

다수의 비전 정보를 이용한 3차원 마이크로 부품의 인식

이 석주*, 김 경환**, 김 덕호**, 박 종오**, 박 귀태***
 고려대학교 전기전자전파공학부 대학원 자동제어 연구실*,
 KIST 마이크로시스템 연구센터**,
 고려대학교 전기전자전파공학부***

Recognition of 3D-Shaped Micro Parts
 Using Multiple Vision for Micro Manipulation

Seok Joo Lee*, Kyunghwan Kim**, Deok-Ho Kim**, Jong-Oh Park**, Gwi Tae Park***
 Automatic Control LAB, Department of Electrical · Electronic · Radio Engineering, Korea University*
 Microsystem Research Center, Korea Institute of Science and Technology**
 Department of Electrical · Electronic · Radio Engineering, Korea University ***

Abstract - 마이크로 매니플레이션에서는 제어에 활용할 수 있는 센싱 정보의 제약, 마이크로 영역 특유의 물리현상 등으로 인하여 원하는 제어 성능을 달성하는데 큰 어려움이 따른다. 마이크로 영역의 여러 센싱 정보 중에서 특히 비전 정보를 잘 활용하면 이러한 제약을 크게 완화할 수 있을 뿐만 아니라 실시간 영상처리를 통해 페루프 제어도 가능하다. 대부분의 마이크로 비전 시스템에서는 초점 심도가 낮고 초점 영역의 선택에 제약이 따르기 때문에 중첩비가 큰 3차원 마이크로 부품을 인식하고 조작하는데 큰 어려움이 있다. 본 논문에서는 3차원 마이크로 부품의 조작을 위해, 초점 영역의 선택이 가능한 마이크로 비전 시스템을 제안하고 실험을 통하여 그 유용성을 실증하였다.

보를 얻는 것 또한 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 궁극적으로 마이크로 매니플레이션의 자동화를 추구하기 위하여 하나의 광학현미경에서 다수 배율을 가지는 비전 정보를 얻어내어 활용할 수 있는 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 서로 다른 배율을 가지는 서로 다른 영상에서 마이크로 매니플레이션을 위해 필요로 하는 다양한 정보를 얻어냄으로써 기존의 문제점을 해결하고자 한다. 2.1장에서는 마이크로 매니플레이션을 위해 구성된 시스템을 설명하고 2.2장에서는 다수 비전 정보에서 영상처리를 이용하여 마이크로 부품을 추출하고 인식하는 알고리즘을 설명한다. 2.3장에서는 2.2장에서 설명한 알고리즘을 이용한 마이크로 부품의 인식에 대한 실험 결과를 보고 3장에서 결론과 향후 계획을 제시한다.

1. 서 론

2. 본 론

최근 수년간 다양한 종류의 마이크로 오브젝트의 매니플레이션을 위한 마이크로 매니플레이션 시스템에 대한 관심이 크게 일고 있다. 마이크로 매니플레이션 기술은 생체 공학이나 유전자 공학 등에서의 세포 조작[1][2], 마이크로 오브젝트의 조립[3][4], 마이크로 오브젝트의 가공등 무수히 많은 적용 분야를 가지고 있다. 그러나 아직까지 마이크로 매니플레이션은 마이크로 매니플레이터의 개발의 어려움, 마이크로 영역의 물리적인 특성에 대한 협소한 지식, 매니플레이션을 위한 센싱의 어려움, 정밀한 제어의 필요성과 같은 많은 문제점을 지니고 있으며 이에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

2.1 마이크로 매니플레이션 시스템

본 연구에서는 3차원 형상의 마이크로 부품의 조립이 가능한 마이크로 원격조종 시스템 구축을 목표로 한다. 그림 1은 마이크로 조립을 위해 구현된 원격조종 시스템의 구성도를 나타낸다.

마이크로 영역의 협소함은 시스템 전체의 구성에 영향을 미치며 비전 및 센서, 매니플레이터 자체의 극소형화 및 높은 해상도를 필요로 하게 된다. 또한 매크로 영역에서의 매니플레이션을 위해 사용되는 다양한 센서는 마이크로 영역에서 필요로 하는 분해능을 만족시키지 못한다. 따라서 마이크로 매니플레이션을 위한 센서를 새로이 설계하고 이를 위한 제어기를 설계하는 어려움이 뒤따른다.

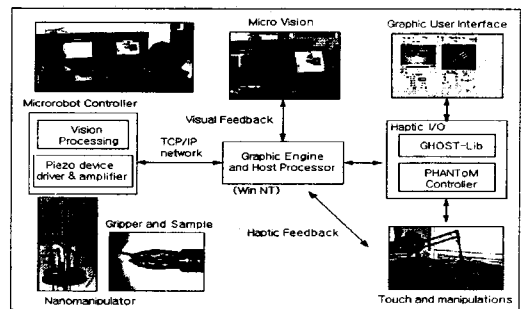


그림 1. 마이크로 원격조종 시스템 구성도

비전 센서의 경우 광학 현미경상에서 물체 및 환경에 대한 정보를 고배율로 얻을 수 있고 영상에 담겨 있는 많은 정보를 활용할 수 있으며, 이미 많은 연구가 진행되어 있는 영상처리 알고리즘들을 활용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 하지만 광학 현미경의 높은 배율은 영상에 많은 잡음을 제공하고 협소한 초점 영역과 낮은 초점 심도를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 일반적으로 하나의 광학현미경 외에 전체 작업 영역을 관찰할 수 있는 고배율 매크로 비전 정보를 작업자에게 주는 시스템 형태를 취한다. 그러나 이러한 시스템은 인간이 작업에 많이 참여해야하는 수동적인 시스템의 형태를 가지게 되므로 자동화를 이루기가 어렵고 정확한 정

2.1.1 시스템 구성 및 특징

구성된 시스템은 조립을 위한 마이크로 매니플레이터의 제어를 위해 작업자의 매니플레이션의 기술을 추출할 수 있는 다자유도 햅틱 인터페이스와 햅틱 기구를 실시한 제어할 수 있는 제어기 구조를 지닌다.

제안된 비전 시스템은 3차원 마이크로 부품 및 생체 구조물에 인식력이 우수한 스테레오 비전을 이용하여 초점심도 사양이 일반 광학 현미경을 통한 비전보다 약

10~20배 우수하며, 마이크로 비전의 제약성을 극복하기 위해 다수 시야 및 다양한 초점 영역의 선정이 가능한 마이크로 비전 시스템이다.

2.1.2 마이크로 비전 시스템

시각 인터페이스의 성능은 원격조종을 통한 매니플레이션 작업의 속도와 정밀도 등을 결정하는 중요 요소이다. 특히 마이크로 조립을 위해서 비전시스템의 올바른 구성은 3차원 마이크로 물체를 식별하고, 마이크로 매니플레이터의 피드백 위치제어를 위한 비전 인식, 조립을 위한 경로 생성, 작업계획을 하는데 있어 매우 중요하다.

그림 2는 마이크로 비전 시스템의 H/W 구성도이다. 비전 시스템은 스테레오 현미경(Leica 사의 MZ 12.5 모델), 3개의 CCD 카메라(Sony XC-55 모델), 영상 처리 프레임 그레버(Matrox사의 GENESIS 보드), FMD (Olympus Eye-trek 200)로 구성되어 있다. 단차가 큰 3차원 마이크로 구조물의 형상인식 능력이 우수한 스테레오 현미경(Leica MZ 12.5)에 탑재된 CCD 카메라를 통해 나오는 영상 이미지를 영상 처리를 위한 프레임 그레버로 전송이 된다. 영상 이미지는 모니터를 통해 1.8m×2.4m 크기의 비디오 프로젝터와 FMD를 통해 조작자에게 전달된다.

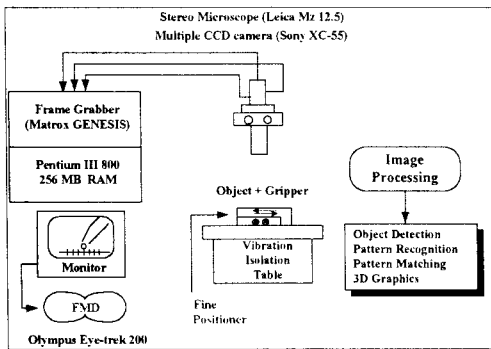


그림 2. 마이크로 비전 시스템 H/W 구성도

2.1.2.1 스테레오 광학 현미경

스테레오 현미경(Leica Mz 12.5 모델)은 넓은 배율 조정범위와 함께 큰 해상도, 긴 작업 영역을 가진다. 또한 3차원 마이크로 부품의 인식이 가능하도록 큰 초점 영역을 가지는데, 저배율에서는 일반적인 광학현미경(Mitutoyo FS60 optical microscope 모델 기준)에 비해 약 8배, 고배율에서는 약 12배정도 크며, 수 um의 물체에서 수 mm까지 물체의 인식이 가능하다. 일반 광학현미경의 경우 10mm 내외로 작업영역이 아주 작은 광학현미경 하에서 매니플레이터를 설치 구동할 수 있는 공간적인 제약성이 있는데 반해, 97mm로 약 10배 정도의 작업 영역을 가진다.

2.1.2.2 다수 초점 영역을 갖는 비전 시스템

현미경을 통한 작은 초점영역은 마이크로매니플레이터의 동작영역 제한을 가져오게 된다. 반면 큰 초점영역에 대해서는 정밀한 매니플레이션과 조립 작업을 할 수 있는 시각적 cue 정보의 분해능이 한계에 직면하게 된다. 본 시스템에서는 광학 현미경으로 나오는 단일 초점 영역의 한계를 극복하고자, 3개의 CCD 카메라를 탑재하고, DSP가 내장된 영상처리보드를 통해 비전인식을 하고 있다.

그림 3은 다수 초점 기능을 가지는 마이크로 비전시스템의 동기화 된 영상 이미지를 나타내고 있다. 각각의 영상 이미지는 다른 배율, 다른 초점영역을 가지고 있으며, 선택적으로 다른 영상을 선택하면서 전체적으로 매니플레이터의 작업영역을 볼 수 있음과 동시에 비전인식의 분해능을 높여 비전인식의 성능을 개선할 수 있다.



그림 3. 선택적 초점영역을 가지는 동기화 된 마이크로 비전이미지, (zoom factor rate = 3.0 : 1.5 : 1.0)

2.2 다수 비전을 이용한 마이크로 부품의 인식

본 장에서는 2.1절에서 제안된 다수 비전 시스템에서의 마이크로 부품의 인식 방법 및 다수 비전 정보의 활용 방법에 대해 설명한다.

2.2.1 마이크로 부품의 인식

마이크로 매니플레이션을 위해 인식되어야 할 마이크로 부품은 매니플레이션의 되는 대상 물체와 매니플레이터의 그리퍼로 크게 나눌 수 있다. 이것은 조립등의 작업에서 대상 물체와 매니플레이터의 위치와 거리와 같은 작업환경을 작업자 또는 제어기에 전달하는 가장 기본적인 정보가 된다.

본 논문에서는 다수 비전 정보에서 마이크로 매니플레이션을 위해 마이크로 부품의 인식에 대한 실험을 통해 구현된 시스템과 알고리즘에서의 문제점을 분석하고 해결방안을 모색하고자 한다.

2.2.1.1 마이크로 부품의 인식 알고리즘

마이크로 부품의 인식을 위한 알고리즘으로써 특징점 추출을 통한 매칭을 이용하는 방법과 패턴 매칭을 이용하는 두 가지 방법이 널리 쓰인다. 특징점 매칭 방법을 사용할 경우에는 매칭을 수행하기 위하여 전처리 단계로 특징 점을 추출하는 단계가 필요하며 이것은 바로 계산 시간의 지연으로 이어진다. 따라서 특징점 매칭 알고리즘의 경우 실시간 제어를 필요로 하는 경우 어려움이 따른다.

반면에 패턴 매칭의 경우 원 영상과의 비교를 통해 오브젝트를 인식하는 방법으로 최근 고성능 DSP와 같은 H/W의 발달로 실시간 패턴 인식에 적합하다.

일반적인 패턴 매칭에서는 식 2.1과 같은 컨볼루션 형태를 가지는 상관관계에 의해 수행된다.

$$r = \sum_{i=1}^{i=N} I_i M_i \quad (2.1)$$

r : correlation 값
 I_i : 타겟이미지의 픽셀 값
 M_i : 모델이미지의 픽셀 값

이 경우 r 이 최대가 되는 곳이 모델 이미지와 가장 비슷한 영역이 되므로 그 영역의 좌표를 계산하는 방법이다. 그러나 이 경우 대상 이미지나 모델이미지의 밝기가 높아질 경우 상관관계 값 r 이 매우 커지게 되고 이미지 전체가 흰색을 가질 경우 가장 큰 값을 갖는다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 구현된 알고리즘은 식 2.2를 따른다.

$$r = \frac{N \sum IM - (\sum D) \sum M}{\sqrt{[N \sum I^2] - (\sum I)^2} \sqrt{[N \sum M^2] - (\sum M)^2}} \quad (2.2)$$

이 경우 대상 이미지나 모델 이미지의 픽셀 값의 변화에 영향을 받지 않으며 최대 값은 1이 되고 최소 값은 음수는 고려하지 않으므로 0이 된다. 그리고 제품군의 계산에 걸리는 시간을 줄이기 위하여 r^2 을 구한다.

위의 알고리즘을 사용하여 512×512 이미지에서 128×128 이미지의 패턴 인식을 수행 할 경우 계산량은 $2 \times 512^2 \times 128^2$ 으로 8억 번이 넘어가게 되며 PC에서 수 초 내지 수분의 시간이 걸린다. 위와 같은 계산량을 줄이기 위하여 모델 이미지와 대상 이미지를 리사이즈하여 계산량을 줄이는 계층적 검색 방법을 사용한다.

예를 들어 대상 이미지와 모델 이미지가 512×512, 128×128일 경우를 레벨 0이라 하면 이 이미지의 크기를 표2와 같이 반으로 줄여나가면서 레벨을 하나씩 늘려간다. 높은 레벨에서 후보 영역을 선정하여 낮은 영역으로 올라가면서 정확한 영역을 찾아내는 방법이다.

표 1. 계층적 검색의 예

Level	Resolution	
	Target Image	Model Image
0	512×512	128×128
1	256×256	64×64
2	128×128	32×32
3	64×64	16×16
4	32×32	8×8
5	16×16	4×4

이 경우 레벨이 너무 높아질 경우 원 이미지가 손상 될 수 있으므로 적정 레벨에서 계산을 시작할 필요가 있다.

2.2.3 다초점 비전 정보의 활용

본 논문에서 제안하는 다 초점 비전 시스템을 가지는 시스템의 GUI 메인 프레임은 그림 4와 같다.

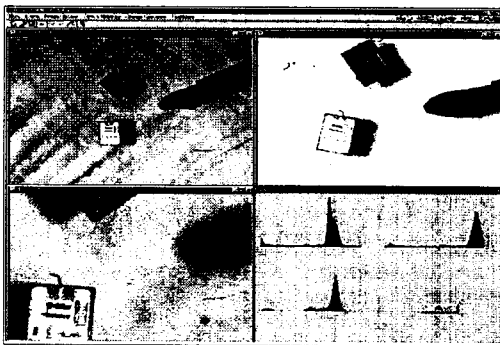


그림 4. 다수 초점 영역을 갖는 비전 프로그램

그림 4는 작업을 위한 초기 상태로 3개의 비전 정보와 히스토그램을 표시하여 세 영상의 밝기정보를 물리적으로는 카메라의 이득 값과 광학현미경의 조도로, 소프트웨어적으로 WHITE/BLACK 기준 값을 조절할 수 있도록 함으로써 세 영상에서 고른 밝기 정보를 얻도록 하였다.

그림 5는 구성된 시스템의 다수 비전 정보의 활용 방법을 설명하고 있다. 마이크로 매니플레이션의 경우 작업 영역의 협소함과 광학현미경의 초점 영역의 협소함 때문에 마이크로 부품의 미세한 움직임에도 시야에서 사라지는 경우가 발생한다. 이런 경우 다시 마이크로 부품을 시야에 들어오도록 해야 하며 초점 영역에서 벗어난 마이크로 부품을 되돌리는 것 또한 쉬운 일이 아니다.

이러한 문제점을 해결하고 마이크로 부품의 작업 환경에서 마이크로 부품의 상세한 정보를 얻기 위해 다수 초점 영역을 갖는 비전 시스템을 제안한다.

그림 5에서와 같이 각기 다른 배율정보를 다른 용도로 사용함으로써 마이크로 매니플레이션의 작업의 효율성을 높이고자 하였다.

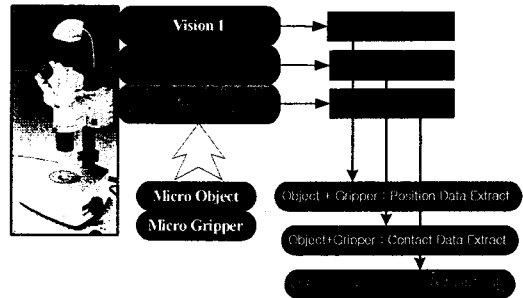


그림 5. 다수 비전 정보의 활용

2.3 실험 결과

현재 시스템의 구성이 완료되지 않은 상태로 본 논문에서는 다수 영상에서 마이크로 부품 및 매니플레이터를 인식하고 얻어낸 비전 정보의 신뢰도를 측정하여 구성이 완료될 시스템의 신뢰도를 높이고자 한다.

2.3.1 마이크로 부품의 인식

실험을 위한 마이크로 부품은 $600\mu m \times 1200\mu m$ 의 크기를 갖는 Programmed Oscillator IC를 사용하였으며 다수 이미지는 각각 640×480의 해상도를 갖는다. 그림 6과 같은 두 개의 마이크로 부품을 모델로 선정하고 서로 다른 배율을 가지는 영상에 대하여 그림 7과 같이 임의의 각도로 회전시키며 마이크로 부품의 상대 위치 및 기울기, 인식률에 대한 데이터를 추출하였다. 본 실험의 모든 프로그램은 VC++ 6.0을 사용하여 구성되었다.

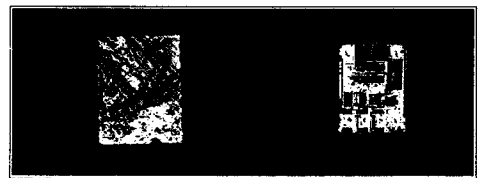


그림 6. 마이크로 부품 인식에 사용된 패턴



그림 7. 배율에 따른 마이크로 부품 인식을 실험

그림 6과 그림 7에서 흰 사각형으로 표시된 부분이 주어진 모델 이미지를 찾아낸 것을 표시하고 있다.

패턴 인식의 인식 대상이 되는 마이크로 부품의 인식률은 식 3.1에 의해 계산되었으며 이것은 대상 이미지에서 모델 이미지를 찾아낸 정확성의 척도가 된다.

$$Score = \max(r, 0)^2 \times 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

그림 8은 임의의 각도 20개에 대한 인식률을 얻어낸 것이다. 그래프에서 보이는 바와 같이 인식률은 주어진 모델 이미지에서 대상 이미지의 기울기가 커질수록 낮아지는 것을 알 수 있으며 이것은 마이크로 부품이 기울어지면서 조명의 변화에 의한 픽셀 값의 변화 및 그림자에 의한 영향이 크다. 실제 히스토그램에서 확인해 보면 마이크로 부품이 움직이면서 조명에 의한 그레이 값의 변화가 뚜렷하게 변화한다.

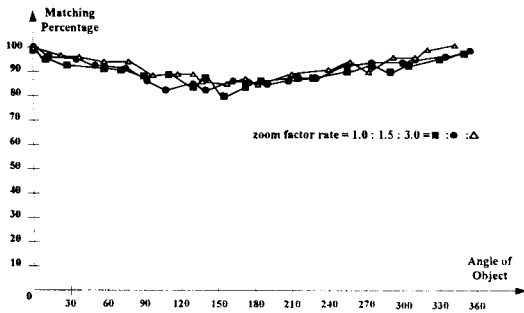


그림 8. 배율과 마이크로 부품의 기울기에 따른 인식률

그래프에서 보면 배율이 큰 영상에서 대부분 각도 변화에서 높은 인식률을 보이고 있으며 이것은 주어진 패턴 정보가 고배율에서 더욱 선명하게 얻어지기 때문이다.

실험 결과 2.2절에서 설명된 패턴 매칭 알고리즘은 대부분의 경우에 80%이상의 신뢰도를 가지고 원하는 패턴을 인식해 내는 것을 알 수 있으며 약간의 차이가 있긴 하나, 서로 다른 배율에서도 만족할 만한 인식 결과를 보여 주었다.

2.3.2 다수 비전 정보의 신뢰성

실험에 사용된 패턴 매칭 알고리즘에서는 각기 다른 배율의 영상에 대하여 모델 이미지를 각각 선정해주어야 하며 이로 인하여 다른 배율에서의 마이크로 부품간의 상대 거리에 오차가 생길 수 있다. 본 실험에서는 같은 영상을 다른 배율로 측정했을 때의 거리상의 오차를 측정하기 위하여 인식된 마이크로 부품간의 상대 거리를 픽셀 수로 측정해 보았다.

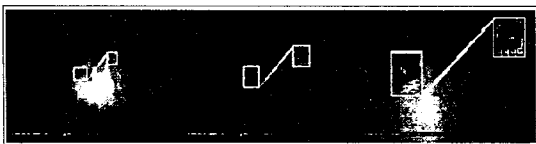


그림 9. 다수 배율에 따른 마이크로 부품 거리 측정

표 3은 실험 결과이며 0.1% 미만의 매우 적은 오차를 가지고 있다. 이 오차는 조작자의 모델 이미지의 선정에 의한 오차이며 본 논문에서 사용한 패턴 매칭 알고리즘을 사용할 경우 모델 이미지를 선정할 때 정확한 패턴 영역을 사용자가 추출해야 하는 어려움이 있다.

표 2. 배율에 따른 상대 거리 측정

	Image 1	Image 2	Image 3
zoom factor rate	1.0	1.5	3.0
pixel	127.764387	191.962111	383.237371
pixel rate	1.0	1.502469627	2.9995633

3. 결 론

비전 정보는 다른 물리적이 센서보다 활용할 수 있는 많은 정보를 지니고 있으나 시각적, 공간적인 면에서 많은 제약이 따른다. 비전 정보의 폭 넓은 활용을 위하여 본 논문에서는 제한된 시스템을 이용하여 마이크로 매니플레이션에서 발생할 수 있는 기본적인 문제점들을 해결하고자 하였다. 본 논문에서는 구성된 마이크로 매니플레이션 시스템에 사용될 비전 시스템의 신뢰도와 구현된 소프트웨어를 이용한 마이크로 부품의 인식에 대한 신뢰도를 검증하여 향후 연구의 적합성과 문제점을 밝히고자 하였다. 실험결과에서 알 수 있듯이 동일한 시점에서 다수 초점 영역을 가지는 비전 시스템을 통한 다수 영상의 획득은 많은 이득을 가지고 있다. 반면에 신뢰성 있는 마이크로 부품의 인식과 자동화된 매니플레이션 시스템을 구축하기 위하여 H/W, S/W 적으로 해결해야 될 문제점들을 지니고 있다.

마이크로 매니플레이션 시스템을 이용한 마이크로 부품의 조립을 위해서 제한된 비전 시스템에서 앞으로 풀어야 할 것은 다음과 같다. 매니플레이션의 실시간 계어를 위하여 영상 처리보드의 DSP(TMS-320C80)와 구성된 하드웨어를 최대한 이용하여 비전 처리 속도 높여 실시간 매니플레이션을 가능하게 하고, 고배율에서 발생하는 조명 문제와 마이크로 부품과 마이크로 그리퍼 사이의 단차에 의한 포커싱 문제 등이 풀어야 할 과제로 남아 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. C. Carrozza, P. Dario, A. "Manipulation Biological and Mechanical Micro Objects using LIGA-Microfabricated End Effectors", Proceedings of the IEEE ICRA, pp.1811-1816, May 1998.
- [2] N.Tsukada, K.Kudoh, A.Yamamoto, T.Higuchi, M.Kobayashi, K.Sato, K.Oishi, and K.Iida, "Development of Oocyte Rotation System for Biological Cell Manipulation", the 32nd International Symposium on Robotics, pp.682-685, March 2001
- [3] S.Fahlbusch, S.Fatikow, J.Seyfried, A.Buerkle, "Flexible Microrobotic System MINIMAN: Design, Actuation Principle and Control", IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.156-161, 1999
- [4] T.tanikawa, T.Arai, Y.Hashimoto, "Development of Vision System for Two-Fingered Micro Manipulation", Proceedings of the Intelligent Robotics and System, pp.1051-1056, Grenoble, September 1997
- [5] Deok-Ho Kim, Keun-Young Kim, and Kyunghwan Kim "A Micro Manipulation System Based on Teleoperation Techniques", International Symposium on Robotics, pp. 686-691, April 2001
- [6] Xudong Li, Guanghua Zong and Shusheng Bi, "Development of Global Vision System for Biological Automatic Micro Manipulation System", Proceeding of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2001