

## 3차원 데이터를 이용한 실내 공간 표현 기법

이세호, 정성균, 정태영, 김창수

고려대학교 전기전자공학부

{coolhandluke, sg\_jeong, lovelool17, changsukim}@korea.ac.kr

## An Indoor Space Representation Method Using 3D Environmental Data

Se-Ho Lee, Seong-Gyun Jeong, Tae-Young Chung, and Chang-Su Kim

School of Electrical Engineering, Korea University

## 요약

본 논문에서는 3차원 데이터를 이용한 효율적인 실내 공간 표현 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 3차원 데이터의 획득과 실내 구조 및 영상 정보를 표현하기 위한 표면 복원으로 구성된다. 3차원 데이터는 레이저 거리 측정기 (laser range finder, LRF)와 전방향 (omni) 카메라를 통해 획득한 포인트 클라우드 공간 정보와 전방향 텍스처 영상으로 구성된다. 실내 구조를 복원하기 위해, 획득한 포인트 클라우드를 복셀 격자 기반의 샘플링 기법을 통해 균일화하고 포아송 표면 재구성 (Poisson surface reconstruction) 기법을 통해 3차원 매쉬를 생성한다. 그리고 전방향 텍스처 영상과 3차원 매쉬의 기하학적 관계를 이용한 텍스처 매핑 기법을 통해 최종적으로 3차원 매쉬 표면을 복원한다. 실험 결과를 통해 제안하는 기법이 실내 공간을 효과적으로 표현함을 확인한다.

## 1. 서론

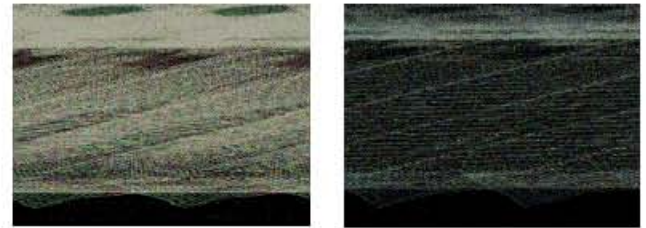
실내 공간을 3차원 모델로 표현하는 기술은 로봇 분야에서 3차원 지도를 생성하기 위해 사용되는 중요한 기술이다. 한편, 물체를 3차원 모델로 표현하는 연구 [1],[2]가 활발히 진행되어 온 반면, 실내 공간을 3차원 모델로 표현하는 연구는 방대한 데이터 취득의 어려움과 공간 및 영상 정보의 매칭 문제로 인해 제한된 연구가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 실내 공간을 3차원 모델로 표현하기 위한 데이터 획득과 이를 이용한 3차원 표현 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실내 공간을 표현하기 위한 3차원 데이터 취득 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 획득한 3차원 데이터를 이용한 실내 공간 표현 기법을 설명한다. 제안하는 기법을 통한 효과적인 실내 공간 표현 결과를 4장에서 확인하고, 마지막으로 5장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## 2. 3차원 데이터의 취득

실내 공간의 3차원 표현을 위해 본 연구에서는 레이저 거리 측정기 (laser range finder, LRF)와 전방향 (omni) 카메라를 이용하여 공간 정보와 영상 정보를 취득한다.

LRF는 레이저 투사를 통해 물체와 LRF간의 거리를 측정하는 도구로서 포인트 클라우드 형태의 데이터를 제공한다. 그러나 제한된 시야각으로 인해 한번 투사 시 제한된 영역의 공간 정보 획득이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 LRF의 위치를 고정하고 투사 각도를 달리하여 실내 공간 전체의 공간 정보를 취득한다.



(a)

(b)

그림 1 (a) 투사각을 달리하여 취득한 포인트 클라우드와 (b) 균일화 과정을 거친 포인트 클라우드

전방향 카메라는 한 번의 촬영으로 모든 방향의 영상 정보를 취득한다. 따라서 본 연구에는 전방향 카메라를 통해 모든 방향의 실내 공간 영상 정보를 취득한다.

## 3. 실내 공간 표현

## 가. 3차원 매쉬 생성을 통한 실내 구조 복원

그림 1(a)는 투사각을 달리하여 취득한 포인트 클라우드를 나타내며, 중복 투사된 영역에서는 균일하지 않은 포인트 클라우드를 확인할 수 있다. 균일하지 않은 포인트 클라우드 데이터는 잘못된 매쉬 생성을 초래할 수 있으므로 본 연구에는 복셀 격자 기반의 샘플링을 통한 균일화 기법을 제안한다. 우선, 3차원 공간을 복셀 격자로 나눈 뒤, 각 복셀 내부에 있는 포인트 클라우드들의 중심점을 계산하여 해당 복셀의 공간 정보로 이용한다. 그림 1(b)는 균일화 과정을 거친 포인트 클라우드 결과를 나타낸다.

\* 이 논문은 2011년 교육과학기술부에서 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감모형 인체감각기술개발> 글로벌프론티어사업 (한국연구재단-M1AXA000-2011-001540)과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012-000916).

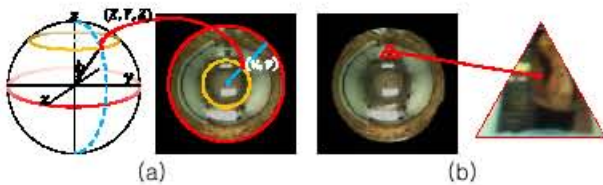


그림 2 (a) 전방향 영상과 3차원 공간의 관계와 (b) (a)를 이용한 각 메쉬의 텍스처 매핑 예

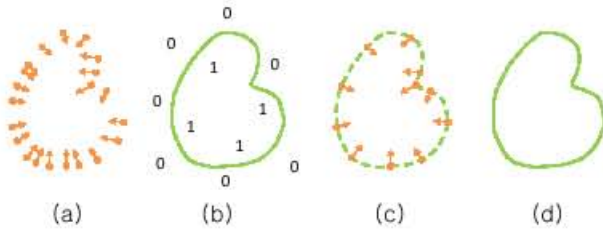


그림 3 (a) 각 점의 법선 벡터  $\vec{n}$ , (b) 표시 함수  $\zeta$ , (c) 표시 함수의 그래디언트  $\nabla\zeta$ , 그리고 (d) 포아송 표면 재구성 기법으로부터 구한 표면

실내 구조를 복원하기 위해, 균일화된 포인트 클라우드로부터 포아송 표면 재구성 (Poisson surface reconstruction) 기법에 기반을 둔 3차원 메쉬 생성을 제안한다. 3차원 표면의 내부는 '1', 외부는 '0'의 값을 갖는 표시 함수 (indicator function)를 가정하면, 표시 함수의 그래디언트는 표시함수 위에 존재하는 포인트 클라우드의 법선 벡터와 유사하다 [3]. 따라서 표시함수  $\zeta$ , 포인트 클라우드의 법선 벡터장을  $\vec{n}$ 이라고 할 때,  $\|\nabla\zeta - \vec{n}\|$ 를 최소화하는 표시함수로부터 3차원 표면을 구성할 수 있다. 최소화하는 표시함수를 구하기 위해, 포아송 방정식  $\Delta\zeta = \nabla \cdot \vec{n}$ 을 정의하고 이로부터 최종적으로 표시함수를 구한다 [3]. 표시함수로부터 3차원 표면을 구성하고 그 표면으로부터 3차원 메쉬를 생성한다. 그림 3은 포아송 표면 재구성 기법의 예를 나타낸다.

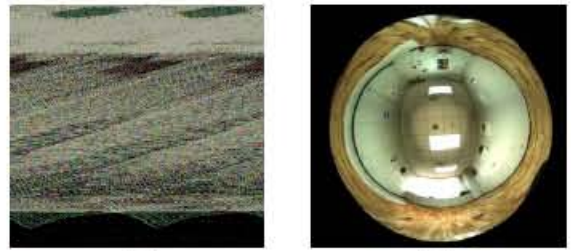
#### 나. 3차원 메쉬 표면 복원을 통한 실내 영상 복원

생성된 3차원 메쉬의 표면을 복원함으로써 실내 영상을 복원한다. 전역 영상으로부터 3차원 메쉬 표면을 복원하기 위해 메쉬를 구성하는 포인트 클라우드와 전역 영상간의 기하학적 관계를 정의한다. [4],[5]의 기법으로부터, 전역 영상의 픽셀  $p = (u, v)$ 와 3차원 공간상에 매핑되는 포인트  $P = (X, Y, Z)$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

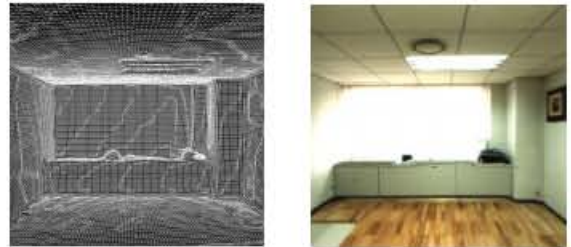
$$u = \phi \frac{X}{r}, \quad v = \phi \frac{Y}{r}, \quad \phi = \cos^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$$

이때  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ 를 나타낸다. 따라서 각 메쉬의 세 꼭짓점에 해당하는 포인트 클라우드들과 전역영상에서 매칭되는 픽셀위치를 찾아 전역영상의 텍스처를 메쉬 표면에 매핑함으로써 3차원 메쉬 표면을 복원한다. 그림 3(a)는 전역 영상과 3차원 공간 간의 관계를 나타내고, 그림 3(b)는 메쉬의 텍스처 매핑 예를 나타낸다.

#### 4. 실험 결과



(a) (b)



(c) (d)

그림 4 (a) 포인트 클라우드, (b) 전역 영상, (c) 3차원 메쉬 생성 결과, 그리고 (d) 3차원 메쉬 표면을 통한 연구실 환경 표현 결과

그림 4는 제안하는 기법을 통한 연구실의 3차원 표현 결과를 나타낸다. 그림 4(a)와 (b)는 LRF와 전방향 카메라를 통해 획득한 포인트 클라우드와 전방향 영상을 나타내고, 그림 4(c)는 제안하는 기법을 통해 복원한 연구실의 3차원 표현 결과를 나타낸다. 3차원 공간의 왜곡 없이 연구실 환경을 정확하고 효과적으로 표현한 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 실내 공간의 3차원 데이터의 획득 및 표현 기법을 제안하였다. LRF와 전방향 카메라를 이용하여 3차원 데이터를 획득하고, 이로부터 3차원 메쉬를 생성하여 실내 구조를 복원하는 기법을 제안하였다. 또한 전방향 영상을 3차원 메쉬 표면에 매핑함으로써 실내 영상을 효과적으로 복원하는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법을 이용하여 3차원 공간상에 연구실을 표현함으로써 그 성능과 효과성을 확인할 수 있었다.

#### 6. 참고문헌

- [1] J. C. Carr, R. K. Beatson, J. B. Cheshire, T. J. Mitchell, W. R. Fright, B. C. McCallum, and T. R. Evans, "Reconstruction and representation of 3D objects with radial basis functions," In Proc. *Computer graphics and interactive techniques*, NY, USA, 67-76.
- [2] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, and W. Stuetzle, "Surface reconstruction from unorganized points," *Computer Graphics*, vol. 23, no. 2, pp.71-78, Jul. 1992.
- [3] M. Kazhdan, M. Bolitho, and H. Hoppe, "Poisson surface reconstruction," In Proc. *Eurographics Symposium on Geometry Processing*, Vienna, Austria, Sep. 2006.
- [4] Shree K. Nayar, "Catadioptric omnidirectional camera," In Proc. of *Computer Vision and Pattern Recognition*, San Juan, Puerto Rico, Jun. 1997.
- [5] [http://www.ptgrey.com/products/ladybug2/ladybug2\\_360\\_vid\\_cameras.asp](http://www.ptgrey.com/products/ladybug2/ladybug2_360_vid_cameras.asp)