

## 다방향 패턴을 이용한 구조광 기반의 3D 스캐닝 기법의 정밀도 개선

정준영, 이민혁, 이만희, 박인규

인하대학교 정보통신공학과

{pi\_aloha@naver.com, intoarena@gmail.com, maninara@inha.edu, pik@inha.ac.kr}

## Accuracy Improvement of Structured Light 3D Scanning Method using Multi-Directional Pattern

Joon-Young Jung, Min-Hyeok Lee, Man Hee Lee, and In Kyu Park

Department of Information and Communication Engineering, Inha University

## 요약

본 논문에서는 다방향 패턴을 이용한 구조광(structured light)방식의 3차원 스캔 기법을 적용하여 3차원 스캐너의 3차원 형상 취득의 정밀도를 높이는 방법을 제안한다. 기존의 단방향 패턴을 이용한 3차원 구조광 방식의 스캔 기법으로 3차원 형상을 취득하는 경우, 스캔 대상 표면의 법선벡터가 패턴의 방향과 수평 할수록 부정확한 형상이 복원된다. 본 논문에서는 스캔 대상의 경사면에 따른 법선 벡터(normal vector) 검출 및 검출된 벡터를 통한 최적의 패턴 방향 선출(quantization), 그리고 각 화소의 최적의 패턴방향을 이용한 선별적인 구조광 방식의 3차원 스캔 기법을 통하여 3차원 형상 취득의 정확성을 높이는 기법을 제안한다.

## 1. 서론

최근 3차원 프린팅 기술은 3차 산업 혁명의 동력으로 꼽히며 신제조업 패러다임을 주도하는 핵심기술로 부상하고 있다. 3차원 프린터는 최근 개인용 프린터 시장으로까지 확산되어 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 기술로 발전하였고 의료 및 출판 시장 등 다양한 분야의 산업에 널리 사용되고 있다. 이에 맞춰 다양한 3차원 스캔 방법이 발달한 가운데 구조광 기반의 3차원 스캔은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 카메라와 프로젝터를 이용하여 3차원 복원을 수행할 수 있어, 3차원 프린팅 시장의 대중화에 큰 기여가 주목되는 기술이다[1][2].

기존 구조광 스캔 기법은 수직, 수평의 패턴을 3차원 스캔수행 시 이용하여 카메라와 프로젝터의 삼각측정을 통해 깊이를 측정한다. 복원 형상의 정확도는 피사체 경사면의 패턴 밀도에 의해 결정되며 이는 패턴의 방향과 경사면의 관계가 수평에 가까워질수록 저하된다.

이에 본 논문은 기존 방식 대비 패턴의 밀도를 향상시키기 위해서 피사체의 표면에 따른 최적의 패턴을 이용한 스캔방식의 운용환경을 연구하였다.

## 2. 제안하는 3D 형상 복원 알고리즘

본 논문에서 제안한 방법을 시행하기 위해서 그림 1과 같은 순서를 따른다. 우선, 기존과 같은 단일 방향의 패턴을 이용하여 3차원 형상을 획득한다. 그리고 해당 형상을 이용하여 각 화소마다 법선벡터를

획득하여 이것의 각도  $\theta$ 를 획득한다. 다음 전체 방향 패턴을 이용해 3차원 스캐닝을 수행하여 각 패턴마다의 3차원 형상을 얻어낸 후, 마지막으로 법선벡터의 각도  $\theta$ 에 수평한 패턴으로 스캔된 3차원 형상의 화소를 선택하여 특정화소의 위치정보 정확도를 보정한다.

## 2.1 다중 방향 패턴 구현

패턴의 방향은 화면 화소의 위치를 변형하는 것을 이용하여 구현할 수 있다. 이때 패턴의 방향  $\theta_p$ 는 기존에 활용한 수직( $\theta_p = 90^\circ$ )과 수평( $\theta_p = 0^\circ$ )방향에 더하여  $26^\circ, 45^\circ, 63^\circ, 116^\circ, 135^\circ, 154^\circ$ 의 대각선 방향을 포함하여 총 8가지의 패턴 방향을 가지게 된다. 이 패턴들은 기존 구조광 방식의 3차원 스캐너와 마찬가지로 그레이 코드(Gray code) 순서로 피사체에 투영하여, 각 패턴 마다 복원된 형상을 가지게 된다.

## 2.2 3차원 형상의 법선 벡터 검출

수평한 패턴을 이용한 기존 구조광 방식의 3차원 스캐닝을 통해 3차원 형상을 취득한다. 이때 취득한 각 화소를 중심으로  $n \times n$ 에 위치한 화소들의 집합  $A$ 를  $4 \times n^2$ 의 행렬로  $n \times n$ 에 위치한 화소들이 구성하는 평면방정식의 법선벡터(normal vector)를 집합  $X$ 로 정의한다.

$$AX = B \quad (1)$$

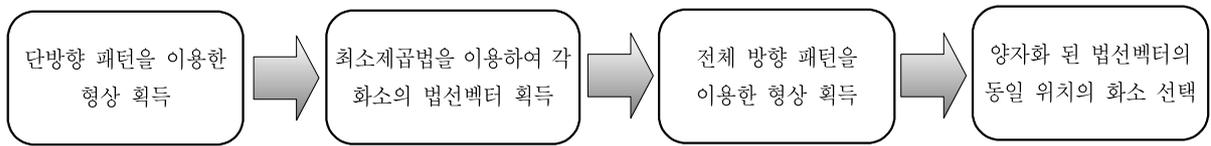


그림 1. 제안하는 알고리즘의 처리 과정

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{100} & y_{100} & z_{100} & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (3)$$

여기서 식(1)을 만족하는 최적의  $X$ 의 계수를 구하기 위해 t식 최소제곱근사(least square method) 알고리즘을 이용하여 각 화소 값의 법선벡터를 추정한다[3].

$$\theta = \arctan\left(\frac{a}{b}\right) \quad (4)$$

추정된 각 화소의 집합  $X$ 의 계수는 식 (3)을 통해 2차원  $\theta$ 로 변환한다.

### 2.3 수평 패턴 선출

2.2절에서 얻어낸 벡터의 2차원  $\theta$ 를  $|\theta - \theta_p|$ 의 최소 값을 만족하는  $\theta_p$ 로 양자화(Quantization)하여 각 화소의 최적의 패턴방향을 선출한다. 이를 통해 모든 화소가 가진 법선벡터의 값은  $0^\circ$ 부터  $164^\circ$ 사이의 8가지 양자화된 값으로 치환 할 수 있다. 이때  $0^\circ$ 는  $90^\circ$ ,  $26^\circ$ 는  $116^\circ$ 로 모든 각도 값에 직각( $90^\circ$ )을 더하여 수평한 각도를 선택할 수 있다.

### 3. 제안한 알고리즘을 이용한 3D 형상 복원 구현 및 실험 결과

실험은 1920\*1080 해상도의 디지털 카메라와 1024 \* 768 해상도의 프로젝터 장비를 이용하여 수행하였다. 스캐너의 분해능을 검증하기 위해 이미지의 동일한 행에서 부여된 그레이코드 당 한 개의 화소만을 복원하고 이를 유효화소로 규정한다. 그림 2의 좌측과 같은 피사체를 복원하여 법선벡터를 도출하고 영역별로 유효한 화소의 선택 여부를 확인 한다. 그림 2의 우측은 법선벡터를 각도 별로 양자화 하여 시각화 한 것이다. 그림 3은 해당 영역에서의 유효 화소 개수를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 3의 상단의 경우에는 그림 2를 통해 135도를 높은 밀도의 패턴으로 선택하였으며, 이때 135도의 화소가 가장 많이 선택됨을 확인할 수 있다. 그림 3의 하단은 해당 영역에서 63도를 복원 대상 패턴으로 선택하였고, 가장 많이 화소가 복원된 영역은 45도 패턴이며 63도는 2위를 나타내고 있다.

### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 단방향 패턴으로 복원된 3차원 형상을 이용하여 피사체의 법선벡터를 구하고, 다양한 각도의 패턴을 활용하여 각각의 형상을 얻은 다음, 패턴밀도가 높은 형상의 화소를 선택하여 복원하는 방법을 통하여 구조광 기반의 3차원 복원기법에서의 정밀도를 개선하는 기법

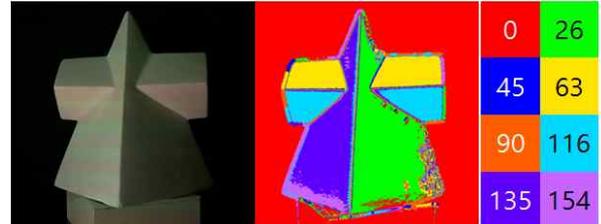


그림 2. 도출한 법선벡터 시각화

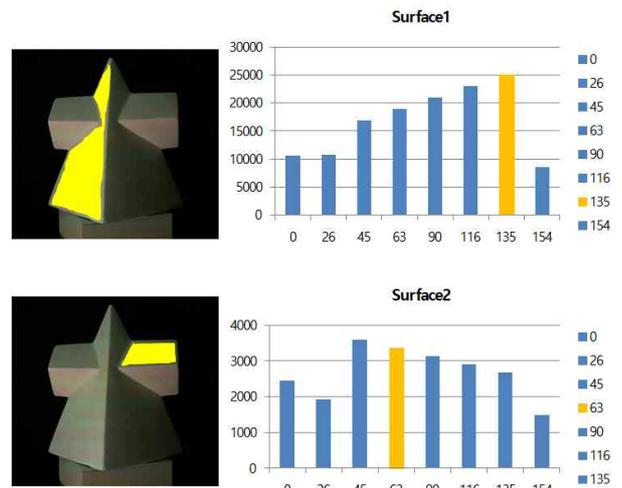


그림 3. 유효화소 선택 결과

을 제안하였다. 이를 통해 피사체 표면에 대해 가장 높은 패턴 밀도로 복원한 3차원 형상을 얻어내고 기존 방법 대비 높은 분해능 및 정밀도 높은 결과를 얻어낼 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술 개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10047078, 다시점 블랙박스 영상을 이용한 교통 사고현장 3차원 재구성 기술개발]

### 참고문헌

[1] D. Lanman and G. Taubin, Build Your Own 3D Scanner: Optical Triangulation for Beginners, SIGGRAPH 2009 Course.  
 [2] S. Inokuchi, K. Sato, and F. Matsuda, "Range imaging system for 3-D object recognition," Proc. of ICPR, pp. 806-808, 1984.  
 [3] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, Numerical Recipes in C++ : The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 1992.