

# p-Snake의 성능 향상을 위한 적응 원형 생성 기법

오승택<sup>1</sup>, 전병환<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 대학원 컴퓨터공학과, <sup>2</sup>공주대학교 컴퓨터공학부

## Adaptive prototype generating technique for improving performance of a p-Snake

Seung-Taek Oh<sup>1</sup>, Byung-Hwan Jun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Engineering, Graduate School, Kongju National University

<sup>2</sup>Division of Computer Science and Engineering, Kongju National University

**요약** p-Snake는 기존의 동적윤곽모델(Active Contour Model)에 원형에너지를 추가로 적용한 에너지 최소화 알고리즘으로 에지 정보가 명확하지 않은 영역에서의 윤곽선 추출을 위해 사용된 방법이다. 본 논문에서는 원과 직선 프리미티브(primitive)의 조합으로 표현되는 가변 원형(prototype)과 퍼지 함수를 적용한 원형에너지장의 생성 기법을 제안하여 p-Snake의 윤곽선 추출 성능을 개선하였다. 제안 방법은 입력된 부품 코드를 기반으로 원형을 정의하고 전처리 과정을 통해 구해진 각 프리미티브 구간에서 대략적인 초기 윤곽을 검출한 후, 프리미티브들이 가변적으로 적응하여 원형을 생성하고 여기에 원형과의 거리에 따른 윤곽 확률을 퍼지 함수를 통해 계산하여 원형에너지 장을 생성하였다. 이를 p-Snake에 적용하여 다양한 소형 부품들을 대상으로 준비한 200장의 영상에서 윤곽선을 검출하고, 원형과의 유사도를 비교한 결과 적응 원형을 사용한 p-Snake가 기존의 Snake에 비해 약 4.6% 가량 우수함을 보였다.

**Abstract** p-Snake is an energy minimizing algorithm that applies an additional prototype energy to the existing Active Contour Model and is used to extract the contour line in the area where the edge information is unclear. In this paper suggested the creation of a prototype energy field that applies a variable prototype expressed as a combination of circle and straight line primitives, and a fudge function, to improve p-Snake's contour extraction performance. The prototype was defined based on the parts codes entered and the appropriate initial contour was extracted in each primitive zones acquired from the pre-processing process. Then, the primitives variably adjusted to create the prototype and the contour probability based on the distance to the prototype was calculated through the fuzzy function to create the prototype energy field. This was applied to p-Snake to extract the contour from 100 images acquired from various small parts and compared its similarity with the prototype to find that p-Snake made with the adaptive prototype was about 4.6% more precise than the existing Snake method.

**Key Words** : Adaptive prototype, primitive sequence, p-Snake

### 1. 서론

윤곽선 추출은 영상의 인식이나 분할 또는 감시등의 영상 처리 관련 비전 시스템을 구현함에 있어 안정적인 성능을 보장하기 위한 핵심적인 요소라 할 수 있다. 과거

반도체나 전자 제품, 자동차 등 대기업의 생산 현장에만 적용되었던 비전시스템이 최근에는 중소기업의 소형 가공품 생산 현장에도 빠르게 확산되는 추세이다. 이 경우 비전시스템은 주로 소형 부품의 품질관리를 위한 계측 및 형상 검사 공정에 적용되는데, 대기업에 비해 상대적

\*Corresponding Author : Byung-Hwan Jun(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9230 email: bhjun@kongju.ac.kr

Received December 11, 2014

Revised February 4, 2015

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

으로 열악한 생산 현장의 환경 및 설비 여건에 의한 잡음이 내재되는 등의 우호적이지 못한 입력 영상을 처리해야 하는 경우가 많으므로 이러한 경우에도 안정적으로 윤곽선을 검출할 수 있는 알고리즘이 필수적이다.

윤곽선 검출 알고리즘으로 가장 널리 쓰이는 것은 Kass가 제안한 ACM(Active Contour Model)으로 오브젝트의 윤곽을 형성하는 각 정점들의 거리와 곡률 등을 고려하는 에너지 최소화 방법이며[1], 이후 Williams는 기존의 스네이크 방법에 Greedy 알고리즘을 적용하여 처리속도를 개선하였고[2] Cohen은 풍선처럼 확장해 나가며 윤곽을 추출하는 스네이크 방법을 제안하였다[3]. 또한 스네이크가 초기 조건에 의존적으로 동작하거나 옴목한 형태의 윤곽을 잘 찾지 못한다는 단점을 극복하기 위하여 Xu 등은 에지의 기울기 벡터 분포를 이용하는 방법을 제안하였다[4]. 이후에는 스네이크를 응용하여 실제 배경에서 사람의 얼굴 형태를 추출하기 위하여 차영상 정보를 함께 사용하거나[5] 산업 현장의 환경 하에서 취득된 잡음이나 배경이 혼재된 영상에서 부품의 형상 윤곽 추출을 위해 직선과 원의 형태 정보를 이용하는 p-Snake 방법[6] 등이 소개되었다.

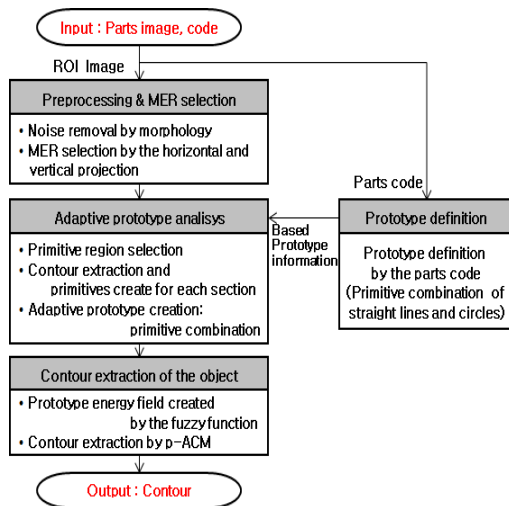


Fig 1. Full configuration of proposed system.

특히 p-Snake 방법은 예상되는 부품의 부분 형태 요소로 직선-원형, 원-원형을 정의하여 입력 영상으로부터 원형을 추출하고 이를 원형에너지로 사용하여 부품의 일부 영역을 대상으로 윤곽선을 추출하였다. 그러나 원형의 구성과 원형에너지의 산출 방식이 지나치게 단순하여

계측을 위한 부품의 일부 영역에서만 윤곽선을 추출할 수 있었으므로 본 논문에서는 p-Snake 방법의 성능 향상을 위하여 직선-원 프리미티브의 조합으로 표현되는 가변 원형 생성 기법과 원형에 퍼지 함수를 적용하여 원형 에너지 장을 생성하는 방법을 제안하여 보다 안정적인 윤곽선 추출을 시도하였고 구현방법의 전체 흐름은 Fig. 1과 같다.

## 2. 적응 원형(Adaptive Prototype) 분석

본 논문에서 다루는 윤곽선 추출의 대상은 중소기업에서 생산되는 소형의 부품으로 대부분 원형과 직선형으로 구성된 다각형의 형태적 특징을 가지고 있어 주로 직선과 원의 구성요소로 표현할 수 있다는 특징이 있다. 따라서 조명이나 잡음의 영향으로 물체의 윤곽이 뚜렷하지 않은 경우에도 이러한 형태적 특징에 근거하여 일정한 윤곽을 기대할 수 있다. 이러한 형태적 윤곽을 각 부품에 대한 원형(prototype)으로 정의하여 분석한 후 추출하고 이를 최종적인 윤곽선 검출 과정에서 이용하고자 한다.

### 2.1 원형 및 프리미티브 구간 설정

원형(prototype)은 프리미티브(primitive)들의 나열로 표현되며 프리미티브는 오브젝트의 형태를 구성하는 직선과 원의 구성요소를 말한다. 또한 임의의 물체(object)는 원형(prototype)의 조합으로 표현한다. 예로 Fig. 2에서 (a)는 하나의 원-프리미티브를 가지는 원-원형으로 표현하며 (b)는 네 개의 직선-프리미티브들의 조합인 다각형-원형, 그리고 (c)는 여섯 개의 직선 프리미티브의 조합인 다각형-원형과 원-원형으로 표현된다.

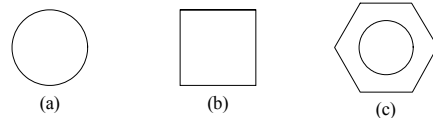


Fig. 2. object type  
(a) circle type (b) rectangle type (c) complex type

원형의 생성을 위한 전처리 과정에서는 먼저 입력 영상에 대한 모폴로지 연산을 수행하여 잡음을 제거한 후 임계치에 의한 이진화 영상을 생성하고 수평, 수직 프로젝션을 통해 오브젝트에 대한 MER(Minimum Enclosing

Region)을 선정한다. MER 영역은 가변 원형 분석 과정에서 각 부품의 형태적 특징에 근거하여 프리미티브 대상 영역들에 대한 MER로 세분화되고 이후 원형 생성을 위한 초기 윤곽선 설정의 기준으로도 사용한다.

## 2.2 적응 원형 분석

원형 분석은 물체 영상에서 주요 영역에 내재된 직선, 원 프리미티브(primitive) 들을 추출하고 이들의 조합으로 표현되는 원형(prototype)을 찾는 방법이다. 부품 영상과 함께 입력된 부품코드 값에 따라 부품의 원형이 규정되고, 각 프리미티브 들은 부품의 윤곽에 따라 적응적으로 대응하며 형태를 구성하게 된다. 이때 각 프리미티브 들을 찾는 과정에서는 기초 윤곽 정보가 필요한데 이것은 Williams의 스네이크 방법을 이용하여 추출하였다. 원형(prototype)은 원-프리미티브( $p_C$ )로 구성되는 원-원형( $P_C$ )과 직선-프리미티브( $p_L$ )의 나열로 구성되는 다각형-원형( $P_T$ )의 집합으로 표현하며 다음의 식으로 정의한다.

$$\begin{aligned} Object &\in \{P_i\}, \quad P \in \{P_T, P_C\} \\ P_T &= \{p_{L_1}, p_{L_2}, \dots, p_{L_i}, \dots, p_{L_{N_L}}\} \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.2.1 직선 프리미티브 추출

원형을 구성하는 각각의 직선 프리미티브 구간들에 대하여 추출된 윤곽 정보를 근거로 점  $P(x, y)$ 와 기울기  $a$ 로 표현되는 직선 프리미티브  $p_L$  을 추출하며 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} p_L &= (P(x, y), a), \quad a = f_{median}(a_1, a_2, \dots, a_{N_L}) \\ &= (S(x_s, y_s), E(x_e, y_e)) \end{aligned} \quad (2)$$

직선 프리미티브의 기울기  $a$ 는 추출된 초기 윤곽 정보를 대상으로 일정 간격의 스네이크 정점 쌍들을 선정하여 각각의  $y$ 축 변위들을 구하고 그 중간 값을 채택한다. 이후 각 스네이크 정점들을 한 점으로 하고 기울기가  $a$ 인 후보 직선들을 구한다. 각 후보 직선들 중 추출된 윤곽 정점들과의  $y$ 축 수직거리가 최소인 직선을 직선 프리미티브로 선정하고 시작점( $S(x_s, y_s)$ )과 끝점( $E(x_e, y_e)$ )으로 표현한다. Fig. 3은 사각형 부품의 일부 구간에서 직선 프리미티브를 추출한 예이다.

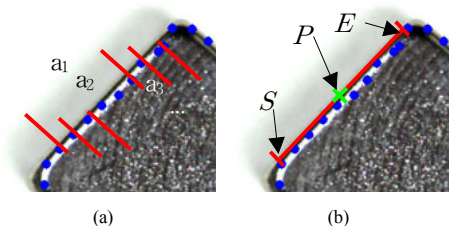


Fig. 3. Line-primitive extraction

(a) slope candidates, (b) generation of line-primitive

### 2.2.2 원 프리미티브 추출

선정된 원 프리미티브 구간에 대한 작업으로 초기 윤곽 정보를 분석하여 중심점  $C(x, y)$ 와 반지름  $r$ 로 표현되는 원-프리미티브  $p_C$ 를 식(3)와 같이 정의한다.

$$p_C = (C(x, y), r), \quad r = f_{median}(r_1, r_2, \dots, r_{N_L}) \quad (3)$$

원-프리미티브는 중심점과 반지름 항목으로 표현하므로 중심을 구하기 위해 MER의 중심으로부터 초기 반지름의 1/10 크기만큼 상, 하, 좌, 우로 확장하여 탐색영역(SR)으로 선정하고, 영역 내 모든 점들에 대하여 윤곽선상의 각 스네이크 정점들과의 거리를 구한 후 거리에 대한 표준편차 값이 최소가 되는 한 점을 원-프리미티브의 중심으로 선정하였다. 또한 반지름은 MER의 중심으로부터 각 스네이크 점과의 거리를 계산하고, 계산된 거리 값들 중 중간값을 반지름으로 확정하였다.

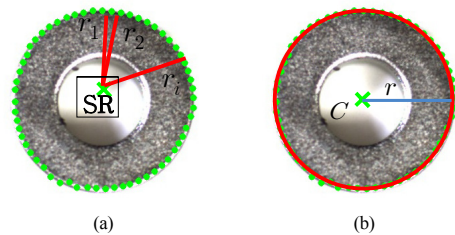


Fig. 4. Circle-primitive extraction

(a) Center search region & radius candidate  
(b) generation of circle-primitive

각 프리미티브들의 기울기 또는 반지름을 선정하는 경우 평균 값을 이용할 수도 있지만 중간 값을 이용함으로써 일부 왜곡된 픽셀의 영향을 덜 받도록 하였다.

### 2.2.3 프리미티브 조합에 의한 원형 생성

식(4)는 육각 부품에 대한 원형이며 Fig. 5는 원형의

추출 예를 보여준다. 오브젝트의 외측으로 여섯 개의 직선 프리미티브로 구성되는 직선-원형과 내측으로 한 개의 원 프리미티브로 구성되는 원-원형으로 오브젝트를 정의한다.

$$Object = \{P_L, P_C\} \tag{4}$$

$$= \{ \{P_{L_1}, P_{L_2}, P_{L_3}, P_{L_4}, P_{L_5}, P_{L_6}\}, P_C \}$$

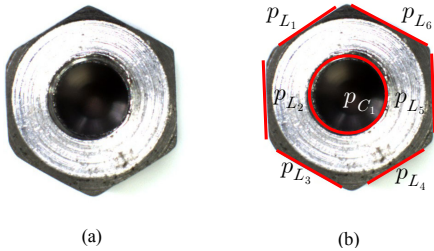


Fig. 5. Prototype Definition with the image of parts  
(a) Input Image (b) Line-Circle-Prototype Definition

### 3. 윤곽선 추출

윤곽선 추출의 전체 흐름은 Fig. 6와 같으며 오브젝트의 MER 영역을 찾는 (a)(b)(d)의 친처리과정과 (e)(f)의 가변 원형 분석 과정, 그리고 (g)의 초기 윤곽에 (c)(h)의 에너지 정보를 이용하는 p-Snake 알고리즘의 수행과정으로 나뉜다.

#### 3.1 원형에너지 생성

원형에너지는 가변원형분석 방법에 의해 생성된 원형에 퍼지 함수를 적용하여 원형으로부터 거리에 반비례하는 형태로 원형 에너지 장을 생성하는 것으로 작은 에지 성분이라도 원형의 주위에 위치한다면 윤곽일 가능성을 높여주는 방법이며 에지 정보가 약한 즉, 윤곽이 부정확한 영역에서도 윤곽 추출 성능을 향상시켜주기 위해 사용한다. Fig. 7은 원형에너지의 생성 과정이다.

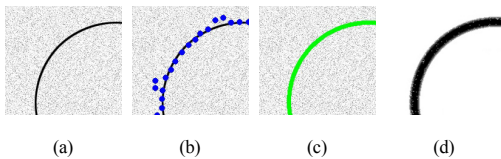


Fig. 7. Generation of the Prototype energy  
(a) Input image, (b) Initial Contour  
(c) Prototype, (d) Prototype energy field

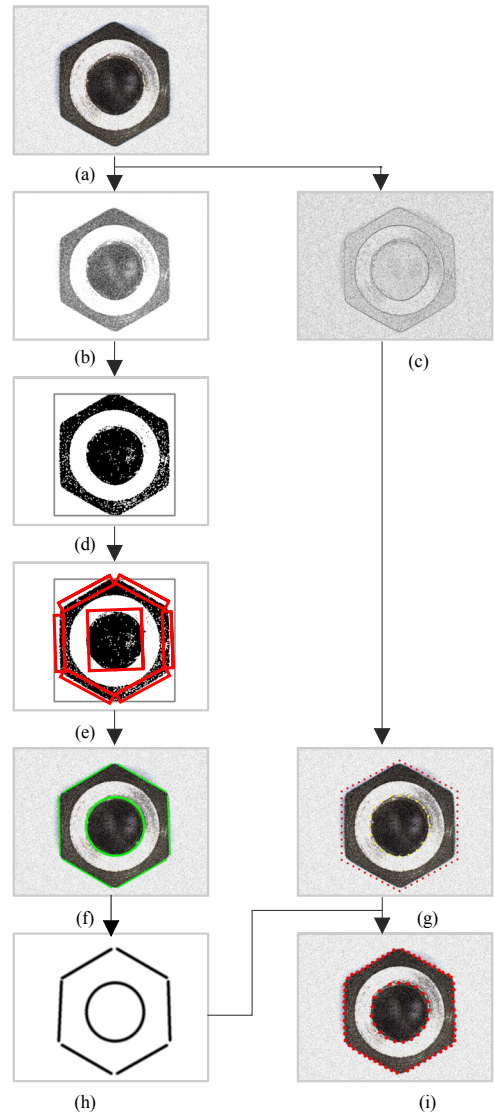


Fig. 6. Full flow of contour extraction  
(a) Input : part image, (b) Morphology  
(c) Edge image, (d) Binarization, Part's MER  
(e) Primitive's MER, (f) Prototype generation  
(g) Initial contour points, (h) Energy field  
(i) Contour extraction

먼저 (a)의 입력 영상이 주어지고 대략적인 윤곽 정보인 (b)를 얻기 위해 Williams의 방법에 근거한 스네이크 알고리즘이 수행된다. 이후 가변 원형 분석 방법으로 (c)의 원형을 추출하고 여기에 퍼지함수를 적용하여 (d)의 원형에너지 장을 생성한다. 원형에너지 장은 원형 (prototype) 주위의 각 픽셀에서의 윤곽 확률을 나타내는

것으로 계산식은 식 (5)와 같으며 퍼지집합 A는 원형과의 거리(d)에 따른 윤곽 확률을 나타낸다.

$$A = \{(d, m_A(d)) | d \in N\}, N \text{은 정수} \quad (5)$$

$$m_A(d) = \begin{cases} 0 & (d \geq d_2), \\ 1 - \frac{d-d_1}{d_2-d_1} & (d_1 < d < d_2), \\ 1 & (d \leq d_1) \end{cases}$$

단,  $d_2$ 는 원형에너지 장의 최대 유효 거리,  
 $d_1$ 은 최대 확률 허용 거리

Fig. 8은 퍼지 소속함수에 대한 그래프로 스네이크의 윈도우 크기에 비례하여 퍼지함수의 적용 범위가 결정되며 원형에 가까울수록 윤곽 가능성을 1에 가깝게 높여주고 일정 거리 이후에는 거리에 반비례하며 윤곽 가능성이 작아지도록 하였다.

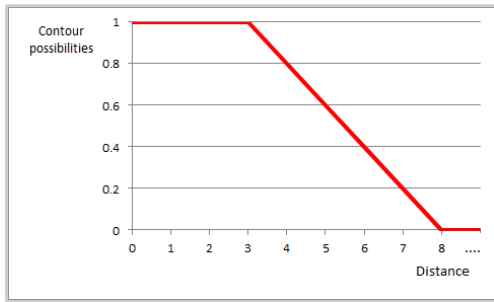


Fig. 8. Contour probability graph by fuzzy function

### 3.2 p-Snake 알고리즘

최종적인 윤곽선의 검출을 위해 개선된 p-Snake(p-ACM) 방법을 이용하였다. 이 방법은 에너지 최소화 알고리즘인 ACM(Active Contour Model, Snake)에 적응 원형 생성 기법과 퍼지 함수를 적용하여 생성한 원형에너지를 추가적인 에너지 항목으로 사용하는 방법이다[6]. p-Snake 알고리즘은 식(6)과 같으며 각 에너지 항목의 계수의 합은 1이 되도록 하였다.

$$E_{p-snake} = \int_0^1 (E_{internal}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{prototype}(v(s))) ds \quad (6)$$

$$E_{internal}(v(s)) = \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right|^2$$

$$E_{image}(v(s)) = -\gamma(s) |\nabla I(x,y)|^2$$

$$E_{prototype}(v(s)) = \delta(s) w(x,y) f_{fuzzy}(x-x', y-y'),$$

$w(x,y)$ : 에지 강도,  $f(x,y)$ : 퍼지 함수

## 4. 실험 및 분석

실험을 위해 직경이 0.5~2Cm인 사각형, 원형, 육각형 형태의 소형 부품 10종에 대하여 각 10장씩 100개의 영상을 640×480 사이즈로 취득하고 여기에 추가로 잡음 환경을 가정하여 가우시안 노이즈를 적용한 영상 100장을 더하여 총 200장의 영상을 이용하였고 잡음 여부에 따른 추출 성능을 비교하였다. 또한 제안 방법은 코어2 듀오 P6200 2.13GHz의 프로세서와 4GB의 램이 장착된 시스템에 윈도우 7 환경에서 Visual C++와 OpenCV 라이브러리를 이용하여 구현하였다.

### 4.1 윤곽선 추출 결과

Fig. 9는 깨끗한 배경 조건에서 원과 다각형이 혼합된 형태의 부품과 원형 부품에 대한 윤곽선 추출 결과로 기존 ACM 방법의 경우 (a)의 좌측 음영 영역과 (c)의 내측 원 영역에서 다소 부정확한 윤곽선이 추출하였으나 제안 방법으로 추출한 (b)와 (d)는 안정적인 윤곽선을 추출하였다. Fig. 10은 노이즈 환경에서의 실험으로 기존의 ACM 방법으로 추출한 (a)와 (c)에서는 윤곽 정점의 일부가 노이즈의 영향으로 고르지 못하게 분포되지만 (b)와 (d)의 제안 방법에 근거한 추출 결과에서는 상대적으로 균일하고 안정적인 윤곽선을 추출하였다.

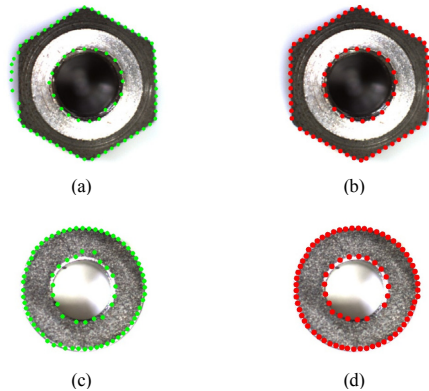


Fig. 9. Contour detection experiment by ACM and p-ACM in a clean background (a)(c) Result of the ACM, (b)(d) Result of the p-ACM



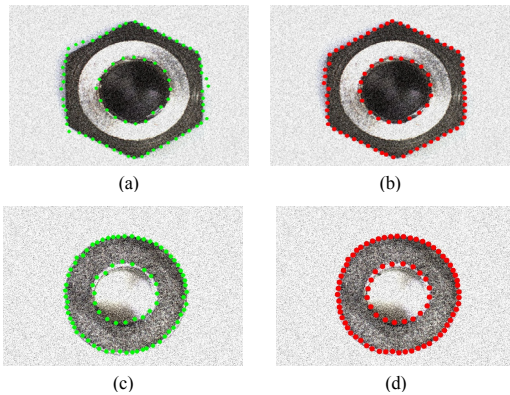


Fig. 10. Contour detection experiment by ACM and p-ACM in a background by gaussian noise  
(a)(c) Result of the ACM, (b)(d) Result of the p-ACM

#### 4.2 유사도 비교

기존의 ACM과 제안 방법인 가변 원형 분석 및 원형 에너지 장을 이용하는 p-ACM의 윤곽선 추출 성능을 비교하기 위하여 원형(prototype)과 추출된 윤곽선의 차이를 유사도로 정하고 비교하였다. 유사도란 원형 부품의 경우에는 추출된 윤곽 점들과 원-원형 사이의 중심으로부터의 누적 거리를 반지름으로 정규화 한 값이며, 다각형 부품의 경우는 추출된 윤곽 점들과 다각형-원형 사이의 중심으로부터의 누적거리를 원형의 길이로 정규화한 값이다. 각 부품들을 원형, 다각형, 혼합형으로 분류하고 잡음 여부에 따른 각 환경에서 ACM과 p-ACM을 적용하여 유사도를 비교한 결과는 Table 1과 같다. 조명에 의해 생긴 음영으로 인하여 부정확한 윤곽이 추출될 수 있는 깨끗한 배경의 경우 p-ACM이 0.869, ACM이 0.816의 유사도를 보였고 노이즈에 의해 윤곽의 왜곡이 있을 수 있는 잡음 배경 영상의 경우 p-ACM이 0.883, ACM이 0.845의 유사도를 보였다. 또한 [Fig. 11]은 전체 영상 샘플에 대한 ACM과 p-ACM의 유사도를 비교한 것으로 평균 4.6% 가량 높은 유사도를 보인 p-ACM 방법이 보다 더 정확한 윤곽선을 추출함을 보였다.

Table 1. Similarity rate for each parts

	Images with a clean background		Images with a noisy background	
	ACM	p-ACM	ACM	p-ACM
Circular parts	0.763	0.830	0.814	0.837
Polygonal parts	0.855	0.908	0.868	0.932
Mixed type parts	0.830	0.870	0.853	0.880
Average	0.816	0.869	0.845	0.883

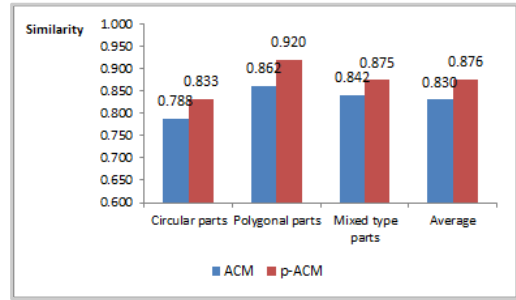


Fig. 11. Similarity comparison of ACM and p-ACM

## 5. 결론

본 논문은 중소 산업 현장에서 생산된 부품을 대상으로 하는 품질관리를 위한 비전시스템의 핵심 모듈인 안정적인 윤곽선 추출 방법에 대한 연구이다. 기존의 단순한 원형(prototype)을 사용하던 p-Snake 방법에 대하여 직선, 원-프리미티브(primitive)의 조합으로 표현하는 적응 원형(adaptive prototype) 생성 기법과 퍼지 함수를 이용하는 원형에너지의 생성 방법을 제안함으로써 잡음이 많은 영상일지라도 안정적인 윤곽선 추출이 가능함을 보였다. 향후에는 보다 다양한 부품에 대해 적용할 수 있도록 일반화해 대한 연구와 산업 현장의 비전시스템에 적용하는 실용화를 위한 연구가 필요하다.

## References

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," Int'l Journal of Computer Vision, pp.321-331, 1988.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00133570>
- [2] D. J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," CVGIP: Image Understanding Vol. 55, No. 1, pp.14-26, Jan. 1992.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/1049-9660\(92\)90003-L](http://dx.doi.org/10.1016/1049-9660(92)90003-L)
- [3] C. Xu and J. Prince, "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow," IEEE Trans. on Image Processing, vol.7, no.3, pp. 359-368, 1998.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/83.661186>
- [4] L. Cohen, "On Active Contour Models and Balloons," CVGIP: Image Understanding, pp. 1-18, 1991.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/1049-9660\(91\)90028-N](http://dx.doi.org/10.1016/1049-9660(91)90028-N)

- [5] Y. W. Kim and B. H. Jun, "Facial Contour Extraction in Moving Pictures by using DCM mask and Initial Curve Interpolation of Snakes," Journal of the institute of Electronics and Information Engineers, Vol.43, CI, no.4, pp. 58-66, July, 2006.
- [6] S. T. Oh and B. H. Jun, "Contour Extraction Method using p-Snake with Prototype Energy," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 51, No. 4, April 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2014.51.4.101>

**오 승 택(Seung-Taek Oh)****[정회원]**

- 2000년 2월 : 공주대학교 전자계산학과 이학사
- 2002년 2월 : 공주대학교 전자계산학과 이학석사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

&lt;관심분야&gt;

컴퓨터비전, 가상현실

**전 병 환(Byung-Hwan Jun)****[정회원]**

- 1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학사
- 1991년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학석사
- 1996년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학박사
- 1997년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
- 2000년 1월 ~ 2001년 12월 : (주)모리아테크놀로지 연구소장
- 2001년 12월 : MWW의 Who's Who in the World 등재

&lt;관심분야&gt;

컴퓨터비전, 가상현실, 유비쿼터스 컴퓨팅