

원시기하도형을 이용한 3차원구조 복원시스템의 구현

남현석*, 구분기**, 진성일*
*경북대학교 전자전기공학부
**한국전자통신연구원 가상현실연구부

Implementation of 3D Structure Reconstruction System Using Geometric Primitives

Hyunseok Nam*, Bonki Koo**, and Sungil Chien*

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

**Virtual Reality Department, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

E-mail: nhs4u@palgong.knu.ac.kr

Abstract

We implement a system for 3D structure reconstruction from multiple 2D images. It uses geometric primitives such as box, wedge, pyramid, etc., each having translation, rotation, and scale parameters. Primitives are marked on input images with GUI (Graphic User Interface). Lines made by projection of primitives onto an image correspond to marked line segments of the image. Error function is defined by disparity between them and is minimized by downhill simplex method. By assigning relationship between models, the number of parameters to solve can be decreased and the resultant models become more accurate. To share variables among other models also reduces computational complexity. Experiments using real images have shown that the proposed method successfully reconstructs 3D structure.

I. 서론

현실감 있는 3차원 영상을 획득하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 실물의 3차원 형상 정보를 획득하기 용이하도록 3차원 스캐너나 계측 장비를 이용하는 방법[1]은 정밀 측정에 많이 사용되고 있으나 별도의 카메라 보정용 장치(calibration target)를 만들어야 하고 이를 위한 추가적 시스템이 필요하다는 단점이 있다. 기하학인 모델링 방법은 사용자가 모든 정보를 직접 입력하여 3차원 영상을 생성한다. 그럼에도 불구하고 이 방법은 생성된 3차원 모델이 실제와 동일한 시각 효과를 나타내지 못하는 한계가 있다. 이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 영상기반 모델링 방법이 제안되었다.

이 방법[2,4,5]에서는 한 장 이상의 2차원 영상만을 입력으로 사용하여 영상간의 대응 관계 및 영상 내의 대상 물체의 기하적인 특성인 선(line), 코너(corner), 평면 등을 이용하여 카메라 보정 및 3차원 정보를 카메라에 관한 정보 없이 추출한다. 또한 실제 영상을 텍스처(texture)로 사용하므로 가장 사실적인 결과를 보여준다.

Debevec 등은 원시기하도형(primitive)을 이용하여 건축물과 같이 직선의 방향 등이 알려진 구조를 효과적으로 복원하는 방법을 제안하였다[2]. 박종승 등은 Debevec 등의 방법에 downhill simplex method[3]를 최적화 알고리즘으로 채용하여 복잡한 편미분 연산을 배제하였다[4]. 그러나 이와 같이 추정된 카메라와 물체의 파라미터(parameter)를 이용한 경우에는 물체들 사이의 회전(rotation) 및 이동(translation) 관계에 오차가 존재한다. 이를 보정하기 위하여 모델 에디터를 사용하여 수동적으로 관계를 재설정하는 번거로움이 있었다[4]. 본 논문은 이러한 과정에 사전 입력으로 물체간의 기하학적인 관계를 설정하여 복잡한 최적화 과정 없이 물체간의 정확한 회전 및 이동 파라미터를 자동적으로 계산해 내는 방법을 제안한다. 또한 물체의 회전 및 크기 파라미터를 물체간에 공유하여 downhill simplex method에 입력되는 값들의 차원을 줄임으로써 연산량을 감소시킨다.

II. 3차원 구조 복원

3차원 구조 복원에 이용되는 원시기하도형은 회전 이동 및 크기 파라미터들로 정의된다. 영상 상에 투영

(projection)된 원시기하도형과 영상의 선분간의 불일치에 의한 면적이 오차로 정의된다. 오차를 최소화하기 위하여 downhill simplex method 를 이용한다. 복원에 사용된 전체 원시기하도형의 파라미터들이 최적화 알고리즘의 입력이 된다. 본 논문에서 제안한 물체들간의 관계를 정의하여 계산되어야 할 파라미터의 개수를 줄일 수 있다. 결과물은 원시기하도형의 집합으로써 모델링된다. 전체적인 시스템의 흐름도는 그림 1 과 같다.

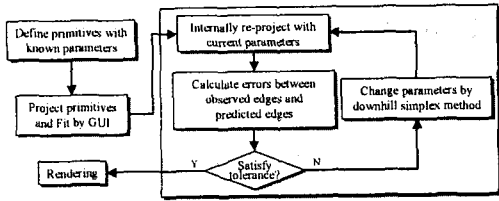


그림 1 시스템의 전체적인 흐름도

2.1 원시기하도형의 정의

원시기하도형은 기본적으로 3 개의 이동 파라미터, 3 개의 회전 파라미터, 3 개 이상의 크기 파라미터들로 정의된다. 원시기하도형은 그림 2 에 나타낸 바와 같이 3 차원 좌표계의 원점을 도형의 중심으로 하고 크기 파라미터들을 이용한 초기 좌표 p_i 를 구성한다. 본 논문에서 직육면체(box), 쐐기(wedge), 사각뿔(pyramid), 잘린 사각뿔(truncated pyramid) 등의 원시기하도형을 정의하여 사용한다. 그림 2 에 잘린 사각뿔 원시기하도형과 크기 파라미터 및 초기 좌표를 예로서 나타내었다. 여기에 물체의 회전 파라미터 3 개를 이용하여 회전 행렬 R 을 구성하고 3 개의 이동 파라미터로 이동 벡터 t 를 구성하면 특정 카메라 좌표계(camera coordinate)에서의 물체의 최종적인 3 차원 좌표 p'_i 은 아래 식 (1)과 같이 계산된다.

$$p'_i = R p_i + t \quad (1)$$

입력 영상 상에 투영된 원시기하도형의 꼭지점을 GUI 에 의하여 복원하려는 부분에 위치시킨다. 영상 평면 위에 존재하는 이 점들이 형성하는 선분들은 p'_i 이 영상 평면에 투영된 점들이 형성하는 선분들과 대응된다.

2.2 오차 함수

그림 3(a)에서처럼 특정 카메라 좌표계 공간상의 임의의 3 차원 직선 l 의 방향 벡터를 v , 카메라 좌표계의 원점에서 l 위에 있는 임의의 한 점으로 향하는 벡터

를 d 라고 정의한다. 그러면 직선 l 은 카메라 좌표계의 원점과 직선 l 을 포함하는 평면 Π 의 법선 벡터 $m = v \times d$ 로 나타낼 수 있다. 카메라의 초점거리를 f 라고 정의하면 입력 영상은 $z = -f$ 인 평면 Φ 상에 존재한다. 평면 Π 와 평면 Φ 가 교차하여 생기는 직선 l' 은 직선 l 이 영상 평면에 투영된 것으로서 $m_x x + m_y y - m_z f = 0$ 으로 계산된다. 사용자 입력에 의한 선분 L 과 l' 사이의 오차는 두 직선의 불일치로 인하여 형성되는 면적을 계산함으로써 산출할 수 있다. 이 때 선분 위의 한 점은 (x_1, y_1) 에서 (x_2, y_2) 까지 변화하는 호의 길이(arc length) s 로써 나타낼 수 있다. $h(s)$ 는 영상에 입력된 선분 위의 한 점 $p(s)$ 에 대하여 l' 과 가장 가까운 거리로서 h_{start} 와 h_{end} 는 선분의 각 끝점에서의 $h(s)$ 이다. L 과 l' 사이의 오차 Err 는 $h(s)$ 를 구간 내에서 적분함으로써 얻어지고 식 (2)와 같다.

$$Err = \int_0^{length} h^2(s) ds = \frac{length}{3} (h_{start}^2 + h_{start} h_{end} + h_{end}^2) \quad (2)$$

식 (2)에서 $length$ 는 선분 L 의 길이이다. m 개의 입력 영상에서 n 개의 선분에 대한 총 오차 $Error$ 는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$Error = \sum_j^m \sum_i^n Err_{ij} \quad (3)$$

2.3 오차 함수의 최소화

전술한 바와 같이 식 (3)에서 산출된 $Error$ 는 각 물체들의 회전 및 이동, 크기 파라미터와 카메라의 회전 및 이동 파라미터를 입력으로 가진다. 계산되어야 할 모든 파라미터의 개수를 k 라고 가정하면 정확한 3 차원 구조를 복원하기 위해서는 k 차원의 오차 함수를 최소화해야 한다.

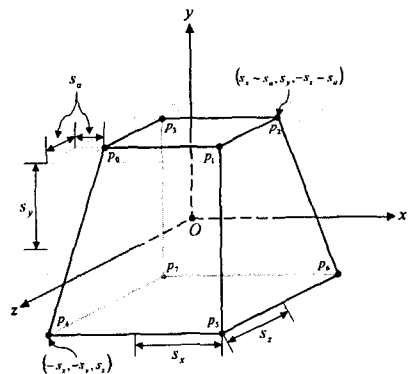


그림 2 잘린 사각뿔 원시기하도형의 크기 파라미터와 초기좌표 정의

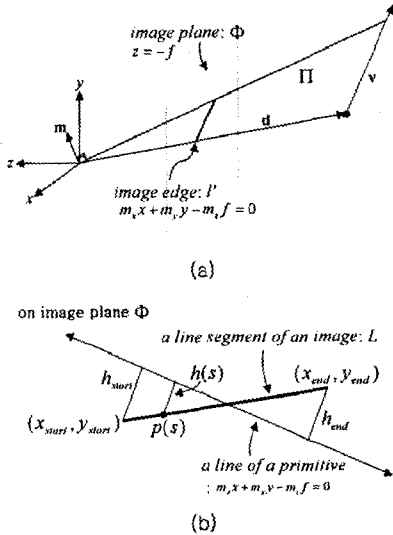


그림 3 (a) 3차원 직선의 영상 평면으로의 투영
(b) 대응되는 선들의 어긋남에 의한 면적으로 정의되는 오차

Downhill simplex method는 $n+1$ 개의 점으로 구성되는 n 차원의 볼록 다면체(convex polyhedron)의 각 점에서 목적함수(object function)를 계산하여 순위를 부여한다. 대칭(reflection), 확대(expansion), 수축(contraction) 등의 방법으로 가장 순위가 낮은 점을 향해 각 점들을 나아가게 함으로써 목적함수를 최소로 하는 n 차원의 해를 찾게 된다[3].

2.4 최적화 알고리즘의 입력 파라미터 개수 최소화

2.4.1 회전 및 크기 파라미터의 공유

일반적으로 건축물과 같은 대부분의 실제 영상에서는 회전 파라미터의 변화가 없거나 1 개의 변화만 존재한다. 또한 같은 값의 크기 파라미터를 가지는 물체가 반복적으로 나열되는 경우가 많다. 그러므로 공통되는 값을 서로 다른 물체에서 공유하여 참조할 수 있도록 함으로써 최적화 알고리즘의 입력의 개수를 줄일 수 있다[2]. 또한 같은 값을 가지고 있음에도 불구하고 최적화 알고리즘에서 발생할 수 있는 오차로 인해 서로 다른 값을 갖게 되는 것을 방지할 수 있다.

2.4.2 물체간의 관계 정의

최적화 알고리즘은 모델간의 상대적인 위치를 정확

하게 결정해주지 못한다. 이로 인하여 서로 밀착되어 있는 물체들이 어긋나거나 공중에 뜨는 문제점이 발생한다. 이러한 오차를 보정하기 위하여 모델 에디터를 사용하여 물체들 사이의 위치를 수동으로 수정하는 방법이 있다[4]. 본 논문에서는 물체간의 관계를 정의하여 줌으로써 인접하는 물체들의 위치를 보다 편리하고 정확하게 계산하는 방법을 제안한다. 그림 4는 서로 접하며 y 축 방향으로 쌓여 있는 물체 1, 2, 3을 나타내고 있다. x, z 축 방향으로로는 이동하지 않았다고 가정한다. 물체 2의 상대적인 위치의 기준이 되는 물체 1을 부모 물체(parent object)라고 정의하자. 마찬가지로 물체 2는 물체 3의 부모 물체가 된다. 원시기하도형은 도형의 중심을 기준으로 정의되었으므로 물체 2의 y 축 방향으로의 이동 파라미터 $trans_y_2$ 는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$trans_y_2 = trans_y_1 + s_{y_1} + s_{y_2} \tag{4}$$

식 (4)의 $trans_y_1$ 은 물체 1의 y 축 방향으로의 이동 파라미터이다. 물체 2의 윗면에 접하고 있는 물체 3의 상대적인 위치 이동 파라미터 역시 식 (4)과 마찬가지로 계산된다. 부모 물체가 parent 인 물체 i 의 y 축 방향으로의 이동 파라미터는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$trans_y_i = trans_y_{parent} \pm s_{y_{parent}} \pm s_{y_i} \tag{5}$$

식 (5)에서 축의 양의 방향으로 접할 경우 \pm 는 모두 +가 되고, 반대의 경우는 모두 -가 된다. x 축과 z 축 방향으로 역시 동일한 방법으로 정의된다.

이와 같이 파라미터를 공유하고 물체간의 관계를 정의함으로써 계산되어야 할 파라미터의 개수를 크게 줄이고 정확도를 높일 수 있다.

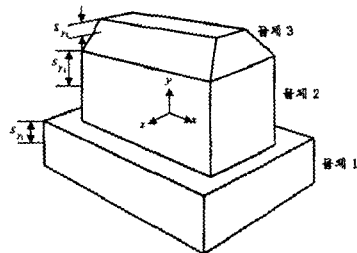


그림 4 물체간의 관계를 정의하여 이동 파라미터를 복잡한 연산 없이 정확하게 계산할 수 있다.

III. 실험 결과

3 차원구조 복원시스템을 Pentium-4 2.4 GHz, 512MB, GeForce4 Ti 4200, Java 1.4.1_03 with Java3D 1.3.1 환경에서 구현하였다. 실내 실험 영상 17 장과 실외 영상 19 장을 획득하여 실험을 수행하였다. 영상 상에 투영된 원시 기하도형을 복원하고자 하는 부분에 GUI 에 의하여 위치 시킴으로써 선분의 대응 관계를 지정하였다. 그림 5(a)의 다중 입력 영상을 이용하여 새로운 시점에서 복원한 결과가 그림 5(b)에 나타나 있다. 다중 영상으로 인한 동일한 위치의 중복되는 텍스처는 사용자가 선택하도록 하였다. 그림 5(c)는 한 층단을 하나의 원시 기하도형으로 표현하여 전체 탑의 모습을 복원한 결과를 나타낸다. 제안한 물체간 관계 지정 방법을 이용한 결과, 최적화 과정의 입력 파라미터의 개수를 줄이면서도 그림 5(b)와 5(c)에서 나타나듯이 물체간의 상대적인 위치가 분리되거나 중첩되는 현상 없이 정확하게 복원할 수 있었다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제안한 물체간 관계 지정 방법은 원시 기하도형의 파라미터를 이용한 간단한 연산으로 물체들의 상대적인 위치를 정확하게 계산해 냄으로써 최적화 알고리즘의 차원을 감소시키고 결과의 정확도를 높였다.

같은 값을 가지는 파라미터는 물체들 간에 공유하여 사용함으로써 연산량을 감소시켰다.

복원 결과를 VRML (Virtual Reality Modeling Language) 형식의 파일로 저장하여 인터넷 상에 간편하게 3 차원 영상을 전시할 수 있다. 입력되는 다중 영상에 Super resolution 을 적용하면 보다 나은 품질의 텍스처를 획득할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Z. Zhang, "Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations," in *Proc. of ICCV '99*, pp. 666-687, September, 1999.
- [2] P. E. Debevec, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs," Ph.D. Thesis, U.C. at Berkeley, Fall, 1996.
- [3] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C: second edition*, Cambridge University Press, pp. 408-412, Cambridge, UK, 1992.
- [4] 박종승, 이민석, 구분기, 백낙훈, "프리티미브를 이용한 영상기반 모델링," 제 13 회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp. 519-524, 2001.
- [5] C. J. Taylor and D. J. Kriegman, "Structure and Motion from Line Segments in Multiple Images," *IEEE trans. on PAMI*, vol. 17, no. 11, pp. 1021-1032, November, 1995.

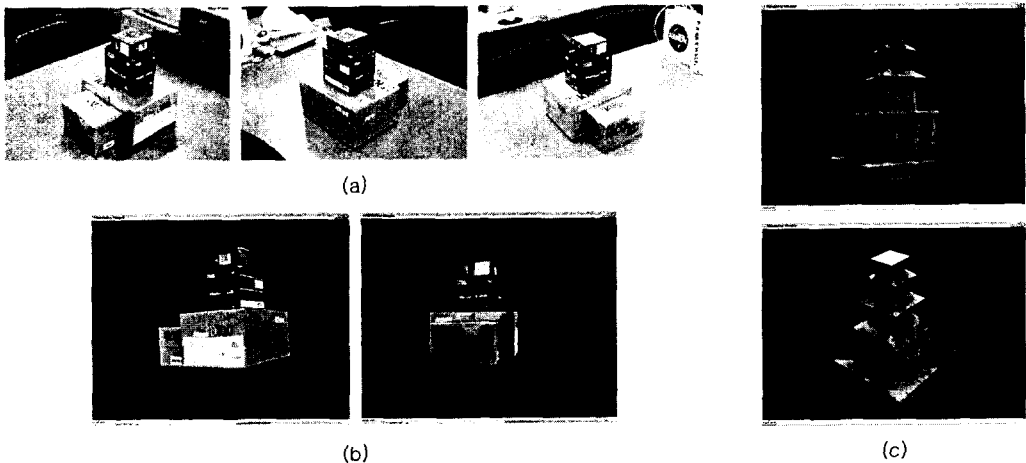


그림 5 (a) 다중 입력 영상 (b) 새로운 시점에서의 결과들 (c) 실제 영상을 이용한 결과의 예