

# 깊이 영상을 통한 화소 단위 물체 부피 측정 방법<sup>+</sup>

## (Volume Measurement Method for Object on Pixel Area Basis through Depth Image)

김지환<sup>1)</sup>, 권순각<sup>2)\*</sup>  
(Ji-hwan Kim and Soon-kak Kwon)

**요약** 본 논문에서는 깊이 카메라에 의해 촬영된 깊이 영상을 이용하여 객체의 부피를 측정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 깊이 정보를 활용하여 물체의 영역의 실제 거리 단위의 폭과 높이를 계산하여 물체의 부피를 측정한다. 배경 깊이 영상과 촬영된 깊이 영상에서 화소 값의 차이를 통해 영상을 이진화하여 물체 영역을 구한다. 이진화된 영상으로부터 검출된 물체 영역에 해당하는 화소의 3차원 좌표를 이용하여 실제 단위의 거리를 계산한다. 각 화소가 가지는 깊이 정보를 이용하여 인접한 4개의 화소로 이루어진 2x2화소 영역 사각형에 대한 부피를 계산한다. 모든 2x2화소 영역들에 대한 부피를 더하여 물체의 부피를 계산한다. 부피를 계산하였을 때 60cm의 측정거리에서 평균 2.1%의 오차가 측정된다.

**핵심주제어:** 깊이 영상, 영상 기반 거리 측정, 부피 측정

**Abstract** In this paper, we propose a volume measurement method for an object based on depth image. The object volume is measured by calculating the object height and width in actual units through the depth image. The object area is detected through differences between the captured and background depth images. The volume of the 2x2 pixel area, formed by four adjacent pixels using the depth information associated with each pixel, is measured. The object volume is measured as the sum of the volumes for whole 2x2 areas in the object area. In simulation results, the average measurement error for the object volume is 2.1% when the distance from the camera is 60cm.

**Keywords:** depth image, image-based length estimation, volume measurement

\* Corresponding Author: skkwon@deu.ac.kr

+ 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2024-2020-0-01791, 90%)과 부산광역시 및 (재)부산테크노파크의 BB21plus 사업(10%)임.

Manuscript received January 25, 2024 / accepted January 29, 2024

1) 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과, 제1저자

2) 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과, 교신저자

## 1. 서론

물체의 부피 측정은 제조업, 물류, 의류 분야를 포함한 여러 분야에서 기본적인 요구사항으로 부각되고 있다. 대규모 생산 공정에서 물체의 부피를 정확하게 측정하는 것은 품질 검수에 있어 중요한 요소 중 하나이다. 하지만 직접 물

체의 부피를 측정하는 것은 반복적으로 측정이 필요한 환경에서 정확도와 속도 측면에서 한계가 있다. 이를 해결하기 위해서는 색상 영상 기반의 부피 측정 기술을 적용할 수 있다. 하지만 색상 영상 그 자체는 촬영된 물체의 3차원 정보를 구하기 힘들다. 이를 해결하기 위해 카메라의 투영 모델 및 설치 위치 등의 정보가 담긴 카메라 파라미터를 통해 부피를 추정하는 방법(Liu et al., 2011; Cho et al., 2018)가 제안되었다. 카메라 파라미터를 통해 3차원 공간상의 피사체에서 색상 영상으로 투영되는 모델을 계산하고, 이를 통해 해당 객체의 3차원 공간상의 정보를 획득하여 부피를 계산한다. 하지만 이를 위해서는 사전에 카메라 파라미터를 직접 구해야 하고, 카메라 촬영 위치 및 방향이 고정되어야 한다는 한계가 있다. 색상 영상에서 객체의 부피를 계산하기 위해 소실점을 활용할 수도 있다(Criminisi et al., 2000; Rother et al., 2007; Viswanath et al., 2009; Pribyl and Zemcik, 2011; Andaló et al., 2015; Jung et al., 2016). 색상 영상 내 객체의 외곽선들을 찾은 후 같은 방향의 외곽선들을 검출하여 이로부터 색상 영상 내 소실점들을 찾는다. 소실점들을 통해 길이를 알고 있는 기준객체와 추정하고자 하는 객체간의 비율을 통해 객체의 부피를 추정한다. 이 방법은 카메라 정보가 필요하지 않지만 색상 영상 내 기준 객체가 필요하다. 또한 부피를 알고 있는 참조 객체를 같이 촬영하여 추정하고자 하는 객체의 부피를 추정하는 방법(Hippocrate et al., 2016; Okamoto and Yanai., 2016; Liu et al., 2020; Jia et al., 2022)도 제안되었다. 영상 내 참조 객체와 대상 객체 영역 내 화소의 비율을 계산한 후 참조 객체와의 영상 내 크기 비율을 통해 부피 비율을 추정한다. 하지만 이러한 방법은 사전에 영상 내 객체의 크기 비율과 부피 비율 간의 관계를 미리 모델링하는 과정이 필요하고, 부피 추정을 위해 참조객체를 같이 촬영해야 한다는 불편함이 있다. 딥러닝을 통해 영상을 이용하고, 이로부터 영상 부피를 추정할 수도 있다(Lee and Kwon, 2023; Kim et al., 2023) 객체 부피 추정을 위해 다시점에서 촬영된 색상 영상들을 활용할 수도 있다(Quintino et

al., 2014; Chang et al., 2017; Tushar et al., 2018; Chang et al., 2023; Li et al., 2023). 이는 다시점에서 촬영된 영상들을 정합하여 이로부터 3차원 공간의 피사체로부터 영상으로의 투영모델을 계산하는 방법이다. Li et al.(2023)은 돌아가는 판 위에 올려둔 대추를 이용하여 3D 공간의 점집합인 Point cloud를 생성하여 부피를 측정하였다. 하지만 색상영상만으로는 물체의 정확한 3차원 정보를 알기 어려워 정확한 부피 추정을 하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 깊이 영상을 활용할 수 있다(Choi and Kwon, 2019; Lee and Kwon, 2019, Lee and Kwon, 2022). 깊이 영상은 센서나 카메라로부터의 각 화소가 특정한 깊이나 거리를 나타내는 3차원 구조를 표현한 것이다. 깊이 영상은 물체의 3차원 공간적 정보를 제공하여 물체의 부피를 추정하는데 탁월한 성능을 보이기 때문에 물체의 부피를 비교적 정확하게 계산할 수 있다. 여러대의 깊이 카메라를 사용하거나 하나의 깊이카메라로 다양한 각도에서 물체를 촬영하여 얻은 멀티 뷰 기법(Gallup et al., 2007; Schönberger et al., 2016)을 사용하여 물체의 부피를 측정하는데 활용할 수도 있다. 각 카메라의 시점으로 촬영된 영상을 3D모델로 병합하여 물체의 형태를 재구성하고 이를 기반으로 부피를 측정한다. 하지만 이는 다수의 카메라가 필요하기 때문에 단일 카메라 촬영환경에는 적합하지 않다.

본 논문은 물체의 위에서 깊이 카메라를 이용하여 물체의 부피를 측정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 하향으로 촬영된 깊이 영상에서 이진화를 통해 측정할 물체가 있는 영역을 탐지한다. 그 후 깊이 영상 내 화소 값을 통해 각 화소의 3차원 공간상에서의 좌표를 계산한다. 하나의 화소가 가지는 좌표를 이용하여 이웃한 4개의 화소를  $2 \times 2$  크기의 사각형을 가지는 화소 영역 단위로 분할한다. 화소간의 거리를 3차원 좌표를 통해 계산하고, 각각의 깊이 값을 통해 부피를 측정한다. 제안하는 방법은 물체의 부피를 추정하기 위해 참조 객체 및 카메라 파라미터 등의 추가적인 정보가 필요하지 않고, 여러 환경에서 부피를 측정할 수 있다. 특히 사람이 직접 접근하기 어려운 환경과 공간

그리고 짧은 시간 내에 부피를 측정 해야하는 상황에서 유용하게 활용될 수 있다.

## 2. 깊이 영상을 통한 제안된 화소 단위 물체 부피 측정 방법

### 2.1 깊이카메라를 통한 물체 부피측정

깊이 카메라는 카메라로부터 피사체까지의 거리를 깊이 영상으로 나타낸다. 깊이 영상에서 하나의 화소는 2차원 정보가 아닌 실제 거리 값인 3차원 좌표를 가진다. 이 때 핀홀 카메라 모델(Choi and Kwon, 2019)를 적용한다. 핀홀 카메라 모델은 피사체의 각 점에서 나오는 빛이 핀홀을 통과하여 가상의 이미지 평면을 형성한다. 이때 투영된 이미지는 실제 피사체와 크기, 모양, 각도 등에서 일정한 관계를 유지한다. 그 후 이미지에서의 한 점을 카메라와의 깊이 정보를 이용하여 3차원 공간에서의 좌표로 매핑 하는 방법이다. 핀홀 카메라 모델을 적용하여 구한 두 화소의 3차원 좌표 값을 이용하면 원하는 영역에 대한 길이와 높이의 실제 거리를 계산할 수 있다.

제안된 방법은 평평한 바닥에 존재하는 물체를 위에서 촬영한다고 가정한다. 촬영된 깊이 영상은 사전에 촬영한 깊이 영상과의 비교를 통해 이진화를 수행하여 물체 영역을 검출한다. 평면에 대하여 모델링(Lee and Kwon, 2016)을 진행하면 평면 위에 놓여진 물체의 표면을 보다 정교하게 추출이 가능하다. 이러한 평면 모델링은 open3d 와 같은 라이브러리를 이용하여도 추출이 가능하다. open3d에서는 데이터를 랜덤하게 샘플링하여 평면 모델을 추정하고 추정한 모델에 대한 적합성을 판단하고 검증하는 과정을 거치는 RANSAC방식을 이용한다. 이 방식은 mesh를 point cloud로 변환하는 과정을 거친다. 때문에 화소 값만을 이용하여 부피를 측정하는 방법보다 계산 복잡도가 높아 처리속도가 느리다는 단점이 있다. 일반적으로 부피를 구할 때 사면체로 mesh를 분해해서 구할 수 있지만

본 논문에서는 mesh를 구성하는 방법 대신 깊이 영상에서의 화소 값을 이용하여 기하학적 모델링을 통하여 물체의 부피를 구하는 방법을 사용한다. 검출된 물체 영역 내 화소들의 좌표 값을 이용하여 각각의 화소가 모서리를 이루는 2x2화소 영역으로 분할하고, 영역 내 화소 간 실제 단위 거리를 구하고, 거리와 각 화소의 깊이 값을 통해 해당 영역에 대한 부피를 구한다. 이를 합하여 해당 객체의 부피를 측정한다. Fig. 1은 제안하는 방법의 흐름도를 보인다.

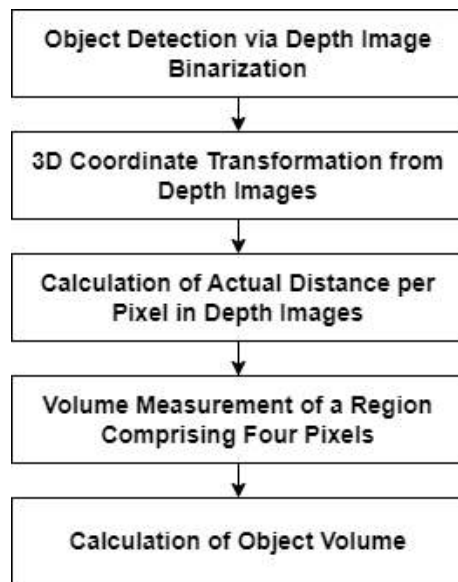


Fig. 1 Flowchart of proposed volume measurement methodology

### 2.2 부피 계산을 위한 화소 간 거리 계산

핀홀 카메라에서는 영상이 맺히는 점이 카메라의 뒤에 위치하여 상이 뒤집혀 있지만, 이 면을 카메라 좌표계에서의 원점 앞으로 이동시키면 물체의 상은 뒤집혀지지 않고 원래 상과 같은 방향으로 보이게 된다. 핀홀 카메라 모델을 이용하여 실세계에서의 물체가 카메라 영상으로 투영되는 관계를 Fig. 2와 같이 기하학적으로 설명할 수 있다.

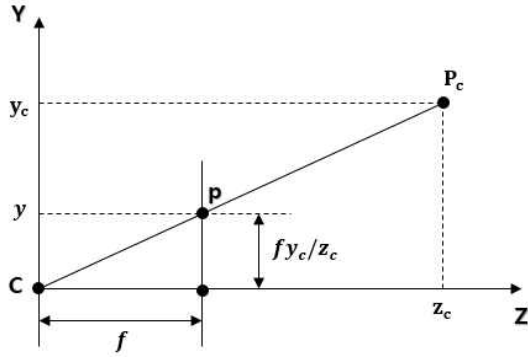


Fig. 2 Pinhole camera model

깊이 카메라에서 한점의 위치는 카메라 좌표계에서 정의된다. 깊이 카메라의 위치를 원점으로 하고 카메라의 정면인 광축 방향을 Z축으로 하는 3차원 좌표계에서 한 점  $P_c$ 는  $P_c$ 와 원점을 직선으로 그을 때 그 선이 영상 평면과 만나는 점의 좌표가 2차원 영상에서의  $x, y$ 좌표가 된다. 이때 2차원 영상 평면은 3차원 카메라 좌표계에서의  $xy$ 평면과 평행하고 원점과의 거리가 초점거리  $f$ 만큼 떨어진 곳에 위치한 가상의 평면이다. 이때 초점거리는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$f = \frac{\text{width}}{2} \frac{1}{\tan(\text{fov}_w/2)} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{height}}{2} \frac{1}{\tan(\text{fov}_h/2)}$$

여기서 width, height는 각각 영상의 수평, 수직 해상도를 의미하며  $\text{fov}_w, \text{fov}_h$ 는 카메라의 수평, 수직방향의 시야각이다. 깊이 영상에서 물체를 검출하기 위해 사전에 객체가 없는 배경 깊이 영상을 촬영한다. 촬영된 깊이 영상에서 물체 영역을 검출하기 위해서 화소 값이 배경 깊이 영상보다  $T$ 이상 클 경우를 기준으로 하여 다음과 같이 이진화한다. 식 (2)에서  $d_b(x, y)$ 와  $d_p(x, y)$ 는 각각 배경 깊이 영상과 촬영된 깊이 영상의  $(x, y)$ 에서의 화소 값들이고,  $T$ 는 이진화를 위한 임계값이다.

$$b(x, y) = \begin{cases} 255, & d_b(x, y) - d_p(x, y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

이진화된 영상 내 깊이 화소가 가지는 실제 3차원 공간상의 좌표를 계산한다. 3차원 공간상의 피사체에서 영상으로 투영되는 원리를 나타낸 핀홀 카메라 모델을 통해 각 화소의 3차원 좌표를 계산할 수 있다. 핀홀 카메라 모델에서 3차원 좌표를 계산하는 방법은 다음과 같다. 식 (3)에서  $X, Y, Z$ 는 3차원 좌표이며  $x_0$ 와  $y_0$ 는 영상 중앙을 나타낸다.

$$X = \frac{x - x_0}{f} d_p(x, y) \quad (3)$$

$$Y = \frac{y - y_0}{f} d_p(x, y)$$

$$Z = d_p(x, y)$$

물체 영역 내  $2 \times 2$  영역 내 화소를 좌상단 화소부터 시계방향 순서로  $a(X_1, Y_1, Z_1), b(X_2, Y_2, Z_2), c(X_3, Y_3, Z_3), d(X_4, Y_4, Z_4)$  라고 하면 영역 내 가로 길이  $w$ 는  $a$ 와  $b$  사이의 거리이고 세로 길이  $h$ 는  $a$ 와  $c$  사이의 거리로 두어 다음과 같이 계산한다.

$$w = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (4)$$

$$h = \sqrt{(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2 + (Z_1 - Z_3)^2}$$

### 2.3 화소 간 거리를 이용한 객체의 부피 계산

실제 객체는 복잡한 형상을 가지기 때문에, 부피를 구하기 위해서는 객체 영역을 분할한다. 이때 하나의 화소가 가지는 좌표를 이용하여 이웃한 4개의 화소를  $2 \times 2$  크기의 사각형을 가지는 화소 영역 단위로 분할한다. 4개의 화소로 이루어진 사각형은 각 화소의 좌표가 사각형의 모서리를 이룬다. 본 논문에서는 인접한 4개의 화소로 이루어진  $2 \times 2$  화소 영역 단위로 부피를 측정한다. 각 화소 영역 내 형태는 육면체로 가정할 수 있다. 일반적으로 부피를 구할 때 사면체로 mesh를 분해해서 구할 수 있지만 4개의 화소로 이루어진 육면체를 사면체로 분해하여 부피를 계산하려면 4개의 사면체의 부피를 계산

해야한다. 본 논문에서는 깊이 영상에서의 화소 값만을 이용하여 기하학적 모델링을 통하여 4개의 화소로 이루어진 육면체를 1개의 육면체와 2개의 사각뿔로 분해하여 더 적은 과정을 통하여 물체의 부피를 구하는 방법을 사용한다. 한 육면체에서 밑면과 윗면이 평행한 직육면체의 형태일 경우, 즉 촬영 영상의 2x2 영역 내 4개의 깊이 화소 값이 모두 같다면 부피는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_c = whD \tag{5}$$

여기서 D는 배경 깊이 영상의 화소 값과 촬영된 깊이 영상의 화소 값의 차이이다.

윗면이 밑면과 평행하지 않을 경우에는 Fig. 3와 같은 육면체 형태를 가진다. 이 때 4개의 화소 중 제일 낮은 깊이 값을 가지는 점을 a로 두고, 해당 점으로부터 시계 방향으로 b, c, d로 한다. 그 후 육면체를 a의 높이를 기준으로 직육면체와 사각뿔로 Fig. 3과 같이 분할한다.

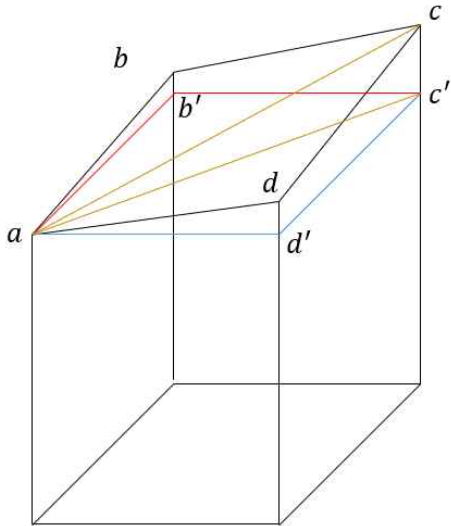


Fig. 3 Volume calculation for a 2x2 pixel area

2x2 화소 영역 내 부피는 분할된 직육면체와 두개의 사각뿔의 부피를 계산하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_c &= whD_a \tag{6} \\ &+ \frac{1}{3}wh \left( \frac{(D_d - D_a) + (D_c - D_a)}{2} \right) \\ &+ \frac{1}{3}wh \left( \frac{(D_b - D_a) + (D_c - D_a)}{2} \right) \\ &= whD_a + \frac{wh}{6}(D_b + 2D_c + D_d - 4D_a) \end{aligned}$$

여기서  $D_a, D_b, D_c, D_d$ 는 각각 a, b, c, d에 해당하는 깊이 화소 값이다.

물체의 외곽에서는 2x2 영역 내 3개의 화소에만 물체가 존재하는 화소가 포함되어 있을 수 있다. 이때는 해당 형태를 삼각기둥 형태로 두고 부피를 계산한다. Fig. 4와 같이 밑면과 윗면이 평행하지 않은 삼각기둥의 경우에는 깊이 값이 제일 큰, 즉 높이가 가장 낮은 꼭짓점을 기준으로 윗면과 아랫면이 평행한 삼각기둥과 삼각뿔로 분할한다. 이때 높이가 가장 낮은 변을 기준으로 하나의 삼각기둥이 나오고 전체 삼각기둥에서 앞에서 구한 가장 작은 삼각기둥을 빼면 하나의 사각뿔이 나온다. 마찬가지로 부피가 가장 낮은 꼭짓점의 위치를 a라 두고, 다음과 같이 삼각기둥에 대한 부피를 계산한다.

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{1}{2}whD_a \tag{7} \\ &+ \frac{1}{3}wh \left( \frac{(D_c - D_a) + (D_b - D_a)}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2}whD_a + \frac{1}{6}wh(D_b + D_c - 2D_a) \end{aligned}$$

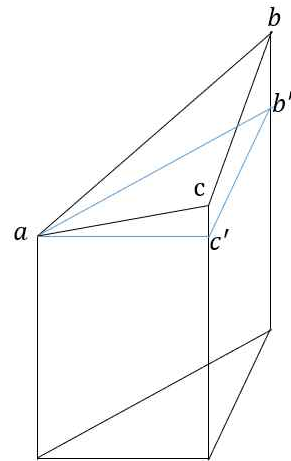


Fig. 4 Volume calculation for a 2x2 pixel area with only three pixels

검출된 객체 영역에 대한 부피는 모든 2×2 화소 영역에서 계산된 부피의 합으로 측정한다.

### 3. 실험결과

본 논문에서는 깊이 카메라로 Intel사의 Realsense D415를 사용하였다. 깊이 영상의 해상도는 640×480이다. 초점 거리  $f$ 는 598이다. 배경깊이 영상에서 물체 추출을 위한 식 (1)의  $T$ 는 0.03으로 설정한다. 카메라와 바닥의 거리는 45cm으로 촬영한다. 실험 대상 물체로 Fig. 5의 7가지 물체에 대해 실험한다.

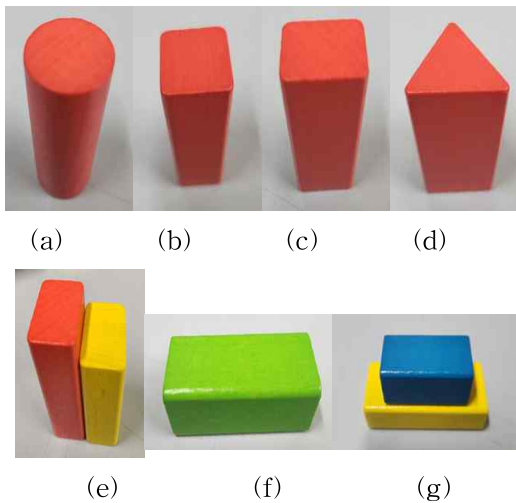


Fig. 5 Objects utilized in the experiment

Table 1은 7가지 물체에 대하여 제안된 방법을 통해 부피를 측정된 결과이다. 부피 측정 결과 평균 오차 3.9%를 보인다. 직육면체 형태인 b와 c에서는 적은 오차율을 보이지만 나머지 물체에서 3.9%에서 6.4% 사이의 오차를 보인다. 특히 모서리가 진 삼각뿔을 가지는 Fig. 5 (d)에 대해서 6.4%로 제일 큰 오차를 가진다.

Table 1 Volume measurement results based on object shape

Type of Object	Actual Volume (cm <sup>3</sup> )	Measured Volume (cm <sup>3</sup> )	Error(%)
a	34.3	35.9	4.6
b	33.9	34.4	1.5
c	33.3	33.7	1.2
d	26.4	28.1	6.4
e	62.4	66.0	5.8
f	23.0	22.1	3.9
g	53.4	51.2	4.0

깊이 카메라로 촬영한 깊이 영상 내 화소 값은 정확한 하나의 깊이 값으로 고정되지 않고, 일정 범위의 오차 범위 내에서 계속해서 값이 변동한다. 이를 보정하기 위해서는 연속된 프레임 내에서 통계적으로 화소 값을 보정하여 정확한 화소 값을 얻을 수 있다. 이를 위해 물체의 깊이 영상을 연속해서 30장 촬영하고, 각 화소의 값을 최빈값, 중앙값, 평균값으로 결정하고, 부피를 Table 2와 같이 측정한다. 중간값과 평균값을 통해 깊이 영상의 화소 값을 결정하는 경우에는 촬영 도중에 이상치가 발생한 깊이 화소 값이 발생할 경우, 해당 값이 계산에 반영되기 때문에 부피 추정에 있어 오차가 크다. 하지만 최빈값으로 물체의 부피를 측정된 경우에는

Table 2 Volume measurement results based on depth pixel value determination method

Type of Object	Error(%)		
	Average Value	Median Value	Mode Value
a	0.3	-7.0	1.2
b	-6.0	1.5	-3.0
c	4.8	0.6	3.0
d	3.4	3.0	1.9
e	2.4	1.3	1.0
f	2.6	2.2	1.7
g	2.8	3.4	2.8

부정확하게 측정된 결과 값이 존재하더라도 가장 높은 빈도로 측정된 물체의 부피 값을 사용하기 때문에 중간값과 평균값을 통한 방법보다 오차가 작다.

Table 3은 7가지 물체에 대하여 카메라와 바닥의 거리를 45cm, 60cm, 75cm으로 두고 오차를 측정된 결과이다. 카메라와 바닥의 거리가 60cm 일 때 부피 측정 결과 평균 오차 2.1%를 보인다. 모든 물체들에 대해서 3%이내의 오차를 보인다. 75cm 일 때 모든 물체가 실제 부피보다 측정 부피가 작게 측정되었으며 오차도 가장 크게 나타났다. 카메라와 거리가 75cm인 경우에는 깊이 영상에서 물체가 존재하는 영역이 45cm와 60cm의 경우보다 작은 화소의 수를 통해 이루어져 있기 2x2화소 영역에 물체가 차지하는 화소가 3개 이상 존재하지 않는 부분이 거리가 가까울 경우와 비교하여 많이 발생하기 때문에 부피의 손실되는 부분이 발생하여 오차가 크게 발생한다.

Table 3 Volume measurement results based on distance between object and camera

Type of Object	Error(%)		
	45cm	60cm	75cm
a	4.6	1.2	-20.7
b	1.5	-3.0	-21.2
c	1.2	3.0	-17.4
d	6.4	1.9	-15.2
e	5.8	1.0	-7.1
f	3.9	1.7	-13.0
g	4.0	2.8	-8.1

#### 4. 결론

본 논문에서는 깊이 정보들을 이용하여 물체의 부피를 추정하는 방법을 제안했다. 깊이 영상에서 배경에 해당하는 화소의 깊이 정보인 배경 깊이 정보와 물체가 존재하는 영역의 화소

깊이 정보의 차이를 이용하여 이진화를 진행한다. 이진화된 영상을 이용하여 측정할 물체가 있는 영역을 탐지한다. 그 후 깊이 영상의 화소들을 3차원 좌표로 변환한다. 3차원 공간에서의 유클리드 거리를 계산하여 인접한 두 화소 사이의 너비와 폭을 알 수 있다. 물체가 존재하는 영역에 대하여 2x2화소 단위로 나누어 해당하는 영역의 부피를 측정한다. 이때 부피는 화소 영역에 존재하는 깊이 값이 깊이 배경 영상인 화소의 수와 물체 영역에 해당하는 화소의 수를 이용하여 부피 측정 알고리즘을 선택한다. 측정된 부피들을 모두 합하여 최종적인 물체의 부피를 추정한다. 부피 측정 정확도는 최빈값, 중앙값, 평균값 중에서는 가장 많이 검출된 결과값인 최빈값을 이용할 때 오차의 범위가 작았으며 카메라와의 거리가 45cm, 60cm, 75cm일 때 평균 오차는 각각 3.9%, 2.1%, 14.7%를 보인다. 본 논문에서 제안된 방법은 고정된 하나의 카메라에서 얻은 깊이 영상만을 이용하여 물체의 부피를 측정한다. 추가적인 장비나 복잡한 시스템이 필요없이 하나의 깊이 카메라만을 이용하여 물체의 부피를 효과적으로 얻을 수 있다는 장점을 가진다. 제안된 방법은 생산 과정에서 불량 검출 등의 신속하게 영상을 통한 물체 부피를 추정하는 것이 필요한 분야에 활용할 수 있다.

#### References

- Andaló, F.A., Taubin, G., Goldenstein, G. (2015) Efficient height measurements in single images based on the detection of vanishing points, *Comput. Vis. Image Underst.* 138(5), 51-60, doi:10.1016/j.cviu.2015.03.017.
- Criminisi, A., Reid, I., Zisserman, A. (2000) Single view metrology. *Int. J. Comput. Vis.* 40(2), 123-148, doi:10.1007/978-0-85729-327-5\_5.
- Chang, W., Wu, C., Tsai, Y., Chiu, W. (2017) Object volume estimation based on 3D point cloud. *2017 International Automatic Control Conference*, DOI: 10.1109/CACS.2017.8284244.
- Cho, W., Shin, M., Jang, J., Paik, J. (2018)

- Robust pedestrian height estimation using principal component analysis and its application to automatic camera calibration. *Proceedings of the International Conference on Electronics, Information, and Communication*, Jan. 24-27, Honolulu, HI, pp. 1-2.
- Choi, E.S., Kwon, S.K. (2019) Implementation of Vehicle Plate Recognition Using Depth Camera, *Journal of Multimedia Information System*, 6(3), 119-124.
- Chang, W., Chen, L., Nadia, Michael, L. (2023) 3D Surface Reconstruction with Polynomial Regression for Multistage Stamping Die using Depth Camera. *IEEE 5th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering*, Oct. 27-29, Yunlin, Taiwan, DOI: 10.1109/ECICE59523.2023.10383079.
- Gallup, D., Frahm, J.M., Mordohai, P., Yang, Q., Pollefeys, Marc. (2007) Real-Time Plane-Sweeping Stereo with Multiple Sweeping Directions. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June. 17-22, Minneapolis, MN, USA, DOI: 10.1109/CVPR.2007.383245.
- Hippocrate, E., Suwa, H., Arakawa, Y., Yasumoto, K. (2016) Food Weight Estimation Using Smartphone and Cutlery. *Proceeding of the Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, June. 25-30, Singapore.
- Jung, J., Kim, H., Yoon, I., Paik, J. (2016) Human height analysis using multiple uncalibrated cameras. *Proceeding of the International Conference on Consumer Electronics*, Jan. 7-11, Las Vegas, NV, pp. 213-214.
- Jia, W., Ren, Y., Li, B., Beatrice, B., Que, J., Cao, S., Wu, Z., Mao, Z.H., Lo, B., Anderson, A.K., Frost, G., McCrory, M.A., Sazonov, E., Steiner-Asiedu, M., Baranowski, T., Burke, L.E., Sun, M. (2022) A Novel Approach to Dining Bowl Reconstruction for Image-Based Food Volume Estimation. *Sensors* 2022, 22(4), 1493.
- Kim, H.J., Yoon, J.H., Kwon, S.K. (2023). Deep Learning Braille Block Recognition Method for Embedded Devices. *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 28(4), 1-9.
- Liu, J., Collins, R., Liu, Y. (2011) Surveillance camera auto calibration based on pedestrian height distributions. *Proceeding of the British Machine Vision Conference, Dundee*, Aug. 29, - Sep. 2, UK, pp. 1-11.
- Lee, D.S. Kwon, S.K., (2016) Improvement of Depth Video Coding by Plane Modeling, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 21(5), 11-17.
- Lee, D.S. Kwon, S.K., (2019) Vehicle Plate Detection Method by Measuring Plane Similarity Using Depth Information, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 24(2), 47-55.
- Liu, Y., Lai, J., Sun, W., Wei, Z., Liu, A., Gong, W., Yang, Y. (2020) Food Volume Estimation Based on Reference. *The International Conference on Innovation in Artificial Intelligence*, May. 8-11, Xiamen, China, pp. 84-89.
- Lee, D.S., Kwon, S.K. (2022). Intra Prediction Method by Quadric Surface Modeling for Depth Video. *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 27(2), 35-44.
- Lee, D.S., Kwon, S.K. (2023). Structure Recognition Method of Invoice Document Image for Document Processing Automation. *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 28(2), 11-19.
- Li J., Wu, M., Li, H. (2023) 3D Reconstruction and Volume Estimation of Jujube Using Consumer-Grade RGB-Depth Sensor *IEEE Access Volume 11*, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3285713.



Okamoto, K., Yanai, K. (2016) An Automatic Calorie Estimation System of Food Images on A Smartphone. *International Workshop on Multimedia Assisted Dietary Management*, Oct. 16, Amsterdam, Netherlands, pp. 63-67.

Pribyl, B., Zemcik, P. (2011) Simple single view scene calibration. *Proceeding of the Lecture Notes in Computer Science*, Aug. 22-25 Berlin Heidelberg, Heidelberg, Germany, pp. 748-759.

Quintino, Ferreira, B., Griné, M., Gameiro, D., Costeira, J.P., Sousa Santos, B. (2014) VOLUMNECT: measuring volumes with Kinect *Proceeding of the SPIE Volume 9013*, DOI:10.1117/12.2036493.

Rother, D., Patwardhan K.A., Sapiro, G. (2007) What can casual walkers tell us about a 3d scene?. *Proceeding of the International Conference on Computer Vision*, Oct. 14-21, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1-8.

Schönberger, J.L., Zheng, E., Frahm, J., Pollefeys, M. (2016) Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo. *Proceeding of the 14th European Conference on Computer Vision*, Oct. 11-14, Amsterdam, Netherlands, pp. 501-518.

Tushar, J., Kulbir, S., Aditya, A. (2019) Volumetric estimation using 3D reconstruction method for grading of fruits. *Multimed Tools Appl* 78, June. 28, DOI:https://doi.org/10.1007/s11042-018-6271-3.

Viswanath, P., Kakadiaris, I.A., Shah, S.K. (2009) A simplified error model for height estimation using a single camera. *Proceeding of the International Conference on Computer Vision*, Sep. 29, - Oct. 2, Kyoto, Japan, pp. 1259-1266.



**김 지 환 (Ji-hwan Kim)**

- 학생회원
- 동의대학교 컴퓨터소프트웨어 공학과 공학사
- 동의대학교 컴퓨터소프트웨어 공학과 석사과정

• 관심분야 : 멀티미디어 신호 처리, 영상 인식



**권 순 각 (Soon-kak Kwon)**

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- KAIST 전기및전자공학과 공학석사
- KAIST 전기및전자공학과 공학박사

• 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

• 관심분야 : 영상딥러닝, IoT