

움직이는 평면거울을 이용한 3차원 물체 복원 (3D Reconstruction using a Moving Planar Mirror)

장경호[†] 이동훈^{**} 정순기^{***}
(Kyung Ho Jang) (Dong Hoon Lee) (Soon Ki Jung)

요약 영상 열을 이용한 3차원 구조 복원 기법은 기하학 기반의 전통적인 3차원 모델링 기법의 대안으로 복잡한 대규모 장면을 쉽고 빠르게 모델링 할 수 있는 효과적인 수단이다. 이러한 모델은 모션을 통한 구조 복원기법을 통해 주로 얻어진다. 그러나 모션을 통한 구조복원 기법은 매우 복잡한 기하학 구조와 현란한 컬러를 포함한 물체의 경우, 적용하기에 어려움이 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해, 본 논문에서는 움직이는 평면거울 기반의 새로운 물체 복원 기법을 제안한다. 본 기법은 장면에 포함된 기하구조의 암묵적인 단서를 이용하는 대신 장면 속에 기하학적 단서 즉, 거울의 위치 정보를 강제로 삽입하여 가상 카메라의 위치 정보를 추출한다. 구해진 가상 카메라의 위치 정보를 통해 장면의 복잡도에 무관한 3차원 기하 구조를 복원할 수 있다. 이를 위해 먼저 복원하고자 하는 장면을 포함한 평면거울의 영상 열을 포착한다. 다음으로 거울의 위치 정보를 이용하여 가상 카메라의 내, 외부 파라미터를 추정한다. 구해진 카메라 파라미터는 거울의 위치 정보 추출 시 발생하는 에러를 포함하고 있기 때문에 영상 열에 존재하는 코너점들의 대응관계를 이용하여 재 보정한다. 마지막으로 구해진 가상 카메라의 내부 및 외부 파라미터 정보를 통해 3차원의 구조를 복원한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 다양한 영상을 통해 실험한 결과 신뢰할만한 구조 복원이 가능하였다.

키워드 : 컴퓨터 3D 비전, 3D 구조 복원, 카메라 캘리브레이션

Abstract Modeling from images is a cost-effective means of obtaining 3D geometric models. These models can be effectively constructed from classical Structure from Motion algorithm. However, it's too difficult to reconstruct whole scenes using SFM method since general sites contain a very complex shapes and brilliant colours. To overcome this difficulty, the current paper proposes a new reconstruction method based on a moving planar mirror. We devise the mirror posture instead of scene itself as a cue for reconstructing the geometry. That implies that the geometric cues are inserted into the scene by compulsion. With this method, we can obtain the geometric details regardless of the scene complexity. For this purpose, we first capture image sequences through the moving mirror containing the interested scene, and then calibrate the camera through the mirror's posture. Since the calibration results are still inaccurate due to the detection error, the camera pose is revised using frame-correspondence of the corner points that are easily obtained using the initial camera posture. Finally, 3D information is computed from a set of calibrated image sequences. We validate our approach with a set of experiments on some complex objects.

Key words : 3D computer vision, 3D reconstruction, camera calibration

1. 서론

3차원의 실세계에 대한 정확한 구조 복원은 가상현실 및 컴퓨터 그래픽스의 장면 표현, 문화재 복원과 같은 디지털 콘텐츠 구축 등 많은 응용 분야에서 필요한 요소 기술로서 그 중요성이 더욱 더 커지고 있다. 전통적으로 기하학적 기반의 3차원 모델링 기법을 사용하여 실세계를 표현하지만, 대상 장면의 규모와 복잡성이 클 경우 많은 시간적, 인적 비용이 소요되며, 사진과 같은 수준의 사실성과 상세한 모델을 표현하기에는 많은 한

· 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-10741-0) 지원으로 수행되었음

† 비 회 원 : 경북대학교 컴퓨터공학과
Khjang@vr.knu.ac.kr

** 비 회 원 : 동서대학교 디지털vr학과 교수
pedalee@hotmail.com

*** 종신회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과 교수
skjung@knu.ac.kr

논문접수 : 2004년 5월 18일

심사완료 : 2004년 9월 13일

계를 지니고 있다. 기하학적 모델링의 대안으로 나타난 영상 기반 모델링기법은 실세계를 포착한 영상 열을 사용하여 장면을 표현하기 때문에 보다 사실적인 구조 복원이 가능하다는 이점을 지닌다. 그러나 이 경우 매우 정확한 카메라 보정이 선행되어야 한다.

전통적인 카메라 보정 기법[1-3]은 보정 물체라 불리는 알려진 3차원 정보를 이용하여 카메라의 파라미터를 추정한다. 그러나 많은 실 환경에서 보정 물체를 사용하는 것은 어려움이 있다. 이에 대한 대안으로 등장한 모션을 통한 구조 복원 기법[4-6]은 보정 물체 없이 영상 열 간의 특징 정보의 대응 관계를 통해 얻어진 카메라 간의 모션에 대한 정보와 장면의 기하 모델을 동시에 추정함으로써 3차원의 구조를 복원한다. 이 경우 영상 열 내의 특징 정보에 대한 정확한 대응 관계 설정이 필수적이다. 많은 실세계에 존재하는 물체들은 복잡한 기하 형태와 현란한 컬러를 포함하는 경우가 많으므로 (그림 1 참조), 신뢰할만한 대응 관계를 결정하는 것은 쉽지 않은 문제이다. 이러한 어려움을 극복하기 위한 방안 중 모션과 구조 문제의 분리는 하나의 효과적인 대안이 될 수 있다.

장면 속에 포함된 암묵적인 3차원 정보인 소실점의 정보는 카메라의 모션을 추정하기 위한 효과적인 방법 중 하나로 많이 사용되고 있다[7-10]. 그러나 일반적인 장면 속에 이러한 소실점의 정보가 항상 포함되어 있다고 보장할 수 없다. 특히 인간이 만든 서양식 구조물을 제외하고는 거의 모든 물체는 라인과 평면의 직교성과 평행성 등의 기하적 특성을 지니지 않는다. 본 논문에서는 이러한 내재된 기하학적 단서가 없는 장면일지라도

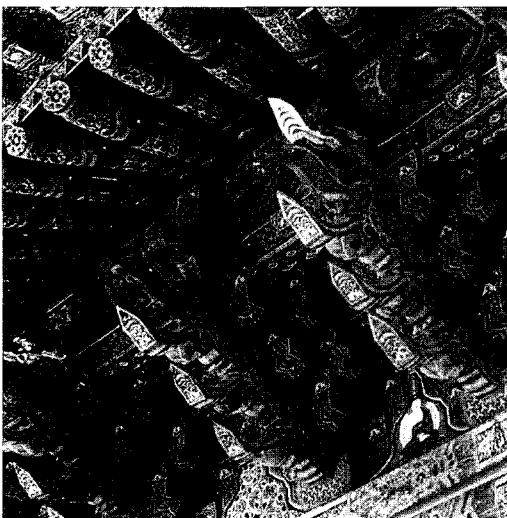


그림 1 복잡한 기하 형태와 현란한 컬러를 포함한 물체의 예

소실점을 사용하여 카메라를 보정하고, 이를 이용하여 3차원의 구조를 복원하는 새로운 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전체적인 시스템 구조와 관련연구에 대해 살펴본다. 3장에서는 두 개의 직교 소실점의 집합을 이용한 카메라의 내, 외부 보정방법을 살펴본다. 4장에서는 3장에서 추정한 카메라 보정 결과를 초기치로 하여 영상 간의 코너 대응점을 통해 추출된 카메라 파라미터를 재 보정하기 위한 방법과 5장에서는 여러 장의 보정된 영상 열로부터 조밀한 깊이 맵을 추출하는 과정을 살펴본다. 6장에서는 실험 결과 및 분석을 살펴보고, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 시스템 구조

Gluckman과 Nayer[11]는 하나의 보정된 카메라와 두 개의 보정된 거울로 이루어진 스테레오 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 두 개의 거울에 대한 법선 벡터와, 카메라의 투영 중심점과 거울 평면 간의 거리로부터 가상 카메라의 위치와 방향 성분을 추정한다. 가상 카메라의 정보를 통해 영상 간의 에피폴라 제약 조건을 얻을 수 있으며, 이를 통해 얻어진 대응점으로부터 3차원의 정보를 추출할 수 있다. 그러나 이 시스템은 두 개의 거울과 하나의 카메라가 고정된 시스템으로 구조 복원을 위한 시야 영역이 제한된다는 단점과 정확히 거울과 카메라 간의 위치 관계를 유지해야 한다는 제약 사항을 지니고 있다.

본 논문은 Gluckman의 시스템으로부터 내재된 기하학적 단서가 없는 실세계에 대하여 소실점 정보를 이용하여 3차원 구조 복원이 가능한 시스템의 단서를 얻었다. 본 논문에서는 Gluckman의 시스템이 갖는 하나의 보정된 고정 카메라와 두 개의 보정된 고정 거울 대신 하나의 보정되지 않은 고정 카메라와 하나의 보정되지 않은 움직이는 평면거울을 사용하였다.

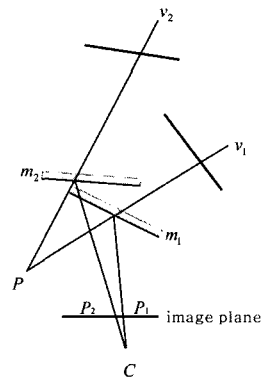


그림 2 움직이는 평면거울 기반의 3차원 물체 복원 시스템

모바일 환경을 위한 Java-to-C 컴파일러 구조

한영선^o 박인호 황석중 김선욱

고려대학교 전자컴퓨터공학과

고급 컴퓨터 시스템 및 컴파일러 연구실

{youngsun^o, htiiil, nzthing, seon}@korea.ac.kr

Youngsun Han^o, Inho Park, Seokjoong Hwang, Seon Wook Kim

The Structure of Java-to-C Compiler for Mobile Computing Environment

Advanced Computer Systems and Compiler Laboratory
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Korea University

Abstract

Java's performance is sometimes not acceptable due to interpretation overhead by the Java Virtual Machine (JVM). In this paper, we present a compiler structure of Java-to-C translator for high performance on resource limited environment like mobile devices. Our compiler framework translates Java into C codes to preserve Java's programming semantics such as inheritance, method overloading, virtual method invocation, and so on. Also our compiler fully supports Connected Limited Device Configuration (CLDC) 1.0 API's. We show that our compiler improves the speedup by up to eleven times more than JVM-only execution in measured benchmarks.

1. Introduction

Despite of the distinguished advantages over other programming languages, there are two shortcomings to use Java, i.e, the size of Java virtual machines and performance limitation due to interpretation. In order to alleviate the performance problem, many methods have been proposed, and such as just-in-time (JIT) compiler and ahead-of-time compiler.

In this paper, we introduce a Java-to-C compiler for high performance on resource limited environment like mobile platforms[1,2]. There are two closely related works in area of Java-to-C translation[3,4]. Toba[3] is a system to generate standalone Java application which were targeted for JDK 1.1. It has a bytecode-to-C translator and additional runtime libraries to support garbage collection, thread management and Java API. In [4], the Java-through-C compilation system for embedded systems has been developed. There are the following differences between our Java-to-C compiler and the others.

During execution of Java application, the mobile system will make serious efforts to dynamically allocate memory for Java object and array structures. When we try to allocate an multi-dimensional array formatted as 10 rows and 10 columns of integer data. While an 100-sized memory block of integer type will be allocated at one time in C program

by linearization, several steps will required for Java program. To resolve the problem, our Java-to-C compiler performs profiling to find if the memory block can be allocated statically. If the size of the block can be determined during profiling at program analysis, it will allocate a memory block for a Java object or an array structures statically.

The exception handling is a helpful function to develop Java application. It makes easy to correct errors that were generated at runtime. Some bytecodes are specified in Java language specification to throw exceptions when a certain conditions are satisfied. But, the function is not always necessary. If we assume that a Java application will never throw any exceptions during execution, we will know that the exception handling is unnecessary overhead. Our flexible code generation framework generates different codes according to the execution environment.

2. Structure of Java-to-C Compiler

2.1 Overall Architecture

Our Java-to-C compiler is organized into four components: a class file reader, a bytecode-to-C translator, an application manager, runtime libraries. Figure 1 represents structure of the compiler.

과 두 개의 직교 소실점을 이은 벡터의 외적을 통해 추정된다. 두 개의 직교 소실점과 법선 벡터를 통해 카메라의 회전 매트릭스 R 이 정의된다. 또한 알려진 거울 평면상에 존재하는 두 개의 마커 사이의 거리를 통해 카메라와 거울 평면 간의 이동 벡터 $\vec{t}=(t_x, t_y, t_z)$ 는 Guillou[9]의 방법을 통해 구할 수 있으며, 거울 평면으로부터 카메라까지의 거리는 이동벡터와 거울의 법선 벡터의 내적, 즉 $d_i = n_x t_x + n_y t_y + n_z t_z$ 로 정의된다.

Gluckman [11]의 방법을 통해 두 개의 가상 카메라 간의 변환 D 를 구할 수 있다. 카메라 중심 O 에 대한 각각의 가상 카메라의 시점은 $v = D_i O$ 로 정의된다. 여기에서 D_i 는 반사 변환(reflection transformation)이며, 카메라의 시점과 각각의 거울에 대한 반사 변환을 통해 두 개의 가상 카메라 간의 변환은 식 (5)와 같이 정의된다.

$$D_{ii} = D_i D_i^{-1} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

이 때, 거울을 법선 벡터와 카메라의 중심으로부터 측정된 거리로 표현할 경우, 거울의 반사 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$D_i = \begin{bmatrix} I - 2 \frac{\vec{n}_i \vec{n}_i^T}{\vec{n}_i^T \vec{n}_i} & 2 d_i \frac{\vec{n}_i}{\vec{n}_i^T \vec{n}_i} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

그러므로 식 (5)의 두 가상 카메라의 관계를 나타내는 변환 행렬 D 는 각 영상의 소실점 측정을 통해 얻어진 법선 벡터 \vec{n}_i 와 카메라와 거울 평면 사이의 거리 d_i 로부터 계산된다.

4. 카메라 파라미터의 재 보정

거울에 부착한 마커를 통해 얻어진 소실점의 측정 오차로 인하여 식 (5)를 통해 계산되었던 가상 카메라의 위치는 부정확하다. 그러므로 구해진 초기의 가상 카메라 위치를 재 보정하기 위한 방법이 필요하다. 이를 위해 본 장에서는 에피폴라 제약구조와 두 개의 인접한 영상 열 사이의 대응점을 이용하여 초기 가상 카메라의 위치를 재 보정하는 방법을 살펴본다.

일반적으로 특징점의 대응관계를 구하기 위하여 대응점 간의 주위 킬러 정보의 유사도와 주위에 존재하는 다른 대응점과의 거리의 근접을 사용한다. 서론에서 밝힌 바와 같이 복잡한 외형과 현란한 킬러를 지닌 물체의 경우 이러한 성질을 통해 대응 관계를 결정하기는 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 앞 장에서 추정한 카메라의 위치와 방향 정보를 초기치로 이용하여 구해진 에피폴라 제약을 통해 대응 관계를 검색하는 공간을 제약시킴으로써 보다 정확한 대응관계를 구한다. 에피폴라 제약은 다음 식과 같이 정의된다.

$$F = K^{-T} R_x [t] K^T \quad (7)$$

각 영상에서의 대응점 p_i 와 p_j 에 대한 에피폴라 라인 은 각각 $l_{ij} = (a_i, b_i, c_i) = F p_i$ 와 $l_{ji} = (a_j, b_j, c_j) = F p_j$ 로 주어진다. 에피폴라 라인을 기준으로 주위 킬러 정보의 유사도와 에피폴라 라인과 대응점과의 거리의 근접함을 이용하여 대응 관계를 결정할 수 있다.

그러나 에피폴라 라인 상에서의 1차원 탐색만으로는 전체 영상에 존재하는 모든 특징점에 대한 정확한 대응 관계를 보장할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 또 다른 제약 조건으로 불일치(disparity)의 연속성을 사용한다 [12]. 복원하고자 하는 물체의 표면이 불투명하고 매끄럽다고 가정하였을 경우, 대응점 간의 불일치는 주어진 영상의 대부분의 영역에서 연속적인 변화를 보인다. 광학 흐름의 각과 크기의 유사성을 이용하여 잘못 설정된 대응관계인 이상치(outlier)에 대한 제거가 가능하다.

불일치의 연속성의 제약 조건을 통해 이상치를 제거한 후 남아있는 대응점을 $p_i = (x_i, y_i, 1)$ 와 $p_j = (x_j, y_j, 1)$ 라 할 때 두 점 사이의 기하학적 에러는 다음과 같다.

$$E = \left(\frac{1}{l_{ix}^2 + l_{iy}^2} + \frac{1}{l_{jx}^2 + l_{jy}^2} \right) (p_j^T F p_i)^2. \quad (8)$$

모든 가상 카메라의 외부 파라미터에 대해 최적화된 해를 구하기 위해 Levenberg-Marquardt (LM) 기법을 사용하여 다음의 목적 함수를 최소화되게 하는 \vec{n} 와 d_i 를 구해낸다.

$$\Lambda(\vec{n}_1, d_1, \dots, \vec{n}_n, d_n) =$$

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^{C_{ij}} \left(\frac{1}{l_{ix}^2 + l_{iy}^2} + \frac{1}{l_{jx}^2 + l_{jy}^2} \right) (p_{jk}^T F p_{ik})^2. \quad (9)$$

여기에서 N 과 C_{ij} 는 각각 영상의 수와 i 번째 영상과 j 번째 영상 사이의 대응점의 수를 의미한다.

5. 보정된 영상 열을 이용한 조밀한 깊이 맵의 생성

본 장에서는 다중 가상 카메라의 보정 결과로부터 3차원 구조 복원을 위한 방법을 살펴본다. 영상열의 모든 시점에 대한 보정 정보가 주어졌을 때, 조밀한 불일치 정합을 통해 영상 간의 화소 단위로 대응점을 구할 수 있다. 보다 정확한 정합을 구하기 위해서는 먼저 영상들을 교정할 필요가 있다. 교정기법은 영상들 간의 에피폴라 라인이 수평방향에 놓이도록 영상을 와핑하는 기법으로 이를 통해 보다 손쉽게 모든 화소에 대해 영상간의 대응 관계를 설정할 수 있다. 그러나 전통적인 교정기법 [13]은 에피폴라(epipole)이 영상 내에 존재할 경우 너무 큰 영상으로 본 영상을 변환시킨다는 문제점을 가

지고 있다. 이러한 문제를 피하기 위해 본 논문에서는 Pollefe의 교정기법 [14]을 사용한다. Pollefe의 교정 기법은 에피폴의 위치에 상관없이 영상의 크기를 본 영상과 최대한 가깝도록 보장해 준다.

근접한 영상 열에 대해 교정된 영상들 사이의 영상 간 대응관계로부터 불일치를 측정할 수 있고, 이를 이용하여 두 영상 간에 상대적인 깊이 맵을 구할 수 있다. 공통된 3차원 좌표계에 각각 독립적으로 추정된 깊이 맵을 통합하기 위해 대응 결합 알고리즘(correspondence linking algorithm)[14]을 사용한다. 깊이 맵을 통합하기 위한 결합 과정은 영상열 사이의 대응 체인을 반복적으로 생성함으로써 이루어진다. 각각의 대응 관계의 통합 과정은 N 개의 영상 열에 대해 $2(N-1)$ 개의 불일치맵의 연산을 통해 결정된다.

교정사상으로 인해 변환된 영상의 점들은 정확한 픽셀 단위의 정수값이 아니다. 따라서 부드러운 불일치 맵을 구하기 위하여 쌍선형 보간법을 사용하여 불일치를 보정한다.

6. 실험 결과

구현 환경은 펜티엄III, 850Hz의 CPU와 521MB의 메모리를 가진 PC에서 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 먼저 제안한 카메라 내부 파라미터 보정 알고리즘의 정확도를 측정하기 위하여 두 개의 실사 장면과 한 개의 가상의 장면으로부터 포착한 영상 열을 사용하였다. 가상의 환경(표 1의 A)은 3D Studio Max를 사용하여 384x288의 크기를 가진 영상을 포착하였으며, 실사 환경(표 1의 B, C)은 SONY TRV310 디지털 캠코더를 이용하여 640x480 크기의 영상을 포착하였다. 소실점은 이동 모션에 불변의 특성을 지니고 있으므로 교정된 장면에 대해 카메라의 회전 모션으로 포착한 영상 열을 사용하였다. 두 개의 테스트 데이터(A, B)의 장면은 세 개의 직교 소실점을 포함한 장면으로 그 중 두 개의 소실점을 이용하여 제안한 알고리즘에 적용시켰다. 나머지 테스트 데이터 C는 두 개의 직교 소실점을 포함한 장면이다. 세 개의 직교 소실점이 포함된 장면을 사용한 이유는 세 개의 직교 소실점을 이용하여 카메라 내부 파라미터를 추출한 기존 연구[7]와 비교하기 위해서이다. 또한 가상의 장면에 대한 실험은 정확해 (ground truth)를 통해 세 개의 소실점을 사용한 이전 연구와 본 논문에서 제안한 알고리즘을 비교하기 위함이다. 프레임 간 소실점의 대응 관계는 동적 모션 모델을 사용한 간단한 예측 알고리즘을 사용하여 자동으로 추정할 수 있다. 표 1과 같이 제안한 방법의 평균 에러는 약 0.6 픽셀이며, Caprile의 평균 에러는 4.25 픽셀이다. 다른 장면을 통한 실험에서도 1 픽셀 이하의 근사한 결과를 나타냈다.

또한, 제안하는 방법은 Caprile와 Torre의 방법과 달리 두 개의 직교 소실점만 존재하는 환경에서도 카메라의 내부 파라미터를 효율적으로 계산해 낼 수 있다.

표 1 주점 측정의 비교, Caprile와 Torre [7]의 경우 주점을 추정하기 위해 삼각형의 중심(orthocenter)을 사용

| | Caprile [7] | 제안한 방법 | Ground truth |
|--------------|----------------|----------------|--------------|
| A 384x288 | (187.9, 139.6) | (191.2, 144.4) | (192, 144) |
| B 640x480 | (322.1, 234.9) | (320.4, 236.3) | n/a |
| C 640x480 | n/a | (321.0,236.3) | n/a |

제안한 카메라 외부 파라미터 추정 기법의 정확도를 입증하기 위해 표 2와 같이 대응점 간의 에러를 비교하였다. 실험을 위해 640x480의 해상도를 가진 25개의 영상 열을 사용하였다. 영상의 수와 대응점의 수가 증가할수록 카메라 외부 파라미터의 정확도가 향상됨을 확인할 수 있다. 그러나 16, 18개의 영상을 사용한 경우에서 확인할 수 있듯, 다중 뷰 정합에서 에러가 증가하는 경우도 발생한다. 이 경우는 잘못 구해진 영상의 추가로 발생하는 에러로 영상열의 증가가 반드시 좋은 결과를 보장하지는 않음을 알 수 있다. 이러한 결과를 보이는 영상에 대해서는 다중 뷰 합성 과정에서 제외시킴으로써 보다 나은 결과를 얻을 수 있다.

표 2 카메라 외부 파라미터 추출 결과 비교. (a) 소실점의 정보만을 이용한 초기 외부 파라미터 추정 결과 (3장), (b) 불일치의 연속성을 사용하여 재보정한 외부 파라미터 추정 결과, (c) LM 방법을 사용하여 재보정한 외부 파라미터 추정 결과

| 영상 수 | 대응점 수 | | | 평균 에러 | | |
|------|-------|-----|-----|-------|------|------|
| | (a) | (b) | (c) | (a) | (b) | (c) |
| 4 | 92 | 81 | 81 | 15.27 | 4.12 | 0.62 |
| 6 | 132 | 118 | 118 | 17.24 | 4.68 | 0.54 |
| 8 | 204 | 171 | 171 | 15.32 | 4.55 | 0.41 |
| 10 | 226 | 190 | 190 | 15.79 | 4.57 | 0.40 |
| 12 | 247 | 205 | 205 | 16.34 | 3.99 | 0.38 |
| 14 | 263 | 214 | 214 | 15.23 | 3.98 | 0.36 |
| 16 | 314 | 235 | 235 | 15.11 | 3.72 | 0.37 |
| 18 | 338 | 252 | 252 | 14.29 | 3.73 | 0.36 |
| 20 | 362 | 286 | 286 | 15.22 | 3.74 | 0.35 |

3차원 구조 복원을 위한 대상으로 한국 전통 절의 지붕 문양을 사용하였다. 그림 4는 실험에 사용한 영상 열의 일부이다.

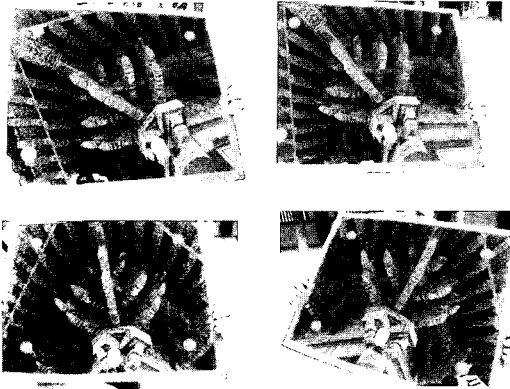


그림 4 입력 영상열

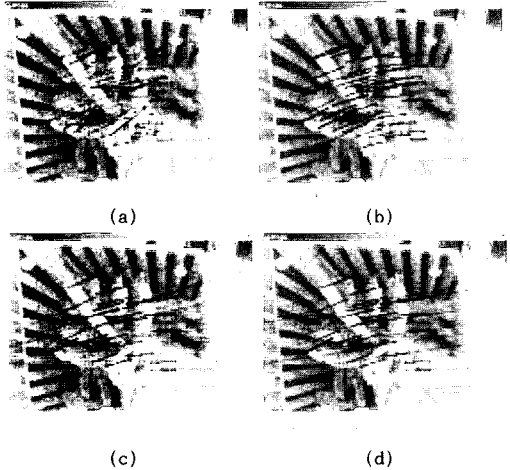


그림 5 카메라 파라미터의 재 보정 결과, (a) 소실점을 이용하여 구한 가상 카메라의 파라미터를 초기치로 하여 구한 영상간 특징점의 대응 관계, (b) 불일치의 연속성을 이용하여 보정한 영상 간 특징점의 대응 관계, (c) (b)의 결과로 추출한 대응점을 이용하여 구한 에피폴라 라인, (d) LM 방법을 통해 최적화된 에피폴라 라인

그림 5는 카메라 파라미터의 재 보정 결과이다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 소실점을 통해 획득한 카메라 외부 파라미터를 이용하여 영상 간의 대응점을 추정할 결과 불일치의 연속성이 보장되지 않는 이상치들이 다수 존재함을 확인할 수 있다. 그림 5(b)는 불일치의 연속성의 제약 조건을 사용하여 이를 보정한 결과이다. 그림 5(b)의 결과로 추출한 대응점을 이용하여 카메라 외부 파라미터를 보정하고, 이를 이용하여 에피폴라 라인을 구한 경우 그림 5(c)와 같이 대응점이 에피폴라 라인 상에 존재하지 않는 경우가 발생한다. LM 방법을 통해

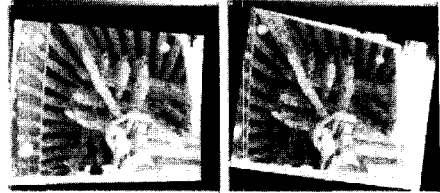


그림 6 Pollefe의 교정 기법 [14]을 사용하여 외평한 영상열

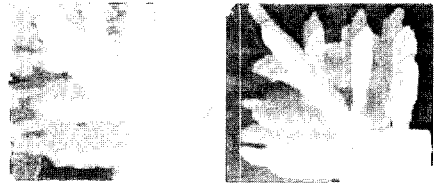


그림 7 두 개와 다섯 개의 영상으로부터 추출한 깊이 맵(dark=far, light=near)



그림 8 텍스처 매핑을 거친 물체 복원 결과

전역적인 최적화를 거치면 그림 5(d)와 같이 신뢰할 만한 대응관계를 가진 카메라 외부 파라미터의 보정이 가능함을 확인할 수 있다.

그림 6은 4장에서 언급한 바와 같이 조밀한 깊이 맵을 생성하기 위해 Pollefe의 교정기법을 통해 외평된 영상 열에 대한 결과이다. 결과에서 보는 바와 같이 본 영상의 크기와 유사한 크기의 영상으로 외평되었음을 확인할 수 있다.

그림 7은 두 개의 영상과 다섯 개의 영상으로부터 구한 깊이 맵의 결과이다. 두 개의 영상으로부터 구한 깊이 맵의 흰 부분은 가려짐등으로 인하여 발생한 구멍(hole)의 예로서 다섯 개의 영상의 관계에서 추출한 깊이 맵에서는 대부분 사라짐을 볼 수 있다.

그림 8은 그림 4의 입력 영상을 사용하여 얻은 물체

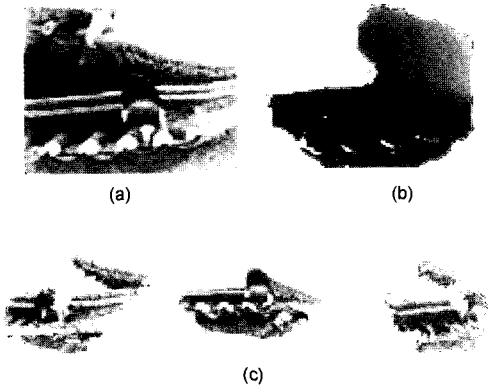


그림 9 기와지붕에 대한 복원 결과, (a) 입력 거울 영상, (b) 추정된 깊이 맵 (dark = near, light = far), (c) 다양한 시점에서 바라본 복원 결과

복원의 결과이다. 그림 9는 기와 지붕을 대상으로 촬영한 또 다른 입력 영상에 대한 실험 결과이다.

본 실험에서 사용한 동양의 전통 건물의 경우, 구조 복원 결과에 대한 정확도의 입증에 쉽지가 않다. 하지만, 복원된 결과와 실제 물체의 상대적인 크기의 비율은 일정하므로, 실제 물체의 거리를 이용하여 복원 결과의 정확도를 측정할 수 있다. 이러한 비교를 위해 실제 물체로부터 27개의 실제 직선거리를 측정하여 대응하는 복원된 모델의 직선에 대한 거리를 비교하였다. 실험 결과 6.1%의 표준편차에 평균 46.27의 일정한 스케일 비율을 지니고 있었다.

7. 결론 및 논의

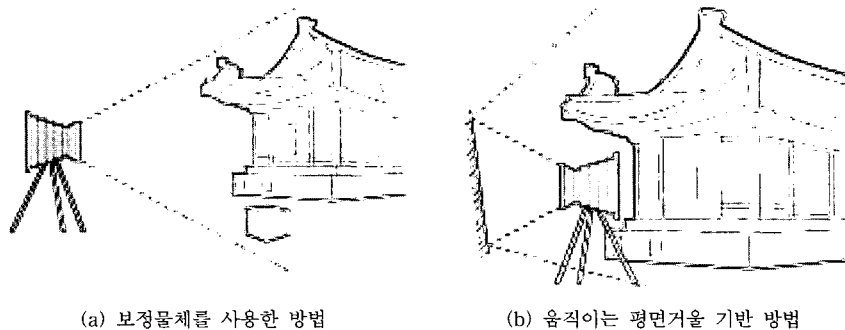
본 논문에서는 고정된 하나의 카메라와 하나의 움직이는 평면거울을 이용하여 얻어진 보정되지 않은 영상들의 입력으로부터 3차원 구조를 복원하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 거울에 부착된 마커를 통해 두 개의 직교 소실점의 집합을 추출하여 카메라의

내, 외부 파라미터를 효율적으로 보정하였다. 또한 정확한 외부 카메라 파라미터의 재 보정을 위해 에피플라 제약조건과 불일치의 연속성에 관한 제약조건을 사용하였으며, 전역적인 최적화를 위해 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 사용하였다. 다양한 실험 결과 본 논문에서 제안한 방법을 통해 전통적인 모션에 의하 구조 복원기법을 통해 복원하기 힘든 복잡하고 현란한 물체에 대해 정확하고 안정적인 3차원 복원이 가능함을 확인할 수 있었다.

제안한 방법은 보정 물체를 사용한 전통적인 카메라 보정 기법과는 흡사 유사해 보일 수 있다. 그러나 몇 가지 점에서 기존의 방법과 근본적인 차이점을 지니며, 더 나은 이점을 지니고 있다. 먼저 보정 물체를 사용하였을 경우 카메라의 파라미터는 보정 물체의 알려진 3차원 정보를 이용하여 추정하게 된다. 이 경우 보정 물체는 장면에 고정되어 있어야 하며 또한 항상 장면 속에 포함되어 있어야 하므로, 다른 시점으로부터 영상 열을 계속하여 포착하기 위해서는 보정 물체를 중심으로 영상을 촬영해야 한다. 이 경우 바닥에 맞닿아 있지 않은 공중의 물체에 대한 촬영 시, 보정 물체를 장면에 포함시키기 위해 아주 먼 거리에서 촬영이 진행될 수밖에 없다(그림 10(a) 참조). 그러나 본 논문에서 제안한 거울을 사용한 방법의 경우 고정된 카메라에 대해 움직이는 거울을 사용한다. 이 경우 관심 물체의 위치에 관계없이, 예를 들어 대상 물체가 공중에 있다하더라도 손쉽게 관심 물체 중심의 영상을 포착할 수 있다는 장점과 거울의 작은 움직임에도 넓은 베이스 라인(baseline)을 가지는 영상을 포착할 수 있다는 장점을 지닌다(그림 10(b) 참조).

참고 문헌

[1] O. Faugeras and G. Toscani, "Camera Calibration for 3D Computer Vision," Proc. International Workshop on Industrial Applications of Machine



(a) 보정물체를 사용한 방법

(b) 움직이는 평면거울 기반 방법

그림 10 카메라 보정 방법 비교

- Vision and Machine Intelligence, pp.240-247, 1987.
- [2] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, Computer and Robot Vision, vol.2, Addison-Wesley, 1993.
- [3] R. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology using Off-the-shell TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.3, pp.323-344, 1987.
- [4] P. Beardsley, A. Zisserman and D. Murray, "Sequential Updating of Projective and Affine Structure from Motion," International Journal of Computer Vision, 23(3), pp. 235-259, 1997.
- [5] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2000.
- [6] M. Pollefeys, R. Koch and L. Van Gool, "Self-calibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters," International Conference on Computer Vision, pp.90-95, 1998.
- [7] B. Caprile and V. Torre, "Using Vanishing points For Camera Calibration," International Journal of Computer Vision, pp. 127-140, 1990.
- [8] R. Cipollar, T. Drummond and D.P. Robertson, "Camera Calibration from Vanishing Points in Images of Architectural Scenes," Proc. British Machine Vision Conference, pp. 382-391, 1999.
- [9] E. Guillou, D. Meneveaux, E. Maisel and K. Bouatouch, "Using Vanishing Points for Camera Calibration and Coarse 3D Reconstruction from A Single Image," The Visual Computer, pp. 396-410, 2000.
- [10] D. Liebowitz, A. Criminisi and A. Zisserman, "Creating Architectural Models from Images," Computer Graphics Forum, 18(3), pp. 39-50, 1999.
- [11] J. Gluckman and S.K. Nayar, "Planar catadioptric stereo: geometry and calibration," Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition," 1999.
- [12] E. W. Weisstein, "Thales Theorem," mathworld.wolfram.com, Wolfram Research, Inc., 1999.
- [13] N. Ayache and C. Hansen, "Rectification of images for binocular and trinocular stereovision," Proc. International Conference on Pattern Recognition, pp.11-16, 1988.
- [14] M. Pollefeys, "3D Modeling from Images," tutorial notes, European Conference on Computer Vision, 2000.



장 경 호

1998년 경성대학교 전자계산학과 졸업(이학사). 2000년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업(공학석사). 2000년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 중 관심분야는 Image-Based Modeling and Rendering, Computer Vision, Virtual Reality, Computer Graphics.



이 동 훈

1999년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 2001년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업(공학석사). 2003년 경북대학교 컴퓨터공학과 박사 수료. 2004년 9월~현재 동서대학교 디지털vr학과 전임 강사. 관심분야는 Image-Based Modeling and Rendering, Computer Vision, Virtual Reality.



정 순 기

1990년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학사). 1992년 한국과학기술원 전산학과(이학석사). 1997년 한국과학기술원 전산학과(공학박사). 1997년~1998년 University of Maryland, Research Associate. 2001년~2002년 IRIS, University of Southern California, Research Associate. 1998년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 부교수. 1999년~현재 (주) 아이디스 기술고문. 관심분야는 Virtual Reality, Artificial Intelligence, Computer Vision, Image Processing, Computer Graphics.