

## 주문형 케이크 제작 자동화를 위한 영상 기반 식품 모양 인식 및 측위

오장섭<sup>1</sup> · 이재성<sup>2\*</sup>

### Vision-based Food Shape Recognition and Its Positioning for Automated Production of Custom Cakes

Jang-Sub Oh<sup>1</sup> · Jaesung Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate Student, Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk, 27469 Korea

<sup>2\*</sup>Professor, Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk, 27469 Korea

#### 요 약

본 논문에서는 주문형 케이크의 자동화 제작을 위해 필요한 일련의 영상 기반 식품 모양 인식 및 정밀 측위 방법을 제안한다. 초소형 카메라 모듈을 푸드 아트 프린터 내부의 비스듬한 위치에 장착 후 원근 변환을 적용하여 탑 뷰(top view) 이미지로 전환 후 에지 검출, 직선 및 원형 히프 변환 등을 수행하도록 하여 식품의 모양을 인식하고 무게 중심 좌표를 검출하도록 하였다. 본 알고리즘을 케이크 및 떡 모형에 적용하여 테스트를 수행하였으며 그 결과 180 ~ 250 lux 범위의 조명 환경에서 98.75%의 높은 객체 인식률을 얻을 수 있었으며 50~120 lux 범위에서 0.87% 이내의 중심 점 측위 오차율을 얻을 수 있었다. 이는 수요처의 요구 사항을 충분히 만족하는 수치이며 실시간 처리 성능도 프레임 당 0.5초 이내로 나타나 상용화 가능성을 충분히 갖춘 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

This paper proposes a vision-based food recognition method for automated production of custom cakes. A small camera module mounted on a food art printer recognizes objects' shape and estimates their center points through image processing. Through the perspective transformation, the top-view image is obtained from the original image taken at an oblique position. The line and circular hough transformations are applied to recognize square and circular shapes respectively. In addition, the center of gravity of each figure are accurately detected in units of pixels. The test results show that the shape recognition rate is more than 98.75% under 180 ~ 250 lux of light and the positioning error rate is less than 0.87% under 50 ~ 120 lux. These values sufficiently meet the needs of the corresponding market. In addition, the processing delay is also less than 0.5 seconds per frame, so the proposed algorithm is suitable for commercial purpose.

**키워드** : 푸드 프린터, 정밀 측위, 영상처리, 임베디드 시스템

**Keywords** : Food printer, Accurate positioning, Image processing, Embedded system

Received 31 August 2020, Revised 2 September 2020, Accepted 2 September 2020

\* Corresponding Author Jaesung Lee(E-mail:jaesung.lee@ut.ac.kr, Tel:+82-43-841-5163)

Professor, Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk, 27469 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.10.1280>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

최근 라떼 아트 프린터(그림1)와 같은 푸드 스타일러 기기가 출시되면서 식음료에 자신이 원하는 이미지나 문구를 입혀 감성적 또는 문화적 욕구를 표출하는 사람들이 많아지고 있다 [1]. 본 기기에 대한 시장의 뜨거운 반응과 더불어 음료 외에도 다양한 식품들에 대한 개성화 요구에 부응하고자 케이크 아트 프린터가 개발되었다. 기존에도 주문받은 이벤트성 글자나 이미지를 떡이나 케이크류의 식품에 표기해 제작해주는 경우가 있었다(그림 2). 그러나 모양 틀 또는 스텐실을 활용하여 수작업으로 그림과 문구를 입히기 때문에 이미지의 종류가 제한적이고 인쇄 품질이 떨어지며 생산성이 낮은 단점이 있다.



Fig. 1 Latte art printer 'Folletto' and latte art [2]



Fig. 2 Rice cake (left) and cake (right) with event phrases

케이크 아트 프린터를 통해 이러한 작업을 자동화하면 그러한 문제들을 모두 해결할 수 있게 된다. 다만 그러기 위해서는 프린터가 인쇄 대상 식품의 모양과 정확한 인쇄 위치(중심점 등)를 인지할 수 있어야 한다. 그래야 프린터 헤드가 정확한 위치에 접근하여 원하는 글자나 이미지를 인쇄를 할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 케이크 아트 프린터 내부에 소형 카메라 모듈을 장착하고 영상처리를 통해 인쇄 대상물의 모양 인식 및 정밀 측위를 수행한다. 촬영한 대상물 이미지를 투영변환을 통해 Top-View 이미지로 만들고 그로

부터 Circular Hough, Line Hough 변환 등을 통하여 원형, 사각형 또는 삼각형 모양을 인지하고 그 무게 중심의 좌표를 픽셀 단위로 정밀하게 검출하여 헤드 제어 프로그램에게 알려준다.

논문의 순서는 다음과 같다. 2장에서 영상 기반 식품 모양 인식 및 측위 알고리즘에 대해 자세히 설명하고 3장에서 그 알고리즘의 구현 및 테스트를 통해 성능 평가를 실시한다. 최종적으로 4장에서는 본 연구에 대한 결론을 내리고 향후 연구 방향에 대해 간략히 언급한다.

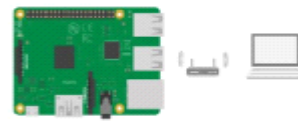
## II. 식품 모양 인식 및 정밀 측위

### 2.1. 연구 환경 구성

본 논문에서 제안하는 식품 모양 인식 및 정밀 측위 방법을 구현하기 위해 그림 3(a)와 같이 케이크 아트 프린터 내에 소형 카메라 모듈(PI-Camera V2.1)을 장착하고 이를 프린터 시스템의 총괄 제어 및 관리를 담당하는 임베디드 보드(Raspberry Pi 3 Model B+)에 연결하였다. 카메라는 임베디드 보드에 연산 부담을 최소화하기 위해 320 × 240의 저해상도로 설정하고 물체를 촬영하도록 하였다. 한편 임베디드 보드 제어 및 실시간 이미지 처리 과정에서의 중간 데이터 수집을 위해 그림 3(b)와 같이 Wi-Fi를 통해 매장용 데스크톱 PC와 연결하였다.



(a) camera module



(b) communication environment

Fig. 3 Development environment (camera module installation and wireless communication setup)

인쇄 대상 식품은 케이크나 떡을 가정하였으며 그러한 식품들은 대부분 모양이 원형이거나 사각형이므로 원형과 사각형의 모양을 우선적으로 인식하도록 하였다. 인쇄 대상 식품 모형으로는 크립이 코팅되지 않은 케이크 또는 떡과 매우 유사한 텍스처(texture)를 가지는

스핀지들을 활용하였다. 물체의 모양 인식 및 중심점 정밀 측위를 위한 전체 알고리즘의 수행 과정은 그림 4와 같다.

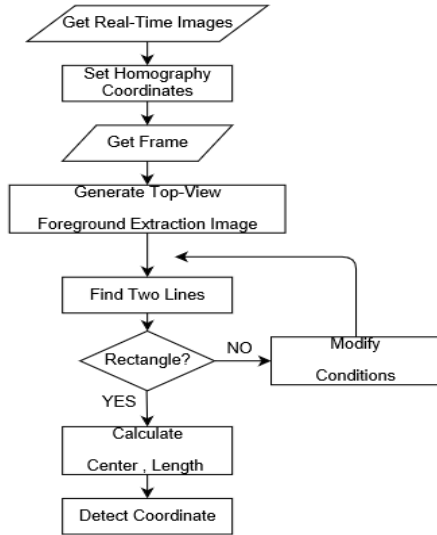


Fig. 4 Flow chart of proposed algorithm

### 2.2. Top-View Image

소형 카메라 모듈을 프린터 헤드가 있는 상단 부분에 장착하면 쉽게 탑 뷰 이미지(Top-View Image)를 얻을 수 있지만 오븐에서 바로 나온 음식물에서 발생할 수 있는 수증기로 인해 카메라 렌즈 오염 및 열화(blurring) 현상으로 인해 화질 저하의 가능성이 있어 그림 3과 같이 중앙 상단이 아닌 수증기를 피할 수 있는 측면 부분에 비스듬한 각도로 장착하였다. 이로 인해 원근 왜곡이 발생하는데 이를 보정하여 Top-View Image를 얻기 위해 그림 5와 같이 투영 변환(Projective Transformation)을 가장 먼저 수행한다[3].

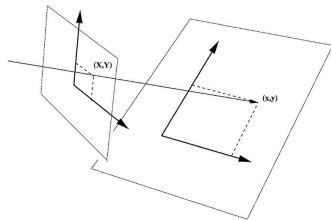


Fig. 5 Projective Transformation

투영변환을 활용하면 측면에서 바라보는 뷰를 정면 뷰로 전환할 수 있다. 이때 원본 이미지의 4개의 점과 변

형하고자 하는 이미지에서 대칭되는 4개의 점 사이에서는 일정한 변환 관계가 성립하는데 이러한 변환 관계를 Homography라 한다.

카메라 촬영각이 고정되어 원본 이미지의 점들과 투영 이미지의 점들이 확정되면 이들간 Homography 행렬식 (1) 을 만족하는 행렬 H가 유일하게 존재하는데 이는 이미지 상의 다른 모든 점들에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다는 것을 의미한다. 행렬 H의 계수는 상기에 언급한 4쌍의 대응점 좌표들을 이용해서 구할 수 있다. w는 scale factor 이다. 카메라의 위치가 프린터 내부에 고정되고 음식이 놓여지는 위치와 카메라간 각도가 항상 일정하기 때문에 4쌍의 대응점은 사전에 체크보드를 이용하여 수작업으로 한번만 선정해놓으면 된다.

$$w \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

본 연구 환경에서는 카메라 모듈이 고정되어 있기 때문에 사전에 정의된 4개의 좌표로부터 Homography 행렬을 도출하면 그 영역 내의 다른 임의의 픽셀에도 그 행렬을 적용할 수 있으며 결과적으로 그림 6과 예제들과 같이 Top-View Image를 얻을 수 있다.

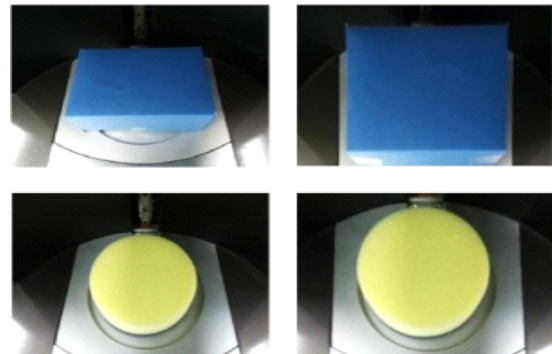


Fig. 6 Original image captured at an oblique position (left) and top-view image after transformation(right)

### 2.3. Edge detection

Top-View Image 에 나타난 평면 도형의 기하학적 모양 인지를 위해서는 텍스처를 배제한 에지 라인 검출이 필수이다[4]. 직선 검출의 경우 수직/수평 방향 에지에 민감하게 반응하고 연산 복잡도가 비교적 낮은 프리윗 (Prewitt) 1차 미분 필터를 활용하였고[5][6][7], 원형 라

인 검출의 경우 대각선 방향의 에지에 민감하게 반응하는 소벨(Sobel) 1차 미분 필터를 활용한 케니(Canny) 에지 검출 알고리즘을 활용하였다[8]. 케니 에지 검출 알고리즘의 세부적인 처리 과정은 다음과 같다.

- ① 가우시안(Gaussian) 필터를 이용하여 Smoothing 작업을 통해 잡음(Noise) 제거를 수행한다.
- ② 소벨(Sobel) 필터를 이용해 객체의 에지를 검출한다.
- ③ 유력 에지(Local maxima)는 남기고 나머지 영역의 가능성이 낮은 에지들(Non-maximum)을 제거하는 Non-maximum suppression 과정을 거쳐 실제 에지와 검지된 에지 간의 차이를 최소화한다.
- ④ 2개의 임계값(Low, High)을 활용한 Double thresholding을 적용하여 연계성이 없는 에지를 제거한다. 임계값은 보통 최대 휘도의 25%, 75%에 해당하는 값으로 지정한다.
- ⑤ Hysteresis 분석을 통한 Edge tracking 과정을 거쳐 끊어진 실제 에지 부분을 연결하여 최종적인 에지를 결정한다.



Fig. 7 Differences of edge Images by threshold

④의 과정에서 서로 다른 범위의 Double threshold 값을 적용하면 그림 7과 같이 실제 원의 윤곽선을 표현하는 에지 라인의 검출률을 좀 더 향상시킬 수 있었으며, 이후 과정인 Circular Hough transform의 최적 원 도출 결과도 만족스럽게 나타났다.

#### 2.4. Square detection

일반적인 기하 도형의 모양을 인식하는 방법은 그림 8와 같이 에지 검출 알고리즘 적용 후 남게 되는 외곽선 구성 픽셀들의 평균 좌표(중심점)를 구한 다음 그 점을 원점으로 하는 극 좌표계를 구성한 후 외곽선 구성 픽셀들 각각의 좌표( $r, \theta$ )를 수직 2차원 그래프로 그렸을 때 peak points의 개수와 그 간격으로 판단한다.

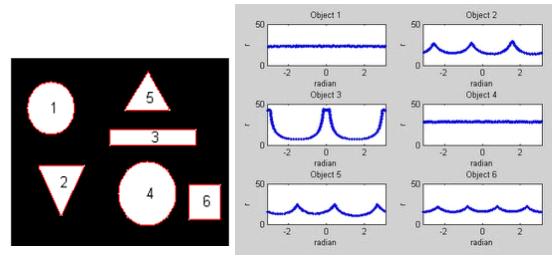


Fig. 8 Various shapes and corresponding  $r-\theta$  graphs

이 방법은 각 픽셀의 좌표를 직교 좌표계에서 극 좌표계로 변환시 연산량이 크게 높지 않아 경량 알고리즘으로서도 활용 가치는 있으나 실험을 통해 직접 적용해본 결과 전 단계인 에지 검출 단계에서 케니 에지 검출 알고리즘과 같은 고성능 알고리즘을 적용을 하여도 그림 7과 같이 원치 않는 외곽선들까지 잔류하는 경향이 있어서 그림 8과 같은 깔끔한 형태의 파도 그래프가 그려지지 않아 도형 모양 검출 정확도가 다소 떨어지는 단점이 있는 것으로 나타났다.

정확도가 중요한 본 연구에서는 비록 연산량은 높지만 정확도가 높은 허프 변환(Hough Transform)을 사용하였다. 허프 변환은 잔류 외곽선 픽셀들이 많이 남아 있는 상태에서도 도형 검출 성능이 우수하나 그만큼 연산량이 많이 증가한다. 직선 검출의 경우 직선 허프 변환(Line Hough Transform)을 적용하며 일반적으로 사용되는 직교 좌표계에서  $y = ax + b$  형태의 직선 방정식을 사용하지 않고 그림 9와 같이 극 좌표계에서  $x \cos \theta + y \sin \theta = r$  형태의 식을 사용한다[9].

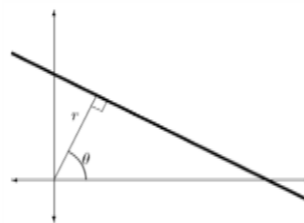


Fig. 9 Straight line expressed in  $r$  and  $\theta$

그 이유는 직교 좌표계에서는 기울기가 무한대인 수직선은 검지가 안되기 때문이다. 직선 허프 변환 알고리즘은 에지에 해당하는 각 픽셀마다 일정 각도 간격으로 직선의 방정식을 수립한 다음 가장 많이 출현되는 방정식의 직선을 선택하는 방식으로서 그림 10의 예제의 경

우 7개의 각 픽셀 좌표에서 45도 간격으로 즉, 4개의 직선의 방정식을 수립(r 값 계산)하여 표 1과 같이 열거한 다음 이로부터 표 2 와 같이 r값을 작은 것에서부터 큰 것 순으로 가로 방향으로 나열하고  $\theta$  값들을 세로 방향으로 나열한 표의 각 셀을 출현 회수로 채운다. 그런 다음 정렬(sorting)을 통해 가장 많이 출현한 (r,  $\theta$ ) 값을  $x\cos\theta + y\sin\theta = r$ 에 대입하여 추세선 그래프를 합성하면 직선의 윤곽선을 추출할 수 있다[10].

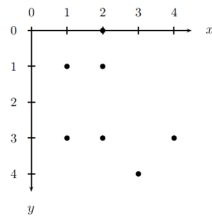


Fig. 10 Example of edge pixels' distribution

Table. 1 Lines drawn from each point

(x, y)	-45°	0°	45°	90°
(2, 0)	1.4	2	1.4	0
(1, 1)	0	1	1.4	1
(2, 1)	0.7	2	2.1	1
(1, 3)	-1.4	1	2.8	3
(2, 3)	-0.7	2	3.5	3
(4, 3)	0.7	4	4.9	3
(3, 4)	-0.7	3	4.9	4

Table. 2 Table of accumulation count of each (r,  $\theta$ )

	-1.4	-0.7	0	0.7	1	1.4	2	2.1	2.8	3	3.5	4	4.9
-45°	1	2	1	2	1								
0°				2	1	3			1		1		
45°					2	2	1	1		1		2	
90°		1	2							3		2	

추출된 직선들은 같은 방향으로도 여러 개로 나타날 수 있는데 실 객체(인쇄 대상 식품)는 일정 길이 이상의 직선 성분을 가지기 때문에 직선의 길이에 대한 하한 기준을 두면 여러 개의 후보 직선들 중 정확한 윤곽선을 찾을 수 있게 된다. 그림 11 (좌)와 같이 Minlength(직선 최소 길이)값을 낮게 설정하면 여러 개의 직선이 검출이 되나 반대로 높게 설정하면 그림 10 (우)와 같이 객체의 실제 양변에 해당하는 직선만이 추출되기 때문에 사각형임을 인지함과 동시에 각 꼭지점 및 무게 중심의 좌표를 알 수 있게 된다.

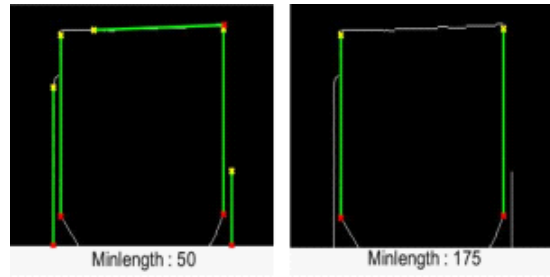


Fig. 11 line detections by different Minlength values

### 2.5. Circle detection

원 검출에는 원형 허프 변환(Circular Hough Transform)을 적용하며 2.4 절에서 언급한 직선 허프 변환(Line Hough Transform)처럼 각 edge 픽셀에서 찾고자하는 모양(방정식)을 생성해 그 누적 카운트가 가장 큰 것을 선택한다는 점에서 매우 유사하다. 다만 생성하는 모양이 직선이 아니라 원이며 각 에지 픽셀을 중심으로 하는 원이라는 점, 그리고 누적 카운트 대상이 생성되는 원의 원주상의 픽셀들이라는 점이 다르다. 따라서 누적 카운트(출현 회수)가 가장 큰 픽셀의 좌표가 추세 원의 중심이 된다[11].

그림 12의 왼쪽과 같이 원 모양의 에지 검출 후 각 에지 픽셀에 대해 오른쪽 그림처럼 그 픽셀을 중심으로 하는 원을 그린다. 이 과정은 반지름 R 값을 달리하면서 수행하게 되며 원들이 가장 많이 겹치는 픽셀 좌표가 추세 원의 중심이며 그때의 R 이 추세원의 반지름이 된다.

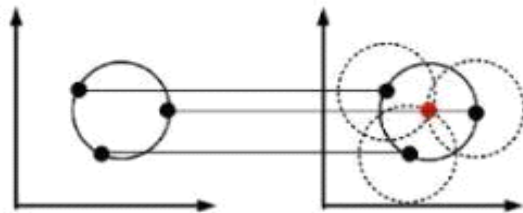


Fig. 12 Circle detection principle

참고로 원 모양 인식의 경우 반지름 R을 조금씩 변경하면서 원을 그려야 하므로 그려야 하는 원의 개수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 에지 픽셀의 개수를 최소화하기 위해 경계당 한 픽셀만 반환하는 케니 에지 검출 알고리즘을 적용한 것이다.



### III. 실험 및 결과

지금까지 설명한 도형 인식 및 중심 좌표 검출 알고리즘들을 프로그래밍[12][13]을 통해 구현한 다음 다양한 원형 또는 사각형 모양의 스펀지에 대해 성능 평가 실험을 실시하였다. 성능 평가에 사용된 스펀지들은 그림 12와 같으며 원형 스펀지 2종과 다양한 색상의 사각형 스펀지들로 구성되었다. 또한, 푸드 아트 프린터가 설치될 매장의 다양한 조명 변화를 고려하여 다양한 조도(Lux)에서 실험을 실시하면서 각 객체별 검출률과 측위 정확도를 산출하였다.

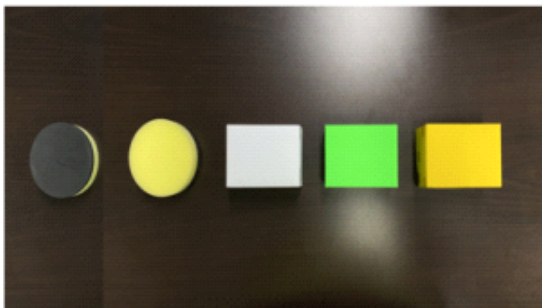


Fig. 13 Circular or rectangular shapes of sponges used in test

그림 14는 프로그래밍을 통해 구현된 알고리즘이 도형 모양을 인식하고 중심 좌표를 검출하는 예이다.

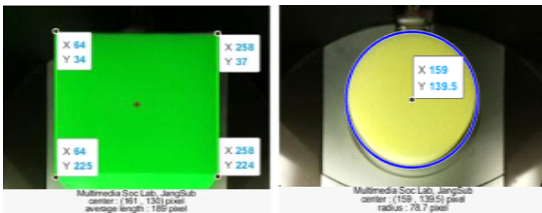


Fig. 14 object shape and center point recognized by proposed algorithm

#### 3.1. 객체 모양 인식률

매장별로 조도 차이가 있고 푸드 아트 프린터의 출력 공간도 조도(Lux)가 낮은 닫힌 환경이기 때문에 영상 처리에 적합한 조도값 범위를 파악하여 그 조도값을 유지시킬 필요가 있다. 그러기 위해 그림 15와 같이 인공 조명을 설치하고 조금씩 밝기에 변화를 주면서 대상 객체의 형태에 근접한 사각형 또는 원형 도형인지를 인식하

는 인식률을 측정하였다. 여기서 인식의 의미는 사각형의 경우 수기로 측정한 대각선 길이(단위: 픽셀), 원의 경우 수기로 측정한 지름 길이(단위: 픽셀)와 인식 프로그램에 의해 검출(estimation)된 대각선 길이(단위: 픽셀) 또는 지름 길이(단위: 픽셀) 간 차이가 5% 이내 오차 범위안에 드는 것을 말한다.



Fig. 15 Luminance controller

인식률은 총 영상의 프레임(400frames) 중 원형 또는 사각형 객체를 인식하는데 성공한 프레임의 비율이다. 그림 13의 5가지의 객체 샘플에 대해 각각 80frames 씩 촬영하였으며 각 frames 촬영 시, 객체의 위치에 약간씩 차이를 두며 인식을 수행하였다. 표 3은 그 결과를 나타낸다. 본 표로부터 조도가 180Lux 이상은 되어야 도형 인식이 안정적임을 알 수 있다.

Table. 3 Shape recognition rates for various colors and intensity of illumination (lux)

	circle (B)	circle (Y)	rect (W)	rect (G)	rect (Y)
0~50 (lux)	68.75%	90.00%	97.50%	81.25%	97.50%
50~120 (lux)	87.50%	97.50%	97.50%	96.25%	98.75%
120~180 (lux)	96.25%	97.50%	98.75%	98.75%	98.75%
180~250 (lux)	98.75%	98.75%	98.75%	98.75%	98.75%

#### 3.2. 측위 정확도

측위 정확도에 대한 분석은 그림 16와 같이 실험 객체의 실제 중심점에 마커를 이용하여 수기로 표시하고 제안된 알고리즘으로 검출(estimation)된 중심점 좌표간 오차를 구하는 방식으로 측정하였다. 좀 더 구체적으로 설명하면 식(2)을 활용하여 각 객체의 실제 대각선 또는 지름 대비 그 오차의 비율을 계산하였으며 각 단위는 모두 픽셀이다(즉, 대각선, 지름, 오차 모두 픽셀 거리로 측

정). 측정 결과는 표 4 와 같으며 수요처의 요구 사항인 max. 5% 보다 훨씬 작게 나타났다. 추가적으로 사각형 객체의 경우 좌우 양변의 길이, 원의 경우 반지름에 대한 실제 길이와 검출 길이 간 오차도 측정하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

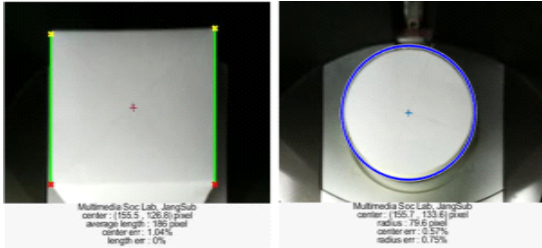


Fig. 16 difference between the true center point and the estimated center point

$$errorrate(\%) = \frac{error}{real\ diagonal\ or\ diameter} \times 100 \quad (2)$$

본 측위 정확도 분석은 객체의 모양 및 중심점이 정상적으로 인식된 이미지에 한하여 수행하였으며, 중심점의 최대 오차는 4 픽셀 미만으로 나타났고 양변의 길이 및 반지름의 최대 오차도 3 픽셀 미만으로 나타나 매우 정밀하게 측위가 되었다고 볼 수 있다.

### 3.3. 실시간 처리 성능

푸드 아트 프린터의 경우 인쇄 대상 식품의 인식 및 측위 과정이 실시간으로 매우 빠르게 수행되어야 할 필요는 없으나 그렇다고 수~수십 초 이상 걸리면 상용화에 문제가 생기므로 어느 정도 신속하게 수행되어야 할 필요는 있다. 수행 시간 측정 결과 평균적으로 한 프레임당 0.5초 이하의 처리 시간이 소요되는 것으로 나타나 상용화에 문제가 되지 않음을 확인하였다.

## IV. 결론

본 논문에서는 주문형 케이크 제작 자동화를 위해 필요한 과정인 식품 모양의 자동 인식 및 정밀 측위를 위하여 영상처리 기반의 알고리즘을 제안하고 프로그래밍을 통해 구현하였다. 구현된 알고리즘에 케이크, 떡모형을 적용하여 테스트를 수행하였으며 그 결과 180~250 lux 범위의 조명 환경에서 98.75%의 높은 객체 인식을 얻을 수 있었으며 50~120 lux 범위에서 0.87% 이내의 중심점 측위 오차를 얻을 수 있었다. 이는 수요처의 요구 사항인 인식을 90% 이상, 오차율 5% 이하를 크게 상회 또는 밑도는 수치이며 실시간 처리 성능도 프레임당 0.5초 이내로 나타나 상용화 가능성을 충분히 갖춘 것으로 사료된다. 향후에는 보다 다양한 크기의 실제 음식물에 대하여 테스트를 수행할 예정이며 그 과정에서 발견되는 문제점들 파악하고 해결 방안을 모색할 계획이다.

Table. 4 center point error rate

(unit: pixel)

intensity	circle(Black)			circle(Yellow)			rect(White)			rect(Green)			rect(Yellow)		
	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate
0~50(lux)	3	2.01	1.27%	2	1.33	0.84%	3	2.61	0.97%	3	2.73	1.01%	4	2.14	0.80%
50~120(lux)	2	1.37	0.87%	2	1.21	0.77%	3	2.36	0.88%	3	2.31	0.86%	3	1.85	0.69%
120~180(lux)	2	1.12	0.71%	2	1.08	0.68%	2	2.54	0.94%	3	1.78	0.66%	2	1.54	0.57%
180~250(lux)	2	0.94	0.59%	1	0.86	0.54%	2	2.21	0.82%	2	2.57	0.96%	3	1.64	0.61%

Table. 5 side length / radius error rate

( circle radius : 79pixel , rect side length : 186 pixel )

intensity	circle(Black)			circle(Yellow)			rect(White)			rect(Green)			rect(Yellow)		
	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate	max	avr	error rate
0~50(lux)	2	1.88	2.38%	2	1.00	1.27%	3	1.90	1.02%	3	1.93	1.04%	3	1.65	0.89%
50~120(lux)	1	0.98	1.24%	1	0.56	0.71%	3	1.69	0.91%	2	1.40	0.75%	1	0.45	0.24%
120~180(lux)	2	0.77	0.97%	1	0.43	0.54%	1	0.78	0.42%	2	1.02	0.55%	2	1.11	0.60%
180~250(lux)	2	1.03	1.30%	2	0.51	0.65%	2	1.21	0.65%	2	1.14	0.61%	3	1.69	0.91%

### ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by a grant of the SME R&D project for the Start-up & Grow stage company, Ministry of SMEs and Startups. (S2798837)

### REFERENCES

[ 1 ] Asia Economy, A special latte art by a robot barista [Internet]. Available: <https://view.asiae.co.kr/article/2020070911192438556>

[ 2 ] Latte Art Printer Folletto [Internet]. Available: [www.latteart-printer.com/](http://www.latteart-printer.com/).

[ 3 ] S. W. Seo, S. W. Joeng, Y. S. Han, J. S. Choi, and S. K. Lee, "Efficient Homography Estimation for Panoramic Image Generation," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 50, no. 8, pp. 2143-2152, Aug. 2013.

[ 4 ] P. Topno and G. Murmu, "An Improved Edge Detection Method based on Median Filter," *Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, Kalyani, India, pp. 378-381, Mar. 2019.

[ 5 ] J. Lian, "Two Adaptive Schemes for Image Sharpening," *IEEE 2nd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)*, Kahului, HI, USA, 2019, pp. 122-125, Mar. 2019.

[ 6 ] S. Hong and J. Lee, "An Method for Inferring Fine Dust Concentration Using CCTV," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 10, pp. 1234 - 1239, Oct. 2019.

[ 7 ] D. J. Kim and P. L. Manjusha, "Building Detection in High Resolution Remotely Sensed Images based on Automatic Histogram-Based Fuzzy C-Means Algorithm," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 3, no. 1, pp. 57 - 62, Mar. 2017.

[ 8 ] Y. Song, B. Ma, W. Gao, and S. Fan, "Medical Image Edge Detection Based on Improved Differential Evolution Algorithm and Prewitt Operator," *Acta Microscopica*, vol. 28, no. 1, pp. 30-39, Feb. 2019.

[ 9 ] J. H. Cho, E. Tsogtbaatar, S. H. Kim, Y. M. Jang, P. M. L. Nguyen, and S. B. Cho, "Improved lane detection system using Hough transform with super-resolution reconstruction algorithm and multi-ROI," *2014 International Conference on Electronics, Information and Communications (ICEIC)*, Kota Kinabalu, pp. 1-4, 2014.

[10] S. H. Hwang and Y. J. Lee, "FPGA-based real-time lane detection for advanced driver assistance systems," *2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, Jeju, pp. 218-219, 2016.

[11] S. H. Kim and H. I. Choi, "Circular Shape Detection using Improved 2D Hough Transform," in *Proceedings of the KIISE conference*, Seoul, pp. 233-237, 2008.

[12] OpenCV team. Open Source Computer Vision Library [Internet]. Available: [https://docs.opencv.org/master/d9/df8/tutorial\\_root.html](https://docs.opencv.org/master/d9/df8/tutorial_root.html).

[13] D. G. Kim, *C++ API OpenCV Programming*, Dec. 2016.



오장섭(Jang-Sub Oh)

2015년 3월~현재 한국교통대학교 전자공학과 학사과정  
※ 관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상 처리



이재성(Jaesung Lee)

2008년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사  
2001년 2월~2011년 8월 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원  
2011년 9월~2013년 9월 한국교통대학교 전자공학과 조교수  
2013년 10월~2018년 9월 한국교통대학교 전자공학과 부교수  
2018년 10월~현재 한국교통대학교 전자공학과 교수  
※ 관심분야 : 영상 처리, 멀티미디어 SoC 설계