

베어 칩 정밀 장착 시스템 설계 및 제어

심재홍* , 차동혁**

* 한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과, jhshim@kpu.ac.kr

** 한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과, dhcha@kpu.ac.kr

초록

본 논문에서 베어 칩 장착을 위한 새로운 시스템을 개발하였다. 새롭게 제안된 시스템은 안정된 힘 제어를 위한 매크로/마이크로 위치제어 시스템을 가지고 있다. 매크로 액츄에이터는 장착 시스템의 전반적인 위치 이동을 하고, 마이크로 액츄에이터는 베어 칩과 인쇄회로기판사이에 발생할 수 있는 과도한 접촉력을 줄이기 위해 정밀 위치제어를 수행하는 데 이용된다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 매크로 액츄에이터 만으로 구성된 베어 칩 장착 시스템과 비교하였다. 다양한 장착속도, 인쇄회로기판의 강성 등과 같은 장착 환경을 다양하게 변화시켜 가면서 시스템의 성능을 평가하고자 하였다. 결과적으로 베어 칩의 안정된 장착을 위한 시스템으로서의 효능을 보여 줄 수 있었다

1. 서론

최근 들어 정보통신, 컴퓨터, 디스플레이 등 첨단 전자기기의 소형화, 경량화, 고기능화 추세에 따라 관련된 소형 전자 부품들을 고밀도 PCB 에 장착하기 위한 전자부품 표면 실장 기술이 빠른 속도로 개발되고 있다. 일반적인 전자부품 표면 실장방법으로 관통장착 방법(Through-Hole Mounting Technology), 표면실장 기술(Surface Mounting Technology) 과 같은 방법들이 사용되고 있다. 관통장착 방법에 비해 보다 소형 전자부품을 실장하는 표면실장 기술은 스크린 프린터를 이용하여 PCB 에 크림 솔더를 도포한 뒤 전자부품을 솔더 위로 마운트 시키고 열을 가하여 크림 솔더를 용융, 경화시키는 방법이다. 최근 경박단소화 추세에 따라 전자 칩의 크기가 점점 작아짐에도 불구하고 보다 다양한 기능을 요구하면서 칩 표면에 위치하는 리드의 피치가 감소함에 따라 스크린 프린터의 홀 크기의 한계 등으로 인하여 더 이상 기존의 부품 실장 방법으로는 표면실장을 수행하기가 매우 어렵다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 솔더 볼(Solder Ball)을 칩의 표면에 부착시킨 뒤 PCB 에 장착시키고 납땀하는 BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), COB(Chip on Board)등의 방법이 개발되어 실제 산업현장에서 응용되고 있다[1-3]. 마이크로 BGA 나 CSP 의 경우는 솔더 볼의 피치가 0.5mm 이고, 볼의 직경이 0.25 ~ 0.3mm 정도이다. 이보다 한단계 진일보한 패키징 방법으로 개발된 플립 칩(Flip Chip)은 솔더 볼의 피치가 0.2mm 이고, 볼의 직경 또한 0.1 ~ 0.2mm 정도로서 마이크로 BGA 마 CSP 에 비해 매우 조밀하다. 이러한 칩을

일반적인 표면실장방법에 의해 고속으로 장착 시킬 경우에는 칩의 표면이 PCB 실장면에 닿는 순간 접촉력(Contact Force)이 크게 발생한다. 과도한 접촉력에 의해 솔더 볼의 표면에 크랙이 가거나 솔더 볼이 변형되어 좁은 피치 내에서 인접해 있는 솔더 볼이 서로 붙는다든지, 또한 리드가 손상된다든지 하는 등과 같은 현상이 발생하여 표면 실장 불량률의 원인이 될 가능성이 높아진다. 또한, 유연한 재질로 구성된 PCB 실장면에 과도한 힘을 가할 시에는 실장면의 국부적인 탄성변형이 발생하여 칩의 장착위치가 변경되어 정확한 위치에서의 장착이 어렵게 된다. 따라서 CSP 나 플립 칩과 같은 고정도 베어 칩을 고속으로 정확한 위치에 실장하기 위해서는 칩을 장착할 때 발생하는 충격을 감소시키기 위한 충격 제어와 충돌 후 일정한 접촉력 유지를 할 수 있는 힘 제어가 필수적임을 알 수 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 힘 제어를 요구하는 베어 칩 장착을 위한 액츄에이터와 힘 제어시스템을 개발하고자 한다. 헤드 메커니즘은 일반적인 서보 모터와 볼 스크류로 구성된 매크로 구동부와 마이크로 구동부의 두 부분으로 구성되도록 설계한다. 이때, 보다 효율적이고 능동적인 순응성을 갖도록 하기 위해 voice coil 모터방식의 마이크로 액츄에이터를 개발하여 마운팅 헤드 메커니즘 이동부의 관성을 줄이고 정밀 힘 제어를 하면서 고속실장을 하게 된다. 그리고 베어 칩을 장착할 때 발생하는 초기 충격을 줄이기 위해서 헤드 메커니즘의 운동을 두 단계로 나누어 접촉 시 충돌 속도를 줄임으로써 초기 충격력이 효율적으로 감소된 힘 제어가 이루어지도록 한다.

2. 베어 칩 장착 시스템 설계

그림 1 에서 보는 바와 같이 본 논문에서 개발한 베어 칩 마운터는 매크로, 마이크로 액츄에이터로 구성되어 있다. 매크로 액츄에이터는 일반적인 AC 서보 모터를 채용하였고, 마이크로 액츄에이터는 VCM(Voice Coil Motor)를 사용하였다. 매크로 액츄에이터는 회전형 모터로서 볼 스크류를 통해 모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하는 역할을 수행하며, 마이크로 액츄에이터 전체를 직선 상하운동 하여준다. 마이크로 액츄에이터의 위치를 측정하기 위해 리니어 엔코더를 사용하고 있으며, 엔코더의 해상도는 0.1 미크론이다.

베어 칩을 인쇄회로기판이나 substrate 에 장착할 때 발생하는 힘, 즉 접촉력을 측정하기 위해 매우 민감한 센서가 요구된다. 이 힘 센서는 과도한 접촉력을 발생하지 않도록 힘을 조절하는 데 유용하게 이용되어 진다. 일반적으로 칩 마운터에 로드 셀(load cell) 형태의 힘 센서가 이용되어진다. 본 논문에서는 와셔 형태의 로드 셀을 선정하였고, 이 센서는 100N 정도까지의 압축력을 측정할 수 있다. 센서의 크기는 25.4mm[지름] x 3.81 mm[두께] 이다.

본 논문에서 개발한 마이크로 액츄에이터는 저관성, 저마찰, 능동적인 컴플라이언스를 가지고 있으나 상대적으로 작은 스트로크를 가진다. 그러나 본 논문에서 제안한 매크로/마이크로 액츄에이터 구조에 의해 마이크로 액츄에이터의 실질적인 도달 스트로크를 연장시킬 수 있다.

그림 2 는 제안된 베어 칩 마운터 헤드부를 나타내고 있다. 개발된 마이크로 액츄에이터의 개략적인 사양은 다음과 같다. 코일의 직경은 0.25mm 이고, 코일 감은 횟수는 1,200 회, 그리고 코일 보빈의 저항은 약 26Ω이다.

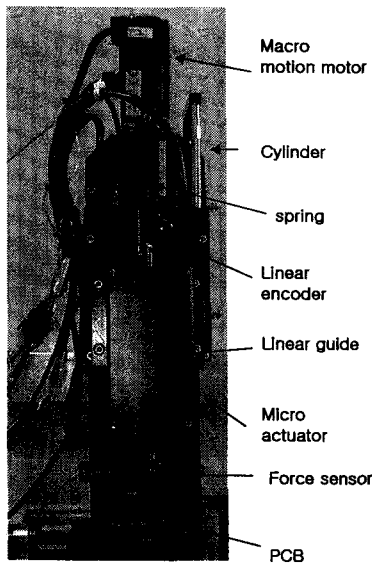


그림 1. 시스템 사진

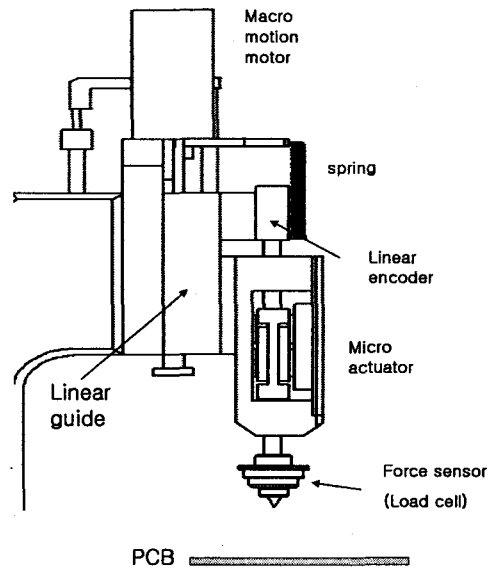


그림 2. 베어 칩 마운터 구조 개략도

3. 마이크로 액츄에이터 설계

3.1 마이크로 액츄에이터 동작원리

본 논문에서 제안한 마이크로 액츄에이터는 그림 3 에서 나타난 바와 같이 보이스트 코일 모터방식이다

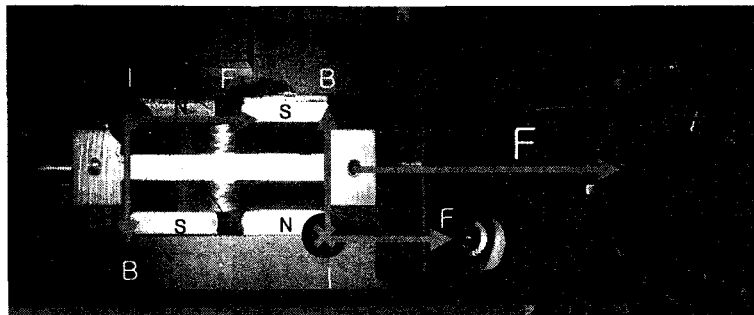


그림 3. 마이크로 액츄에이터 구조

본 액츄에이터는 4 개의 직사각형 영구자석과 2 개의 이동 코일로 이루어져 있다. 영구자석은 희토류계 니오디움페라이트보론(NeFeB)으로 만들어져 있다. 또한, 선형 스플라인 베어링을 사용하여 1 자유도의 직선운동만을 하도록 설계되어 있다.

3.2 마이크로 액츄에이터 캘리브레이션

마이크로 액츄에이터의 구동력은 액츄에이터 이동코일에 인가되는 전류 I 및 자석과 코일 사이의 간극에 의해 변화된다.

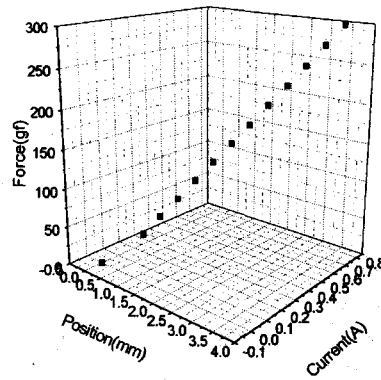


그림 4. 마이크로 액츄에이터 구동력

그림 4 는 마이크로 액츄에이터의 구동력과 코일의 전류, 그리고 코일과 액츄에이터 운동코일의 위치에 따른 관계를 실험을 통하여 구한 값을 나타내고 있다.

4. 지능형 힘 제어기 설계

일반적으로 전자부품의 표면실장에 있어서 전자부품들은 인쇄회로 기판의 표면과 접촉한다. 이때, 마운터 헤드부에 의해 부품이 빠른 속도로 접촉하면, 전자부품은 인쇄회로기판의 표면과의 접촉에 의해 발생하는 충격력에 의해 부품의 파손 등과 같은 좋지 않은 영향을 받게 된다. 따라서, 이러한 좋지 않은 충격력을 줄이기 위해 주어진 작업시간 내에 전자부품이 인쇄회로 기판에 부드럽게 접촉하도록 만들어줄 필요가 있다.

본 논문에서 제안한 매크로/마이크로 액츄에이터를 갖는 칩 마운터에 있어서 매크로 액츄에이터는 인쇄회로기판의 근접 위치까지 마이크로 액츄에이터를 이동시킨다. 이때, 매크로 액츄에이터가 감속하는 동안 동시에 마이크로 액츄에이터는 움직이도록 가속된다. 인쇄회로기판과 전자부품이 접촉할 때까지 마이크로 액츄에이터는 등속운동을 하도록 제어된다. 마이크로 액츄에이터는 PID 위치제어에 의해 구동된다.

그림 5 는 제안된 시스템의 모델을 나타낸다. 여기서 $x_1(t)$ 는 기준좌표계에 대한 매크로 액츄에이터의 절대 위치를 나타내며 $x_2(t)$ 는 매크로 액츄에이터의 이동좌표계에 대한 마이크로 액츄에이터의 이동부의 상대 위치를 표현한다. 헤드부의 끝 부분은 $x(t)$ 에 의해 나타내고, 이 값은 $x(t)=x_1(t)-x_2(t)$ 에 의해 결정된다. 각 스프링과 댐퍼요소들은 중력에 대한 상대보상을 위해 이용된다. 스프링 K_2 와 댐퍼 B_2 는 매크로 액츄에이터의 가감속에 따른 관성력을 보상하기 위해 사용된다.

매크로/마이크로 액츄에이터의 제어를 보다 상세하게 표현하면 다음과 같다. 첫 번째 모드로, 매크로 액츄에이터의 빠른 속도의 운동이 목표 위치 근방까지 이루어진다. 두 번째 모드로, 마이크로 액츄에이터의 운동이 시작되고, 전자부품이 최초로 인쇄회로기판과 접촉할 때 발생하는 초기 충격력을 줄이기 위해 저속의 탐색운동이 이루어진다. 그림 6 에 전체 제어시스템의 블록도가 나타나 있다. 제어 블록은 매크로 액츄에이터의 PID 위치제어와 마이크로 액츄에이터의

PID 힘 제어기로 구성되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 마이크로 액츄에이터는 발생한 접촉력이 미리 설정된 임계값 f_1 보다 크게 될 경우 위치 제어 모드에서 힘 제어 모드로 전환된다. 그리고, 마이크로 액츄에이터는 PID 힘 제어 알고리즘에 의해 힘 제어를 수행하게 된다.

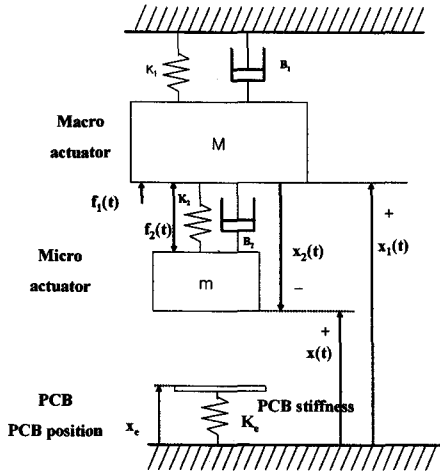


그림 5. 액츄에이터 모델

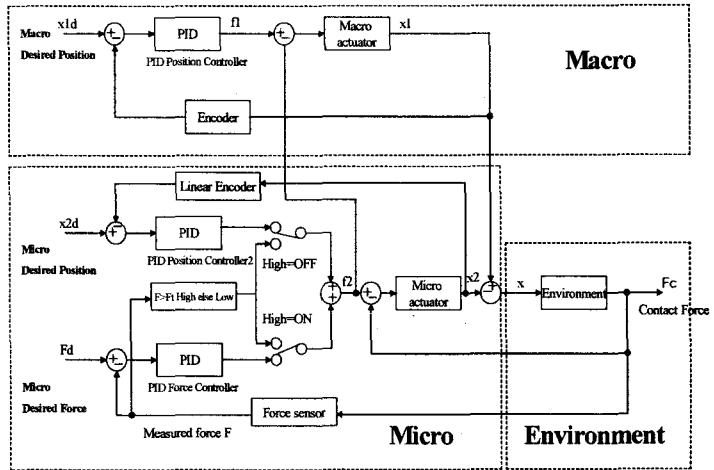
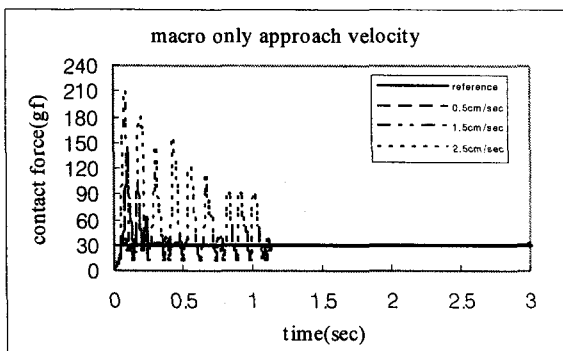


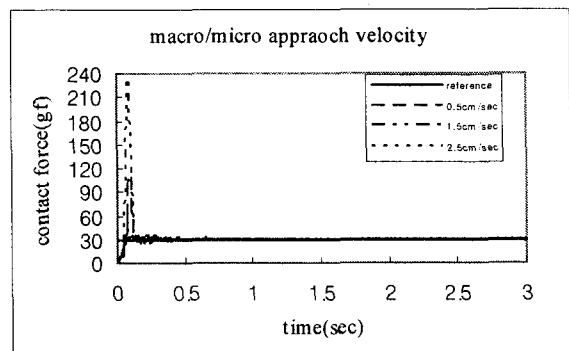
그림 6. 칩마운터 시스템 제어기 구성도

5. 실험결과

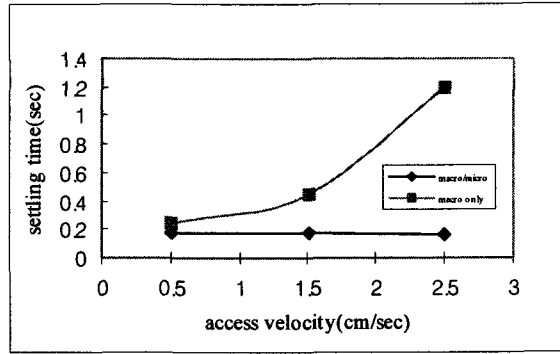
그림 7 (a), (b), (c)에 최대 접촉력과 안정시간이 나타나 있다. 본 실험에 있어서 요구되는 베어 칩 실장력은 30gf 로 설정하였다. 실험은 매크로 액츄에이터만을 사용하여 실장을 하는 경우와 매크로/마이크로 액츄에이터를 함께 사용하는 경우의 베어 칩을 인쇄회로 기판위로 접근시키는 속도를 변화시켜 가면서 발생하는 접촉력, 안정화 시간을 비교하였다. 그 결과, 매크로/마이크로 액츄에이터를 사용하는 경우가 매크로 액츄에이터만을 사용하는 경우보다 최대 접촉력 및 안정화 소요시간을 최대 80% 이상 줄일 수 있었다.



(a) 매크로 액츄에이터만을 사용하는 경우



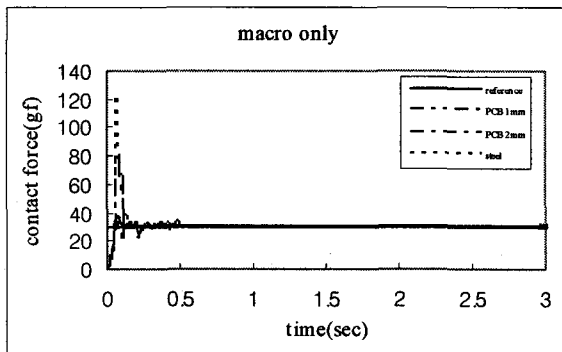
(b) 매크로/마이크로 액츄에이터 사용하는 경우



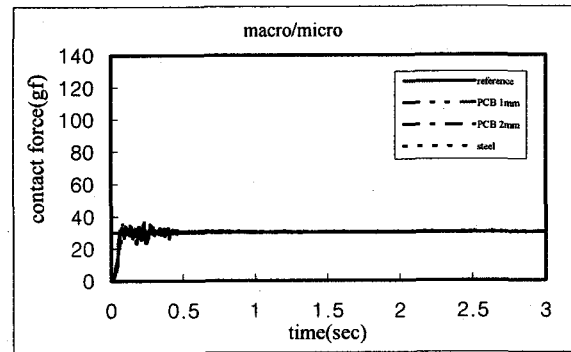
(c) 안정화 소요 시간

그림 7. 접근속도에 따른 장착 실험결과

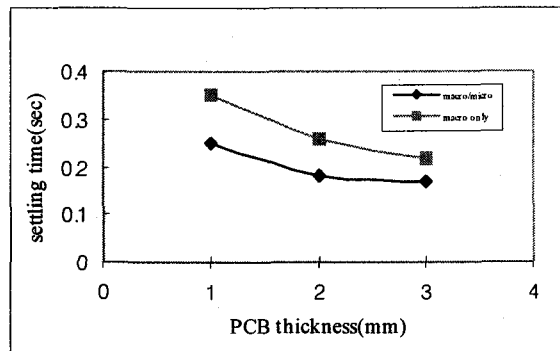
그림 8 (a),(b),(c)는 인쇄회로기판의 강성(두께)의 변화에 따른 접촉력의 변화 및 안정화 속도가 나타나 있다. 결과에서 보는 바와 같이 매크로/마이크로 액츄에이터의 경우에 최초 접촉력의 크기를 매우 안정적으로 유지할 수 있었다. 그러나, 안정화 시간은 인쇄회로기판의 강성의 변화와는 관계없이 일정하게 유지되었다.



(a) 매크로 액츄에이터만을 사용하는 경우



(b) 매크로/마이크로 액츄에이터 사용하는 경우



(c) 안정화 소요 시간

그림 7. 인쇄회로 기판의 강성변화에 따른 장착 실험결과

6. 결론

본 논문에서는 미소 베어 칩 장착을 위한 액추에이터와 힘 제어시스템을 개발하였다. 헤드 메커니즘은 일반적인 서보 모터와 볼 스크류로 구성된 매크로 구동부와 마이크로 구동부의 두 부분으로 구성되도록 설계하였고, 보다 효율적이고 능동적인 순응성을 갖도록 하기 위해 voice coil 모터방식의 마이크로 액추에이터를 개발하였다. 또한, 베어 칩을 접촉 충돌 속도를 줄임으로써 초기 충격력이 효율적으로 감소된 힘 제어를 개발하였다. 제안된 시스템의 효용성을 검증하기 위해 다양한 실험을 수행한 결과 매크로/마이크로 액추에이터를 사용하는 경우가 매크로 액추에이터만을 사용하는 경우보다 최대 접촉력 및 안정화 소요시간을 최대 80% 이상 줄일 수 있었다.

후기

본 논문은 G7 개발사업 기술료활용과제의 일환으로서 생산기술연구원 지원하에 수행된 연구의 결과물입니다.

참고문헌

- [1] Jaehong Shim, Youngim Cho, Yeontaek Oh, "Precise Contact Force Control of a Flip Chip Mounting Head System", *Proceedings of the International Control, Automation and Systems*, pp2-5, 2002.
- [2] Duk-Young Lee and Hyungsuck Cho, "Precision Force Control via Macro/Micro Actuator for Surface Mounting System.", *IEEE International Conference of Robotics and Systems*, pp3-6, 2002.
- [3] SangMin Kim, Kyunghwan Kim, Jaehong Shim, Byungkyu Kim, Deok-Ho Kim, Chung Choo Chung, "Position and Force Control of a Sensorized Microgripper.", *Proceedings of the International Control, Automation and Systems*, pp1-3, 2002.
- [4] Deok-Ho kim, Keun-Young Kim, and Kyunghwan Kim, "A Micro Manipulation system based on teleoperation techniques", *Proceedings of the 32 International Symposium on Robotics*, pp19-21 April 2001.
- [5] Jaehong Shim, Won Choe, Kyungwan Kim, "Design and Analysis of an Electro-Magnetic Micro Gripper for Grasping Miniature Sized Objects", *Proceedings of the International Control, Automation and Systems*, pp772-775, 2002.
- [6] K.youcef-Toumi, Assistant Professor and D. A. Gutz, Graduate Student, "Impact and force control", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp410-414, 1989.
- [7] Yasumasa SHOJI and Makoto INABA, "Stable force control of 1 degree-of-freedom manipulator in contact tasks", *IEEE International Conference of Robotics and Systems*, pp1511-1514, 1993.
- [8] Nakju Doh, Gyudong Jeon, Wan Kyun Chung, Youngil Yourm, "Pre-Transition Phase Control : Three Different Approaches", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp2806-2807, 2000.
- [9] Kosei Kitagaki, Masaru Uchiyama, "Optimal approach velocity of end-effector to the environment", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp1930-1931, 1992.
- [10] Steven D.Eppinger, Warren P.Serring, "Three Dynamic Problems in Robot Force Control", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp393-395, 1989.