

## 3차원 복원을 위한 컴퓨터 비전 기술

박순용\* · 백승해\*\* · 최성인\*\*\*

### 1. 서 론

카메라로 획득한 영상(image)으로부터 물체의 3차원 형상(shape)을 추출하고자 하는 연구는 컴퓨터 비전 (Computer Vision)에서 가장 관심이 높은 분야의 하나이다. 일반적으로 카메라 영상은 2차원 정보만을 가지고 있기 때문에 물체의 3차원 정보를 추출하는 것은 단순히 1차원의 차이가 아닌 상당히 어려운 컴퓨터 비전의 문제이다. 하나의 카메라 영상에서 3차원 정보를 추출하는 것은 이론적으로는 불가능하며, 일반적으로 두 장 이상의 영상을 사용하거나 새로운 광원(light source)을 이용하여 인위적인 패턴(pattern)을 물체 표면에 투사(projection)하는 방법, 또는 카메라 렌즈계(lens system)의 기하특성을 활용하는 등의 기술을 사용하고 있다. 이러한 컴퓨터 비전 기술을 3차원 복원 (3-Dimensional reconstruction) 기술이라 한다.

3차원 복원 기술은 크게 능동형과 수동형 기술로 나눌 수 있다. 능동형 기술은 인위적인 광원을

물체에 투사하고 카메라로 그 영상을 획득한다. 투사된 광원이 물체의 형상에 따라 변형되는 패턴을 영상에서 분석하여 물체의 3차원 형상을 복원한다. 컴퓨터 비전에서 대표적으로 사용되는 기술로 레이저 삼각법 (laser triangulation)이나 구조광 방식 (structured light)을 들 수 있다. 레이저 삼각법은 물체 표면에 투사된 점(point) 또는 직선 (line) 레이저의 패턴을 추출하고, 카메라와 레이저 광원의 기하관계를 이용하여 패턴까지의 3차원 거리를 구하는 방법이다. 구조광 방식은 레이저 삼각법과 동일한 원리를 사용하지만 레이저 광원이 점 또는 직선만의 패턴을 사용할 수 없는 것에 비하여 2차원 패턴을 투사할 수 있는 디지털 프로젝터를 광원으로 사용한다. 따라서 투사된 광원의 패턴을 카메라에서 구분하도록 하기 위하여 코드(code)화된 구조광을 사용한다. 구조광 방식은 레이저 삼각법에 비하여 빠른 시간에 3차원 형상을 추출할 수 있는 장점이 있다.

수동형 3차원 복원 기술은 인위적인 광원을 사용하지 않는 방법이다. 대표적인 기술로 스테레오 비전 (stereo vision)을 들 수 있다. 스테레오 비전은 사람의 눈과 같이 두 대의 카메라를 이용하여 물체의 영상을 획득한다. 두 카메라가 동일한 위치에서 영상을 획득하지 않은 이상 두 영상 사이에는 시차 (disparity)가 존재하고 물체의 거리는

\* 교신저자(Corresponding Author) : 박순용, 주소 : 대구시 북구 산격동 1370번지(702-701), 전화 : 053)950-7575, FAX : 053)950-4846, E-mail : sypark@knu.ac.kr

\* 경북대학교 컴퓨터공학과 조교수

\*\* 경북대학교 전기전자컴퓨터학부

(E-mail : eardrops@vision.knu.ac.kr)

\*\*\* 경북대학교 전기전자컴퓨터학부

(E-mail : ellim5th@naver.com)

시차의 함수가 된다. 따라서 동일한 물체가 스테레오 영상에 투영(projection)된 위치를 알 수 있다면 스테레오 기하관계를 이용하여 물체의 거리를 계산할 수 있다. 스테레오 비전 기술이 최소한 2장의 영상을 필요로 한다면, 카메라의 움직임을 이용하는 모션 방식 (shape from motion)은 더 많은 수의 영상을 필요로 한다. 카메라가 이동하면 획득한 영상에서는 물체의 거리에 따라 투영된 물체의 변위가 달라지고 이러한 특성을 이용하여 거리를 구할 수 있다. 표 1에서는 3차원 복원의 대표적 기술을 능동형과 수동형으로 분류하여 보여주고 있다.

본고의 2절과 3절에서는 능동형 3차원 복원 기술과 수동형 3차원 복원 기술 중에서 대표적인 몇 가지 기술들을 소개한다. 4절에서는 다시점 3

차원 복원 기술에 대하여 기술한다. 3차원 복원은 일반적으로 고정된 시점(view point)에서 획득한 영상을 이용한다. 따라서 물체의 일부분의 형상만을 획득할 수밖에 없다. 물체의 모든 표면에 대한 형상을 추출하기 위해서는 다수의 시점에서 3차원 형상을 추출하고 이들을 합성하여야한다. 이러한 작업을 다시점(multi-view) 3차원 복원이라 하며 4절에서 그 기술을 소개한다. 그리고 5절에서 결론을 맺는다.

## 2. 능동형 3차원 복원 기술

### 2.1 레이저 삼각법

레이저는 단색(single color)광원이며 매우 높은 직진성을 가지기 때문에 에너지밀도가 높아 그

표 1. 3차원 복원 기술

	복원기술명	기본원리	장점	단점	최소 영상수	평균 영상수
능동형 기술	레이저 삼각법 (laser triangulation)	레이저광원과 카메라의 기하관계 이용하여 투사된 레이저 패턴의 3차원 좌표를 계산	정밀도가 가장 높음	점,선의 복원에 국한	1	1
	구조광 방식 (structured light)	프로젝터에서 투사된 패턴을 카메라로 획득하고 패턴의 고유값을 계산	복원영역이 넓음	프로젝터 광원 필요	1	3~8
	간섭무늬 방식 (interferometry)	서로 다른 위상의 레이저의 간섭 무늬를 사용	정확성 높음	광원의 잡음에 약함	1	2~3
수동형 기술	스테레오 비전 (stereo vision)	두 장의 영상에서 동일한 물체의 영상점을 탐색	두장의영상을 사용	정합점 탐색이 어려움	2	2
	초점/비초점 방식 (shape from focus/defocus)	영상의 흐려진 정도를 렌즈방정식을 이용하여 거리 계산	물체가려짐 문제 없음	광학특성의존성이 너무 높음	2	> 2
	실루엣 방식 (shape from silhouettes)	물체가 투영된 윤곽선으로부터 3차원 형상을 복원	단순한 알고리즘 적용	정밀도 낮음	1	> 10
	그림자 방식 (shape from shading)	광원이 물체의 표면에 투사된 각도에 따라 변하는 그림자 정보를 이용	1장의 영상 사용가능	거리측정 잡음이 많음	1	> 1
	모션 방식 (shape from motion)	카메라가 이동시 물체의 거리에 따라 영상 내 물체의 이동이 달라짐을 이용	일반적인 비디오영상 사용가능	카메라보정이 어려움	2	> 10

밝기가 주변에 비하여 뚜렷이 구분되는 특징이 있다. 물체에 투사된 레이저의 영상은 컬러 정보를 이용하여 레이저의 색상을 추출하기에 용이하여 컴퓨터 비전 연구에 많이 사용되고 있다. 레이저 광원은 하나의 점광원이지만 실린더 형태의 렌즈를 투과시켜 라인(line) 레이저 형태로 3차원 복원에 주로 사용한다. 여기서 라인 레이저를 이용한 3차원 복원에 대한 기본적인 원리를 소개한다.

그림 1은 레이저 삼각법을 이용하여 물체의 한 점  $\vec{x}$ 를 구하기 위한 기하관계를 보여주고 있다. 라인 레이저가 투사하는 빛을 3차원 공간상의 평면  $\vec{n}$ 으로 간주할 때, 레이저 평면과 카메라 중심으로부터 CCD에 맺힌 레이저의 한 점 사이의 레이(ray) 벡터  $\vec{r}$ 의 연장선과 만나는 점이 물체의 점  $\vec{x}$ 가 된다. 이 때 레이저 평면에서 우리가 알고 있는 다른 한 점을  $\vec{a}$ 라고 하면 물체와 레이저가 만나는 점  $\vec{x}$ 의 차 벡터는 레이저 평면위에 있기 때문에 레이저 평면의 법선 벡터와의 내적은 0이 된다.

$$\vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{a}) = 0 \tag{1}$$

월드 좌표계를 기준으로 카메라 중심으로의 벡터를  $\vec{O}_c$ 라 하자. 즉 월드 좌표계상의 물체의 좌표  $\vec{x}$ 는 다음과 같다.

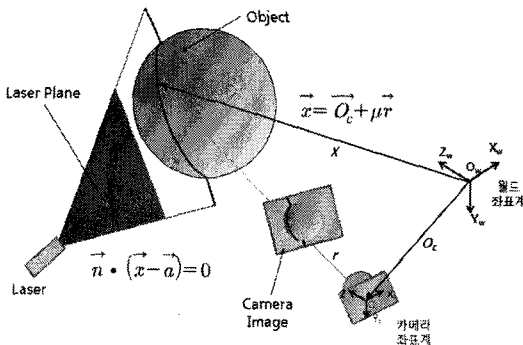


그림 1. 레이저 삼각법의 원리

$$\vec{x} = \vec{O}_c + \mu \vec{r} \tag{2}$$

레이저 평면상에 있는 3개의 점  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ 가 주어진다면, 레이저 평면의 법선 벡터  $\vec{n}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\vec{n} = (\vec{a}_1 - \vec{a}_2) \times (\vec{a}_1 - \vec{a}_3) \tag{3}$$

식(1)에서  $\vec{x}$  대신에 식 (2)를 대입하면

$$\vec{n} \cdot (\vec{O}_c + \mu \vec{r} - \vec{a}) = 0 \tag{4}$$

이 된다. 이를 전개 하면

$$\vec{n} \cdot \vec{O}_c + \mu \vec{n} \cdot \vec{r} - \vec{n} \cdot \vec{a} = 0 \tag{5}$$

이 되고,  $\mu$ 에 관하여 정리하면,

$$\mu = \frac{\vec{n} \cdot \vec{a} - \vec{n} \cdot \vec{O}_c}{\vec{n} \cdot \vec{r}} \tag{6}$$

이 된다. 이를 식 (2)에 대입하면 점  $\vec{x}$ 를 구할 수 있다.

라인 레이저를 이용한 3차원 복원은 레이저 라인상의 영상점들의 좌표만을 계산할 수 있다. 따라서 물체의 전체를 복원하기 위해서는 레이저와 카메라의 위치를 동시에 이동할 수 있는 장치가 있어야 한다. 아래 그림은 라인 레이저를 수평으로 이동하여 물체의 한쪽 방향의 형상을 추출한 결과이다. 모두 100장의 영상을 사용하여 물체의 3차원 형상을 추출하였다.

## 2.2 구조광 방식 3차원 복원

구조광 방식의 3차원 복원은 주로 디지털 프로

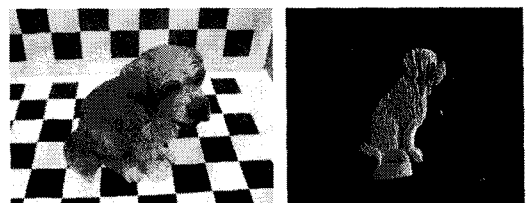


그림 2. 라인레이저를 이용한 3차원 복원 예

젝터를 이용하여 복원하고자 하는 물체의 표면에 구조광을 투사하고 카메라로 투사된 구조광의 영상을 획득하기 때문에 복원 속도가 빠른 장점이 있다. 구조광을 이용한 3차원 스캐닝으로부터 물체의 형상을 복원하기 위해서는 구조광을 투사하는 광원과 카메라 사이의 기하 (geometric) 관계를 알고 있어야 한다. 이를 구조광과 카메라 사이의 보정 (calibration) 이라 한다. 3차원 복원을 위한 카메라와 프로젝터의 보정에서는 디지털 프로젝터를 하나의 역카메라 (inverse camera)로 간주한다. 그림 3에서 프로젝터는 물체 표면위에 패턴을 투사하고 있지만 반대로 물체 표면의 3차원 패턴이 프로젝터의 영상면(image plane)에 투영된 것으로 생각할 수 있다. 즉 프로젝터의 영상면이 마치 카메라의 영상면처럼 3차원 패턴이 프로젝터 영상면으로 투영된 것과 같은 기능을 하는 것으로 간주할 수 있다. 따라서 카메라와 프로젝터의 보정을 두 대의 카메라 보정, 또는 스테레오 카메라 보정으로 간주할 수 있고 기준좌표 (월드좌표)와 카메라 영상과의 관계를 투영변환행렬 (PPM, Perspective Projection Matrix)로 표현할 수 있다[10]. 그림에서  $P_{wc}$ 는 월드좌표계에서 카메라의 영상좌표계로의 PPM, 그리고  $P_{wp}$ 는 월드좌표계에서 프로젝터 좌표계로의 PPM을 표현한

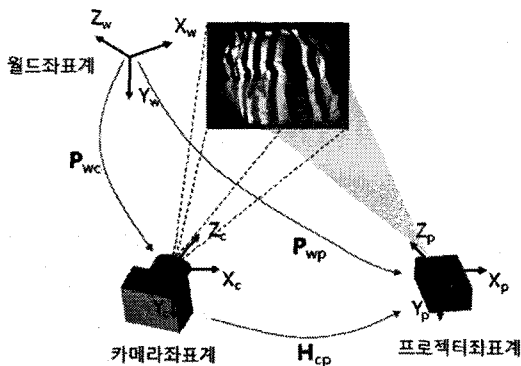


그림 3. 카메라-프로젝트 보정을 위한 좌표계

다. PPM은 내부변수와 외부변수로 나눌 수 있으며 월드좌표계에서 i-번째 카메라로의 변환은

$$P_{wi} = k_i [R_{wi} | t_{wi}] = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

로 표시한다. 여기서  $k_i$ 는 카메라의 내부변수,  $R_{wi}$ 와  $t_{wi}$ 는 각각 월드좌표계와 카메라 사이의 회전 및 이동 변환이다.

카메라와 프로젝터의 보정을 완료하였다면 물체에 투사하는 구조광의 종류에 관계없이 구조광의 영상과 카메라로 획득한 구조광의 영상에서 일치점을 탐색하고 일치점의 좌표를 이용하여 물체의 3차원 형상을 추출할 수 있다. 3차원 복원을 고속으로 정확하기 위해 많은 종류의 구조광의 개발되고 있다[5]. 구조광 중에서 가장 단순한 방법은 이진구조광 (binary structured light)로서 그 원리를 설명하면 그림 4와 같다. 그림에서는 공간적으로 0과 1로 변하는 패턴을 시간에 따라 그 주기를 변화시킴으로써 공간의 한 시점에서 볼 때 하나의 이진값(binary value)으로 코드화되는 구조를 가지고 있다. 이러한 이진화 코드를 물체에 투사하면 카메라 영상에서는 그림에서와 같이 A,B,C,D의 시점에서 서로 다른 이진코드를 생성할 수 있어 일치하는 구조광의 위치를 알 수 있다. 물체에 투사하는 패턴의 수가 N개일 때  $2^N$ 개의

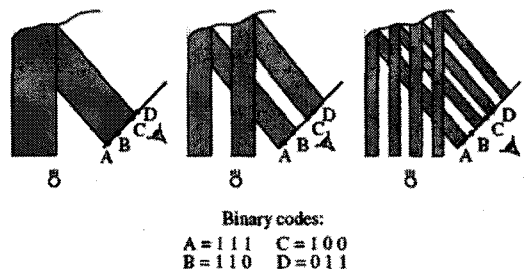


그림 4. 이진구조광을 이용한 3차원 복원 원리

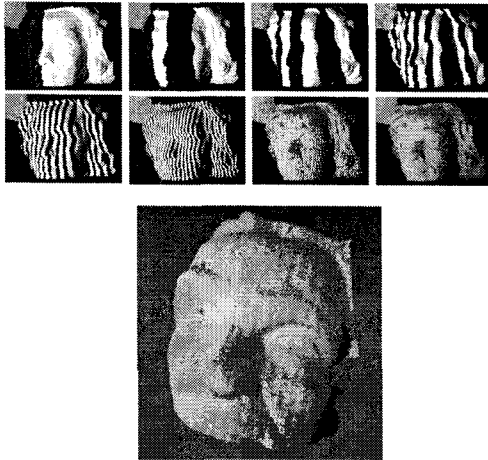


그림 5. 이진구조광을 이용한 3차원 복원 예

이진화 코드를 생성할 수 있다. 그림 5에서는 이러한 8개의 패턴을 사용하여 물체의 형상을 추출한 예를 보여주고 있다.

### 3. 수동형 3차원 복원 기술

#### 3.1 스테레오 비전 기술

두 대의 카메라에서 획득한 스테레오 영상에서 동일한 물체의 영상좌표를 탐색하는 것을 스테레오 정합이라 한다[6]. 스테레오 정합의 결과는 두 카메라의 기하관계를 이용하여 물체의 3차원 형상을 추출할 수 있으며 이러한 기술을 스테레오 비전이라 한다. 그림 6에서와 같이 3차원 공간의 물체에 대하여 스테레오 영상을 획득하였다면 3차원 점 P가 좌, 우 카메라에 투영된 2차원 점  $p_L$  과  $p_R$ 을 스테레오 영상에서 찾는 과정을 정합이라 한다. 그리고 정합의 결과 두 2차원 점의 좌표값의 차이를 시차(disparity)라 한다.

스테레오 정합은 크게 국부정합(local matching)과 광역정합(global matching)으로 나눈다. 초기 스테레오 정합 연구에서는 주로 국부정합을 다루었다. 국부정합은 정합점을 찾는 기준에 따라

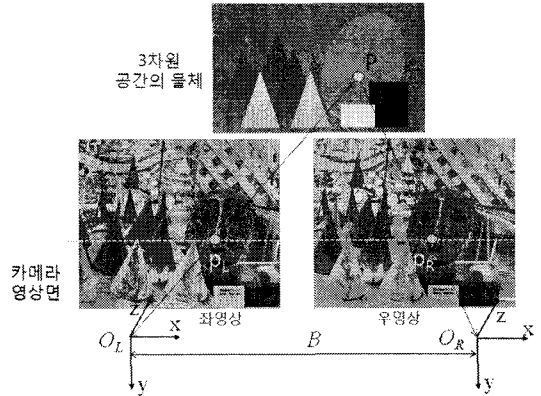


그림 6. 3차원 점에 대한 스테레오 영상의 일치점

서 방법을 구분하며 대표적인 기술로는 밝기값(intensity)이나 색상(color) 비교가 있다. 이때 주로 정합창(matching window)을 이용하여 비교하는데 정합창이 너무 작으면 잡음(noise)에 대한 영향을 많아 오류가 발생하기 쉽고 또한 패턴 반복이나 패턴이 없는 부분에서 정확하지 않다. 반대로 정합창이 너무 크면 물체의 경계에서 깊이값이 블러(blur)되는 현상이 발생한다.

최근에는 광역정합 기술이 주로 사용되는데 대표적 기술로는 다이나믹 프로그래밍(dynamic programming)[8], 그래프컷(graph cut), SGM(semi-global matching)[4], 신뢰확산(belief propagation)[2]방법이 있다. 광역정합은 국부정합에 추가하여 인접한 영상점의 시차의 변화를 고려한다. 즉, 현재 좌영상의 한 점  $p_L$ 의 시차를  $d(p_L)$ 이라 하였을 때  $p_L$ 의 시차가  $q=d(p_L)-p_R$ 가 되기 위한 비용(cost)을  $C(d(p_L),q)$ 라 한다면 다음 수식

$$C(d(p_L),q) = E_M(p_L,p_R) + \lambda E_C(d(p_L),d(p_L-1)) \quad (7)$$

로 구할 수 있다. 여기서  $E_M(p_L,p_R)$ 은 두 점 사이의 국부정합 에너지이고  $\lambda E_C(d(p_L),d(p_L-1))$ 는 인접한 점과의 시차를 고려한 평활(smoothness)에너지라 할 수 있다.

스테레오 정합은 동일한 물체의 영상점을 탐색

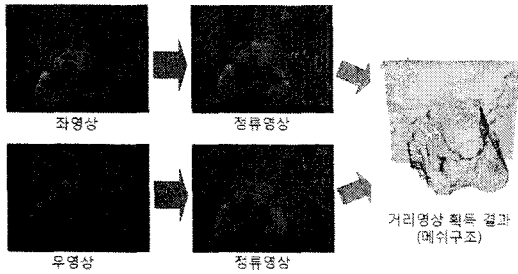


그림 7. 스테레오 비전을 이용한 3차원 복원

하기위하여 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 일반적으로 스테레오 영상을 획득하기위한 두 카메라의 센서가 정확히 평행하지 않고 그 중심도 일치하지 않기 때문에 스테레오 정합을 위해서는 정류화 (rectification)과정을 반드시 거쳐야 한다 [3]. 스테레오 정류화를 실행하면 물체의 동일한 영상점이 영상의 동일한 수직좌표에 놓이게 되어 스테레오 정합이 일차원 탐색으로 단순해진다. 따라서 정합의 시간을 줄임과 동시에 정확도를 높일 수 있다. 그림 7은 스테레오 정합과정을 간략히 보여준다. 좌, 우 스테레오 영상을 정류화한 후 물체의 동일한 영상점이 동일한 수평선상에 놓인 것을 알 수 있다.

### 3.2 비초점 기술

비초점기술 (Depth-from-Defocus, DFD) 기술은 두 장 또는 여러 장의 서로 다른 초점의 영상을 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 기술이다. 물체까지의 초점거리만을 변화시켜 두 장의 영상을 획득하면 우리는 두 영상에서 물체의 흐림 정도가 다를 수 있다. 이 흐림정도 (image blur)를 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 기술이 DFD라 할 수 있다. DFD의 문제는 두 영상으로부터 카메라 렌즈의 PSF (Point-Spread Function)을 구하는 문제로 볼 수 있다. 이를 해결하기 위하여 두 영상의 흐림정도에 따라 미리 보

정테이블 (calibration table)을 구하고 이를 이용하여 물체까지의 거리를 구하는 연구를 진행하고 있다. 이 방법을 STM (spatial-domain transform method)이라고 부른다[9]. 이 방법은 비교적 간단히 물체까지의 거리, 그리고 카메라의 자동초점 기능을 구현할 수 있다는 장점이 있다.

STM을 구현하기 위해서는 보정테이블을 미리 구해야 하는데 이를 위하여 상당히 시간이 걸리는 보정 (calibration) 과정을 거쳐야 한다. 즉, 물체의 거리에 따라 획득하는 두 영상의 흐림정도를 미리 구해야하기 때문에 실험대상 물체를 다양한 거리에 위치시키고 영상 카메라로 각 거리에서 영상을 획득, 그리고 흐림 정도를 측정하여야 한다. 예를 들어, 그림 8과 같이 렌즈를 통과한 물체의 빛이 또렷이 맺히는 영상을  $i(x,y)$ 라 하자. 그리고 영상면이 초점면을 벗어나서 맺히는 영상을  $g(x,y)$ 라 하자. 그러면  $g$ 와  $i$ 의 관계는 렌즈의 전달함수  $h$ 를 알고 있다면

$$g = i * h \tag{8}$$

로 표현할 수 있다.

서로 다른 영상거리 (image distance)에서 획득한 두 영상을 각각  $g_1(x,y)$ ,  $g_2(x,y)$  라 할 때 해당하는 영상을 흐림 정도를 각각  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$  라 하면 다음과 같이  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 구할 수 있다. 초점이 맞은 영상을  $g_i(x,y)$  라 하면 우리는 두 영상  $g_1(x,y)$ ,  $g_2(x,y)$ 으로부터  $g_i(x,y)$ 를

$$g_f(x,y) = g_i(x,y) - \frac{1}{4} \sigma_i^2 \nabla^2 g_i(x,y) \tag{9}$$

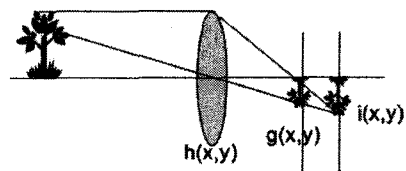


그림 8. Thin-lens 카메라 모델

로 구할 수 있다. 여기서  $\nabla^2$ 는 라플라시안 연산자이며  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 의 관계는

$$\sigma_1 = \alpha\sigma_2 + \beta \tag{10}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 카메라의 사양에 따라 정해지는 상수이다. 우리가  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 알고 있다고 가정할 때 영상의 흐림 정도는  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 를 구하여 알 수 있으며 다음과 같이

$$\sigma_2 = \frac{G - \beta^2}{2\beta} \tag{11}$$

로 구할 수 있다. 여기서  $G$ 는 두 영상으로부터 얻어지는 DFD값이다.

한편 카메라로 획득한 영상에서 물체까지의 거리를 구하기 위해서는  $\sigma$ 가 물체의 거리에 따라 어떻게 변하는가를 알 수 있어야 하는데 STM 방법에서는 보정에 사용할 한 개의 물체를 여러 거리에 두고 위 식 (11)을 이용하여 거리에 따른  $\sigma$ 의 변화를 테이블로 만든다. 이를  $\sigma$ 보정테이블이라 부른다. 그림 9에서는 초점이 다른 두 장의 영상에서 물체의 거리를 구한 후 초점이 맞는 영상을 획득한 결과이다. 그림 9(a)와 (b)와는 달리 (c)에서 물체에 초점이 맞는 영상을 획득할 수 있다.

#### 4. 다시점 3차원 복원 기술

기존의 3차원 복원은 하나의 고정된 시점에서 획득한 영상정보를 이용하여 물체의 부분 형상만

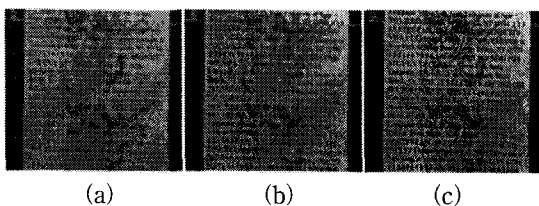


그림 9. 비초점 방식을 이용한 물체거리의 계산

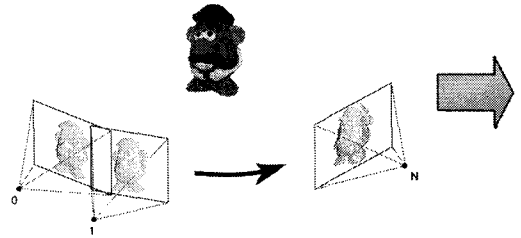


그림 10. 다시점 3차원 복원

을 추출하는데 목적을 두었다. 그러나 카메라의 시점이 고정되면 물체의 가려진 영역의 정보를 획득할 수 없기 때문에 물체의 여러 방향에서 3차원 형상을 획득하여야 물체의 완전한(complete) 3차원 복원을 구현할 수 있다. 그림 10과 같이 3차원 형상을 획득할 수 있는 카메라 또는 센서를 이동하여 물체의 여러 부분의 형상을 획득하고 하나의 모델로 완성하는 과정을 다시점(multi-view) 3차원 복원이라 한다.

한편 다시점(multi-view)에서 획득된 3차원 형상들은 물체의 부분적인 형상을 가지며 서로 독립적인 좌표계를 가지기 때문에 이들을 공통 좌표계로 이동하여야 한다. 이를 3차원 형상의 정렬(alignment) 또는 등록(registration)이라 한다. 그리고 다시점 3차원 형상을 등록한 후 하나의 3차원 모델로 완성하는 과정을 거치게 되는데 이를 거리영상의 합성(integration)이라 한다. 3차원 형상의 등록은 서로 다른 시점에서 획득된 부분적인 형상을 정밀하게 일치시키는 작업이며 최종적으로 생성하는 3차원 모델의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 그림 11에서 다시점 3차원 등록의 예를 보여주고 있다. 두 시점에서 획득한 물체의 3차원 형상은 물체의 부분적인 형상을 가지고 있다. 따라서 이들을 등록하는 과정을 거쳐 그림과 같이 형상이 일치하도록 하여야 한다.

서로 다른 3차원 형상의 등록은 이들 사이의 일치하는 3차원 점들을 탐색하는 과정이 필요하

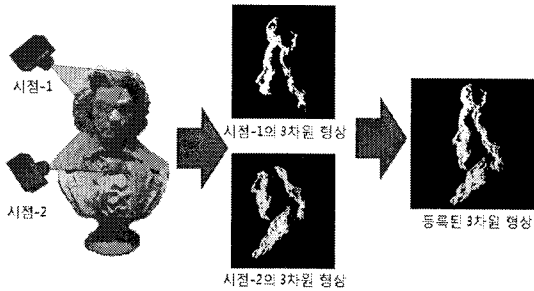


그림 11. 두 시점에서 획득한 3차원 형상의 등록

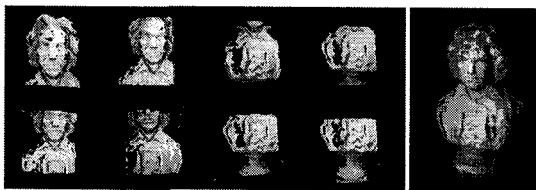


그림 12. 다시점 3차원 형상의 등록 및 합성 예

다. 3차원 일치점의 탐색에 가장 많이 사용되는 방법은 ICP(Iterative Closest Point)로서 알고리즘이 단순한 장점을 가지고 있다[1]. 이 방법은 서로 다른 3차원 형상에서 가장 가까운 점들의 쌍(pair)을 대응점으로 고려한다. 충분한 수의 대응점의 집합을 각각 P와 Q라 할 때 두 점집합 사이의 등록 오차  $\epsilon$ 를 최소화하는 3차원 좌표변환 변환 T는 다음과 같이 선형 방정식을 이용하여 구한다.

$$\epsilon = \sum_i \| P_i - TQ_i \| \quad (12)$$

일반적으로 오차가 일정값 이하로 줄 때까지 여러 번의 등록과정을 반복하여 서로 다른 시점에서 획득한 3차원 형상을 등록한다[7]. 그림 12는 다시점에서 획득한 3차원 형상을 등록하여 하나의 모델로 합성한 결과를 보여준다.

## 5. 결 론

본고에서는 컴퓨터 비전 연구의 하나인 3차원

복원에 대한 전반적 기술을 소개하였다. 3차원 복원은 산업적 적용이외에 엔터테인먼트, 모바일, 로봇비전, 디지털 콘텐츠 등 많은 응용분야를 가지고 있다. 3차원 복원 기술은 기존의 기술의 정확성 및 속도를 개선하는 방향으로 연구가 진행되고 있지만 또한 물체의 완전한 복원을 위하여 다시점 기반 연구도 많은 연구가 진행되고 있다. 최근에는 모바일 비전 기술의 발달로 카메라를 쉽게 사용할 수 있어 일반인 들이 쉽게 3차원 복원을 구현할 수 있는 기술 개발이 진행되고 있다.

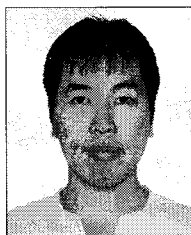
## 참 고 문 헌

- [1] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method of registration of 3D shapes," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, 1992.
- [2] F. Felzenszwalb and P. Huttenlocher "Efficient belief propagation for early vision," Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, No. 1, pp. 261-268, 2004.
- [3] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri. "A compact algorithm for rectification of stereo pairs," Machine Vision and Applications, Vol. 12, No. 1, pp. 16-22, 2000.
- [4] H. Hirschmüller. "Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. CVPR 2005, PAMI, Vol. 30, No. 2, pp. 328-341, 2008.
- [5] Salvi, J., Pags, J. and Batlle, J., "Pattern codification strategies in structured light systems, Pattern Recognition, Vol. 37, pp. 827-849, 2004.
- [6] D. Scharstein, R. Szeliski, R. Zabih, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," IEEE Workshop on Stereo and Multi-Baseline Vision, p. 131, 2001.
- [7] Soon-Yong Park and Murali Subbarao, "An accurate and fast point-to-plane registration



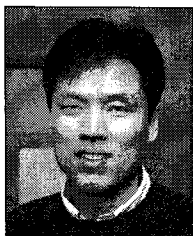
technique,” Pattern Recognition Letter, Vol. 24, No. 16, pp. 2967-2976, Dec 2003.

- [8] J. Sun, Y. Li, S.B. Kang, and H.-Y. Shum. “Symmetric stereo matching for occlusion handling”. CVPR 2005.
- [9] G. Surya and M. Subbarao, “Depth from defocus by changing camera aperture: A spatial domain approach,” Proc. CVPR, pp. 61-67, 1993.
- [10] E. Trucco, A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall, 1998.



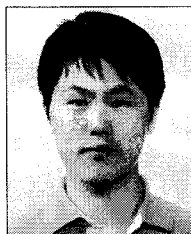
백 승 해

- 2004년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2009년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(석사수료)
- 2009년~현재 경북대학교 컴퓨터 및 로봇비전 연구실 연구보조원
- 관심분야 : 스테레오정합, 카메라보정, 3차원복원



박 순 응

- 1991년 경북대학교 전자공학과 (공학사).
- 1993년 경북대학교 전자공학과(공학석사).
- 2003년 미국 뉴욕주립대학교 스토니브룩(공학박사).
- 1993년~1999년 한국원자력연구소 로봇기반연구실 선임연구원.
- 2004년~2005년 한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단 선임연구원.
- 2005년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 조교수.
- 관심분야 : 3차원복원, 3차원정합, 로봇비전, 입체영상.



최 성 인

- 2007년 금오공과대학교 컴퓨터공학부(공학사)
- 2008년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 석사과정
- 관심분야 : 실시간 3차원 정합 및 복원, Visual SLAM