lambda$ 를 계산 가능하다. 이러한 방법은 많은 오차를 발생시키지만 선분의 중점을 이용하여 곡선을 복원할 수 있음을 보여주고자 하였다. 자세한 내용은 6장 구현결과에서 다시 한번 거론한다.

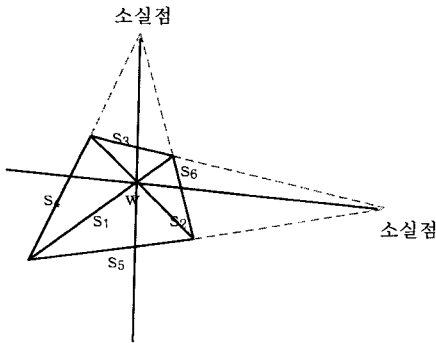


그림 3 원시기하모델의 중점을 포함한 선분

**3.2 선분의 3차원 복원**

본 논문에서 선분의 복원은 선분을 이루는 두 점과 선분 중점을 사용한다. 하지만 중점의 정보는 사용자가 직접 입력하기 어렵기 때문에 3-1장에서 살펴본 것처럼 이러한 정보는 영상에 매핑된 원시기하모델로부터 추출된다. 이미지상의 추출된 선분, 선분의 중점( $p_1, p_2, C_p$ )과 복원된 공간상의 선분( $Q_1, Q_2$ )의 관계를 그림 4에서 보여준다. 공간상의 점  $Q_1, Q_2$ 와 선분( $Q_1, Q_2$ )의 중점  $C_q$ 가 이미지 평면에 투영(projection)되는 점은  $p_1, p_2$ 와

$C_p$ 가 된다. 이때, 이미지 평면상의  $p_1, p_2, C_p$ 를 사용하여 점  $Q_1$ 에서 점  $Q_2$ 까지의 공간상의 벡터  $\vec{L}$ 을 복원할 수 있다. 이미지 평면에 투영되는 점 ( $p_1, p_2, C_p$ )과 공간상의 점 ( $Q_1, Q_2, C_q$ )는 투영공간에서 같은 의미를 지니며 공간상에서 같은 평면에 존재한다. 이는  $p_1, p_2, C_p$ 가 직선상의 점  $Q_1, Q_2, C_q$ 를 같은 투영연산을 통하여 투영한 값이기 때문이다. 영상의 선분 ( $p_1, p_2$ )와 중점  $C_p$ 를 통하여 공간상의 선분을 복원하는 과정은 다음과 같다.

A(카메라),  $p_1, p_2$ 이 이루는 평면을 RP평면이라고 할 때, 복원된 선분 ( $Q_1, Q_2$ )는 RP평면상에 존재하며 카메라 A와 이미지상의 중점  $C_p$ 를 잇는 직선에 의해 이등분된다. 이러한 조건을 만족하는 평면 RP상의 모든 선분  $Q_1, Q_2$ 은 동일한 방향  $\vec{L}$ 을 갖는다. 복원할 선분 ( $Q_1, Q_2$ )가 RP 평면에 존재하는 성질을 이용하면 선분 ( $Q_1, Q_2$ )의 방향벡터  $\vec{L}$ 의 계산을 2차원 RP 평면상에서 수행할 수 있다. 그림 5와 같이 카메라 A와 중점  $C_p$ 를 지나는 직선이  $v$ 축이 되고  $u, v$ 평면이 RP 평면에 존재하도록 중점  $C_p$ 를 원점으로 하는  $u, v, n$  좌표계를 설정한다.  $u, v, n$  좌표계 변환 행렬 F는 수식 (4)와 같다.

$$F = [R | T], \quad R = \begin{pmatrix} u \\ v \\ n \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} -c_x \\ -c_y \\ -c_z \end{pmatrix} \quad (4)$$

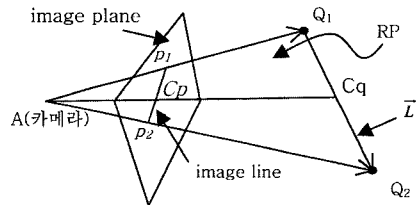


그림 4 선분과 선분 중점의 관계

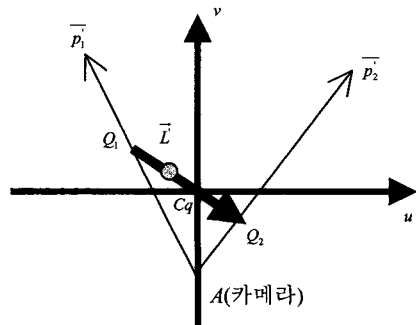


그림 5 u, v평면 상에서 선분

수식 (5)와 같이 u,v,n 좌표계로 변환된 점  $p'_1, p'_2, A'$ 이라고 할 때 카메라 A'와  $p'_1$ 이 이루는 직선은  $\vec{p}'_1$ 이고 카메라 A'와  $p'_2$ 가 이루는 직선은  $\vec{p}'_2$ 이다. 점  $Q_1, Q_2$ 는 각 직선 상에 존재하며 선분 ( $Q_1, Q_2$ )의 방향벡터  $\vec{L}$ 은 선분 ( $\vec{p}'_1, \vec{p}'_2$ )의 각 기울기  $\nabla \vec{p}'_1, \nabla \vec{p}'_2$ 를 이용하여 수식 (6)과 같이 계산할 수 있다.  $\nabla$ 은 각 선분의 기울기 의미한다.

$$p'_1 = F p_1, \quad p'_2 = F p_2, \quad A' = FA$$

$$\vec{p}'_1 = p'_1 - A', \quad \vec{p}'_2 = p'_2 - A' \tag{5}$$

$$\vec{L}(u,v,0) = \left( \frac{-A'_v \times 2}{\nabla p'_1 - \nabla p'_2}, \frac{-A'_v \times 2}{\nabla p'_1 - \nabla p'_2} \times \nabla \vec{p}'_1 + A'_v, 0 \right)$$

$$\vec{L} = F^{-1} \vec{L}' \tag{6}$$

#### 4. 직선 원시기하모델의 재구성

원시기하모델을 사용하여 카메라 보정이 수행되면 보정된 카메라를 사용하여 중점 정보를 포함한 선분의 3차원 복원을 수행한다. 최종적으로 원시기하모델 전체를 복원하기 위해서 선분을 사용하여 로컬 좌표계 LC와 크기벡터  $\lambda$ 를 계산함으로써 수행된다. 원시기하모델은 LC의 좌표축 방향으로  $\lambda$ 의 1차 함수로 정의 되어 있으므로 적절한 LC와  $\lambda$ 를 알면 원시기하모델의 각 점들을 직접적으로 구할 수 있다. LC는 물체의 좌표축을 결정하는 문제이다. 이는 물체를 크기벡터의 차원을 최소화하고 복원된 선분을 이용하여 정의 가능하도록 결정되어야 한다. 예를 들어 직사각형의 경우 LC의 세 좌표축 중 하나의 축을 직사각형의 노말벡터(Normal Vector)로 설정하게 되면 나머지 두 축은 직사각형이 이루는 평면에 존재를 하게 되고 크기벡터  $\lambda$ 의 차원이 2차원으로 표현 가능하게 된다. 만약 하나의 축이라도 직사각형의 노말벡터와 일치하지 않게 LC를 정의하게 되면 크기벡터  $\lambda$ 차원은 3차가 되어야 한다. 이러한 LC의 좌표축을 정의하는 성분들은 원시기하모델을 정의할 때 미리 정의하는 것이 간편하다. 직사각형의 경우 복원된 두 대각선분의 벡터 곱 연산을 통하여 구하여진 노말벡터를 Z축에 할당하도록 미리 정의할 수 있다. 로컬 좌표계 LC가 결정되면 각 좌표축에 대한 크기 벡터  $\lambda$ 를 계산하여야 한다. 크기벡터  $\lambda$ 를 사용하여 원시기하모델의 각 점을 정의한다. 일반적으로 가로, 세로, 높이와 같은 물체의 기본 크기를 사용하는 것이 직관적이고 간편하다. 원시기하모델의 점들을 연결하는 선분을 3차원 복원함으로써 복원된 선분의 거리 정보를 사용하여 LC 좌표축 방향의 크기를 설정한다. 직사각형의 경우 두 대각선분을 X,Y축에 투영하여 그 크기를 각 축에 대한 크

기벡터로 설정한다.

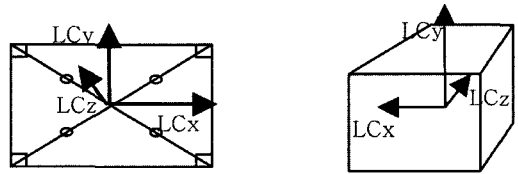
그림 6(a)의 직사각형의 경우 두 대각선분으로부터 원시기하모델을 복원할 수 있다. 직사각형의 복원된 두 대각벡터를 L1, L2라고 할 때, 로컬 좌표계 LC와 크기 벡터  $\lambda'$ 를 L1,L2를 이용하여 수식 (7)과 같이 복원할 수 있다.

$$LC \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L1+L2 \\ \frac{\|L1+L2\|}{\|L1-L2\|} \\ x \times y \end{pmatrix} \tag{7}$$

$$\lambda' = (L1 \cdot LCx, L1 \cdot LCy, 0)$$

$\lambda'$ 는 카메라와 원시기하모델의 중심점과의 거리가 1일 때의 크기벡터이다. 따라서  $\lambda$ 는 카메라와 원시기하모델의 거리에 따라 스케일되어야 한다. 카메라와 원시기하모델의 중심점의 거리를  $w$ 라고 할 때  $\lambda$ 는 수식 (8)과 같다.

$$\lambda = \lambda' * w \tag{8}$$



(a) 직사각형 (b) 육면체  
그림 6 직사각형과 육면체 원시기하모델

그림 6의 (b)와 같은 육면체를 선분의 중점을 이용하여 복원할 때에는 여러 가지 접근방법이 가능하다. 육면체의 경우  $\lambda$ 는 너비, 높이, 길이의 3차 벡터가 되고 이를  $\lambda=(L,H,D)$ 라고 할 때, 로컬 좌표계 LC는 육면체를 이루는 각 면의 노말벡터로부터 얻을 수 있다. 각 면의 노말벡터는 위에서 설명한 직사각형 복원 방법에서 직사각형의 로컬 좌표계의 LCz와 같다. 또한  $\lambda$ 도 직육면체의 복원 가능한 직사각형의 값을 사용하여 복원 가능하다. 육면체 원시기하모델의 경우 이러한 방법으로 구해진 로컬 좌표계는 복원 과정에서 발생하는 오차로 인하여 수직을 이루지 않는다. 때문에 서로 평행한 두 변의 값들을 평균하여 오차를 분산시키고 이들을 수직을 이루도록 보정하였다. 결과영상은 그림 10에서 보여진다.

#### 5. 곡선 원시기하모델의 재구성

##### 5.1 3차원 곡선의 정의

직선의 원시기하모델이 복원되면 원시기하모델의 직선들을 사용자 입력을 통하여 곡선으로 변형한다. 이때,

사용되는 곡선은 한 평면에 제한된다. 이러한 제한은 사용자가 입력 가능한 정보가 화면(이미지 평면)상이기 때문에 완전히 자유로운 3차원 곡선을 제어할 수 없다. 때문에 원시기하모델을 정의하는 단계에서 이 곡선이 존재하는 평면을 미리 정의하게 된다. 본 논문에서 사용되는 곡선은 B\_Spline곡선을 사용하며 가장 최소한의 사용입력을 사용하기 위하여 2개의 컨트롤 포인트( $cp_1, cp_2$ )를 사용한다. 직선의 시작점과 끝점은 직선의 원시기하모델을 복원하는 과정에서 3차원 재구성되고 이 복원된 직선 내부에 두 개의 컨트롤 포인트를 추가하여 곡선을 생성한다. 사용자와 작용하는 두 개의 컨트롤 포인트를 화면상에서 조작하여 영상에서의 물체 외곽선과 매칭시키는 작업을 수행한다.

5.2 3차원 곡선의 복원

컨트롤 포인트를 조절하여 사용자가 곡선을 영상에 매핑시키면 화면상의 2차원 곡선은 3차원 곡선으로 재구성되어야 한다. 곡선 입력 과정 이전에 이미 원시기하모델의 각 점은 직선 원시기하모델을 사용하여 복원되기 때문에 곡선의 시작점과 끝점은 이미 재구성되어 있다. 원시기하모델을 정의하는 단계에서 함께 정의하였던 곡선평면을 이 시작점과 끝점을 포함하도록 공간상에 위치시킨다. 공간상의 곡선평면이 결정되면 사용자 입력으로 조작되었던 컨트롤 포인트( $cp_1, cp_2$ )를 곡선 포인트에 투영하여 한다. 곡선평면에 투영된 컨트롤 포인트( $cp'_1, cp'_2$ )와 복원된 원시기하모델의 시작점, 끝점을 사용하여 3차원 공간상의 B\_Spline곡선을 생성한다. 그림 7은 직사각형 원시기하모델의 한 변을 곡선으로 정의하고 컨트롤 포인트를 사용하여 곡률을 정의하는 과정을 보이고 있다. 그림 8은 그림 7의 원시기하 모델을 사용하여 3차원 재구성한 결과이다.

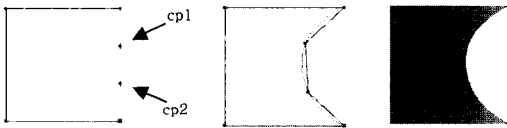


그림 7 곡선 원시기하모델

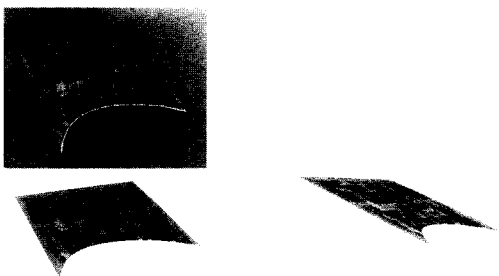
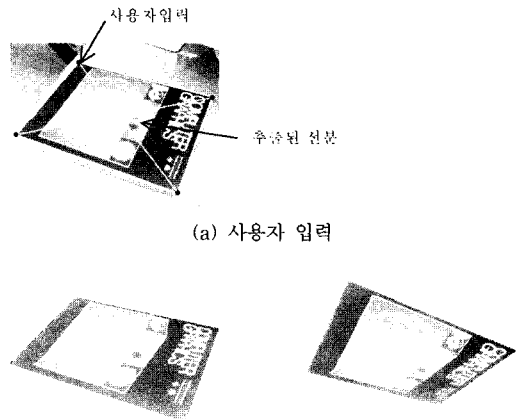


그림 8 곡선 원시기하모델의 복원

6. 구현결과

본 논문에서 원시기하모델을 이용한 3차원 복원에 대하여 살펴 보았다. 한 장의 입력영상으로부터 3차원 정보를 복원하기 위하여 원시기하모델을 사용한다. 원시기하모델의 각 점을 사용자가 영상에 매핑시키면 시스템은 원시기하모델의 기하학적 특성에 따라 중점 정보를 포함하는 선분을 추출한다.

그림 9는 원시기하모델의 가장 기본이 되는 직사각형을 복원한 결과 영상이다. 사용자는 직사각형의 네 점을 입력하고 직사각형의 대각선분 두 개를 추출할 수 있다. 이 두 대각 선분은 서로 이등분분을 하므로 두 대각 선분의 교점은 두 선분의 중점이 된다. 그림 9(a)는 두 대각 선분과 사용자 입력을 보여 주며 (b)는 가상의 시점에서 렌더링한 결과 영상이다.



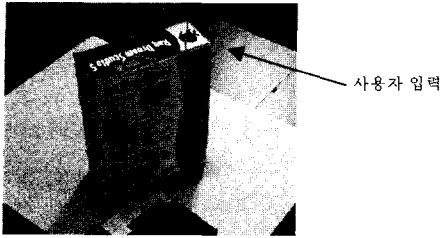
(a) 사용자 입력

(b) 가상 시점에서 렌더링

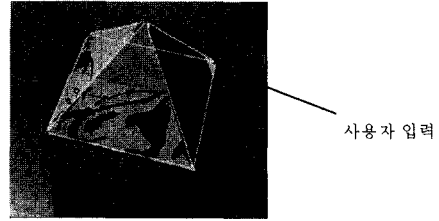
그림 9 직사각형 원시기하모델 복원

3차원 재구성된 원시기하모델의 렌더링은 사용자 영상에 매핑시키는 원시기하모델의 점들의 위치로부터 텍스처를 영상으로부터 1차적으로 얻어온다. 실제 구현은 OpenGL의 라이브러리를 사용하여 복원된 원시기하모델의 각 점마다 사용자 매핑 위치를 텍스처 위치로 할당한다. 렌더링은 추가적인 작업없이 OpenGL의 라이브러리를 사용하였기 때문에 그림 9처럼 텍스처 원근효과가 정상적으로 반영되지 않는다. 이 문제를 해결하기 위하여 원근 텍스처 매핑(perspective texture mapping)나 투영 텍스처 매핑(projective texture mapping)을 사용할 수 있다.

그림 10은 한 장의 영상으로부터 물체를 복원하는데 가장 적합한 형태의 모델인 육면체로서 각 면의 노말벡터는 서로 수직이며 한 방향으로 평행인 선분이 네 개씩 존재하므로 소실점을 이용한 3차원 재구성에도 용의



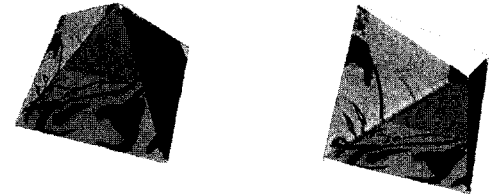
(a) 사용자 입력



(a) 사용자 입력



(b) 가상의 시점에서 렌더링  
그림 10 직육면체 원시기하모델 복원



(b) 가상의 시점에서 렌더링  
그림 11 사각뿔 원시기하모델 복원

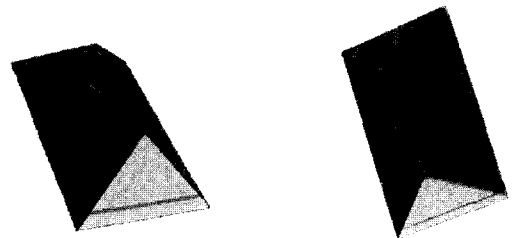
하다. 그림 10의 결과는 육면체의 8개 점을 사용자가 입력하고 육면체의 한 면을 이루는 네 점을 이용하여 그림 9에서 보인 바와 같은 방식으로 재구성을 하였다. 4장에서 설명 하였듯이 또 다른 복원 과정으로는 육면체의 중심을 기준으로 x, y, z축에 대한 대칭에 위하는 점을 연결하면 육면체의 중심을 지나는 네 개의 선분의 생성되며 이 선분들은 직육면체의 중심에 의하여 이동 분 된다. 이 네 선분을 복원하여 직육면체를 재 구성할 수 있다. 그림 10(b)는 복원된 육면체를 가상의 시점에서 렌더링한 결과 영상이다. 영상의 흰색 영역은 원본 영상으로부터 텍스처 정보를 얻지 못하는 면을 나타낸다. 즉, 취득된 영상에서 다른 면에 가려져 보이는 않는 영역을 의미한다.

그림 11과 그림 12는 다양한 모양의 원시기하모델을 정의하여 재구성한 결과 영상이다. 그림 11은 사각뿔 모양의 원시기하모델로 영상의 매핑 정보로부터 사각뿔의 높이(H)와 밑면의 가로(L) 세로(D) 너비를 크기벡터의 원소  $\lambda=(L, H, D)$ 으로 할당하여 복원하였다. 그림 12는 지붕모양의 원시기하모델로 크기벡터는 네 개 원소로 이루어진다. 밑면 사각형을 위하여 두 개의 원소가 할당되고 높이와 지붕의 길이에 하나씩 할당되었다. 밑면의 직사각형으로부터 추출된 두 대각 선분을 이용하여 로컬 좌표계와 가로(L), 세로(D)를 복원 하였으며 복원된 두 대각 선분의 수직인 방향으로 높이(H)를 복원 하였다.

그림 13은 원시기하모델의 정의 단계에서 직선의 원시기하모델을 사용하지 않고 원기둥을 정의 하였다. 사용자가 원기둥의 밑면의 원의 복원을 위한 두 개의 지

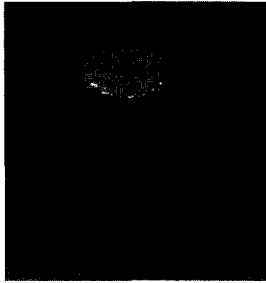


(a) 사용자 입력



(b) 가상의 시점에서 렌더링  
그림 12 삼각기둥(지붕모양) 원시기하모델 복원

름과 원기둥 높이 복원을 위한 선분을 사용하여 복원하였다. 밑면의 두 지름은 원 중심에서 교차하며 서로 이등분한다. 사용자는 밑면의 원에 서로 수직인 두 개의 지름과 한 지름의 끝에서부터 반대편 밑면까지의 직선을 입력하여야 한다. 이러한 방법은 많은 제약 조건을 가지고 있고 사용자의 입력에 민감하기 때문에 오차가 많이 발생한다. 원기둥의 복원에 있어서 가장 중요한 요소는 밑면이나 윗면의 원에 정확하게 수직인 두 지름을 사용자가 입력하여야 하는데 이러한 입력은 감각 의존적이기 때문에 정확성을 기대하기 힘들다. 유사한 복원 가능한 곡선 모델로 타원형과 중심 벡터를 기준으로 대

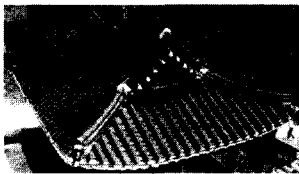


사용자 입력

(a) 사용자 입력

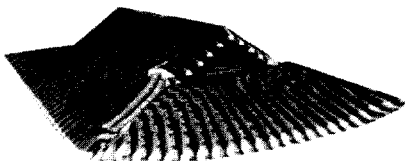


(b) 가상의 시점에서 렌더링  
그림 13 원기둥 원시기하모델 복원



사용자 입력

(a) 사용자 입력



(b) 가상의 시점에서 렌더링  
그림 14 초가지붕 원시기하모델 복원

칭은 물체가 있을 수 있으나, 사용자 입력의 오차가 많이 발생하므로 이에 대한 보완책이 필요하다.

그림 14는 곡선을 입력한 결과영상이다. 기와집의 모양을 복원하기 위하여 사다리꼴육면체와 지붕모양의 원시기하모델을 조합하여 재구성하였다. 이 모델을 복원하기 위하여 직선으로 정의된 원시기하모델의 각 점을 매핑 후 재구성하였다. 이렇게 재구성된 모델의 각 점의 정보를 이용하여 처마의 곡선이 위치하는 평면을 정의하고 6장에서 설명한 바와 같이 사용자가 처마의 곡률을 입력하는 방식을 사용하였다.

## 7. 결론 및 향후 과제

본 논문은 기존의 모델기반 영상의 3차원 재구성 기법을 개선하여 복원에 사용되는 정보를 확장하였다. 최소한의 카메라 정보인 초점거리(focal length)만을 요구하며 원시기하모델 복원에 사용되는 정보와 카메라 보정에 사용되는 정보를 분리하였다. 카메라 보정에서는 초점거리만을 계산하므로 모델기반 기법을 사용할 경우 한 장의 영상만으로 대응점 정보 없이 카메라 보정과 모델의 3차원 재구성이 가능하다. 원시기하모델의 복원에서는 새롭게 중점 정보를 사용하게 됨으로써 복원 모델 자체의 특성이 그대로 유지되며 복원 가능한 원시기하모델의 폭을 증대되었다.

기존의 연구에서 미리 정의된 다면체를 이용하여 영상을 복원하는 경우 다면체의 특성을 활용하지 못하였다. 일반적으로 사용되는 소실점의 정보는 쉽게 계산되는 장점이 있지만 평행 선분이 반드시 두 개 이상 존재해야 하며 수직인 3개 이상의 소실점이 존재하지 않을 경우 나머지 소실점을 결정하기 위하여 여러 최소화 기법을 사용하여 반복문을 수행하여야 한다. 이러한 방법은 반복문을 수행하는데 시간 소모적이며 또한 수직인 소실점 정보를 요구하므로 복원 가능한 모델을 크게 제약한다. 더욱 좋지 않은 상황은 같은 모델이라고 하여도 모델의 위치나 방향에 따라서 소실점의 수가 달라진다는 것이다. 이는 복원되는 사용될 수 있는 정보가 가변적이며 모델자체의 특성보다 물체들이 이루는 구도가 복원의 핵심이 됨을 의미한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 물체의 소실점과 같은 구도정보를 사용하는 것이 아니라 미리 정의된 다면체 고유의 변하지 않는 특성을 사용한다. 미리 정의된 다면체 내부의 고유 특성으로부터 추출되는 선분과 선분의 중점을 사용하여 복원을 수행하는 방법은 다면체의 정의 내용에 따라 다양한 정보 획득이 가능하므로 복원 가능한 모델의 제한을 축소한다. 이는 공간상의 물체의 위치나 방향에 영향을 받지 않는다. 소실점을 추출할 수 없는 타원형, 원기둥 등의 복원이 가능하다. 또한 직선 원시기하모델이 복원 되면 물체의 각 라인에 사용자의 입력을 추가하여 곡면, 곡선을 복원한다.

향후 연구과제로 중점의 정보를 포함하고 있는 원시기하모델을 미리 정의하여 사용하는 방법을 사용자가 원시기하모델을 정의할 수 있도록 고려되어야 하며, 여러 개의 원시기하모델을 사용하여 모델링할 경우 각 원시기하모델들의 확장된 관계 정의가 필요하다. 또한 곡선의 복원에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 곡선을 복원하기 위하여 원시기하모델을 정의하는 단계에서 곡선이 존재하는 평면을 제한하여야 하는데 이러한 제약 조



건을 완화시키는 연구가 필요하다. 또한 원시기하모델의 선분에 대한 곡선 변형이 자기 독립적으로 이루어지기 때문에 구성할 수 있는 모델의 형태에 제한이 존재한다. 때문에 여러 개의 선분을 통합하여 하나의 곡선으로 변형하거나 모델의 점들을 곡선으로 표현할 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

### 참고 문헌

- [1] B.S. Villa Alvarez, P.C. Pinto Carvalho and Marcelo Gattass, "Insertion of Three-Dimensional Objects in Architectural Photos," *Proc. WSCG 2002*, pp. 17-23, 2002.
- [2] 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. 11-21, Aug. 1996.
- [3] Lieboqitz D. and Zisserman A., "Metric Rectification for Perspective Images of Planes," *CVPR*, pp. 482-488, 1998.
- [4] D. Liebowitz, A. Criminisi A., and Zisserman A., "Creating Architectural Models from Images," *EUROGRAPHICS '99*, 18(3), 1999.
- [5] Armstrong M., Zisserman A. and Beardsley P., "Euclidean Structure from Uncalibrated Images," *Proc. British Machine Vision Conference*, pp. 509-518, 1994.
- [6] B.Caprile and V.Torre, "Using Vanishing Points for Camera Calibration," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 4, no.2, pp. 127-140, Mar. 1990.
- [7] Marta Wilczkowiak, Edmond Boyer and Peter Sturm, "3D Modelling Using Geometric Constraints a Parallelepiped Based Approach," *ECCV*, vol. 4, pp. 221-236, 2002.
- [8] Cipolla R., Boyer E., "3D Model Acquisition from Uncalibrated Image," *IAPR Workshop on Machine Vision Application*, pp. 559-568, 1998.
- [9] Z. Zhang, "Image-based Geometrically-correct Photorealistic Scene/Object Modeling (IBPhM): A review," *Proc. Of the Asian Conference on Computer Vision (ACCV)*, 1998.
- [10] M. Pollefeys, R. Koch and L. Van Gool, "Self-Calibration and Metric Reconstruction in spite of Varying and Unknown Internal Camera Parameters," *Proc. ICCV'98* (international Conference on Computer Vision), pp.90-95, Bombay, 1998.
- [11] D. Jelink and C.J. Taylor, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models from Single Images with a Camera of Unknown Focal Length," *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(7), 2001.
- [12] Camillo J. Taylor and David J. Kriegman, "Structure and Motion from Line Segments in Multiple Images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(11), 1995.

- [13] Sabry F. El-Hakim, "3D Modeling of Complex environments," *SPIE Proceedings*, vol. 4309, Videometrics VII, 2001.



박 영 섭

1995년 2월 대전대학교 전자계산학과 공학사. 2001년 8월 중앙대학교 영상공학과 컴퓨터 그래픽스 전공 공학석사. 2001년 9월~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 Image Based Modeling, Image Based Non-Photo-realistic Rendering/Animation



류 승택

1996년 2월 중앙대학교 전자계산학과 공학사. 1998년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 2002년 8월 중앙대학교 영상공학과 컴퓨터그래픽스전공 공학박사. 2002년 9월 중앙대학교 정보통신 연구원 연구 전담 교수. 2004년 3월~현재

한신대학교 소프트웨어학과 조교수. 관심분야는 Image Based Rendering, Realtime Rendering, 3D Terrain Modeling



조 성 동

2001년 2월 중앙대학교 전자계산학과 공학사. 2003년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 2003년 2월 디지스팟(주) TD. 2004년 3월~현재 LG전자 이동통신연구소 연구원. 관심분야는 Image Based Rendering, Image Based Modeling



윤 경 현

1980년 2월 중앙대학교 전자계산학과 공학사. 1983년 2월 중앙대학교 전자계산학과 공학석사. 1983년~1985년 한국전기연구소 연구원. 1988년 University of Connecticut 전자계산학과 공학석사. 1991년 University of Connecticut 전자계산학과 공학박사. 1991년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 Image Based Rendering, Image Based Non-Photorealistic Rendering/Animation