

PS(Phase Shift)방법을 이용한 3차원 형상 측정에 대한 연구

이혜인, 김혜진, 황보승
 호남대학교, 전기전자대학원

A study of Three Dimension Shape Measurement by PS(Phase-Shift)

Hye In Lee, Hye Jin Kim, Seong Hwanbo
 Honam University, Electrcity & Electron graduate school

Abstract - PS(Phase Shift) 방식을 이용하여 3차원 이미지 형상복원 시스템을 구현하였다. PS 방식은 위상을 이동시켜서 얻어진 강도를 arctan 시킴으로써 $-\pi \sim \pi$ 범위의 접혀진(wrapped) 위상을 얻을 수 있으며, 이러한 wrapped 위상을 위상 펼침(unwrapping) 알고리즘을 이용하여 불연속을 제거할 수 있다. 얻어진 위상 정보는 물체의 높이 정보에 비례하기 때문에 위상 분포로써 3차원 형상을 복원할 수 있다. Unwrapping 알고리즘에는 다양한 방식이 있지만 본 연구에서는 LabVIEW 프로그램을 이용하여 Goldstein 알고리즘을 구현하였으며, 감마(Gamma) 효과에 의한 노이즈를 줄이기 위하여 프로젝트와 카메라의 보정(calibration) 프로그램을 개발 및 적용하였다. 이와 같은 실험을 통하여 효과적으로 3차원 형상 정보를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

3차원 복원 기술은 제품 설계 및 검사, 역공학, 영상콘텐츠 제작 분야 등 전문가들이 주로 사용하던 기술이었으나, 최근에 Google에서 도시 지형의 3차원 모델링 기능이 포함된 위성 영상 서비스를 시작하면서 3차원 복원 기술에 대한 일반인의 관심도 높아졌다. 뿐만 아니라, 치수 검사, 형상 측정, 의학 산업 등의 분야로 점차 사용이 확대되고 있다. 이와 같이 3차원 복원 기술은 다양한 응용분야를 가지고 있다.

3차원 복원기술은 실세계에 존재하는 물체의 3차원 현상을 디지털화 하는 기술로서 현재 활발히 진행되어 왔다. 크게 접촉식과 비접촉식으로 구별할 수 있으며 측정 범위, 물체의 성질, 분해능에 따라 측정 방법이 다양하다. 본 논문은 비접촉식 방법 중 능동식 방식을 사용하고 프로젝트를 사용하여 일정간격의 일자 무늬 패턴 영상을 연속적으로 투영하고 카메라를 통해 구조광이 투영된 장면을 획득함으로써 거리에 따른 위상 변화를 측정하여 3차원 형상 복원을 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 PS (Phase-shift) algorithm

간섭무늬로부터 위상을 얻는 다양한 PS 알고리즘이 있다. 기준이 되는 위상이 변함에 따라 달라지는 각각의 간섭무늬를 저장하여 각각의 측정 점에서 시간의 변화에 따른 신호를 측정하여 두 파면 Reference wavefront, test wavefront 사이의 상관관계에 의해서 파면의 위상을 발생시킨다. 이 때 표면의 높이 에러 $h(x, y)$ 는 파면 에러 $\Phi(x, y)$ 를 발생시킨다.

$$\Phi(x, y) = \frac{4\pi h(x, y)}{\lambda} \quad (1)$$

위 식은 빛의 투사와 왜곡되어진 표면 및 다른 요일들에 의해 바뀌게 된다. 만약에 $\Phi(x, y)$ 가 파면 위상 변화 $\Phi_i(x, y) - \Phi_j(x, y)$ 와 같다면, PS 기본식을 구할 수 있다.

$$I(x, y, z) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\Phi(x, y) + \delta(t)] \quad (2)$$

$I(x, y, z)$ = 특정위치 (x, y)에서의 강도

$I'(x, y)$ = 평균 강도

$I''(x, y)$ = 가시도

$\Phi(x, y)$ = 위상

$$\delta_i(t) = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$$

측정지점의 위상 데이터를 알기 위해서 순차적으로 $\frac{\pi}{2}$ 씩(90°) 위상을 이동시켜 간섭무늬를 얻는다. four-step 알고리즘을 기반으로 4개의 패턴 강도 영상 정보를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_1(x, y) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\Phi(x, y)] \quad (3)$$

$$I_2(x, y) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\Phi(x, y) + \frac{\pi}{2}] \quad (4)$$

$$I_3(x, y) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\Phi(x, y) + \pi] \quad (5)$$

$$I_4(x, y) = I'(x, y) + I''(x, y) \cos[\Phi(x, y) + \frac{3\pi}{2}] \quad (6)$$

간섭에서 각 지점에서의 위상 $\Phi(x, y)$ 의 값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_4 - I_2 = 2I''(x, y) \sin[\Phi(x, y)] \quad (7)$$

$$I_1 - I_3 = 2I''(x, y) \cos[\Phi(x, y)] \quad (8)$$

$$\frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} = \frac{\sin[\Phi(x, y)]}{\cos[\Phi(x, y)]} = \tan[\Phi(x, y)] \quad (9)$$

Four-step PS 알고리즘의 결과를 얻기 위하여 다시 위상 $\Phi(x, y)$ 로 정리를 하면,

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \right] \quad (10)$$

2π 모듈로 모호성으로 위상 끊김 이미지(wrapped image)만을 얻을 수 있다.

2.2 Unwrapping

위상차 정보를 이용하여 실제 물체 위상을 복원하는 방법이 위상펼침(phase unwrapping)이다. Goldstein 알고리즘은 이런 복원 작업에 널리 사용되는데 그 이유는 하드웨어적 부담이 적고 연산시간이 짧다는 장점이 있기 때문이다.

최소 표본화 비를 만족하는 감긴 위상(wrapped)과 위상 펼침 관계는 다음과 같다.

$$W\varphi(n) = \psi(n) = \varphi(n) - 2\pi k, \quad -\pi \leq \psi(n) < \pi \quad (11)$$

여기서 W 는 감긴 연산자(wrapping operator), $\varphi(n)$ 는 감긴 위상, $\psi(n)$ 는 실제 위상, k 는 정수이고, n 은 표본화에 따른 상수이다. Itoh[1]의 계산에 의하면 감긴 위상의 차이와 실제 위상의 차이 관계는 (12)식과 같다.

$$\Delta\varphi(n) = W\Delta\varphi(n) = W\Delta\psi(n) \quad (12)$$

$\Delta\varphi(n)$ 는 인접한 실제 위상 데이터의 미분 값이고, $W\Delta\psi(n)$ 은 감긴 데이터의 인접한 점 사이의 미분 값이다. 그래서 미분 불가능하지 않다면 복원된 위상은 (13)식과 같다.

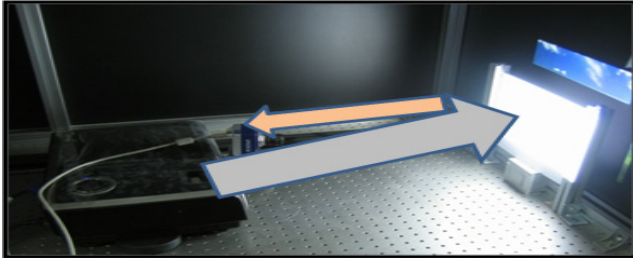
$$\varphi(m) = \varphi(0) + \sum_{n=0}^{m-1} W\Delta\psi(n) \quad (13)$$

실제 위상은 감긴 위상차와 적분을 이용하여 복원됨을 알 수 있다. 이를 이차원에도 적용시키고 불연속점이 있는 경우의 계산을 용이하기 위해 Goldstein 알고리즘을 사용해 보았다.

Goldstein 알고리즘에서 특이점을 유수(residue)라 하며, 유수와 유수를 최단거리로 연결하는 선을 갈래자름(branch cut)이라 한다. 이 연결선을 제외한 영역에서 적분하여 실제 위상이 복원됨을 증명한다.

2.3 Experimental Setup and program

four-step 방법의 알고리즘을 실행시킬 경우 그림 1의 구성도와 같이 측정 물체를 Screen 상에 위치시키고, 컴퓨터에서 software적으로 만들어 놓은 일차부피 패턴을 projector를 통해 screen으로 투사시킨다.

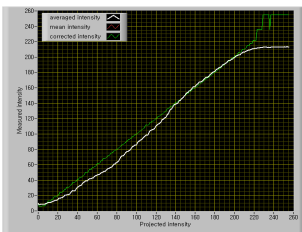


<그림 1> 실험 구성도

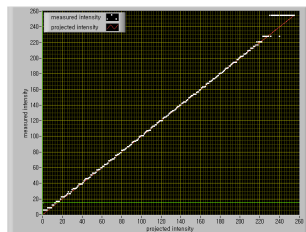
<표 1> Device specification

	Experimental Device	Spec of Device
CCD Camera	1394 Camera (IMC-35FT)	- 640x480 - 10bit RGB data path
Projector	OPTOMA EP-782	- 3000 ANSI - Resolution : UXGA - 1.20:1 manual Zoom
OS	MS Windows xp	
program	LabVIEW 8.6	

그림 2에서 보이는 바와 같이 기존의 형상 복원 시스템에서 생기는 감마효과에 의한 노이즈를 개선시키기 위해 calibration 과정을 수행하였다. phase shift 시킨 이미지들을 wrapped 이미지로 효과적으로 얻게 하기 위하여 카메라와 프로젝터의 설정을 표 2와 같이 설정하고 그림 4의 LabVIEW를 이용한 wrapped 프로그램을 이용하여 기본 sine wave 형태가 보정 전보다 효과적으로 나오는 것을 확인 하였다.



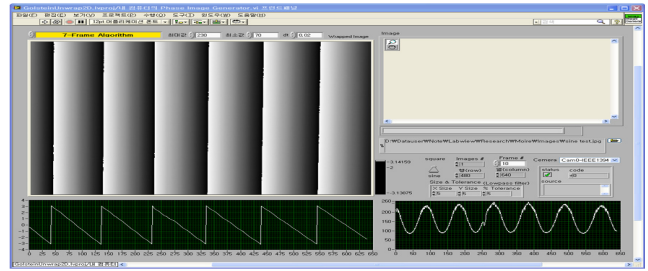
<그림 2> Projector 보정



<그림 3> Look up table 적용

<표 2> 감마 보정을 위한 projector Configure

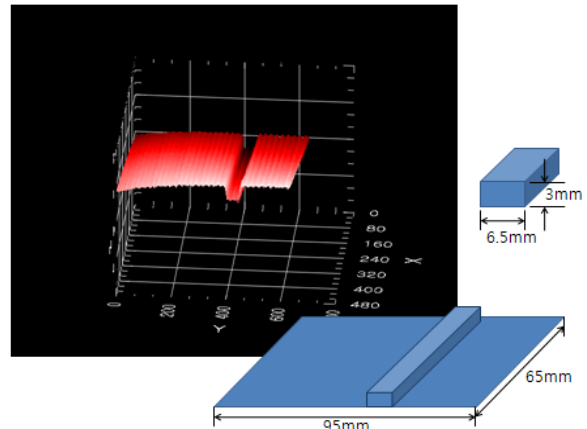
Iteration	Auto Exposure	Brightness	Gain
1	50	512	420
Gamma	White balance	VR	Intensity
10	35	42	30-210



<그림 4> wrapped image

2.4 Experimental result

기존의 보정을 거치지 않은 3차원 형상복원 시스템이 발생 시키는 노이즈 문제점들을 발생시켰다면 카메라와 프로젝터 보정을 거친 후에 object의 높이에 따른 위상정보 데이터를 바탕으로 wrapped 된 이미지를 출력하여 Goldstein 알고리즘 구현 프로그램으로 그림 5와 같이 3차원 형상 복원 image를 획득하였다.



<그림 5> Goldstein 방식을 이용한 unwrapping image

3. 결 론

본 연구에서 국·내외적으로 활발하게 연구가 진행되고 있는 3차원 형상 복원 시스템을 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 구현하였다. unwrapping 방식으로는 branch cut을 이용한 Goldstein 알고리즘을 적용하였으며 감마(Gamma) 효과에 의한 노이즈를 줄이기 위하여 프로젝터와 카메라의 보정(calibration) 프로그램을 개발 및 적용하였다. 이러한 시스템을 통하여 물체의 3차원 정보를 효율적으로 획득할 수 있었다. 또한 LabVIEW 소프트웨어를 사용하여 전 측정 과정을 자동화하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

[1] Kyu-Min Chae, "High-resolution wavefront analysis using phase shifting interferometry and finite-difference time-domain method" p.5~6 Dec.2003
 [2] Chunbuk university "A study on the measurement of three dimensional object shape bu using phase shifting shadow moire method" p.24~26. 1998,
 [3] Santosh Rana, Shashi Prakash, Satya Prakash, "Automated Collimation testing in Lau interferometry using phase shifting technique", p.3, Dec 2008,
 [4] Dennis C. Ghiglia, Mark D.Pritt, "Two-Dimensional phase unwrapping", p.22~23, 1998
 [5] David W robinson, Graeme T Reid, "Interferogram Analysis Digital Fringe Pattern Measurement Techniques" p.21~23, 1993,
 [6] Peisen S. Huang, Chengping Zhang, Fu-Pen Chiang "high speed 3-D shape measurement based on digital fringe projection", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers , January, 2003