

## 3D Overhead Modeling Using Depth Sensor

Eungyeol Song, Sangyoun Lee

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea

**Purpose** This paper was purposed to suggest the method to produce the supportive helmet (head correction) for the infants who are suffering from plagiocephaly and to evaluate the level of transformation through 3D model.

**Method** Either of CT or X-ray restored images has been used in making the supportive helmet (Head correction) in general, but these methods of measuring have problems in cost and safety. 3D surface measurement technology was suggested to solve such matters.

**Results** It was to design the transformed model of the head within 0.7cm in average by scanning the surface of head and performing 3D restoration with marching cube and the changing rate of the head was compared in numerical data with 3D model.

**Conclusion** The suggested methods displayed the better performance than the conventional method in respect of the speed and cost.

**Key Words** Modeling · ToF sensor · Medical image processing · Surface rendering · positional plagiocephaly.

Received: November 24, 2014 / Revised: November 25, 2014 / Accepted: December 7, 2014

Address for correspondence: Sangyoun Lee

Department of Electrical and Electronic Engineering, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea

Tel: 82-2-2123-5768, Fax: 82-2-362-5563, E-mail: sylee@yonsei.ac.kr

## 서론

3차원 의료 영상은 사람의 전체 또는 일부를 측정함으로써 디지털 영상을 통해 인체 내부를 판단하기 위한 용도로 활용되어 왔다. 더 나아가 CT, MRI의 의료영상을 3차원 복원이나 가시화 방법을 이용하여 장기 및 혈관의 구조를 실제 3차원으로 보여줌으로써 과거와 달리 현실감 있는 정보를 효과적으로 전달하기에 도달 하였다. 하지만 3차원 의료 영상의 질적 향상은 이루어졌지만, 이는 표면이 아닌 인체 내부의 측정을 위한 용도이다. 인체 측정 방법에는 크게 내부와 외부로 나누어지는데 일반적으로 내부를 측정하기 위한 장비로 X-ray, CT, MRI 등 고도화된 장비들이 존재 한다. 하지만 생활의 질적 향상과 미에 대한 관심이 증가함으로써 외부를 측정 할 수 있는 장비에 대한 개발은 최근 활발히 진행되고 있다. 인체의 외부를 측정할 수 있는 장비는 오래전부터 로봇의 위치 인식이나 얼굴 인식, 3차원 측정을 이용한 SLAM 등에 활용 되었으며, 좋은 성능을 내고 있다. 따라서 점차 고도화 되어 가고 있다. 3차원 표면 측정 방법이 고도화됨에 따라 의료기술에 융합 가능한 방법들이 발전하고 있는데, 정확성과 오차를 최소화하기 위해 의료분야는 제한적으로 3차원 측정기

술을 측정하여 복원한 모델을 기반을 이용한 방법들이 제안되고 있다 (1).

최근 3차원 비접촉식 표면 측정 기술은 크게 4가지로 분류할 수 있는데 2차원 영상 왼쪽과 오른쪽 2장을 기하학적 정합방법으로 깊이를 추정하는 방법인 스테레오스코픽 (Stereoscopic) 방식과 광원에 고유한 패턴을 주사하여 이를 측정하는 구조광 (Structure Light)방식 그리고 연속된 여러 장의 사진을 이용해 카메라 시점을 유추하고 이를 복원 하는 방법인 모션 추정 (Structure from Motion)방식이 있다. 마지막으로 본 논문에서 사용되고 있는 Time of Flight (ToF) 방식이다. Time of Flight (ToF)는 빛을 송출 하고 반사되어 오는 시간을 측정하여 거리를 계산하는 방법이다.

LED 발신부에서 빛을 발광할 때 빠른 간격으로 모듈레이션 (Modulation)을 방출하고 수신부는 이 모듈레이션 (Modulation) 간격을 동기화 하여 Receptor 들을 활성화 시킨다.

LED 모듈레이션이 시작 시점에서는 in phase receptor들만을 활성화시키고, LED 모듈레이션의 종료 시점에서는 out phase receptor들만을 활성화시킨다 (Fig. 1). 따라서 in phase receptor들과 out phase receptor들을 시간차를 두고 서로 다르게

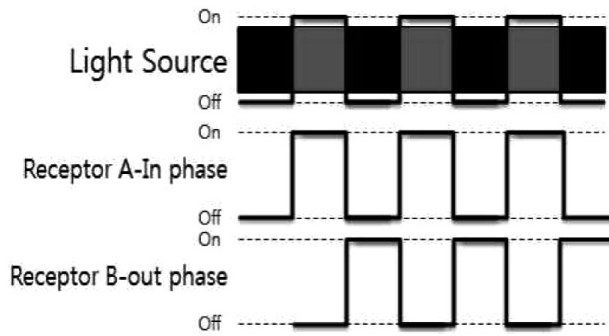


Fig. 1. Time of Flight (ToF) Principle.

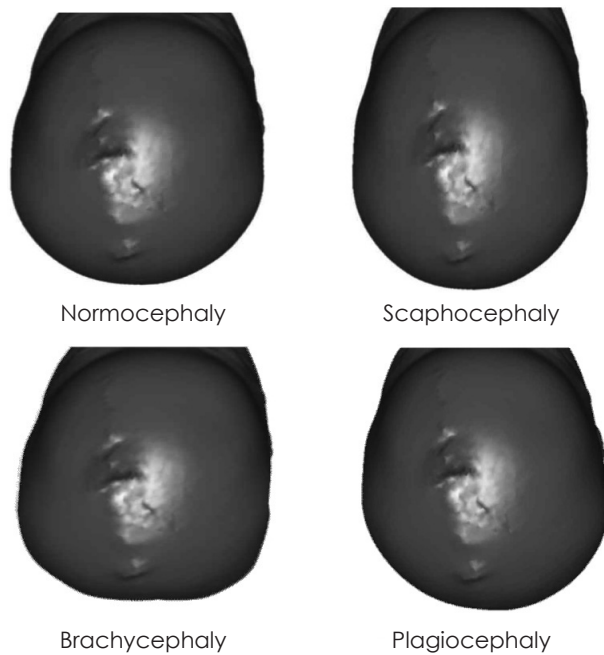


Fig. 2. Head Reconstruction.

활성화시키면 사물과의 거리에 따라서 수신되는 빛의 양에 차이가 발생하게 된다. 즉, in phase receptor에 수신된 빛의 양과 out phase receptor에 수신된 빛의 양의 차이를 비교하여 사물과의 거리를 측정하는 방법이 ToF 카메라이다. 이렇게 정밀한 측정이 가능한 ToF 카메라를 이용하여 우리는 두상교정에 필요한 모델링 시스템에서 두상 측정을 하고자 한다.

두상 교정은 머리가 비대칭인 신생아 (3~18개월)에게 적용하는 방법이다. 원인은 같은 자세로 오래 동안 유지하는 경우, 질병이나, 조산, 낙산, 쌍둥이 등으로 인해 발생한다고 알려져 있다. 1990년대 중반 미국 FDA 승인 이후 급속히 증가하게 되었으며, 단순 미관에 의한 불편함뿐만 아니라 두상의 기형은 Skull base의 비대칭적인 성장으로 인해 중·안면이 전체적으로 비대칭 구조를 이루게 되면 안면의 중심축이 틀어질 가능성이 있으며, 사시나 부정교합의 원인이 된다고 알려져 있다. 유아의 두상변형에는 세 가지 유형이 있다. 첫 번째 두상은 정상 유아의 두상이고, 두

번째 두상은 후두부가 길게 나오는 유형인 장두, 세 번째 두상은 납작 머리 유형인 단두, 마지막 그림은 한쪽으로 치우치는 두상인 사두의 모습이다 (Fig. 2)(1-5).

두상의 틀어짐을 해결하기 위해 두상교정 보조 기구가 필요하다 (Fig. 2). 이 보조기구를 제작하기 위해서는 의료진이 두상의 정밀 측정을 위해 X-Ray, Cephalometry, CT 컴퓨터 단층촬영을 통해 검진하고 있는 실정이다. 하지만 측정하기 위해 생후 3개월에서 18개월 사이의 신생아에게 방사선 촬영은 사회적 비용 증가와 유아의 불편함을 야기한다. 또한 정성적인 평가로 이루어지는 두상 평가방식은 비과학적이고 객관적이지 못해 이를 해결하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 방 법

### 1. 프로세스 순서도

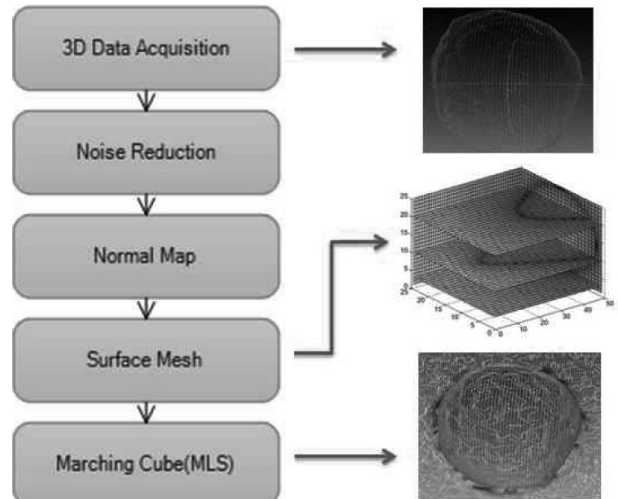


Fig. 3. Flowchart.

Time of Flight 센서에서 취득된 깊이맵의 원리는 핀홀 카메라 모델에서 얻을 수 있다. 실제 카메라 좌표계의 중심과 영상 평면 좌표계가 다르므로 이를 보정 해주어야 한다.

여기서 x축과 y축의 카메라 초점 거리를  $F_x$ ,  $F_y$ 라 하고, 중심 위치의 차이를  $C_x$ ,  $C_y$ 라 한다.

$$Z \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

매트릭스 F는 3×4로 구성된 매트릭스로 이를 내부 파라미터 (Intrinsic parameter)라고 하는데 식 2와 같이 깊이맵을 F의 곱으로 표현함으로써 포인트 클라우드 (Point Cloud)로 변환 하게 된다.

$$\begin{aligned} X_d &= (u_d - C_x) \times \frac{Z}{f_x} \\ Y_d &= (v_d - C_y) \times \frac{Z}{f_y} \\ Z_d &= d \end{aligned} \quad (2)$$

각 각의 X, Y, Z의 Camera Coordinate 변환을 위해서 u, v 는 깊이 맵에 내부 파라미터  $F_x, F_y, C_x, C_y$ 를 이용하여 변환하게 된다. 마지막으로 d는 depth map 값을 나타낸다.

포인트 클라우드의 노이즈를 제거하고 방향벡터를 계산한 후 마칭큐브 (Marching cube)를 이용하여 복셀 (Voxel)로 표현된다. 각각의 복셀 (Voxel)은 자신의 좌표 값을 가지고 있고 공유 데이터로 쓰인다. 공유데이터는 8개의 모서리를 가지고 있고 인접한 복셀의 교차점이 되기도 하는 등 점군을 이용하여 폴리곤화 (Polygonization) 과정을 거쳐 개체가 점들을 면으로 변환하게 된다 (7).

변환된 면을 기준으로 모델의 결과를 평가하게 된다.

왼쪽부터 순차적으로 두상의 상단에서 내려다본 장면, 두상의 옆면, 두상 앞면, 두상 뒷면을 카메라 뷰 (Camera View)를 이동하여 취득한 장면이다 (Fig. 4).

### 2. Level Set 설정

두상의 기준선을 마련하기 위해 Sellion 점과 Tragion 기준으로 직선의 선분을 연결 하였을 때를 Level 0이라 가정하고 Level 0을 기준으로 직교한 가상의 선이 머리끝을 지날 때 Level 10이라 지정 하였다면 Level 0과 Level 10 사이에 10개의 가로 선을 얻을 수가 있다. 여기서 우리는 Level 3에 해당하는 선분을 기준으로 두상의 표면적을 측정하였다 (Fig. 5)(6).

Level 3는 일반적으로 귀 상단과 눈썹 주변에 기준이 되게 하

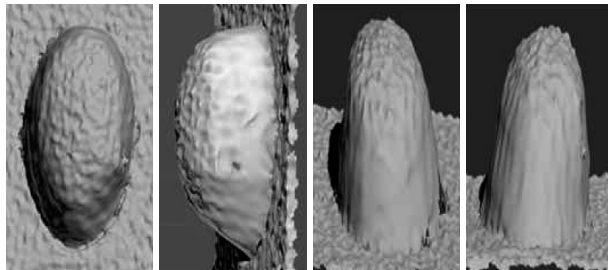


Fig. 4. Head Top, Side, Front, Rear.

여 사각의 보조 평면을 만들어 3차원 측정을 하였다 (Fig. 5).

보조 평면은 측정 시 카메라와 두상이 직교 되었는지 평가하기 위한 용도와 모델링 후 Level 3의 위치를 제한하기 위한 용도로 사용되었다 (Fig. 6).

두상의 Level 3에 해당하는 위치에 사각 보조 판을 설치한 장면이며, 이를 3차원 포인트 클라우드로 (Point Cloud) 변환한 장면을 2D 투상변환 (Projection)하여 나타낸 결과이다 (Fig. 6).

### 3. 실험 환경 및 조건

두상측정에 참여한 인원은 성인 10명을 대상으로 두상의 Level 3 부분을 실측하였다. 실측 결과가 Ground truth가 되며, 3차원 측정된 데이터를 기반으로 만든 모델을 기반으로 원의 둘레를 측정하게 된다. 더 나아가 실험의 오차율을 줄이기 위해서 Ground truth는 5회 반복 측정하였으며, 머리둘레는 모델링 후 계산된 모델을 기준으로 3D 측정 툴을 이용하여 원의 둘레를 측정하였다.

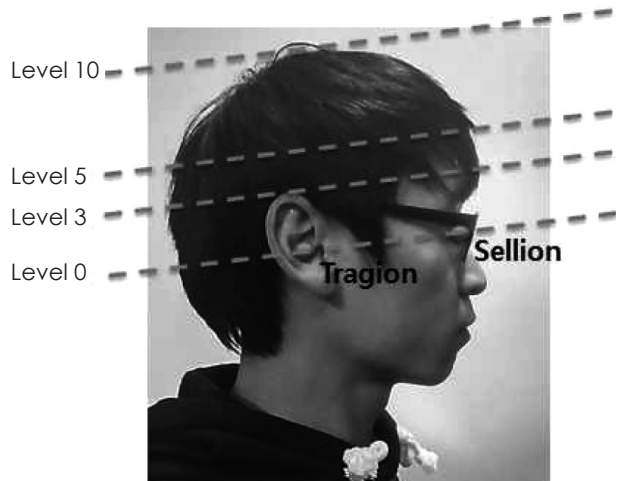


Fig. 5. Head Level set.

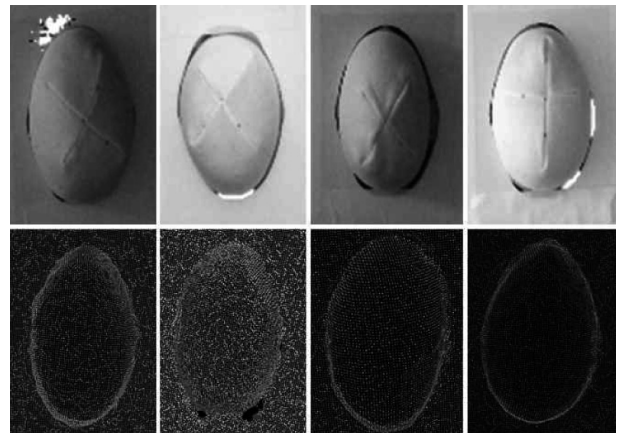


Fig. 6. Top: Head Top Capture Image Bottom: Head Top Point Cloud.

**Table 1. Measurement Result**

			측정 단위: Cm
Number	Ground truth	Head circumference	Error
1	62.6	61.5	1.1
2	58.9	58.7	0.2
3	58.5	58.5	0
4	61	59.7	1.3
5	62.4	61.5	0.9
6	60.3	59.6	0.7
7	61.9	60.5	1.4
8	61	60.1	0.9
9	61	60.7	0.3
10	62	61.8	0.2

## 결 과

보조 평면 (Level 13) 기준으로 원의 둘레를 측정 결과로 0~14mm 정도의 오차율을 보이고 있다 (Table 1).

## 고 찰

측정에 관련한 오차의 기준은 의료계에서 일반적으로 허용하는 수치에 아직은 개선할 여지가 있다. 이 오차는 깊이 카메라 오차, 노이즈, 복원 과정 오차, 측정오차 등이 누적되어 나타난 결과로 볼 수 있다. 이 오차를 감소시킨다면 정밀한 두상 보조 기구를 제작 할 정도의 수준에 도달 할 것이며, 측정 기준도 명확해 질 것이라 판단 한다.

## 결 론

본 논문에서는 3차원 표면 측정센서를 이용하여 취득된 데이터를 가지고 3차원 모델을 만들었다. 이 모델은 크게 3가지 강점을 가지고 있다.

첫 번째로 두상의 변화를 3차원 복원을 통해 정밀하게 탐지할 수 있었다. 이는 과거 X-선 촬영이나, CT 등 의료 영상장비를 이용한 방법보다 사회적 비용이 저렴하고, 반복 측정하여도 인체

에 해가 가지 않는 Infrared (IR)을 사용하기에 가능하였다.

두 번째로 정밀한 보조기구를 제작하기 위함이다. 유아의 사두증의 치료는 보조 장치를 이용하여 치료하게 되는데 두상의 크기와 증상에 따라 두상 맞춤형 보조 기구를 제작하여야 한다. 따라서 이를 제작하기 위해서는 정확한 두상의 표면적을 알아야 하는데 본 논문에서 제안한 방법인 표면 측정방법은 이상적인 방법이라 할 수 있다.

세 번째로 객관적 평가가 가능하다. 과거에는 두상의 자세를 평가하기 위해 정성적인 방법이 많이 사용되었다. 사진이나 의료장비의 촬영으로 증명되어 왔으나, 본 논문의 방법은 두상의 변화 과정을 지속적으로 저장함으로써 두상의 변화율을 데이터를 통해 평가할 수 있었다. 앞으로 이 측정 오차를 줄이기 위한 방법을 고안하고 Level 3부터 Level 10까지의 3차원 모델 생성이 아닌 얼굴 표면 전체 모델을 생성하여 안면 비대칭에 관한 전체를 측정 할 수 있도록 발전해 나갈 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Katzel EB, Koltz PF, Sbitany H, Emerson C, Giroto JA. Real versus perceived improvements of helmet molding therapy for the treatment of plagiocephaly. *Plast Reconstr Surg* 2010;126:19e-21e
2. Katzel EB, Koltz PF, Sbitany H, Giroto JA. Treatment of plagiocephaly with helmet molding therapy: do actual results mimic perception? *Cleft Palate Craniofac J* 2011;48:205-209
3. Lee RP, Teichgraeber JF, Baumgartner JE, Waller AL, English JD, Lasky RE, Miller CC, Gateno J, Xia JJ. Long-term treatment effectiveness of molding helmet therapy in the correction of posterior deformational plagiocephaly: a five-year follow-up. *Cleft Palate Craniofac J* 2008;45:240-245
4. Lipira AB, Gordon S, Darvann TA, Hermann NV, Van Pelt AE, Naidoo SD, Govier D, Kane AA. Helmet versus active repositioning for plagiocephaly: a three-dimensional analysis. *Pediatrics* 2010;126:e936-e945
5. Schaaf H, Malik CY, Streckbein P, Pons-Kuehnemann J, Howaldt HP, Wilbrand JF. Three-dimensional photographic analysis of outcome after helmet treatment of a nonsynostotic cranial deformity. *J Craniofac Surg* 2010;21:1677-1682
6. Kim SY. "Outcome Analysis of Helmet Therapy and Counter Positioning for Deformational Plagiocephaly", 2013, Thesis (M.A.)--, Ajou University
7. Jiwoo Kang, doyoung kim, Sanghoon Lee, "Segmentation and 3D Visualization of Medical Image : An Overview", 2014. *Journal of international society for Simulation surgery* Vol.1 NO.1 27-31