

PSI(Phase-Shift Interferometry)를 이용한 3차원 이미지 높이 정보 분석에 대한 연구

이행재, 김규언, 최수일, 황보승  
 호남대학교, 전기전자대학원

A Study of Three Dimension Image Height Information Analysis  
 by PSI(Phase-Shift Interferometry)

Haeng-jae Lee, Gyu-eon Kim, Su-il Choi, Seong Hwangbo  
 Honam University, Electricity & Electron graduate school

**Abstract** - 4-step 알고리즘을 이용하여 3차원 이미지 위상 정보를 분석하였다. Carre(1966)에 의하여 제시된 위상 분석 기술은 위상이동에 대하여 설명하고 있다. Wyant(1982)에 의한 4-step 알고리즘은 수많은 PSI(Phase-Shift Interferometry)법[1] 중에서 가장 일반적인 내용이다. 그러나 실험장비 설치 시, 매우 어렵다는 단점이 있다. 실험 과정에서 물체의 3차원 형상을 얻기 위해 매우 간단히 실험 설치를 하였다. 간섭 패턴은 추가적인 렌즈, 거울, 모터와 같은 광학장비 없이 램부 프로그램과 비전 시스템을 사용하여 구축하였다. 4-step method와 컴퓨터 프로그램에 의해 생성된 unwrapping image에 의해 물체의 wrapped된 이미지를 얻었다. 실험에 의하여 얻어진 간섭패턴을 분석 함으로써, 웨이브프론트, 강도 그래프, 3차원 형상, 상수 데이터와 같은 다양한 정보를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

지난 십여 년 동안 3차원 복원(3D reconstruction)기술을 이용하여 실세계 사물들에 대한 형태 재구성에 관한 연구가 매우 활발히 진행되어 왔다. 특히 컴퓨터 비전과 그래픽스 분야에서 3차원 표면 모델의 재구성에 대한 요구와 관심이 증폭되었는데, 이는 수작업을 통한 모델 제작의 많은 문제점을 자동화함으로써 시간과 비용을 크게 절약할 수 있기 때문이다. 3차원 복원 기술은 물체를 만들 뿐만 아니라, 다양한 응용에 편리하게 사용할 수 있는 방법들을 제공한다. 3차원 복원 기술은 실세계에 존재하는 물체의 3차원 형상과 표면의 색상을 디지털화 하는 기술이다. 일반적으로 가상현실, 게임, 애니메이션 등의 컴퓨터 그래픽스에 기반한 응용에서는 숙련된 디자이너가 수작업으로 3차원 모델을 제작하는데, 이는 시간이 많이 소요되고, 디자이너의 숙련도에 따라서 품질의 차이가 많은 단점이 있다. 뿐만 아니라 실세계에 존재하는 물체를 모델링할 때는 일일이 측정을 하는 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다. 3차원 복원 기술은 이에 대한 대안으로 연구되고 있는 기술로써, 이미 많은 응용 분야에서 활용되고 있을 뿐만 아니라 새로운 서비스가 꾸준히 창출되고 있는 기술이다. 더 나은 분해능을 위하여 본 논문에서는 3차원 복원 기술의 정밀도를 높이기 위한 높이 정보 분석에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 The four-steps algorithm

Phase calibration 오차를 최소화 하기 위하여  $\pi/2$ 위상이동을 사용하는 4-step technique[2-3]이 Wyant(1982)에 의하여 정의되었다. 전체 표면에서의 한 점에서 기록된 강도는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y) + \alpha_i] \quad (1)$$

위 식에서,  $I(x, y)$ :선명도,  $\Phi(x, y)$ :위상,  $\alpha_i$ :위상 이동값을 의미한다. 4-step technique은 연속적인 위상 이동에 의한 서로 다른 위치에서의 위상값을 얻기 위하여 사용된다. (1)식에 의거하여, 다음 4가지의 강도 분석식을 유추 할 수 있다.

$$I_1(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y) +] \quad (2)$$

$$I_2(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y) + \pi/2] \quad (3)$$

$$I_3(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y) + \pi] \quad (4)$$

$$I_4(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y) + 3\pi/2] \quad (5)$$

이 식들을 삼각함수의 같은 값에 의해 바꾸어 표현하면,

$$I_1(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\cos [\Phi(x, y)] \quad (6)$$

$$I_2(x, y) = I_0(x, y)1 - r(x, y)\sin [\Phi(x, y)] \quad (7)$$

$$I_3(x, y) = I_0(x, y)1 - r(x, y)\cos [\Phi(x, y)] \quad (8)$$

$$I_4(x, y) = I_0(x, y)1 + r(x, y)\sin [\Phi(x, y)] \quad (9)$$

각 점에서의 위상값  $\Phi(x, y)$ 는,

$$I_4(x, y) - I_2(x, y) = 2I_0(x, y)\sin\Phi(x, y) \quad (10)$$

$$I_1(x, y) - I_3(x, y) = 2I_0(x, y)\cos\Phi(x, y) \quad (11)$$

두 식을 다음과 같이 바꾸면,

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} [I_4(x, y) - I_2(x, y) / I_1(x, y) - I_3(x, y)] \quad (12)$$

아크탄젠트 함수는 오직  $-\pi/2$ 에서  $\pi/2$ 까지의 제한된 영역에서만 한정된다[4-5]. 위상값  $\Phi(x, y)$ 를 구하였을때, 불연속성 전환점에 대한 unwrap-ping 보정이 필요하다. 위상값이 실제 위상 데이터임에도 불구하고, 아크탄젠트 함수 영역 내에서 식 (12)에 의하여 설명될 수 있다.

2.2 Unwrapping

1982년 Itho[6]는 1차원 위상 wrapping 문제를 분석하고, unwrapping 된 위상이 wrapped된 위상차 통합에 의해 얻어질 수 있음을 증명하였다. wrapping위상과 unwrapping 위상 사이의 최소 sampling 비율 관계는 Itho의 공식[7]에 의해 쉽게 구할 수 있다.

$$W\varphi(n) = \Psi(n) = \varphi(n) + 2\pi k(n), \quad (-\pi < \Psi(n) < \pi), \quad (13)$$

$$n=0, 1, \dots, N-1$$

식에서,  $W$ : wrapping operator,  $\phi$ : actual phase,  $\Psi(n)$ :unwrapping phase,  $k(n)$ : array of integers를 의미한다.

Difference operator  $\Delta$  는 다음을 정의한다.

$$\Delta\varphi(n) = \varphi(n+1) - \varphi(n),$$

$$\Delta k(n) = k(n+1) - k(n), \quad n = 0, 1, \dots, N-2 \quad (14)$$

Wrapped된 image의 위상차는 식 (13)과 (14)를 이용하여,

$$\Delta W\varphi(n) = \Delta\varphi(n) + 2\pi\Delta k_1(n). \quad (15)$$

$$\Delta\varphi(n) = W\Delta W\varphi(n) = W\Delta\varphi(n). \quad (16)$$

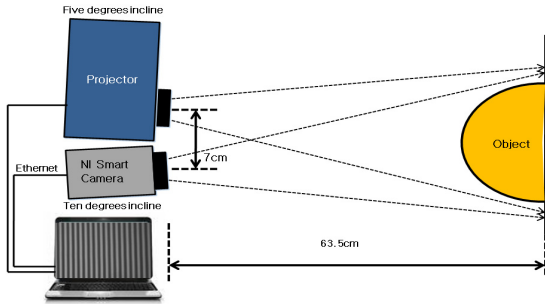
식을 정리하면,

$$\varphi(m) = \varphi(0) + \sum_{n=0}^{m-1} W\Delta W\varphi(n) \quad (17)$$

식(17)은 actual phase가 wrapped된 image의 위상차와 적분법을 이용하여 actual phase가 복원됨을 증명한다.[8]

2.3 Experimental Setup and program

3차원 분석을 위한 실험 개요도를 그림.1에 나타내고 장비명을 표.1에 나타내었다. 광학장비 없이 program에 의해 간섭 패턴을 생성하였으며 Ethernet을 사용하여 PC와 CCD 사이의 연결을 간편화한 스마트 카메라(NI)를 사용하여 frame grabber와 같은 connection장비를 사용하지 않았다.

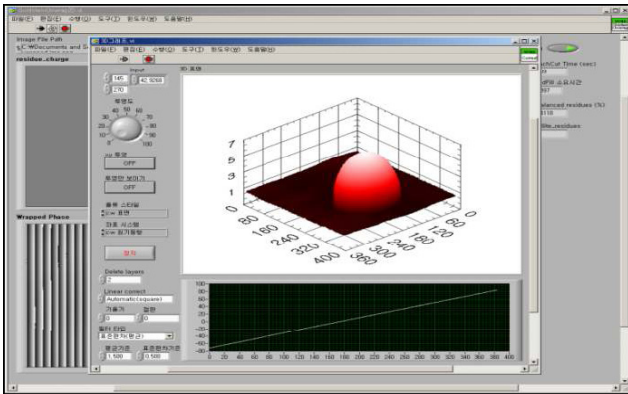


〈그림 1〉 실험 개요도

〈표 1〉 실험 장비명

	실험장비명
CCD Camera	NI-1742 Smart Camera
Projector	EIKI LC-XB33
OS	MS Windows xp
Program	LabVIEW 8.6

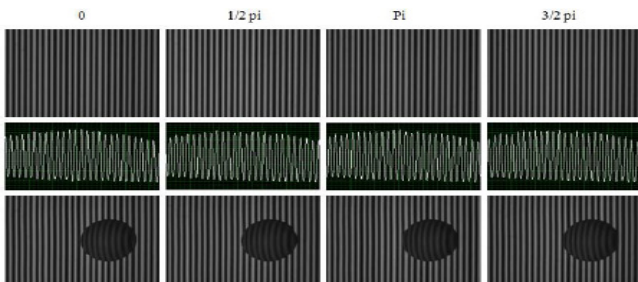
네가지의 간섭 패턴은 LabVIEW 프로그램 언어에 의해 오브젝트가 있을때와 없을때 각각 스크린에 빛을 조사하여 생성하였다. 스크린위에 오브젝트를 Smart camera로 분석 하였을때, wrapped된 모든 image를 프로그램으로 분석하였다. 분석은 두가지로 실시하였으며, wrapped된 이미지와 unwrapped된 image로 분류하였다.



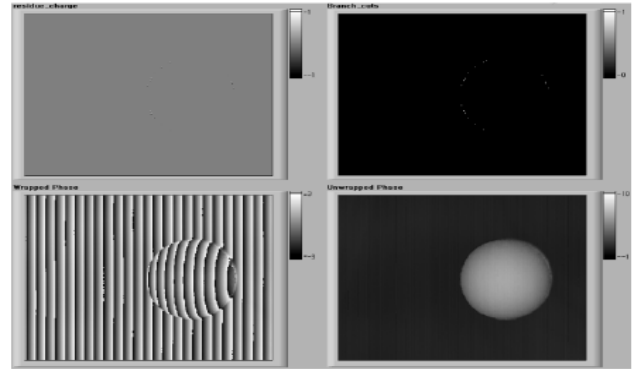
〈그림 2〉 노이즈를 제거한 unwrapping 프로그램

2.4 Experimental result

위상 이동시킨 4개의 일차 패턴은 object없이  $\pi/2$ 이동 시켜서 얻었다.(탁구공을 자른 이미지) 이미지가 사인파인지 아닌지 확인하기 위하여, 각기 다른 간섭패턴 그래프를 제시하였다. 그리고 스크린의 object에 빛을 조사하여 object의 4가지 간섭패턴을 얻을 수 있었다.



〈그림 3〉 위상이동 시킨 일차패턴,  $\pi/2$  이동시킨 그래프(상의 유,무)



〈그림 4〉 Residue, branch-cut, wrapped phase map, and unwrapping images

4-step 위상 이동 알고리즘으로 object의 형상을 생성하였다. LabVIEW로 제작한 unwrapping 프로그램으로 위상값을 측정하였다. 그림.4는 Goldstein unwrapping 이론의 residue[11], branch-cut[12], wrapped, unwrapping 위상맵을 나타낸다

3. 결 론

본 연구에서는, 매우 간단한 실험 장비를 설치하여 3차원 위상 정보를 얻고 PSI법을 기반으로 분석하였다. Wrapped된 위상 이미지를 위상 이동 간섭 패턴을 이용하여 얻을 수 있었다. Goldstein 이론에 의하여 unwrapping된 위상 이미지와 복구된 3차원 도면을 얻을 수 있었다. 3차원 분해능 정밀도의 영향으로 두가지를 확인할 수 있었다.

1. 실험장비의 성능, 피치간격, 프로젝터와 카메라의 분해능
  2. 잡음을 제거하는 방법
- 두가지 요인을 모두 사용하여 3차원 위상 정보를 분석하였다.

4. ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

[1] Kyu-Min Chae, "Hight-resolution wavefront analysis using phaseshifting interferometry and finite-difference time-domain method" p.5~6 Dec.2003  
 [2] David W robinson, Graeme T Reid, "Interferogram Anaysis Digital Fringe Pattern Measurement Techniques"1993,p.102~113,  
 [3] Chumbuk university "A study on the measurement of three dimensional object shape bu using phase shifting shadow moire method" 1998, p24~26.  
 [4] Santosh Rana, Shashi Prakash, Satya Prakash, "'Automated Collimationtesting in Lau interferometry using phase shifting technique'", Dec 2008,p.3  
 [5]Greivenkamp JE, Bruning JH. "Phase Interferometry.In: Malacara D,editor.Optical shop testing, New York:Wiley Inc" 1992. P 501-594  
 [6]David W robinson,Graeme T Reid, "Interferogram Anaysis Digital Fringe Pattern Measurement Techniques" 1993, p. 194~197  
 [7] Dennis C. Ghiglia, Mark D.Pritt, "Two-Dimensional phase unwrapping", 1998, p20~23  
 [8] David W robinson, Graeme T Reid, "Interferogram Anaysis Digital Fringe Pattern Measurement Techniques" 1993, p.21~23