

비전 기반의 마이크로매니플레이션을 위한 조작점 추출 알고리즘

장민수, 이석주, 박귀태

서울특별시 성북구 안암동5가-1 고려대학교 전기공학과
(Tel:82-2-3290-3673; Fax:82-2-958-6910; E-mail:{jangms, gidung, gtpark}@elec.korea.ac.kr)

Grasp Points Extraction Algorithm for Vision Based Micromanipulation

Min Soo Jang, Seok Joo Lee, Gwi Tae Park,

Department of Electrical Engineering, Korea University, Sungbuk-Ku, Seoul 407, Korea.
(Tel:82-2-3290-3673; Fax:82-2-958-6910; E-mail:{jangms,gidung,gtpark}@elec.korea.ac.kr)

Abstract - 본 논문에서는 비전 기반의 마이크로매니플레이션을 위해서 임의의 형태의 오브젝트에서 조작점을 추출하는 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 무게 중심점과 K-L 변환을 이용하여 오브젝트의 조작점을 선정하고 오브젝트와 마이크로 그리퍼가 접촉하게 되는 면에서 최외곽의 접점을 접촉점으로 선정한다.

1. 서 론

비전 기반의 마이크로매니플레이션의 가장 기초적인 작업은 대상 오브젝트를 정확히 조작하여 이동 또는 조립하는 것이다. 이를 위해 임의의 오브젝트에 대해 정확한 조작점을 추출하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[1]-[4]. 이들의 연구는 대부분 비전 센서와 힘 센서의 조합을 이용하여 조작점을 추출하고 오브젝트를 조작하고 있다. 하지만 힘 센서는 설치 위치에 따른 데이터의 변화, 노이즈 그리고 약한 내구력 등의 문제점을 안고 있기 때문에 힘 센서를 배제할 수 있는 새로운 알고리즘의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 비전 센서만을 이용하여 임의의 오브젝트의 조작점을 추출하기 위한 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 알고리즘은 오브젝트의 무게 중심점과 K-L 변환을 통해 얻어지는 오브젝트의 축 정보를 이용하여 조작점을 추출한다. 그리고 오브젝트와 마이크로 그리퍼가 접촉하게 되는 면에서 오브젝트의 장축과의 거리가 가장 큰 점을 접촉점으로 선정함으로써 힘 센서에 의한 접촉 정보 부재의 문제점을 해결하고자 한다.

본 논문의 2.1절에서는 본 논문에서 사용된 마이크로매니플레이션 시스템의 구조를 설명하고 2.2절에서는 조작점 추출 알고리즘에 대하여 논한다. 3절에서는 실험 결과를 보여주고 4절에서는 결론을 맺도록 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 구성한 비전 기반의 마이크로매니플레이션 시스템의 구성도이다. 전체 시스템은 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 CCD 카메라, 광학 현미경 및 이미지 그래버로 구성되는 비전 시스템이다. 그리고 두 번째는 마이크로 그리퍼와 마이크로 스테이지로 구성되는 마이크로 포지셔닝 시스템이다. 끝으로 PC와 컨트롤러로 구성되는 제어 시스템이다.

2.2 조작점 추출 알고리즘

본 논문의 조작점 추출 알고리즘은 두 가지의 가정을 가진다.

- (1) 마이크로 그리퍼는 플라나(planar) 타입이다.
- (2) 오브젝트는 다각형의 형태이다.

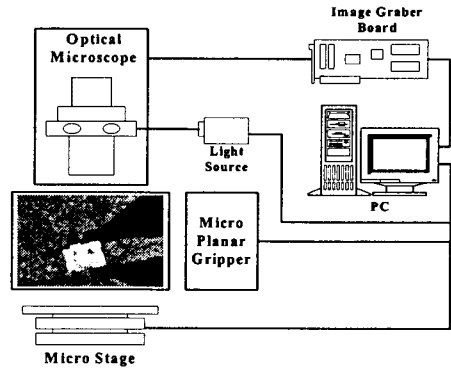


그림 1. 비전 기반의 마이크로매니플레이션 시스템 구조

그림 2는 조작점 추출 알고리즘의 블록 다이어그램이다. 본 알고리즘은 입력된 영상에 대해 전처리 과정으로서 이진화와 에지 검출을 한다. 그리고 이 영상으로부터 무게 중심점과 축 정보를 얻은 후에 조작점을 정하게 된다.

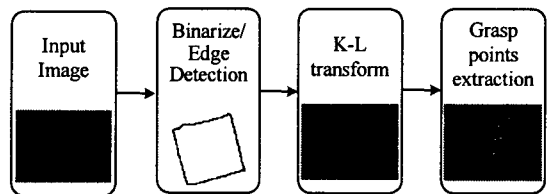


그림 2. 조작점 추출 알고리즘의 블록 다이어그램

2.2.1 K-L 변환

K-L 변환은 영상의 통계적 특성에 기반한 영상 처리 알고리즘으로 일반적으로 영상 인식이나 영상의 회전에 사용된다. 본 논문에서는 K-L 변환을 통해 영상의 고유값(eigen value)과 고유벡터(eigen vector)를 알아내어 이를 조작점 추출에 이용한다.

이를 위해 전처리 과정을 통해 검출된 오브젝트의 에지 정보에 대해 K-L 변환을 적용한다. 오브젝트의 에지 정보를 랜덤 벡터 $X_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 로 정의한다. X_i 와 수식 (1), 수식 (2)를 통해 평균 벡터 M_X 와 분산 벡터 C_X 를 구한다.

$$M_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$C_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i X_i^T - M_X M_X^T) \quad (2)$$

n 은 오브젝트의 에지 개수이다.

이로부터 수식 (3)에 의해 2개의 고유값과 2개의 정규직교하는 고유벡터를 얻는다.

$$C_X \phi = \lambda \phi \quad (3)$$

수식 (3)에서 λ 는 고유값을 의미하고, ϕ 는 고유벡터를 의미한다. 얻어진 2개의 고유벡터를 ϕ_1, ϕ_2 ($\phi_1 > \phi_2$)로 정의하고 이는 각각 오브젝트의 장축과 단축을 의미한다.

2.2.2 조작점의 추출

본 논문의 기본적인 조작점 추출 규칙은 그림 3과 같이 앞 절에서 얻은 오브젝트의 단축 ϕ_2 를 오브젝트의 무게 중심점 C_{xy} 로 수평 이동 시킨 후 ϕ_2 의 연장선과 오브젝트의 에지가 만나는 두 개의 점을 조작점 GP_1, GP_2 로서 선정한다. 하지만 오브젝트가 그림 4와 같이 오목 다각형 형태를 띠고 있을 경우 ϕ_2 의 연장선과 오브젝트의 에지의 교점이 2개 이상일 수 있다. 이 경우엔 각 교점을 2개씩 쌍을 이루도록 하여 그 중 하나를 선정하였다.

마이크로매니퓰레이션 수행 시에 광학 현미경 또는 고배율의 렌즈를 통해서 입력되는 오브젝트의 영상은 고배율로 확대되어 있기 때문에 그림 5와 같이 오브젝트의 윤곽선이 직선의 형태가 아니라 불규칙하게 나타나게 된다. 따라서 위에서 설명한 조작점의 추출만으로는 정확한 오브젝트의 조작이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 조작점 GP_1, GP_2 외에 2개의 추가적인 조작점을 추출한다. 이 조작점은 마이크로 그리퍼와 오브젝트의 접촉점 (contact point)을 의미하고 CP_1, CP_2 로서 정의한다. 두 개의 접촉점 CP_1, CP_2 는 다음의 2개의 조건을 만족하는 점으로서 선정한다.

(1) 오브젝트의 에지 중에서 마이크로 그리퍼와 접촉하게 되는 면 위에 존재하고

(2) 오브젝트의 장축 ϕ_1 과의 거리가 가장 먼 점

마이크로매니퓰레이션 수행 시에는 마이크로 그리퍼를 조작점 GP_1, GP_2 로 이동시킨 후 마이크로 그리퍼를 오브젝트에 접근시킬 때 마이크로 그리퍼가 접촉점 CP_1

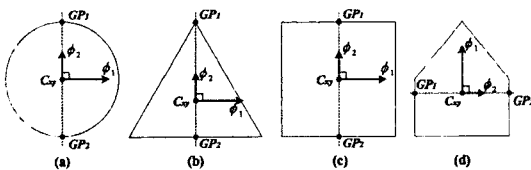


그림 3. 블록 다각형 형태의 오브젝트의 조작점

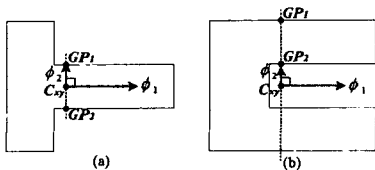


그림 4. 오목 다각형 형태의 오브젝트의 조작점

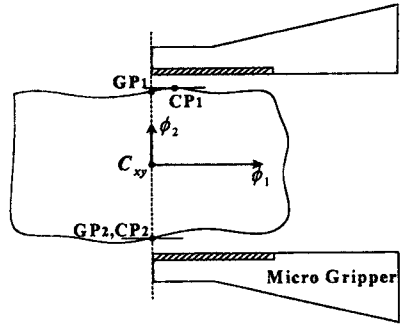


그림 5. 접촉점의 추출

, CP_2 에 도달하게 되면 마이크로 그리퍼의 이동을 멈추도록 한다.

3. 실험

3.1 시뮬레이션

그림 6은 본 논문에서 제안한 조작점 추출 알고리즘과 기존의 조작점 추출 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 6 (a)는 각 다각형의 오브젝트에 대하여 쿼드-트리 알고리즘과 적합도 함수를 이용한 조작점 추출 알고리즘[5]을 적용한 것이고 그림 6 (b)는 무게 중심점과 관성 벡터를 이용한 조작점 추출 알고리즘[6]을 적용한 것이다. 그리고 그림 6 (c)는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과 영상이다. 사각형과 T-자형의 오브젝트의 경우 각 알고리즘이 비슷한 위치를 조작점으로서 추출하고 있다. 하지만 그림 6 (a)에서 원형의 오브젝트에서 잘못된 조작점이 추출되고 있고 그림 6 (b)에서 오각형의 오브젝트에서 잘못된 조작점이 추출되고 있다.

표 1은 각 조작점 추출 알고리즘의 시뮬레이션 결과 영상에서 두 조작점을 지나는 직선과 무게 중심점과의 오차를 측정된 결과이다. 오차는 유클리디언 거리 (euclidean distance)로 측정하였다. 이 값이 클수록 조작점이 무게 중심점과 멀어지기 때문에 안정적인 조작이 어려워지게 된다. 쿼드-트리와 적합도 함수를 이용한 알고리즘은 적게는 1에서 많게는 28의 오차를 나타내고 있는 반면에 관성 벡터를 이용한 알고리즘과 본 논문의 알고리즘이 무게 중심을 기반으로 하여 조작점을 추출하기 때문에 오차가 0으로 나타나고 있다.

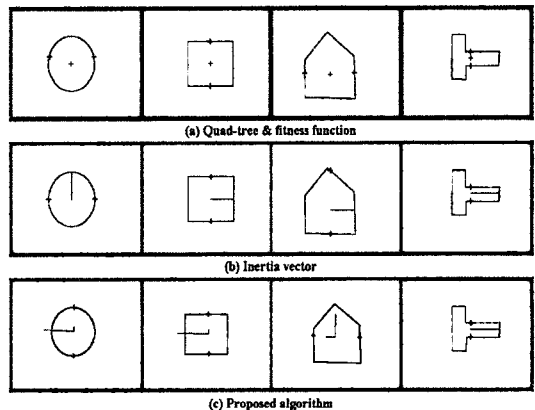


그림 6. 시뮬레이션 결과

표 1. 조작점 추출 알고리즘에 따른 에러 측정(1)

	Quad-tree & fitness function	Inertia vector	Proposed algorithm
Circle	28	0	0
Rectangle	1	0	0
Pentagon	6	0	0
T-shape	6	0	0

3.2 조작점 추출

그림 7은 사각형 형태와 T-자 형태의 오브젝트에 대하여 각 알고리즘을 적용한 결과 영상이다. 사각형 형태의 오브젝트는 볼록 다각형 형태의 오브젝트로서 사용되었고 T-자 형태의 오브젝트는 오목 다각형 형태의 오브젝트로서 사용되었다. 쿼드-트리 알고리즘과 적합도 함수를 이용한 알고리즘의 경우 그림 7 (a)에서 볼 수 있듯이 불규칙한 외곽선을 가진 오브젝트의 경우에 정확한 조작점을 추출해내지 못하고 있다. 관성 벡터를 이용한 알고리즘의 경우 그림 7 (b)에서 볼 수 있듯이 비교적 정확한 조작점을 추출하고 있으나 접촉에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에 오브젝트의 조작에 어려움이 따르게 된다.

표 2는 시뮬레이션에서와 같이 실험 결과 영상에서 두 조작점을 지나는 직선과 무게 중심점과의 오차를 측정 한 결과이다. 쿼드-트리 알고리즘과 적합도 함수를 이용한 알고리즘에서 역시 오차가 나타나고 있다.

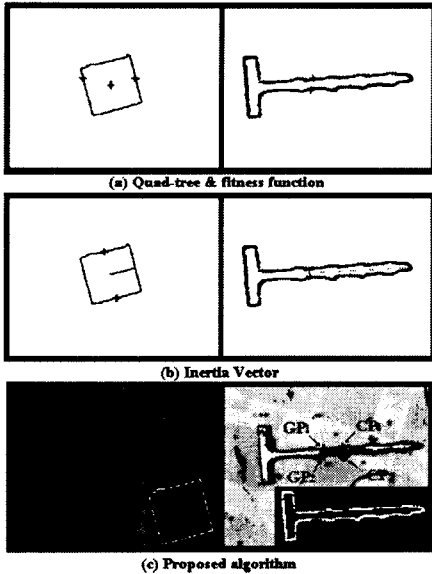


그림 7. 알고리즘에 따른 조작점 추출 결과

표 2. 조작점 추출 알고리즘에 따른 에러 측정(2)

	Quad-tree & fitness function	Inertia vector	Proposed algorithm
Rectangle	21	0	0
T-shape	10.61	0	0

3. 결 론

본 논문에서는 비전 기반의 마이크로매니퓰레이션을 위해 임의의 오브젝트에 대하여 조작점을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 조작점 추출 알고리즘은 K-L 변환을 이용하여 오브젝트에 에지 정보에 기반한 조작점을 추출함으로써 기존의 조작점 추출 알고

리즘에 비해 더 높은 정밀도를 가지며 접촉점을 추출함으로써 힘 센서에 의한 접촉 정보 부재의 문제점을 보완하였다.

본 논문에서는 오브젝트의 영상에 대하여 조작점의 추출만을 하였으나 추후 마이크로 그리퍼를 사용하여 알고리즘의 정밀도를 검증하고 실시간의 마이크로매니퓰레이션을 위하여 알고리즘의 수행 속도를 개선할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] W.Zesch and R.S.Fearing, "Alignment of Microparts Using Force Controlled Pushing", SPIE Conf. on Microrobotics and Micromanipulation, Boston, MA, Nov. 1998
- [2] Y.Zhou and B.J.Nelson, "Adhesion Force Modeling and Measurement for Micromanipulation", SPIE Conf. on Microrobotics and Micromanipulation, vol. 3519, pp.169-180, Boston, MA, Nov. 1998
- [3] M.Sitti and H.Hashimoto, "Two-Dimensional Fine Particle Positioning Using a Piezoresistive Cantilever as a Micro/Nano-Manipulator", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2729-2735, Detroit, MO, May 1999
- [4] J.A.Thomson and R.S.Fearing, "Automating Microassembly with Ortho-tweezers and Force Sensing", IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1327-1334, Maui, Hawaii, Oct. 2001
- [5] K.Stanley, Q.M.Jonathan, and W.A.Gruver, "Implementation of Vision-Based Planar Grasp Planning", Systems, Man, and Cybernetics, Part A, IEEE Trans. on Vol. 30, Issue 4, pp.517-524, 2000
- [6] C.P.Tung and A.C.Kaka, "Fast Construction of Force-Closure Grasps", IEEE Trans. Robot Automat., Vol. 12, pp.615-626, 1996