

# 로봇 매니플레이터의 직접교시 및 재현 알고리즘 Direct Teaching and Playback Algorithm of Robot Manipulator

\*송민수<sup>1</sup>, 이승훈<sup>2</sup>, 리성걸<sup>1</sup>, 김동형<sup>2</sup>, #한창수<sup>2</sup>

\*M.S.Song<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>2</sup>, C.J. Li<sup>1</sup>, D.H.Kim<sup>2</sup>, #C.S.Han(cshan@hanyang.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 메카트로닉스공학과, <sup>2</sup>한양대학교 기계공학과

Key words : Direct Teaching & Playback Method, Douglas-Peucker algorithm, Repulsive Direction Vector

## 1. 서론

기존의 연삭(Grinding), 연마(Polishing) 등과 같은 제품의 표면 처리 및 마무리 공정 (Surface and edge finishing)은 주로 중소기업에 아웃소싱되어 숙련된 작업자들의 수작업에 의존하여 이루어져왔다. 하지만, 작업자들은 장시간 미세분진 및 고열, 소음 등과 같은 열악한 작업 환경에서 고정된 자세로 반복적인 작업을 수행하기 때문에 호흡, 내분비계 및 근골격계 질환과 같은 다양한 위험에 노출되어 왔고, 작업 기피현상과 인력의 고령화 및 수급 문제점까지 더해져 현재는 사회적으로도 그 심각성이 크게 대두되고 있다 [1]. 전세계적으로 중소기업의 이러한 가공공정을 대체할 수 있는 자동화 시스템의 필요성이 증대되고 있으며, 인간-로봇 협업 (Human-robot cooperation)의 개념을 제안하여 손쉽게 로봇 시스템을 프로그래밍 하는 방안에 대해 연구 중에 있다 (Fig. 1). 독일 DLR 연구소를 주축으로 한 EU의 SME Robot 프로젝트와 미국 MIT의 Media Lab., UT at Austin 대학의 RRG (Robotics Research Group) 등 음성, 영상 인식 및 힘제어 등 다양한 방식을 활용한 작업자 지원 및 공정 자동화에 대한 연구를 진행 중에 있다 [2].

따라서, 본 연구에서는 기존의 중소기업에서 이루어지고 있는 위의 공정에 대하여 로봇 매니플레이터를 이용한 자동화 개념을 소개하고, 이러한 자동화 시스템의 효과적인 교시 방법과 이를 다양한 작업물에 적용하여 재현할 수 있는 직접 교시 및 재현 방법론 (Direct teaching and playback method)을 제안한다. 작업자가 로봇 매니플레이터를 직접 교시하는 과정에서 발생하는 위치 오차 및 불확실성을 보상하기 위한 Douglas-Peucker algorithm (DPA)과 재현 과정 중 외부환경과 접촉을 하는 경우에 시스템의 안정성 향상을 위한 반력성분 제어 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 타당성을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증한다.

## 2. 직접교시 알고리즘 제안

일반적으로 사용자가 로봇을 프로그래밍하기 위한 방법에는 직접적이고, 직관적인 교시 방법과 Teach pendant 혹은 Joystick 등을 이용한 간접적인 교시 방법 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 이들 중 직접적인 교시 방법의 경우에는 로봇의 구동을 위한 복잡한 프로그래밍 과정이 생략되고 사용자가 보다 직관적이고 용이하게 수행할 수 있기 때문

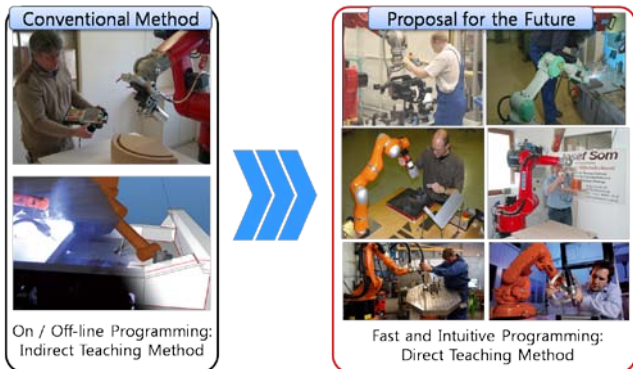


Fig. 1 Proposal for the future – robot teaching method

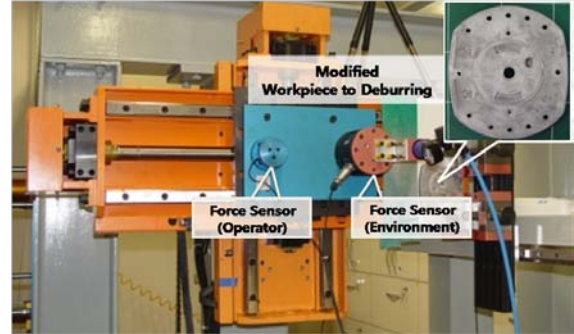


Fig. 2 2DOF robot manipulator for deburring task

에 다양한 종류의 제품을 다루는 중소기업의 경우 그 활용도가 매우 높다. 하지만, 이러한 직접 교시 방법론의 경우, 사용자의 정확한 의도를 파악하기 위한 신호 처리 기술과 실시간으로 로봇 경로를 생성하기 위한 계산 부하량의 증가 등을 감수해야 하는 단점을 안고 있다.

따라서, 본 연구에서는 Douglas-Peucker algorithm (DPA)을 제안하여, 사용자의 직접교시 과정 시 필요한 신호처리 및 보상, 데이터 압축 및 수정 과정을 수행한다 (Fig. 3).

DPA의 기본적인 내용은 다음의 3 단계로 구성된다 [3].

- (1) 교시경로의 시점과 종점을 서로 연결한다.
- (2) 시점과 종점을 제외한 교시점들에서 (1)의 선분 상에 수직선의 길이가 최대인 점을 찾는다.
- (3) (2)에서 찾은 점의 거리가  $\epsilon$  보다 큰 경우에 점을 추가하고 다시 (1)로 돌아가서 두 점을 찾아 연결한다. 만일,  $\epsilon$  보다 작으면 DPA를 종료한다.

이때,  $\epsilon$ 은 DPA의 정밀도를 의미하며, 재현 과정 중 로봇의 경로에 영향을 미치는 추출된 점들의 수는  $\epsilon$  크기에 의하여 결정된다. 이를 실제 가공에 적용하는 경우 가공물의 형상 정보로 활용할 수 있다. DPA의 교시 데이터 수정 및 보완 과정을 시뮬레이션으로 검증한 결과 약 800개의 교시 생성 점들에 대한 데이터를 약 20개의 주요한 점만으로 압축할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 3. 재현 알고리즘 제안

### 3.1 작업정의

2개의 서보 모터와 센서로 구성된 2DOF 플랫폼에 알고리즘을 적용하여 실험하였다. 센서의 경우 로봇의 직접교

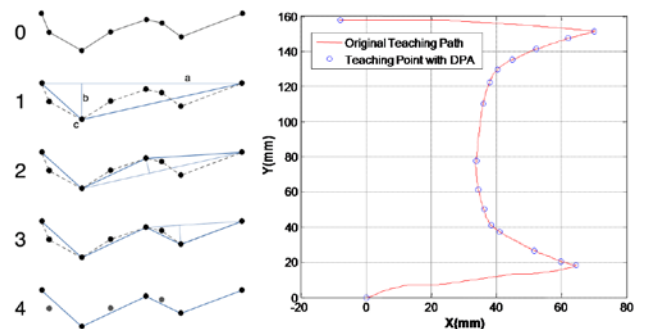


Fig. 3 (a) Douglas-Peucker algorithm (b) Simulation result – modifying teaching data

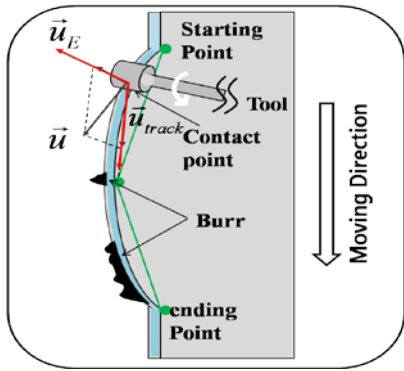


Fig. 4 The concept of repulsive direction vector

시를 위한 작업자 의도 감지 목적과 환경과의 접촉시 반력 및 충돌 등의 판별을 위한 2 개의 F/T 센서로 구성되었다. 또한, 기존의 중소기업에서 이루어지는 다양한 표면 처리 및 마무리 작업 중 디버링 (Deburring) 작업을 선정하고, 알루미늄 소재의 시편을 가공하는 실험계획을 수립하였으며, 이를 통하여 본 연구에서 제안한 직접교시 및 재현 알고리즘에 대한 타당성을 검증하였다 (Fig. 2).

하지만, 실제 디버링 작업의 경우 작업물들은 서로 다른 위치와 형태 및 크기의 버 (burr)를 갖고 있기 때문에 이를 제거하는 재현과정 중 시스템이 불안정해질 수 있고, 이러한 문제점을 보완하기 위하여 다음의 반력 보상 벡터 (Repulsive direction vector)를 제안한다.

### 3.2 반력 보상 벡터

직접교시 후 재현 과정에서 2DOF 매니퓰레이터는 틀 이동 속도  $v_{ref}$  갖게 되고, 틀의 현 위치에서 다음 교시점까지의 벡터를  $\vec{p}_{track}$  라고 정의 한다 (Fig. 4). 이는 로봇이 시편과 접촉하기 전까지의 틀의 이동방향이 된다. 틀이 시편과 접촉하여 디버링 작업을 시작하는 순간부터 틀의 이동방향은 외부환경으로부터 오는 외부 반력 성분과 접촉력의 임계값을 비교하여 결정한다 [4]. 접촉력이 임계값을 초과하는 경우에 반력 보상 벡터 (Repulsive direction vector)를 적용하여 틀의 이동방향을 변경한다. 틀의 이동방향을 결정하는 단위벡터는 (1)과 같이 정의된다.

$$\vec{u}_{track} = \frac{\vec{p}_{track}}{|\vec{p}_{track}|} \quad \vec{u}_E = \frac{\vec{f}_E}{|\vec{f}_E|} \quad (1)$$

또한, 반력 보상 벡터에 의하여 변경된 틀의 이동 방향은 (2)와 같다.

$$\vec{u} = \sqrt{(1-\alpha^2)}\vec{u}_{track} + \alpha\vec{u}_E \quad , where \ 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$  는 틀의 이동방향과 디버링 성능에 영향을 미치는 가중인자이다. 실험 및 시뮬레이션을 통하여  $\alpha$  를 선정하고, 이에 따라 목표 성능을 만족시킬 수 있다.

Table 1 The experimental conditions

Parameter	Value
$V_{ref}$	Reference velocity 3 mm/s
$F_{cont}$	Contact force 10 N
$F_{th}$	Threshold force 3 N
$\alpha$	Correction weight factor 0.4
$\epsilon$	Termination criteria 1 mm

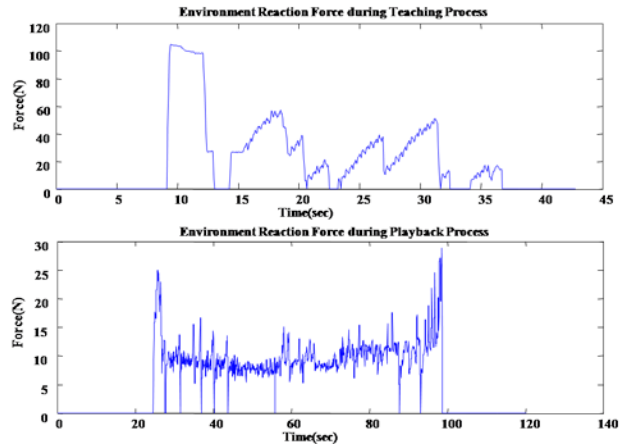


Fig. 5 Reaction force distribution with/without repulsive direction vector

### 4. 실험 및 결론

2DOF 플랫폼에 제안된 알고리즘을 적용하여 실험을 수행하였고, 이 때 파라미터들은 Table. 1 과 같이 설정하였다. 실험과정은 다음과 같다.

- (1) 작업자는 로봇 매니퓰레이터를 직접 교시 한다.
- (2) DPA 를 적용, 교시 데이터의 압축과 수정을 한다.
- (3) 수정된 데이터와 반력 보상 벡터 알고리즘을 적용, 재현 과정을 반복 수행한다.

교시 및 재현 과정의 환경 반력을 비교한 결과 크기는 약 50% 수준으로 감소되었고, 그래프에서와 같이 재현 과정 시 설정한 접촉력 (13N) 부근에서 비교적 안정적으로 시스템이 운용되어 oscillation 현상이 저감되었다. 또한, 작업물의 변곡점 및 접촉 시작 지점에서 크게 발생하는 작업 반력의 경우 약 25% 수준으로 떨어뜨릴 수 있었다 (Fig. 5). 이는 디버링 공정 시 채터링 (chattering) 현상과 같은 최종 결과물의 표면 결점을 저감시켜 가공 성능의 향상을 가져올 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 공정 자동화의 한 방법으로 인간과 로봇의 협업 개념을 제안하였고, 이때의 효과적인 시스템 운용을 위한 직접교시 및 재현방법론을 제시하였다. DPA 및 반력 보상 벡터 알고리즘을 적용한 실제 디버링 실험을 통해 기존의 중소기업에서 이루어지는 공정의 자동화 가능성 및 타당성을 검증하였고, 디버링 작업뿐만 아니라 연마, 연삭 등과 같은 다양한 공정에 적합함을 확인할 수 있었다.

### 후기

본 연구는 국토해양부(MLTM) 건설기술혁신사업(CTIP)의 연구비 및 지식경제부 사업원천기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lee SH., Li CJ., Kim DH., Kyung JH., Han CS, "The Direct Teaching and Playback Method for Robotic Deburring System Using The Adaptive Force Control", Proceedings of 2009 IEEE ISAM, pp. 235-241, 2009.
2. Pires, J., N., "Programming Industrial Robots Using Advanced Input-Output Devices: Test-Case Example Using a CAD Package and a Digital Pen Based on The Anoto Technology", Proc. Of Int. Journal of Online Engineering Vol. 3, 2007.
3. Fukuda T., Nakaoka M., Ueyama T., Hasegawa Y., "Direct Teaching And Error Recovery Method For Assembly Task Based On A Transition Process Of A Constraint Condition", International Conf. on Robotics & Automation, pp. 1518-1523,
4. Li CJ., Lee SH., Kim DH., Han CS., "Proposal for The Automated Robotic Deburring for SME Using Direct Teaching and Playback Method", ICMIT, pp. 353-354, 2009