

# 케니 에지와 원 허프 변환을 이용한 배추 심 검출 방법

박근호\*, 김서정\*, 권기현\*\*, 정성환\*  
\*한국전자기술연구원 IT응용연구센터  
\*\*한국식품연구원

khpark0224, scott3554, kkh@kfri.re.kr, shjeong@keti.re.kr

## Chinese Cabbage Core Detection Method Using Kenny Edge and Circle Hough Transform

Keunho Park\*, Seo-jeong Kim\*, Ki-Hyun Kwon\*\*, Sunghwan Jeong\*  
\*IT Application Research Center, Korea Electronics Technology Institute  
\*\*Korea Food Research Institute

### 요약

김치 제조공장에서 배추를 다듬기의 한 과정인 배추 심 제거 과정에서 배추 심을 손쉽게 제거할 수 있는 기계가 개발되어 김치 제조 시간과 노동력 절감 및 위생 강화에 크게 기여하고 있다. 본 논문에서는 케니 에지와 원 허프 변환을 이용하여 영상처리 기반으로 배추 심의 위치와 크기를 인식하는 연구를 수행하여 배추 심 제거 과정에서 배추의 수율을 증가시켜 김치 제조원가를 낮출 수 있는 연구를 진행하였다. 실험결과 테스트 샘플들에 대하여 준수한 인식률을 보였고, 중심오차 29.8픽셀, 반지름 오차 9.0픽셀의 결과를 내었다.

### 1. 서론

김치 제조공장에서는 배추를 다듬기 위한 절단 장치 등이 사용되고 있다. 배추 다듬기의 한 과정인 배추 심 제거 과정에서도 배추 심을 손쉽게 제거할 수 있는 기계가 개발돼 김치 제조공장의 시간과 노동력 절감 및 위생 강화에 크게 기여하고 있다[1]. 배추 심 제거기는 그림퍼가 배추 크기에 맞춰 고정시킨 후 기계 내부의 칼날이 회전하며 배추 심을 제거한다. 배추가 완벽한 원형이 아니므로 그림퍼로 배추를 고정한다고 하여도 배추 원물의 중심에 배추 심의 중심이 위치하지 않으며, 같은 조건에서 생산된 배추라 하여도 생장 정도가 다르므로 배추 심의 크기도 다르다. 따라서 기존의 시스템에서 작업의 효율성을 위해 실제 배추 심의 크기보다 큰 직경을 가진 칼날을 이용하여 배추의 심을 제거한다. 이는 배추의 손실률을 증가시켜 김치 제조원가를 증가시키는 큰 원인이다.

배추 심의 위치와 크기를 인식하는 연구를 수행하였다. 본 논문의 기술을 배추 심 제거 공정에 적용할 경우 배추의 수율을 증가시켜 김치 제조원가를 낮출 수 있다.

### 2. 영상처리를 이용한 배추 심 검출 방법

본 논문에서는 영상처리 기술을 기반으로 배추 심을 검출하는 연구를 수행하였다. 배추 심을 검출하기 위해서 표 1에 서처럼 배추의 하단을 촬영한 샘플 영상 20개를 준비하였다. 영상은 가로, 세로 1280×720픽셀 크기의 RGB 3채널의 정보를 가지고 있다. 본 논문에서는 영상의 질감 특성만을 분석하기 때문에 3채널 영상을 1채널의 회색조(gray scale) 영상으로 변환하여 분석에 사용한다. 회색조 영상을 이용하여 케니 에지 검출(Canny edge detection)로 에지를 검출하고, 원 허프 변환(circle Hough transform)을 이용하여 배추 심을 검출한다.

#### 2.1 케니 에지 검출

대부분의 에지 검출 결과는 작은 잡음이라도 그것을 에지로 간주하기 때문에 잡음에 대해 민감하다. 이러한 단점을 보완하는 케니 에지 검출[2]은 잡음에 민감하지 않으며 강한 에지를 추출하는 것을 목적으로 한다. 케니 에지 검출은 가우시안 스무딩(Gaussian smoothing), 에지 그라디언트(gradient)와 에지 각도 계산, 비 최대 억제(non-maximum suppre-



[그림 1] 영상처리를 이용한 배추 심 검출 과정  
본 논문에서는 그림 1과 같이 영상처리 기술을 기반으로

ssion), 이중 임계값(double threshold) 계산, 그리고 연관성 판별(hysteresis) 단계로 구성되어 있다.

가우시언 스무딩은 영상에 자연적으로 내재되어 있는 잡음을 제거하기 위해 사용한다. 케니 에지 검출에 사용되는 필터 마스크는 아래와 같고 회색조 영상과 컨볼루션(convolution)을 통하여 결과를 도출한다.

$$B = \frac{1}{159} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

에지 그라디언트와 각도 계산은 소벨(sobel) 마스크를 이용하여 X축과 Y축의 미분 영상을 얻고 유클리디언 거리(Euclidean distance)를 이용하여 에지 그라디언트를 구하고, 아크탄젠트(arctangent)를 이용하여 에지 각도를 구한다. X축, Y축 소벨 마스크와 유클리디언 거리의 수식은 다음과 같다.

$$K_{G_x} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$K_{G_y} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

[표 1] 이중 임계값 수도코드

Notation	
image_input=비 최대 억제 결과	
image_output=이중 임계값 계산 결과	
th_s=강한 에지 임계값	th_w=약한 에지 임계값
strong_edge=강한 에지	week_edge=약한 에지
nothing=에지가 아님	

```

1 procedure double_threshold
2 Input : image_input
3 Output : image_output
4 For j = 1 to image_height
5     For i = 1 to image_width
6         if image_input[j][i] >= th_s
7             image_output[j][i] = strong_edge
8         else if image_input[j][i] >= th_w
9             image_output[j][i] = week_edge
10        else
11            image_output[j][i] = nothing
12 return image_output
    
```

비 최대 억제는 그라디언트 중 지역 최대(local maximum) 값을 제외한 나머지 값들을 모두 제거하는 작업으로 에지 각도를 축으로 하여 좌우 이웃 픽셀의 에지 그라디언트 값을 비교하여 이웃 픽셀보다 값이 크지 않은 값들은 모두 제거한다.

이중 임계값 계산은 비 최대 억제를 수행한 결과를 바탕으

로 그라디언트 값이 강한 에지 임계값 보다 높으면 강한 에지로, 약한 에지 임계값 보다 높으면 약한 에지로 분류하는 과정이며 표 1과 같이 수행된다.

연관성 판별은 케니 에지 검출이 잡음에 강건하게 하는 핵심적인 기술이다. 이중 임계값 계산 결과에서 강한 에지와 강한 에지와 연결돼있는 약한 에지는 에지로 판단하고, 강한 에지와 연결돼있지 않는 약한 잡음으로 판단하여 제거하는 방법이다.

## 2.2 원 허프 변환

원 허프 변환[3]은 영상에서 원을 검출하기 위해 영상처리에 사용되는 특징추출 방법이다. 원으로 검출될 후보는 좌표는 직교좌표(cartesian coordinate) 공간에서 허프 매개변수(parameter) 공간으로 변환되어 누산기 매트릭스(accumulator matrix)에 투표한다. 직교좌표 공간에서 허프 매개변수 공간으로의 변환 수식은 다음과 같다.

$$a = x - r \cos\theta \quad (5)$$

$$b = y - r \sin\theta \quad (6)$$

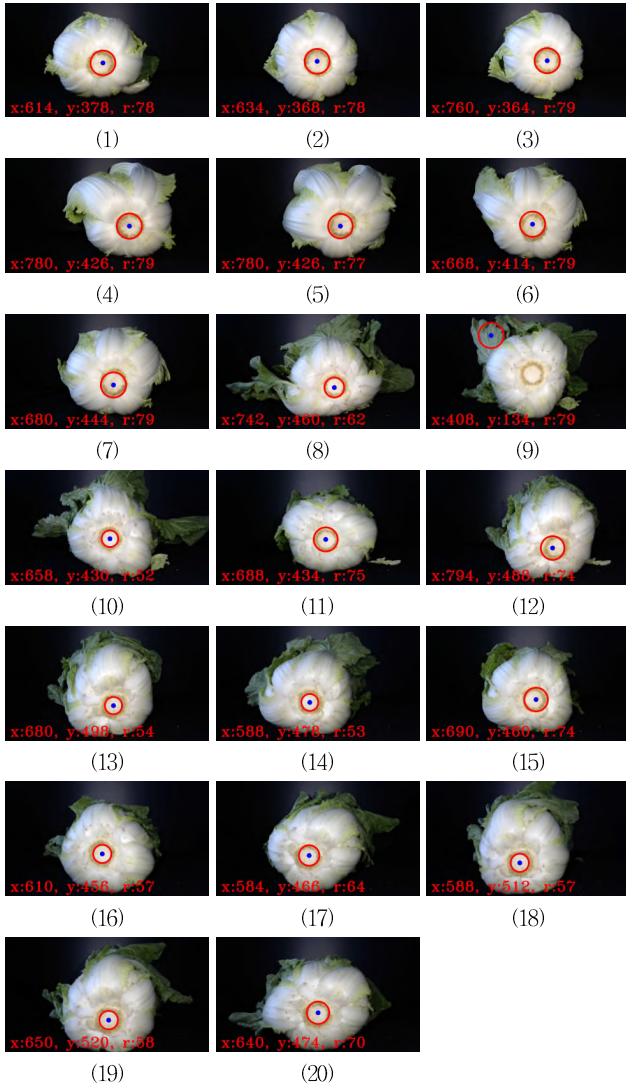
식 (6)과 식 (7)에서  $a$ 와  $b$ 는 허프 매개변수 공간에서의 열과 행의 좌표,  $x$ 와  $y$ 는 직교좌표 공간에서의 열과 행의 좌표,  $r$ 과  $\theta$ 는 원의 반지름과 각도를 나타낸다. 누산기 매트릭스 투표 결과의 지역 최대값을 원으로 간주한다.

## 2.3 실험 및 결과

본 논문에서는 케니 에지와 원 허프 변환을 이용하여 배추 심을 검출하였다. 실험을 위해 심이 잘 보이고 배추 심 제거기가 동작하는 방향인 하단을 촬영한 배추 20개를 준비하였다. 표 2는 배추 심 검출 실험 결과를 나타낸다. 식별이 용이하도록 검출된 배추 심의 중심을 파란색 점으로 배추 심의 테두리를 빨간색 원으로 표시하고, 좌측하단에 배추 심 중심의 열과 행좌표, 배추 심의 반지름을 표기하였다. 표 2의 9번 샘플의 경우 배추 잎사귀 부분을 배추 심이라고 오 인식 하였다. 이는 배추 잎사귀 부분의 특징을 알고리즘에서 원이라고 잘못 이해한 결과이다.

표 3은 사람이 측정한 배추 심의 실측값, 실험의 결과인 실험값, 그리고 두 값 사이의 중심오차 반지름 오차를 나타낸다. 표 3의 9번 샘플을 제외한 나머지 샘플들은 준수한 인식을 한 것을 볼 수 있다. 실험결과 중심오차 29.8픽셀, 반지름 오차 9.0픽셀의 결과를 내었다.

[표 2] 배추 심 검출 결과



[표 3] 배추 심 실측값, 실험값, 그리고 오차

번호	실측값(pixel)			실험값(pixel)			오차(pixel)	
	x	y	반지름	x	y	반지름	중심	반지름
1	600	385	72	614	378	78	15.7	6
2	641	376	75	634	368	78	10.6	3
3	764	380	70	760	364	79	16.5	9
4	802	418	75	780	426	79	23.4	4
5	794	411	76	780	426	77	20.5	1
6	671	434	76	668	414	79	20.2	3
7	684	426	74	680	444	79	18.4	5
8	751	447	64	742	460	62	15.8	2
9	672	374	69	408	134	79	356.8	10
10	657	429	67	658	430	52	1.4	15
11	692	435	63	688	434	75	4.1	12
12	820	483	67	794	488	74	26.5	7
13	686	498	68	680	498	54	6.0	14
14	591	471	68	588	478	53	7.6	15
15	678	456	67	690	460	74	12.6	7
16	609	451	75	610	456	57	5.1	18
17	579	476	75	584	466	64	11.2	11
18	591	512	73	588	512	57	3.0	16
19	657	518	75	650	520	58	7.3	17
20	637	486	75	640	474	70	12.4	5
평균							29.8	9.0

### 3. 결론

본 논문에서는 배추 원물의 심을 제거하는 과정에서 배추의 손실률을 줄이기 위해 영상처리 기술을 기반으로 배추 심을 정밀하게 검출하는 연구를 수행하였다. 실험 샘플로는 심이 잘 보이고 배추 심 제거가 동작하는 방향인 하단을 촬영한 배추 20개를 준비하였다. 3채널 영상을 1채널의 회색조 영상으로 변환하여 케니 에지 검출로 에지를 검출하고, 원 허프 변환을 이용하여 배추 심을 검출한다. 실험결과 중심오차 29.8픽셀, 반지름 오차 9.0픽셀의 결과를 내었다.

본 연구는 산업통상자원부(한국산업기술평가관리원) 2020년 로봇산업핵심기술개발사업(로봇핵심공통기반기술) “식음료분야 제조공정 개선을 위한 제조로봇 활용 기술 개발(20008963)” 사업의 지원을 받아 수행된 연구임

### 참고문헌

- [1] 김종석. 직압식 맛감치 절단장치. KR100620918B1, filed May 31, 2004, and issued August 30, 2006.
- [2] John F. Canny, “A Computational Approach To Edge Detection,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), pp. 679 - 698, 1986.
- [3] J. Illingworth and J. Kittler, “The Adaptive Hough Transform,” *PAMI-9*, 5, pp 690-698, 1987.