

## 구조광 기반 초소형 카메라-프로젝터 시스템의 3차원 복원

### 3D Reconstruction of a Micro Camera-Projector System based on Structured-light

○ 박 고 광\*, 박 순 용\*\*

\* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (TEL: 053-950-7575, E-mail: pgg@vision.knu.ac.kr)

\*\* 경북대학교 컴퓨터학부 (TEL: 053-940-8598, E-mail: sypark@knu.ac.kr)

**Abstract** In this paper, we present the 3D reconstruction using phase shifting algorithm based on structured-light. In our previous work, a camera and a projector, which are member devices of structured-light system, were calibrated and compensated for response function and vignetting effect. The projector projects three phase patterns and the camera captures that scenes. And then the codes are generated from projected images and captured images. Corresponding points are found from generated codes. In practice, however, we may get incongruent codes caused by difference of field of view between two devices. This problem can be solved with homography relation. Finally, by analyzing correspondence and PPMs( Perspective Projection Matrix), we get a 3D point cloud of an object surface.

**Keywords** Structured-light, 3D reconstruction, micro camera-projector system

#### 1. 서론

구조광은 특정한 패턴을 가지고 있는 빛을 말하고, 구조광의 패턴을 구성하는 방법에는 다양한 기술이 있다.[1] 널리 알려진 방법으로는 여러장의 이진영상을 조합하여 코드(gray code)를 생성시키는 것이 있으며, 사인이나 코사인의 삼각함수를 생성하여 위상(phase)을 달리하며 얻어진 영상들의 조합으로 특별한 코드를 생성해 내는 페이즈 쉬프팅(phase shifting) 방법이 있다. 그 밖에도 색 정보의 조합을 이용하여 유일한 코드들을 직관적으로 생성하여 한장의 영상으로 구성하는 방법도 있다. 본 논문에서는 페이즈 쉬프팅 방법을 이용하여 3차원 복원하고자 하며, 이때 기기들의 특성으로 발생하는 오류들을 해결하여 나은 결과를 얻고자 한다.

이전 연구에서 카메라와 프로젝터 각각의 광학적 특성을 보정 했다. 먼저, 카메라의 응답 함수는 컴패러그램(comparagram)을 가중치로 사용하고 카메라의 노출시간을 달리하며 얻어진 영상을 통하여 얻어내고 구해진 비선형의 응답 함수를 이용하여 빛의 세기에 대한 영상 밝기 값 변화를 선형적으로 만드는 것으로 응답 함수에 대한 보정을 하였다. 프로젝터의 경우, 빛의 밝기를 측정할 수 있는 센서를 이

용하여 영상 밝기 값의 변화에 대한 빛의 밝기 변화를 알아냈다. 이것이 곧 프로젝터의 응답 함수이며, 빛의 밝기 변화가 선형적으로 변하게 응답 함수를 보정하였다. 카메라 비네팅은 균일한 색으로 이루어진 보정판을 이용하여 먼저 카메라의 비네팅 정도를 알아내고 LUT(Look Up Table)방식으로 비네팅을 보정하였다. 프로젝터의 비네팅은 이미 보정된 카메라를 이용하여 투사한 프로젝터의 영상을 획득하고 이 영상을 분석하여 프로젝터의 비네팅 정도를 알아내고 카메라의 경우와 마찬가지로 LUT방식으로 비네팅을 보정하였다.

#### 2. 페이즈 쉬프팅 알고리즘

페이즈 쉬프팅 알고리즘을 이용하기 위해 가장 먼저 해야 할 일은 3가지의 패턴을 만드는 것이다.[2] 각 영상은 코사인 함수가 N번 반복되는 영상으로 되어 있다.

$$i_1(x, y) = i_0 + A \cos(\Phi(x, y) - \alpha) \quad (1)$$

$$i_2(x, y) = i_0 + A \cos(\Phi(x, y)) \quad (2)$$

$$i_3(x, y) = i_0 + A \cos(\Phi(x, y) + \alpha) \quad (3)$$

$i_{1,2,3}$ 은 영상 1,2,3에서의 밝기 값을 의미한다.  $i_0$ 은 밝기 보정 값이고,  $A$ 는 코사인 함수의 진폭,  $\Phi$

는 위상,  $\alpha$ 는 영상사이의 위상차이다. 위상  $\phi$ 는 반복횟수 N과 영상의 좌표에 의해 결정된다.

수식(1),(2),(3)으로 3가지 패턴을 구하고 이를 프로젝터로 투사한다. 그리고 카메라를 통하여 각각의 영상을 획득하며, 획득된 세 영상에서 위상을 다시 구해내는 식은 다음과 같다.

$$\phi(x,y) = \arctan\left(\sqrt{3} \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3}\right) \quad (4)$$

$I_{1,2,3}$ 은 획득된 영상 1,2,3에서의 밝기 값이며,  $\phi$ 의 경우와 마찬가지로  $(x,y)$ 에 대한 값이며 수식에서  $(x,y)$ 는 생략했다. 수식(4)를 통하여 위상을 구하면 0-360도의 값이 N번 반복되는 결과를 얻을 수 있다. 그리고 얻어진 결과는 페이즈 언래핑 알고리즘(phase unwrapping algorithm)[3]을 통하여 반복되는 값이 아닌 단조 증가 혹은 감소하는 값들로 변하고 이 값들은 일치점 탐색을 위한 코드로 사용된다.

### 3. 일치점 및 3차원 복원

물체 표면에 대한 카메라의 캡처 영역이 프로젝터의 투사 영역보다 크거나 같으면 페이즈 쉬프팅 알고리즘을 이용하는데 어려움이 없다. 하지만 그 반대일 경우, 다른 알고리즘과는 달리 같은 위상이 N번 반복되는 패턴에서 코드를 계산해 내는 방식이라서, 카메라로 패턴의 일부분만 캡처하게 되면 전체 패턴 중 어느 부분인지 알아내기 어렵다.

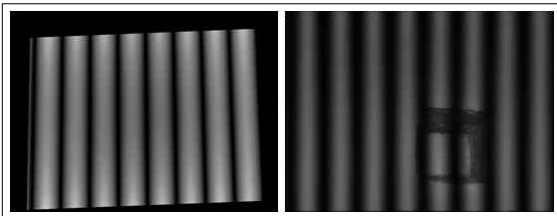


그림 1. 프로젝터 투사 영상(좌)과 카메라 캡처 영상(우)

이를 해결하기 위해, 두 장치의 호모그래피 관계 [4]를 이용하여 투사 영상을 변환한다. 변환된 패턴은 카메라로 전체가 캡처되게 된다.(그림 1)

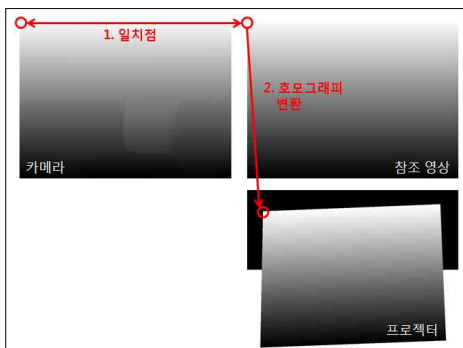


그림 2. 일치점 찾기

일치점 탐색은 탐색 영역 지정을 용이하게 하기 위하여 그림 2와 같이 캡처된 영상에서 계산된 코드와 호모그래피 변환 전의 참조 영상에서 계산된 코드사이에서 실시한다. 참조 영상에서 찾아진 일치점의 좌표는 호모그래피 관계를 이용하여 변환을 하고, 변환된 좌표는 곧, 프로젝터 좌표가 된다.

카메라와 프로젝터는 스테레오 비전의 두 대의 카메라와 같다고 할 수 있다. 따라서, 얻어진 일치점들의 정보와 이미 알고 있는 두 장치의 PPM(Perspective Projection Matrix)을 이용하여 3차원 정보를 쉽게 알 수 있다.

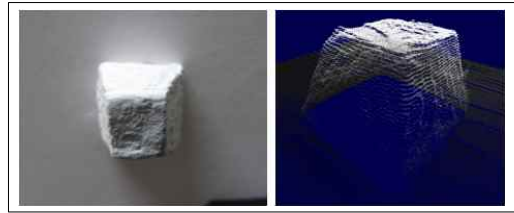


그림 3. 모형(좌)과 3차원 복원 결과(우)

### 4. 결론

초소형 카메라-프로젝터 시스템을 이용하여 구조광 기반의 페이즈 쉬프팅 알고리즘을 사용하여 3차원 복원을 실시하였다. 카메라와 프로젝터의 캡처, 투사 영역의 차이로 인하여 생기는 문제를 호모그래피 관계를 이용하여 해결하였고, 부피가 1mm<sup>3</sup> 정도 되는 물체의 형상을 복원 하였다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

- [1] J. Pages, J. Salvi, R. Garcia, C. Matabosch, "Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 133-138, Sep., 2003
- [2] Peisen S. Huang and Song Zhang, "Fast three-step phase-shifting algorithm," *Appl. Opt.* vol. 45, pp. 5086-5091, July, 2006.
- [3] D. C. Ghiglia and M. D. Pritt, *Two-Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms and Software*, John Wiley & Sons, 1998.
- [4] R. Sukthankar, R. G. Stockton, M. D. Mullin, "Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems," *Proceedings of International Conference on Computer Vision*, vol. 1, pp.247-253, 2001.