

# 미니멀 그래스퍼를 이용한 강인한 조작 방법 Robust Grasping Procedures using a Minimal Grasper

\*JingFu Jin<sup>1</sup>, 김진현<sup>2</sup>, #도낙주<sup>1</sup>

\*J. F. Jin<sup>1</sup>, J. Kim<sup>2</sup>, #N. L. Doh(nakju@korea.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 전기전자전파공학부, <sup>2</sup> 서울산업대학교 기계공학부

Key words : Snake, Convex hull, Log-Polar, vision-based grasping, Minimal Grasper

## 1. 서론

로봇 그래스퍼에 관한 연구는 지난 20년 동안 활발하게 이루어져 왔다. 로봇 그래스퍼는 주로 민첩한 머니퓰레이션 (manipulation)과 grasping 을 위해 디자인 되고 있다. 인간의 손을 모방하여 디자인 된 로봇 그래스퍼는 파워 grasping 과 정밀한 grasping 이 가능해졌다. 반면에 디자인 복잡성과 제어의 어려움은 여전히 난제로 남아 있다.

물체를 잡기 위해 가장 많이 사용되는 접근방법은 논문 [1], [2], [3]에서 연구한 것과 같이 물체의 2차원 또는 3차원 기하학 모델 또는 CAD 모델을 데이터 베이스에 저장하고 접근 하는 방법이다. 또는 논문 [3]에서 스테레오 카메라, 레이저 센서를 이용하여 3차원 기하학적 모델을 구성하여 접근하는 방법도 많이 사용된다. 하지만 3차원 정보를 처리 해야 하기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 간단한 잡기와 놓기 (pick & place) 작업에 상당히 비효율적이다. 지금까지 지속적인 컴퓨팅 능력의 진보와 기술적인 혁신이 있어왔지만, 민첩한 grasping 을 하는 기술은 아직 쉽게 구현되지 않고 있다. 많은 연구에서 제한한 grasping 계획(planning) 알고리즘은 이론적으로는 가능성을 보여주고 있지만, 실시간 적용은 아직 어려운 게 현실이다.

논문 [4]에서 언급한 것 같이 로봇 그래스퍼의 잡기와 놓기 작업은 가장 기본적인 동작에 해당하기에 지속적으로 연구되고 있는 분야 중 하나이다. 많은 연구자들은 저비용의 실시간 잡기와 놓기 작업을 수행에 있어서 민첩한 접근 기술보다는 강인하고 실용적인 접근 기술에 관심을 기울이고 있다. 최근에 논문 [5]에서 Lee 등이 잡기와 놓기 작업을 수행 시 유연한 enveloping 이 가능한 미니멀 그래스퍼를 개발하였다. 이 연구에서 제안한 미니멀 그래스퍼는 한 개의 일반 카메라를 가지고 grasping 계획을 한다.

대부분의 경우, 잡고자 하는 물체 특성의 정확한 모델링은 쉽지 않다. 또한 환경이 변함에 따라 불확실성이 높아 지기 때문에, 머니퓰레이션 에러가 쉽게 발생한다. 하지만 미니멀 그래스퍼는 위치 에러에 강인한 장점을 가지고 있다.

논문 [6], [7], [8]에서 보여주는 액티브 윤곽선, convex hull, Log-Polar 등은 이미지 처리 분야에서 많이 사용된다. 우리가 제안한 강인한 조작 방법은 Fig. 1의 흐름과 같이 간단한 이미지 처리 과정과 convex hull, 좌표 변환 알고리즘 등으로 이루어 졌다. 이에 대해 section 2와 3에서 좀 더 깊이 논의를 한다.



Fig.1 Grasping flow chart



Fig.2 Minimal Grasper

## 2. 미니멀 그래스퍼 특성과 제한

미니멀 그래스퍼는 액티브 grasping 파트(closed belt loop), 패시브 grasping 파트(palm)와 제어기 파트. 이렇게 3부분으로 구성 되어 있다. 한 개의 모터만 사용하고, 간단한 구조로 디자인 되었기에 복잡성이 낮다. 그리고 액티브 grasping 파트가 항상 closed 루프형상을 유지 한다. 그래서 물체를 잡았을 때 힘이 물체 주변에 균일하게 분포되어서 강인한 grasping 이 이루어진다. 미니멀 그래스퍼의 구조(Fig. 2)의 특성으로 인해 위에서 아래로 물체에 접근해야 하는 방향 제한성이 있다. 여기에서 우리는 카메라가 항상 물체의 scale invariance 정보를 얻을 수 있는 위치에 있다고 가정한다. 그리고 액티브 grasping 파트에 있는 루프의 직경 제한이 있지만, 머그 (mug) 컵과 같은 독립적인 물체를 잡을 수 있을 정도의 크기는 충분히 유지할 수 있다.

## 3. 강인한 Grasping 조작

### 3.1 액티브 Contour

논문 [6]에서 Kass 등은 1987년에 전통적인 액티브 contour, parametric 곡선을  $V(s) = (x(s), y(s))$ 로 정의 하였다. 여기에서 s는 호의 길이를 의미하며, 0과 1 사이에 있는 값이다. Snake 알고리즘의 에너지 함수 1을

$$E_{snake} = \int_0^1 [E_{int}(V(s)) + E_{image}(V(s)) + E_{con}(V(s))] ds \quad (1)$$

최소화 함으로 x, y 평면에서 2차원 윤곽선을 얻을 수 있다. 여기서 E<sub>int</sub>는 윤곽선의 내부 에너지이고, E<sub>image</sub>는 이미지 힘이며, E<sub>con</sub>은 외부 constrain 힘 이다.

우선 카메라를 통해 Fig. 3의 a과 같이 물체의 2차원 이미지를 얻는다. 다음으로 이미지 상에 초기 윤곽선을 생성한 후, snake 알고리즘을 적용하여 Fig. 3의 b에서 볼 수 있는 2차원 윤곽선을 뽑아낼 수 있다. 윤곽선을 구성하고 있는 점들에 convex hull 알고리즘을 적용을 하여 불록화 시킨다. 그러면 오목한 위치에 있던 점들은 제거되고 불록한 점과 그사이의 점들로 재구성이 된다. 최종적으로 N개의 점  $(x_{oi}, y_{oi})$ 들로 새로운 윤곽선을 만들어 준다. 새로 얻은 2차원 윤곽선은 필터링 윤곽선으로 사용 될 것 이다.

새 윤곽선의 불록 한 점들은 그래스퍼의 액티브 파트가 물체를 enveloping 할 때, 벨트와 최소한으로 접촉하는 점들이 된다. 충분한 힘의 작용하에 있다면 물체에 대한 완전한 enveloping 이 이루어 진다.

### 3.2 x, y 평면에서의 중심화

x, y 평면에서의 중심화란 물체의 윤곽선 중심 좌표를, 미리 알고 있는 액티브 grasping 파트의 중심 좌표로 (Dx, Dy) 만큼 이동하여 매치 시키는 것을 의미한다. 먼저 액티브 grasping 파트와 카메라와의 위치 정보를 이용하여 미니멀 그래스퍼를 물체 위로 이동시킨다. 실제로는 외란과 노이즈로 인해 두 중심이 완전히 매치 되지 않는다. 하지만 에러를 무시할 수 있는 정도에서 액티브 grasping 파트와 물체 윤곽선의 중심을 모두  $(x_c, y_c)$  라고 본다. 여기서 윤곽선의 중심은 수식 2, 3에 의해 구해진다.

$$x_c = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^N (x_{oi} + x_{oi+1})(x_{oi}y_{oi+1} - x_{oi+1}y_{oi}) \quad (2)$$

$$y_c = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^N (y_{oi} + y_{oi+1})(x_{oi}y_{oi+1} - x_{oi+1}y_{oi}) \quad (3)$$

수식 2, 3에서 A는 윤곽선 내부의 면적으로 주어진다.

### 3.3 Log-Polar 변환

Log-polar( $\log(r), \theta$ ) 변환은 데카르트 좌표 계로 표현된 점 (x, y)를 극 좌표 계에서의 표현으로 바꾸어 준다. Log-polar( $\log(r), \theta$ ) 시스템에서, r은 윤곽선의 중심  $(x_c, y_c)$ 에서 반지름 방향의 거리이고,  $\theta$ 는 x 축과의 각도를 의미한다.

$$r_{ni} = \log(\sqrt{(x_{ni} - x_c)^2 + (y_{ni} - y_c)^2}) \quad (4)$$

$$\theta_{ni} = \tan^{-1}\left(\frac{(y_{ni} - y_c)}{(x_{ni} - x_c)}\right) \quad (5)$$

물체 윤곽선의 점  $(x_{oi}, y_{oi})$ 들과 액티브 grasping 윤곽선의 점  $(x_{ei}, y_{ei})$ 들을 수식 4, 5를 이용해서 Log-Polar 좌표로 변환하면 각각  $(r_i, \theta_i), (r_{ni}, \theta_{ni})$ 로 표현 된다. 우선,  $n=0$ 일 때의 각도에서 계산된  $(r_{0i} - r_i)$  중에서 최소값  $d_{0i}$ 을 찾는다. 다음에 그래스퍼의 액티브 grasping 윤곽선의 점  $(x_{ei}, y_{ei})$ 들을 반시계 방향으로  $\theta_i$ 씩 돌려가면서  $(r_{ni} - r_i)$ 의 최소값  $d_{ni}$ 을 구한다. 이 프로세스를 N-1번 하여  $d_{ni}$  값이 최대가 되는 각도  $\theta_{Mi}$ 를 찾는다. 여기서 M은 상수이고, 결국 각도  $\theta_{Mi}$ 가 바로 미니멀 그래스퍼가 물체에 접근하는 최적의 orientation 각도가 된다. 실험 결과는 Fig. 3의 d, e, f에서 볼 수 있다.

그리고  $d_{ni}$ 가 모두 음수값을 갖게 되면, 물체가 그래스퍼로 잡을 수 없는 범위에 있다고 판단을 내리고 물체에 접근을 하지 않는다.

## 4. 결론

[그림 3]에서의 실험 결과를 통해 실시간으로 강인하게 잡을 수 있는 조작 방법을 보여 주었다. 우리가 제안한 조작 방법은 간단한 프로세스로 구성되어 있고, 2차원 데이터를 실시간으로 처리할 수 있다는 장점이 있다. 정확한 Positioning이 필요하지 않고, 대략적인 위치 설정만으로도 물체를 잡을 수 있기 때문에 위치 에러에 강인한 장점이 있다. 차후 연구는 3차원 즉 Z 방향에서의 최적의 거리를 정의하여 센서를 통해 거리를 측정함으로써 완전한 자율 시스템을 구축한 후, 휴머노이드의 머니퓰레이터에 부착시켜 임의의 물체를 잡도록 하는 것이다.

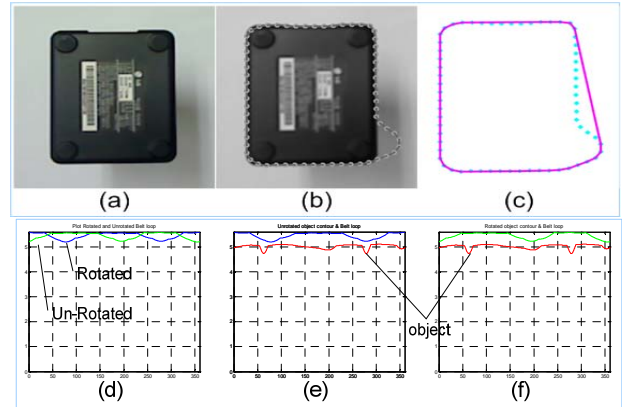


Fig.3. (a) Object image. (b) Result of active contour. (c) Result of convex hull algorithm. (d), (e), (f) are Log-Polar represented result: Blue line is the un-rotated contour of grasping part, green line is the rotated contour of grasping part, and red line is the object contour.

### Acknowledgements

본 연구는 (고려대학교 로봇자율주행기술 전문인력양성 센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형 로봇 전문인력양성사업의 지원으로 수행 되었습니다.

### 참고문헌

1. J. Glover, D. Rus, N. Roy, "Probabilistic Models of Object Geometry with Application to Grasping", *Int. J. Robotics Research*, 2009.
2. A. Morales, P. Sanz, A. del Pobil, A. Fagg, "Vision-Based Three Finger Grasp Synthesis Constrained by Hand Geometry," *Robotics and Autonomous Systems*, 54(6):496-512, 2006.
3. Yamazaki, K, Tomono, M, Tsubouchi, T, Yuta, S, "A Grasp Planning for Picking up an Unknown Object for a Mobile Manipulator". *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation* (2006).
4. H. Nikhil, W. Dale, K. Navdeep, "Designing ultra-low cost Asymmetric grippers for human tasks," in *RSS Workshop on Robot Manipulation: Intelligence in Human Environments*, 2008.
5. Y. Lee, J.F. Jin, C. Nam, J. Kim, N. L. Doh, "Development of Minimal Grasper: Preliminary result of a simple and flexible enveloping grasper", *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, accepted, 2009.
6. M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: active contour models," *Int. Journal of Computer Vision*, vol. 1, no. 4, pp. 321-331, 1987.
7. N.S. Pollard, "Closure and Quality Equivalence for Efficient Synthesis of Grasps from Examples", *Int. J. Robotics Research*, 23(6), pp.595-613, 2004.
8. Siavash Zokai, George Wolberg, "Image Registration Using Log-Polar Mappings for Recovery of Large-Scale Similarity and Projective Transformations", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 10, 2005.