



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2013년11월18일  
 (11) 등록번호 10-1330049  
 (24) 등록일자 2013년11월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 B25J 9/16 (2006.01) B25J 13/08 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0023054  
 (22) 출원일자 2012년03월06일  
 심사청구일자 2012년03월06일  
 (65) 공개번호 10-2013-0101929  
 (43) 공개일자 2013년09월16일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 논문1.2011.6  
 논문2.2010  
 JP10091225 A

(73) 특허권자  
 한국기계연구원  
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)  
 (72) 발명자  
**최태용**  
 대전 서구 월평3동 다모아아파트 108동 1202호  
**박찬훈**  
 대전 서구 둔산동 크로바아파트 101동 201호  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**김종관, 박창희, 권오식**

전체 청구항 수 : 총 10 항

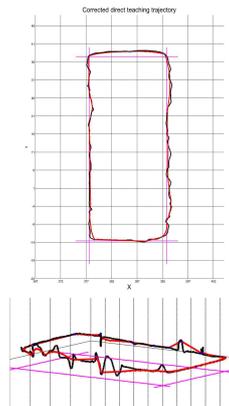
심사관 : 김상욱

**(54) 발명의 명칭 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법**

**(57) 요약**

본 발명의 목적은 곡률 및 속도를 기반으로 하여 형태 기반 특징점들을 추출하고, 이를 사용하여 직접 교시 궤적 보정 알고리즘을 개선시킴으로써 직접 교시 성능을 향상시키는, 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 제공함에 있다. 특히 본 발명은, 2차원 즉 평면 상의 궤적 뿐만 아니라 3차원 즉 공간 상의 궤적 또한 보다 높은 정확도로 추출 및 후보정하는 것이 가능한, 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 제공함에 있다.

**대표도** - 도13



(72) 발명자  
**도현민**  
대전시 유성구 반석동 613 반석마을6단지 610-1401

**경진호**  
대전 유성구 지족동 열매마을 아파트 601-1001

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 M01940

부처명 지식경제부

연구사업명 지경부-국가연구개발사업(II)

연구과제명 양팔 작업을 위한 센서융합 인지 기반 제어기술 개발 및 다중로봇 협업 생산공정 적용기술 개발(1/5)

기여율 1/1

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2010.12.01 ~ 2012.05.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

적어도 하나 이상의 관절을 포함하는 로봇 팔을 포함하여 이루어진 직접 교시 장치를 이용하여 기록된 직접 교시 궤적을 보정하는 방법으로서,

3차원 위치 값 및 측정된 시간 값을 포함하여 이루어지는 기록된 교시 궤적 측정값에 대하여, 곡률 및 속도를 포함하는 형태학적 특징을 가지는 형태 특징점들을 추출 및 정렬하는 특징점 추출 단계;

상기 형태 특징점들로 이루어지는 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하여 교시 궤적을 보정하여 산출하는 궤적 산출 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 특징점 추출 단계는

곡률에 대한 곡률 특징점 및 속도에 대한 속도 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출하여 결정하는 곡률 및 속도 특징점 결정 단계;

상기 결정된 곡률 및 속도 특징점들을 사용하여 형태 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출 및 정렬하여 결정하는 형태 특징점 결정 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계는

상기 교시 궤적 측정값의 곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널(gaussian kernel) 컨볼루션(convolution) 결과를 사용하여 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각을 추출하는 단계;

편차 값을 변화시킴에 따른 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수를 산출하고, 산출된 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수 변화 추이에 따라 적정 편차(proper deviation) 값을 결정하는 단계;

상기 결정된 적정 편차 값에서의 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들을 각각 곡률 특징점들 및 속도 특징점들로 결정하는 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 5

제 3항에 있어서, 상기 형태 특징점 결정 단계는

곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 공통되는 공통 특징점들을 선택하는 단계;

이웃하는 공통 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 1차 궤적을 산출하는 단계;

상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 각각 최대값을 가지는 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점을 선택하고, 상기 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출하는 단계;

상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 나머지 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출하는 단계;

상기 오차 값들을 비교하여 보다 적은 오차 값을 갖는 후보 형태 특징점들을 추출 및 정렬하는 단계;

상기 후보 형태 특징점들에 대한 상기 오차 값 변화 추이에 따라 적정 오차 값을 결정하는 단계;

상기 공통 특징점들과, 상기 결정된 적정 오차 값 이하에서의 곡률 특징점 및 속도 특징점들을 형태 특징점으로 결정하는 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 궤적 산출 단계는

이웃하는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 2차 궤적을 산출하는 단계;

이웃하는 형태 특징점들에 대하여, 상기 2차 궤적 세그먼트의 길이 값 및 상기 교시 궤적 측정점들로 이루어지는 곡선의 길이 값의 비를 산출하는 단계;

미리 결정된 직선-곡선 판단 기준값에 따라 형태 특징점들 사이의 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하는 단계;

직선으로 분류된 세그먼트는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 결정되고, 곡선으로 분류된 세그먼트는 베지어 곡선(bezier curve)으로 결정되어, 최종 교시 궤적이 산출되는 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 직접 교시 장치는

상기 직접 교시 장치의 끝단에 교시 대상물에 접촉하였을 때의 접촉력을 측정하는 토크 센서가 더 구비되는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 교시 궤적 후보정 방법은

상기 특징점 추출 단계 및 상기 궤적 산출 단계 이전에,

상기 토크 센서에서 측정된 접촉력 값을 사용하여 교시 궤적의 시작점 및 끝점을 추출하는 궤적 추출 단계;

를 더 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

### 청구항 9

제 8항에 있어서, 상기 궤적 추출 단계는

상기 토크 센서에서 입력된 접촉력 중 x, y, z축에 대한 접촉력들의 합을 구하는 단계;

미리 결정된 노이즈 판단 기준값 이상의 주파수를 가지는 고주파 노이즈를 제거하는 단계;

최초로 접촉력이 발생하는 시점을 시작점으로 판단하고, 최후로 접촉력이 사라지는 시점을 끝점으로 판단하여, 시작점 이전 및 끝점 이후에 기록된 궤적 값을 제거하는 단계;

를 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

**청구항 10**

제 1항에 있어서, 상기 교시 궤적 후보정 방법은  
 상기 특징점 추출 단계 및 상기 궤적 산출 단계 이전에,  
 상기 교시 궤적 측정값 중 사용자 교시 지연에 의하여 발생하는 과다 측정값을 제거하는 궤적 선처리 단계;  
 를 더 포함하여 이루어지는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

**청구항 11**

제 10항에 있어서, 상기 궤적 선처리 단계는  
 DPA(Douglas-Peucker Algorithm)을 사용하여 과다 측정값을 제거하는 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법에 관한 것이다.

[0002] 공장 자동화에 사용되는 수직 다관절 로봇은 속도 및 신뢰성이 높아, 자동차 조립 라인의 용접, 공산품의 자동 이송, 이송 등에 주로 사용된다. 이들 로봇을 실 현장에 적용하기 위해서는 필수적으로 교시(teaching), 즉 움직여야 할 궤적을 미리 로봇에 입력시켜 소위 '가르쳐 주는' 것이 필요하다. 현재는, 전문가가 교시 장치를 가지고 로봇의 주요 궤적을 일일이 프로그래밍하는 방법을 취하고 있다. 그런데 이러한 산업용 로봇을 교시하는 과정은, 작업 자체는 단순히 원하는 궤적을 프로그래밍화할 뿐으로 단순한 작업이라고 할 수도 있겠으나, 산업용 로봇이 사용되는 공정에 따라 매번 새로이 프로그래밍을 해야 하며, 또한 궤적을 프로그래밍하는 원리는 동일하다 하더라도 그 자체가 복잡도가 높아 시간이 많이 걸리는 소모적인 작업이다(비특허문헌 1 등 참조).

[0003] 이러한 문제 때문에, 최근 기존의 교시 방법을 탈피하여 지능적으로 교시를 수행하고자 하는 연구가 많이 되고 있으며, 직접 교시(direct teaching)도 그 중의 하나다(비특허문헌 2 등 참조). 직접 교시란 사용자가 직접 로봇의 끝단을 잡고 로봇이 가야 할 궤적을 끌고 다니면서 궤적을 교시하는 방법이다. 이 때 로봇은 사용자가 쉽게 다룰 수 있도록, 관절 강성을 적절히 낮추어야 하며, 사용자가 직접 교시를 수행할 동안의 궤적을 기록해야 한다. 이후 로봇이 실제 공정에 사용되어 작동이 되는 시점에서는 사용자가 직접 교시하여 줌으로써 기록된 궤적대로 움직이게 된다.

**배경기술**

[0004] 하지만, 교시 궤적의 올바른 기록은 노이즈 때문에 쉽지 않다. 일반적인 센서 및 전자 회로에서 발생하는 고주파 노이즈 외에도, 사용자 손떨림에 의한 저주파 노이즈와 모서리에서 사용자가 궤적을 제대로 추정하지 못하는 실수에 의해서 발생하는 궤적 왜곡 등에 의해서 본래의 궤적은 심각하게 훼손되는 것이 대부분이다. 이러한 고주파 노이즈는 로봇의 교시 재현 시 과도한 속도를 요구함으로써 동작 이상의 원인이 될 수 있으며, 저주파 노이즈는 교시 궤적의 재현 정밀도를 크게 떨어뜨리게 된다. 그런데 이를 보정하기 위해서 현재 일반적으로는 고주파 노이즈에 대응하기 위한 선-평활화(line-smoothing) 알고리즘 정도가 사용되고 있는 실정이다.

[0005] 이처럼 직접 교시 방법은 산업 현장에 적용 시 문제가 될 수 있는 요소가 아직 상당히 존재하므로, 직접 교시를

위한 궤적을 보다 정확하게 기록하고, 또한 기록된 궤적을 로봇이 정확하게 재현할 수 있도록 하기 위한 여러 연구가 현재에도 활발하게 이루어지고 있다.

[0006] 일본특허등록 제4504228호("로봇의 제어 장치 및 제어 방법", 2010.04.30), 한국특허등록 제0507118호("직접 교시장치 및 그 방법", 2005.08.01) 등에는, 직접 교시 장치와 관련하여, 로봇의 작업 경로 상에서의 이동 속도나 궤적 기록의 ON/OFF를 적절하게 조절함으로써 교시 성능을 개선하고자 하는 제어 방법들을 개시하고 있다. 또한, 한국특허공개 제1990-0015861호("직접교시방식 로봇의 교시 장치", 1990.11.10), 한국특허등록 제1100108호("교시기구 및 이를 구비한 직접교시장치", 2011.12.22) 등에는 사용자가 직접 로봇 팔을 잡고 교시를 할 때 사용자가 보다 원활하게 로봇 팔을 움직일 수 있도록 하기 위한 기술들이 개시되어 있다. 그런데 이러한 기술들은, 이미 기록이 완료된 궤적을 원활하게 재현하는 방법이거나 또는 교시 작업을 수월하게 해 주는 장치에 대한 기술일 뿐으로, 실질적으로 앞서 설명한 바와 같은 직접 교시 궤적 기록 시 나타나는 부정확함 문제의 원인들에 대한 해결책으로서는 전혀 사용될 수가 없다.

[0007] 한국특허공개 제2011-0062474호("교시점 정렬 비교를 통한 용접경로 설정방법", 2011.06.10)에서는, 직접 교시 시 교시점이 임의의 순서로 교시되었다 하더라도 이를 로봇의 용접 작업에 적합한 순서가 되도록 정렬하는 경로 설정 방법이 개시되어 있다. 이는 직접 교시 궤적의 정확성을 높이기 위한 후보정 작업의 하나라고 볼 수는 있겠으나, 단순히 교시점을 새로이 정렬함으로써 경로를 설정하는 것일 뿐으로 복잡한 곡선 경로 등을 교시하거나 재현하는 데에 사용되기에는 어려움이 있어, 적용에 한계가 있는 문제점이 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 1. 일본특허등록 제4504228호("로봇의 제어 장치 및 제어 방법", 2010.04.30)  
 (특허문헌 0002) 2. 한국특허등록 제0507118호("직접 교시장치 및 그 방법", 2005.08.01)  
 (특허문헌 0003) 3. 한국특허공개 제1990-0015861호("직접교시방식 로봇의 교시 장치", 1990.11.10)  
 (특허문헌 0004) 4. 한국특허등록 제1100108호("교시기구 및 이를 구비한 직접교시장치", 2011.12.22)  
 (특허문헌 0005) 5. 한국특허공개 제2011-0062474호("교시점 정렬 비교를 통한 용접경로 설정방법", 2011.06.10)

#### 비특허문헌

- [0009] (비특허문헌 0001) 1. Y. Shamash, Y. Yang and Z. Roth, "Teaching a robot", International Encyclopedia of robotics: Applications and Automation, R. C. Dorf, Ed. Wiley, 1988, pp. 1689-1701.  
 (비특허문헌 0002) 2. C. H. Park, J. H. Kyung, D. I. Park, K. T. Park, D. H. Kim and D. G. Gweon, "Direct Teaching Algorithm for a Manipulator in a Constraint Condition using the Teaching Force Shaping Method", Advanced Robotics, no. 24, pp. 1365-1384, 2010.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0010] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 곡률 및 속도를 기반으로 하여 형태 기반 특징점들을 추출하고, 이를 사용하여 직접 교시 궤적 보정 알고리즘을 개선시킴으로써 직접 교시 성능을 향상시키는, 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 제공함에 있다. 특히 본 발명은, 2차원 즉 평면 상의 궤적 뿐만 아니라 3차원 즉 공간 상의 궤적 또한 보다 높은 정확도로 추출 및 후보정하는 것이 가능한, 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 제공함에 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0011] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법은, 적어도 하나 이상의 관절을 포함하는 로봇 팔을 포함하여 이루어진 직접 교시 장치를 이용하여 기록된 직접 교시 궤적을 보정하는 방법으로서, 3차원 위치 값 및 측정된 시간 값을 포함하여 이루어지는 기록된 교시 궤적 측정값에 대하여, 형태학적 특징을 가지는 형태 특징점들을 추출 및 정렬하는 특징점 추출 단계; 상기 형태 특징점들로 이루어지는 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하여 교시 궤적을 보정하여 산출하는 궤적 산출 단계; 를 포함하여 이루어진다. 이 때, 상기 형태학적 특징은 곡률 및 속도를 포함할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 특징점 추출 단계는, 곡률에 대한 곡률 특징점 및 속도에 대한 속도 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출하여 결정하는 곡률 및 속도 특징점 결정 단계; 상기 결정된 곡률 및 속도 특징점들을 사용하여 형태 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출 및 정렬하여 결정하는 형태 특징점 결정 단계; 를 포함하여 이루어진다.
- [0013] 이 때, 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계는, 상기 교시 궤적 측정값의 곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널(gaussian kernel) 컨볼루션(convolution) 결과를 사용하여 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각을 추출하는 단계; 상기 편차 값을 변화시키기에 따른 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수를 산출하고, 산출된 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수 변화 추이에 따라 적정 편차(proper deviation) 값을 결정하는 단계; 상기 결정된 적정 편차 값에서의 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들을 각각 곡률 특징점들 및 속도 특징점들로 결정하는 단계; 를 포함하여 이루어진다.
- [0014] 또한 이 때, 상기 형태 특징점 결정 단계는, 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 공통되는 공통 특징점들을 선택하는 단계; 이웃하는 공통 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 1차 궤적을 산출하는 단계; 상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 각각 최대값을 가지는 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점을 선택하고, 상기 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출하는 단계; 상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 나머지 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출하는 단계; 상기 오차 값들을 비교하여 보다 적은 오차 값을 갖는 후보 형태 특징점들을 추출 및 정렬하는 단계; 상기 후보 형태 특징점들에 대한 상기 오차 값 변화 추이에 따라 적정 오차 값을 결정하는 단계; 상기 공통 특징점들과, 상기 결정된 적정 오차 값 이하에서의 곡률 특징점 및 속도 특징점들을 형태 특징점으로 결정하는 단계; 를 포함하여 이루어진다.
- [0015] 또한, 상기 궤적 산출 단계는, 이웃하는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 2차 궤적을 산출하는 단계; 이웃하는 형태 특징점들에 대하여, 상기 2차 궤적 세그먼트의 길이 값 및 상기 교시 궤적 측정점들로 이루어지는 곡선의 길이 값의 비를 산출하는 단계; 미리 결정된 직선-곡선 판단 기준값에 따라 형태 특징점들 사이의 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하는 단계; 직선으로 분류된 세그먼트는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 결정되고, 곡선으로 분류된 세그먼트는 베지어 곡선(bezier curve)으로 결정되어, 최종 교시 궤적이 산출되는 단계; 를 포함하여 이루어진다.
- [0016] 또한, 상기 직접 교시 장치는 상기 직접 교시 장치의 끝단에 교시 대상물에 접촉하였을 때의 접촉력을 측정하는 토크 센서가 더 구비될 수 있다. 이 때, 상기 교시 궤적 후보정 방법은, 상기 특징점 추출 단계 및 상기 궤적 산출 단계 이전에, 상기 토크 센서에서 측정된 접촉력 값을 사용하여 교시 궤적의 시작점 및 끝점을 추출하는 궤적 추출 단계; 를 더 포함하여 이루어진다.
- [0017] 이 때, 상기 궤적 추출 단계는, 상기 토크 센서에서 입력된 접촉력 중 x, y, z축에 대한 접촉력들의 합을 구하는 단계; 미리 결정된 노이즈 판단 기준값 이상의 주파수를 가지는 고주파 노이즈를 제거하는 단계; 최초로 접촉력이 발생하는 시점을 시작점으로 판단하고, 최후로 접촉력이 사라지는 시점을 끝점으로 판단하여, 시작점 이전 및 끝점 이후에 기록된 궤적 값을 제거하는 단계; 를 포함하여 이루어진다.
- [0018] 또한, 상기 교시 궤적 후보정 방법은 상기 특징점 추출 단계 및 상기 궤적 산출 단계 이전에, 상기 교시 궤적 측정값 중 사용자 교시 지연에 의하여 발생하는 과다 측정값을 제거하는 궤적 선처리 단계; 를 더 포함하여 이루어진다. 이 때, 상기 궤적 선처리 단계는 DPA(Douglas-Peucker Algorithm)를 사용하여 과다 측정값을 제거한다.

**발명의 효과**

- [0019] 본 발명에 의하면, 로봇의 직접 교시에 있어서 사용자가 교시한 궤적을 로봇이 정확하게 재현할 수 있게 하는 교시 성능을 종래에 비해 비약적으로 향상시키는 큰 효과가 있다. 구체적으로는, 본 발명은 교시된 데이터의 형태학적 특징을 추출하여 로봇의 동작에 적합하도록 경로 데이터를 수정하여 주는 후보정 작업을 하여 줌으로써, 사용자의 교시 단계 시점에서 사용자의 손떨림이나 실수 등에 의하여 발생하는 저주파 노이즈 혹은 전자 회로 자체에서 발생하는 고주파 노이즈를 제거하는 성능이 매우 뛰어난 효과가 있는 것이다.
- [0020] 특히 본 발명은, 단지 2차원 평면 상에서의 궤적 뿐만 아니라 3차원 공간 상에서의 궤적 역시 높은 정확도로 추출 및 재현할 수 있게 해 주는 큰 효과가 있다. 이에 따라 본 발명은 실제 산업 현장에 사용되는 로봇의 직접 교시에 적용될 때 작업 능력을 비약적으로 향상시킬 수 있는 효과 또한 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0021] 도 1은 직접 교시 장치의 개략적 구성도 및 실시예 사진.
- 도 2는 교시 궤적 후보정 방법의 개략적 흐름도.
- 도 3은 교시 궤적 측정값의 실시예.
- 도 4는 교시 궤적 측정값의 선처리 실시예.
- 도 5는 곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널 컨볼루션 결과.
- 도 6은 편차에 따른 곡률 및 속도 특징점 개수 변화 추이.
- 도 7은 곡률 및 속도 특징점 결정 결과.
- 도 8은 교시 궤적 측정 위치점 및 1차 궤적과의 수직 거리 정의.
- 도 9는 후보 형태 특징점들 추출 상세 단계.
- 도 10은 오차 값 변화 추이.
- 도 11은 특징점 추출 단계 완료 후 추출된 형태 특징점들.
- 도 12는 직선-곡선 분류 원리.
- 도 13은 궤적 산출 단계 완료 후 산출된 교시 궤적.
- 도 14는 본 발명의 교시 궤적 후보정 방법에 의하여 산출된 교시 궤적의 다른 실시예들.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0022] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.
- [0023] 도 1은 직접 교시 장치의 개략적 구성도 및 실시예 사진을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이 직접 교시 장치(100)는, 적어도 하나 이상의 관절을 포함하는 로봇 팔을 포함하여 이루어진다. 사용자는 상기 직접 교시 장치(100)의 끝단(110) 부근을 잡고, 원하는 형태의 궤적을 따라 직접 움직여 줌으로써 궤적을 교시(teaching)하여 준다. 이렇게 직접 교시된 궤적이 기록되면, 상기 직접 교시 장치(100) 자체를 그 궤적에 따라 교시 궤적을 재현하도록 동작하게 하거나 또는 기록된 궤적을 다른 로봇에 이식시켜 교시 궤적을 재현하도록 동작하게 할 수 있다.
- [0024] 이 때, 앞서 설명한 바와 같이 직접 교시 궤적은 사람의 동작에 의하여 만들어지는 것이기 때문에, 사용자의 손떨림이나 실수 등에 의한 왜곡 및 노이즈가 상당히 발생한다. 본 발명에서는 바로, 직접 교시 장치를 이용하여 기록된 직접 교시 궤적을 후보정하여 줌으로써 직접 교시 궤적의 정밀도를 향상시키고자 한다.

- [0025] 본 발명의 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법은, 기본적으로 교시 궤적의 형태에 기반하여 특징점들을 뽑아내고, 이를 통해 실제 측정값들보다 단순화되면서도 원래 교시하고자 하는 형태에 보다 가까운 교시 궤적을 산출한다. 도 2는 본 발명의 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법의 흐름도를 간략히 도시하고 있다. 도 2를 참조하여 본 발명의 3차원 특징점 기반 직접 교시 궤적 후보정 방법을 보다 구체적으로 설명하자면, 3차원 위치 값 및 측정된 시간 값을 포함하여 이루어지는 기록된 교시 궤적 측정값에 대하여, 형태학적 특징을 가지는 형태 특징점들을 추출 및 정렬하는 특징점 추출 단계(S100); 상기 형태 특징점들로 이루어지는 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하여 교시 궤적을 보정하여 산출하는 궤적 산출 단계(S200); 를 포함하여 이루어진다.
- [0026] 여기에서 형태학적 특징이란 곡률 및 속도를 포함할 수 있다. 그 원리를 요약하여 설명하자면, 어떤 형태에 대하여 모서리 부근에서는 곡률 값은 (주변보다 상대적으로) 급격히 커지는 경향이 있으며 속도 값은 (주변보다 상대적으로) 급격히 작아지는 경향이 있다는 점을 이용하여, 곡률 및 속도를 기반으로 한 특징점들을 추출하고 이를 이용하여 교시 궤적을 보정하는 것이다. 이처럼 곡률 및 속도는 형태학적 변화에 대하여 상당히 강하고 뚜렷하게 특징적으로 변화하는 경향을 나타내기 때문에, 곡률 및 속도를 형태학적 특징으로서 사용할 수 있는 것이다. 그러나 물론 이처럼 형태학적으로 충분히 강한 경향을 나타낸다면, 곡률 및 속도가 아닌 다른 물리량을 형태학적 특징으로 잡아도 된다.
- [0027] 이후에서 상기 각 단계들에 대하여 보다 구체적으로 상세히 설명하되, 상기 단계들 이전에 먼저 수행되는 것이 바람직한, 교시 궤적 추출 단계 및 교시 궤적 선처리 단계에 대하여 먼저 설명한다.
- [0028] 도 3는 교시 궤적 측정값의 실시예를 도시하고 있다. 도 3(A)에 도시된 바와 같은 교시 대상물(teaching targer)에 대한 원하는 형태(target line)을 따라 사람이 직접 교시 장치를 잡고 교시를 수행하였을 때, 실제로 나타나는 교시 궤적 측정값은 도 3(B)에 도시된 바와 같이 상당히 부정확하게 나타난다. 또한 상기 교시 궤적 측정값은, 직접 교시 장치를 교시 대상물까지 다가가는 궤적(approaching trajectory), 직접 교시 장치가 교시 대상물의 실제 원하는 형태에 따라 움직이는 형태 궤적(shape trajectory), 직접 교시 장치는 교시 대상물로부터 들어내는 궤적(departing trajectory)이 모두 합쳐져 나타나게 된다. 도 3(B)에서 검정색 선으로 표시된 부분이 바로 다가가는 궤적 및 들어내는 궤적을 나타내는 것으로, 실질적으로 이러한 궤적들은 제거되는 것이 좋다.
- [0029] 이에 따라 상기 교시 궤적 후보정 방법은, 형태 궤적을 보정하기 이전(즉 상기 특징점 추출 단계(S100) 및 상기 궤적 산출 단계(S200) 이전)에 형태 궤적만을 뽑아내는 궤적 추출 단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 바람직하다. 도 1을 참조하면 직접 교시 장치(100)의 끝단(110)에 교시 대상물에 접촉하였을 때의 접촉력을 측정하는 토크 센서(120)가 더 구비될 수 있다. 부연하자면, 직접 교시 장치(100)의 끝단(110)에 구비되는 토크 센서(120)는 상기 직접 교시 장치(100)의 끝단(110)이 교시 대상물에 접촉하였을 때의 접촉력을 측정하거나 또는 사람이 상기 직접 교시 장치(100)를 밀고 당길 때 발생하는 교시력을 측정하는 데 사용될 수 있는데(교시력은 직접 교시 시 상기 직접 교시 장치(100)의 로봇 팔 강성을 조절하는 데 사용된다.), 여기에서는 접촉력을 측정하여 이를 궤적 추출에 이용하고자 한다. 즉 상기 궤적 추출 단계는, 상기 토크 센서(120)가 접촉력을 측정하게 하고, 상기 토크 센서(120)에서 측정된 접촉력 값을 사용하여 교시 궤적의 시작점 및 끝점을 추출하도록 함으로써 구현될 수 있다.
- [0030] 상기 궤적 추출 단계를 보다 상세히 설명하면 다음과 같다. 일반적으로 상기 토크 센서(120)는 6축에 대한 접촉력을 측정하는데, 먼저 상기 토크 센서(120)에서 입력된 접촉력 중 x, y, z축에 대한 접촉력들의 합을 구한다. 다음으로 일단은, 미리 결정된 노이즈 판단 기준값 이상의 주파수를 가지는 고주파 노이즈를 제거한다. 이러한 고주파 노이즈는 일반적으로 센서 및 전자 회로 등에서 발생하는 노이즈로서, 실제로 사람의 움직임에 의하여 발생하는 것이 불가능한 정도의 값이다. 상기 노이즈 판단 기준값은 일반적으로 알려진 고주파 노이즈 값들을 참조하여 적절하게 결정될 수 있다.
- [0031] 이처럼 노이즈가 제거된 후, 최초로 접촉력이 발생하는 시점을 시작점으로 판단하고, 최후로 접촉력이 사라지는 시점을 끝점으로 판단하여, 시작점 이전 및 끝점 이후에 기록된 궤적 값을 제거한다. 즉 시작점 이전의 궤적 값은 도 3(B)에서의 다가가는 궤적(approaching trajectory)이 되고, 끝점 이후의 궤적 값은 도 3(B)에서의 들어내는 궤적(departing trajectory)이 되는 것이다. 이들을 제거하고 나면 형태 궤적만이 남게 되며, 이를 보정하

여 궁극적으로 최종 교시 궤적을 산출하게 된다.

- [0032] 도 4는 교시 궤적 측정값의 선처리 실시예를 도시하고 있다. 실제로 직접 교시 과정에서 사람이 직접 교시 장치를 끌고 움직일 때, 사람이 항상 일정한 속도로 정확하게 움직일 수가 없으며, 예를 들어 어떤 위치에서 머뭇거리거나 하는 경우가 발생하는 것을 피할 수 없다. 교시 궤적 측정값은 앞서 설명한 바와 같이 3차원 위치 값 및 측정된 시간 값을 포함하여 이루어지기 때문에, 이러한 경우에 해당 지점(즉 사람이 머뭇거린 지점) 부근에서는 시간이 지나가더라도 거의 동일한 위치를 기록하고 있는 측정값이 과다하게 발생된다. 이러한 측정값들을 모두 사용하여 계산할 경우 계산량이 매우 많아지므로, 계산 시간이 많이 걸리고 계산 부하가 높아지는 등의 문제가 있다.
- [0033] 이에 따라 상기 교시 궤적 후보정 방법은, 형태 궤적을 보정하기 이전(즉 상기 특징점 추출 단계(S100) 및 상기 궤적 산출 단계(S200) 이전)에 이러한 과다 측정값들을 먼저 제거하여 처리해 주는 궤적 선처리 단계가 먼저 이루어지는 것이 바람직하다. 즉 궤적 선처리 단계는 상기 교시 궤적 측정값 중 사용자 교시 지연에 의하여 발생하는 과다 측정값을 제거하는 것인데, 이는 DPA(Douglas-Peucker Algorithm)를 사용함으로써 쉽게 구현할 수 있다. DPA를 간략히 설명하자면, 다수 개의 측정점들 중 어떤 기준값보다 먼 거리에 있는 측정점은 살리고, 가까운 거리에 있는 측정점은 버리는 방식으로 이루어지는 알고리즘으로, 1973년 더글러스 및 퓨커에 의하여 발표된 이래로 선-평활화(line-smoothing) 등에 널리 사용되고 있는 알고리즘이다.
- [0034] 앞서 설명한 바와 같이 종래에는 직접 교시 궤적을 보정함에 있어 선-평활화 정도의 처리가 수행되는 정도(본 발명에서는 상기 궤적 선처리 단계에 해당함)에 그쳤기 때문에 왜곡 및 훼손 정도가 상당하였다. 그러나 본 발명에서는 (이제 이하에서 구체적으로 설명될) 상기 특징점 추출 단계(S100) 및 상기 궤적 산출 단계(S200)를 통하여 직접 교시 궤적을 더욱 후보정하여 줌으로써, 교시 궤적의 정밀도를 비약적으로 향상시킨다.
- [0035] 첫째로, 상기 특징점 추출 단계(S100)에 대하여 설명한다. (이후에는 형태학적 특징이 곡률 및 속도인 것으로 하여 설명하겠으나, 물론 앞서 설명한 바와 같이 형태학적 특징이 다른 물리량일 수도 있으며, 이 경우에도 이후 설명되는 단계들과 유사한 단계들을 거쳐 보정이 이루어지도록 할 수 있다.) 상술한 바와 같이 상기 특징점 추출 단계(S100)는, 3차원 위치 값 및 측정된 시간 값을 포함하여 이루어지는 기록된 교시 궤적 측정값에 대하여, 곡률(curvature) 및 속도(velocity)를 기반으로 한 형태 특징점들을 추출하게 된다. 보다 상세히는, 상기 특징점 추출 단계는, 곡률에 대한 곡률 특징점 및 속도에 대한 속도 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출하여 결정하는 곡률 및 속도 특징점 결정 단계(S110); 상기 결정된 곡률 및 속도 특징점들을 사용하여 형태 특징점을 미리 결정된 기준에 따라 선택적으로 추출 및 정렬하여 결정하는 형태 특징점 결정 단계(S120); 를 포함하여 이루어지게 된다.
- [0036] 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계(S110)에 대하여 설명한다. 도 2를 참조하면, 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계(S110)는 먼저 기본적으로 교시 궤적 측정값을 얻는 단계(S111) 이후에 진행되는데, 이 교시 궤적 측정값을 얻는 단계(S111)는 최초 직접 교시를 수행하면서 측정값을 얻는 단계만으로 될 수도 있고, 앞서 설명한 궤적 추출 단계(다가가는 궤적 및 들어내는 궤적 제거), 궤적 선처리 단계(과다 측정값 제거) 중 어느 하나 또는 둘 다의 단계도 포함되어 이루어질 수 있다.
- [0037] 교시 궤적 측정값을 얻으면(S111), 그 값은 측정 시간과 매칭되는 3차원 위치 값으로 나타난다. 따라서 위치 값들을 이용하여 곡률(curvature) 값을 산출하고(S112C), 위치 및 시간 값들을 이용하여 속도(velocity) 값을 산출한다(S112V).
- [0038] 다음으로, 상기 교시 궤적 측정값의 곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널(gaussian kernel) 컨볼루션(convolution) 결과를 사용하여 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각을 추출하게 된다(S113C, S113V). 하기의 수학적 식 1은 가우시안 커널을 나타내는 식으로서,  $f$ 는 가우시안 커널,  $x$ 는 측정값,  $\sigma$ 는 편차(deviation),  $c$ 는 상수를 나타낸다. 이러한 가우시안 커널 컨볼루션을 통한 스무딩(smoothing) 기법은 널리 알려져 있는 것이므로 상세한 설명은 생략한다.

수학식 1

$$f(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

[0039]

도 5는 여러 편차 값에 대하여 얻어진 곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널 컨볼루션 결과를 도시하고 있다. 도 5에는 곡률(curvature), 곡률 역수(invert curvature), 속도(velocity), 속도 역수(invert velocity) 값들에 대한 결과들이 모두 도시되어 있는데, 앞서 설명한 바와 같이 곡률은 모서리 부근에서 급격히 커지며 속도는 모서리 부근에서 급격히 작아지는, 즉 서로 반대되는 경향을 가지므로, 둘 중 하나는 역수를 취해 주는 것이 보다 편리하다. 여기에서는 {곡률 / 속도 역수} 값을 사용하여 각각에 대한 특징점들을 산출하였으나, 물론 {곡률 / 속도 역수} 값을 사용하여도 되고, 또는 {곡률 / 속도} 값을 사용하거나 {곡률 역수 / 속도 역수} 값을 사용하여도 무방하다. 즉 위에서 '곡률 및 속도 값에 대한 가우시안 커널 컨볼루션 결과'란, 상술한 {곡률 / 속도 역수}, {곡률 역수 / 속도}, {곡률 / 속도}, {곡률 역수 / 속도 역수}, 이 네 가지 경우 중 어느 경우에 대한 것이든 무방하다. 이하에서는 {곡률 / 속도 역수}인 경우를 기준으로 설명하겠으며, 다른 경우를 선택할 경우 약간 달라지는 점이 있겠으나 기본 원리는 동일하므로 다른 경우에 대한 설명은 생략한다.

[0041]

다음으로, 상기 편차 값을 변화시킴에 따른 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수를 산출하고, 산출된 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들 각각의 개수 변화 추이에 따라 적정 편차(proper deviation) 값을 결정한다(S114C, S114V). 상기 편차(deviation) 값을 변화시켜 가면서 컨볼루션 결과를 구할 때, (상술한 바와 같이 {곡률 / 속도 역수}인 경우를 기준으로 하면) 상기 편차(deviation) 값이 커짐에 따라 특징점들의 개수는 점점 떨어지게 된다. 도 6은 편차에 따른 곡률 및 속도 특징점 개수 변화 추이를 도시하고 있는데, 상기 편차(deviation) 값이 커짐에 따라 어느 시점까지는 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들의 개수가 급격하게 떨어지다가, 어느 시점에서부터는 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들의 개수가 비교적 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 바로 이 시점의 편차를 상기 적정 편차(proper deviation) 값으로 결정하는 것이다.

[0042]

마지막으로, 상기 결정된 적정 편차(proper deviation) 값에서의 후보 곡률 특징점들 및 후보 속도 특징점들을 각각 곡률 특징점들 및 속도 특징점들로 결정(S115C, S115V)함으로써, 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계(S110)가 완료된다.

[0043]

상기 형태 특징점 결정 단계(S120)에 대하여 설명한다. 상술한 바와 같이 곡률 특징점 및 속도 특징점들을 구하였다 해도, 이 특징점들을 모두 사용하여 궤적을 산출하려고 할 때 여전히 계산량이 상당하여 궤적을 단순화하기에 어려움이 있다. 이에 따라, 곡률 특징점들과 속도 특징점들을 적절히 결합하여 형태 특징점을 선택 결정하는 것이다.

[0044]

먼저, 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 공통되는 공통 특징점들을 선택한다(S121). 도 7은 곡률 및 속도 특징점 결정 결과를 3차원적으로 도시하고 있는데, 이로부터 곡률 특징점들과 속도 특징점들 중 겹치는 점들이 있을 것을 잘 알 수 있다. 이처럼 공통 특징점들을 사용하여, 이웃하는 공통 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 1차 궤적을 산출한다(S122). 상기 공통 특징점들은 모두 형태 특징점이 된다. 이 때, 좀더 궤적을 정밀하게 보정하기 위해서 다음과 같은 과정을 통해 형태 특징점들을 더 선정한다.

[0045]

먼저, 상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 곡률 특징점들 및 속도 특징점들 중 각각 최대값을 가지는 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점을 선택하고, 상기 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출한다(S123). 또한, 상기 공통 특징점들에 해당되지 않는 나머지 곡률 특징점들 및 속도 특징점들(즉 공통 특징점 또는 최대 곡률/속도 특징점이 아닌 곡률/속도 특징점들) 각각에 대하여, 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 사용하여 계산되는 오차 값을 산출한다(S124). 이처럼 공통 특징점이 아닌 곡률 특징점들 및 속도 특징점들이라 하여도 모두 최종 결정될 형태 특징점의 후보, 즉 후보 형태 특징점이 되게 한다. 하기의 수학식 2는 이 오차 값 산출 식으로서,  $F_1$ 는 후보 형태 특징점을,  $\epsilon$ 은 오차를,  $s$ 는 해당 후보 형태 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점을,  $S$ 는 교시 궤적 측정 위치값을,  $OD$ 는 해당 후보 형태 특징점들에서의 교시 궤적 측정 위치점 및 상기 1차 궤적과의 수직 거리를 각각 나타낸다. 도 8은 교시 궤적 측정 위치점

및 1차 궤적과의 수직 거리 정의를 나타내고 있다.

**수학식 2**

$$\varepsilon(F_i) = \frac{1}{|S|} \sum_{s \in S} OD(s, F_i)$$

[0046]

[0047]

다음으로, 상기 오차 값들을 비교하여 보다 적은 오차 값을 갖는 후보 형태 특징점들을 추출 및 정렬한다 (S125). 이 단계를 보다 상세하게 도시한 것이 도 9이다. 도 9를 참조하여 설명하면, 맨 먼저 최대 곡률 특징점 및 최대 속도 특징점에 대한 오차 값과, 어느 하나의 곡률 특징점 및 어느 하나의 속도 특징점(이 각각은 모두 후보 형태 특징점이 된다)에 대한 오차 값을 비교한다. 이 중 오차가 더 작은 특징점을 선택하고, 다음 곡률 특징점 및 다음 속도 특징점에 대하여 이 과정을 반복한다. 이와 같이 함으로써, 후보 형태 특징점들이 오차 값에 따라 정렬될 수 있다. 하기의 알고리즘 예시는 이러한 단계들을 구현하는 한 예로서, 도 9로 나타나는 흐름도를 따라 만들어진 알고리즘이다.

---

**Algorithm 1** Hybrid feature selection

---

```

1: procedure FEATURE MERGE(C, V)
2:     ▷ C:Curvature feature, V:Velocity feature
3:      $F_0 \leftarrow C \cap V$ 
4:      $CL \leftarrow C - F_0; VL \leftarrow V - F_0$ 
5:     for All CL and VL do
6:          $i \leftarrow i + 1$ 
7:          $C_{MAX} \leftarrow Max(CL)$ 
8:          $V_{MAX} \leftarrow Max(VL)$ 
9:          $F_{i_c} \leftarrow F_{i-1} \cup C_{MAX}$ 
10:         $F_{i_v} \leftarrow F_{i-1} \cup V_{MAX}$ 
11:        if  $\varepsilon(F_{i_c}) < \varepsilon(F_{i_v})$  then           ▷  $\varepsilon$  of (5)
12:             $F_i \leftarrow F_{i_c}$ 
13:             $CL \leftarrow CL - C_{MAX}$ 
14:             $VL \leftarrow VL$ 
15:        else
16:             $F_i \leftarrow F_{i_v}$ 
17:             $CL \leftarrow CL$ 
18:             $VL \leftarrow VL - V_{MAX}$ 
19:        end if
20:    end for
21: end procedure

```

---

[0048]

[0049]

다음으로, 상기 후보 형태 특징점들에 대한 상기 오차 값 변화 추이에 따라 적정 오차 값을 결정한다(S126). 도 10은 이와 같이 정렬된, 상기 후보 형태 특징점들에 대한 오차 값 변화 추이를 도시하고 있다. (도 6에 나타난 적정 편차 결정 과정에서와 유사하게) 상기 후보 형태 특징점들의 번호(feature number)가 커짐에 따라 어느 시점까지는 오차(error) 값이 급격하게 떨어지다가, 어느 시점에서부터는 오차 값이 비교적 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 바로 이 시점의 오차를 상기 적정 오차 값으로 결정하는 것이다. 도 10의 예시에서, 오차 값 0 일 때에도 상당히 많은 후보 형태 특징점들이 포함되므로 이를 적정 오차 값으로 결정하는 것이 바람직하다. 물론 적정 오차 값을 반드시 0으로 하지 않더라도, 충분히 오차 값이 적고 충분히 많은 후보 형태 특징점이 포함된다면 이러한 조건을 만족하는 오차 값을 적정 오차 값으로 결정할 수도 있다.

[0050]

마지막으로, 상기 공통 특징점들과, 상기 결정된 적정 오차 값 이하에서의 곡률 특징점 및 속도 특징점들을 형

태 특징점으로 결정(S127)함으로써, 상기 형태 특징점 결정 단계(S120)가 완료된다. 부연하자면, 앞서 설명한 바와 같이 상기 공통 특징점들은 선택됨과 동시에 형태 특징점으로 결정된 것이다. 또한 (공통 특징점에 해당하지 않는) 나머지 곡률 및 속도 특징점들을 후보 형태 특징점으로 하고, 이들 중에서 도 9 등과 같은 방법을 통해 적정 오차 값 이하인 것들을 더 찾아내어, 이들까지 모두 합쳐서 형태 특징점으로 결정하는 것이다.

[0051] 둘째로, 상기 궤적 산출 단계(S200)에 대해 설명한다. 상술한 바와 같이 상기 궤적 산출 단계(S200)는, 상기 형태 특징점들로 이루어지는 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류하여 교시 궤적을 보정하여 산출하게 된다. 도 11은 이와 같은, 상기 곡률 및 속도 특징점 결정 단계(S110) 및 상기 형태 특징점 결정 단계(S120)로 이루어지는 특징점 추출 단계(S100)를 통해 얻어진 형태 특징점들을 3차원적으로 도시한 것이다. 이제, 이 형태 특징점들을 적절하게 이어 줌으로써 교시 궤적을 산출할 수 있다.

[0052] 먼저, 이웃하는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 형성되는 세그먼트(segment)들로 이루어지는 2차 궤적을 산출한다(S210). 다음으로, 이웃하는 형태 특징점들에 대하여, 하기의 수학식 3과 같이 상기 2차 궤적 세그먼트의 길이 값 및 상기 교시 궤적 측정점들로 이루어지는 곡선의 길이 값의 비( $\delta$ )를 산출한다(S220). 하기의 수학식 3에서,  $\delta$ 는 상기 비 값을,  $L_{curve}$ 는 이웃하는 형태 특징점들 사이에서의 상기 교시 궤적 측정점들로 이루어지는 곡선의 길이 값을,  $L_{line}$ 은 이웃하는 형태 특징점들 사이에서의 상기 2차 궤적 세그먼트의 길이 값을 각각 나타낸다. 도 12는 직선-곡선 분류 원리를 도시하고 있다.

### 수학식 3

[0053] 
$$\delta = \frac{L_{curve}}{L_{line}}$$

[0054] 다음으로, 미리 결정된 직선-곡선 판단 기준값( $\gamma$ )에 따라 형태 특징점들 사이의 세그먼트를 직선 또는 곡선으로 분류한다(S230). 상기 직선-곡선 판단 기준값( $\gamma$ )은 적절하게 미리 결정될 수 있는데, 바람직하게는 상기 직선-곡선 판단 기준값은 1 이상의 값으로 결정되는 것이 좋다( $\gamma > 1$ ). 보다 구체적으로는, 상기 수학식 3에 의해 구해진 비( $\delta$ ) 값이 상기 직선-곡선 판단 기준값( $\gamma$ ) 이상이면( $\delta > \gamma$ ) 상기 세그먼트를 곡선으로 분류하고, 그렇지 않으면 상기 세그먼트를 직선으로 분류한다.

[0055] 마지막으로, 직선으로 분류된 세그먼트는 형태 특징점들을 서로 잇는 직선으로 결정되고(S241), 곡선으로 분류된 세그먼트는 베지어 곡선(bezier curve)으로 결정되는(S242) 직선-곡선 결정 단계(S240)가 이루어진 후, 이 결정에 따라 최종 교시 궤적이 산출됨으로써(S250) 모든 단계가 완료된다.

[0056] 도 13은 이와 같은 궤적 산출 단계 완료 후 산출된 최종 교시 궤적을 도시하고 있다. 검정색으로 표시된 것이 교시 궤적 측정값이며, 빨간색으로 표시된 것이 상술한 바와 같은 후보정을 거쳐 산출된 최종 교시 궤적, 즉 교시 궤적 보정값이다. 도 13을 통해 본 발명의 방법을 통하여 훨씬 단순화되었으면서도 정확도가 높은 교시 궤적이 산출되었음을 알 수 있다.

[0057] 도 14는 본 발명의 교시 궤적 후보정 방법에 의하여 산출된 교시 궤적의 다른 실시예들을 도시하고 있다. 교시 대상물이 직사각형인 경우 및 원형인 경우에 대하여 교시 궤적 측정값 및 교시 궤적 보정값이 나타나 있다. 앞서 설명한 바와 같이 종래에는 단순히 DPA를 사용하는 보정을 수행할 뿐이었던 바, 직사각형에 대해서는 오차가 0.25mm, 원형에 대해서는 오차가 0.19mm 정도로 나타났다. 그러나 본 발명의 방법을 사용하면, 직사각형에 대해서는 오차가 0.12mm, 원형에 대해서는 오차가 0.14mm 정도로 나타나, 평균적으로 30% 이상 교시 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

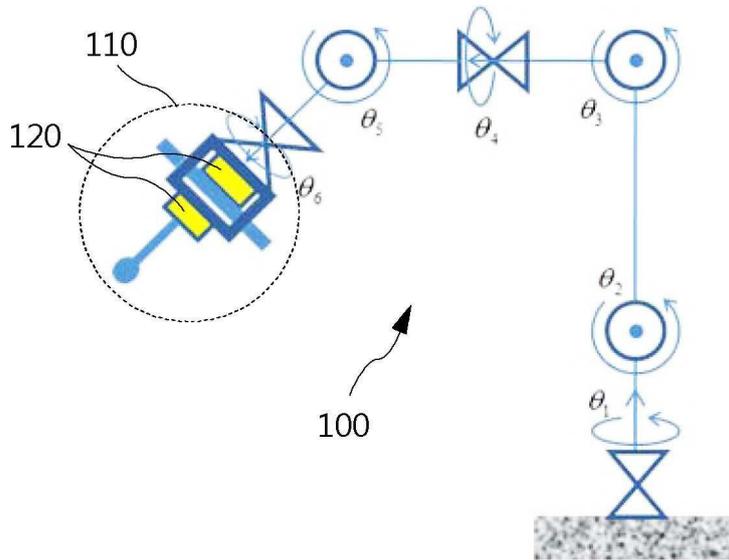
[0058] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

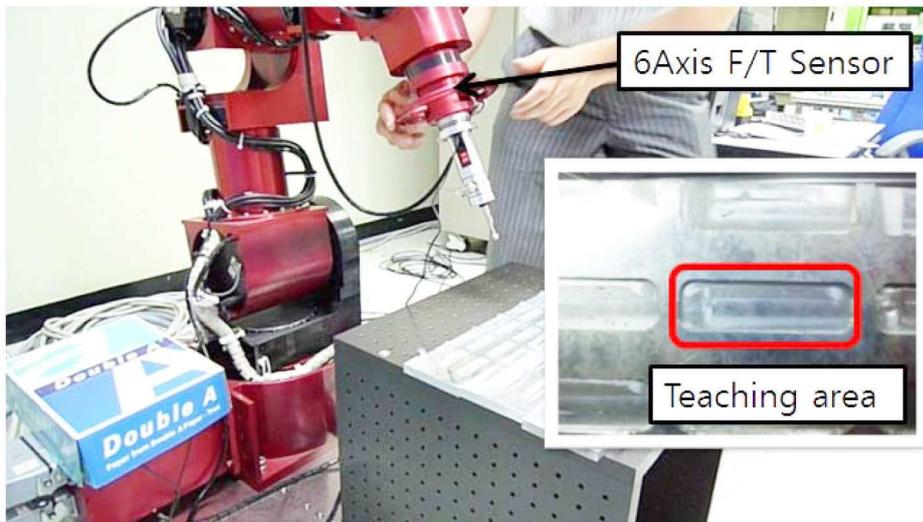
- [0059] 100: 직접 교시 장치
- 110: 끝단
- 120: 토크 센서

도면

도면1

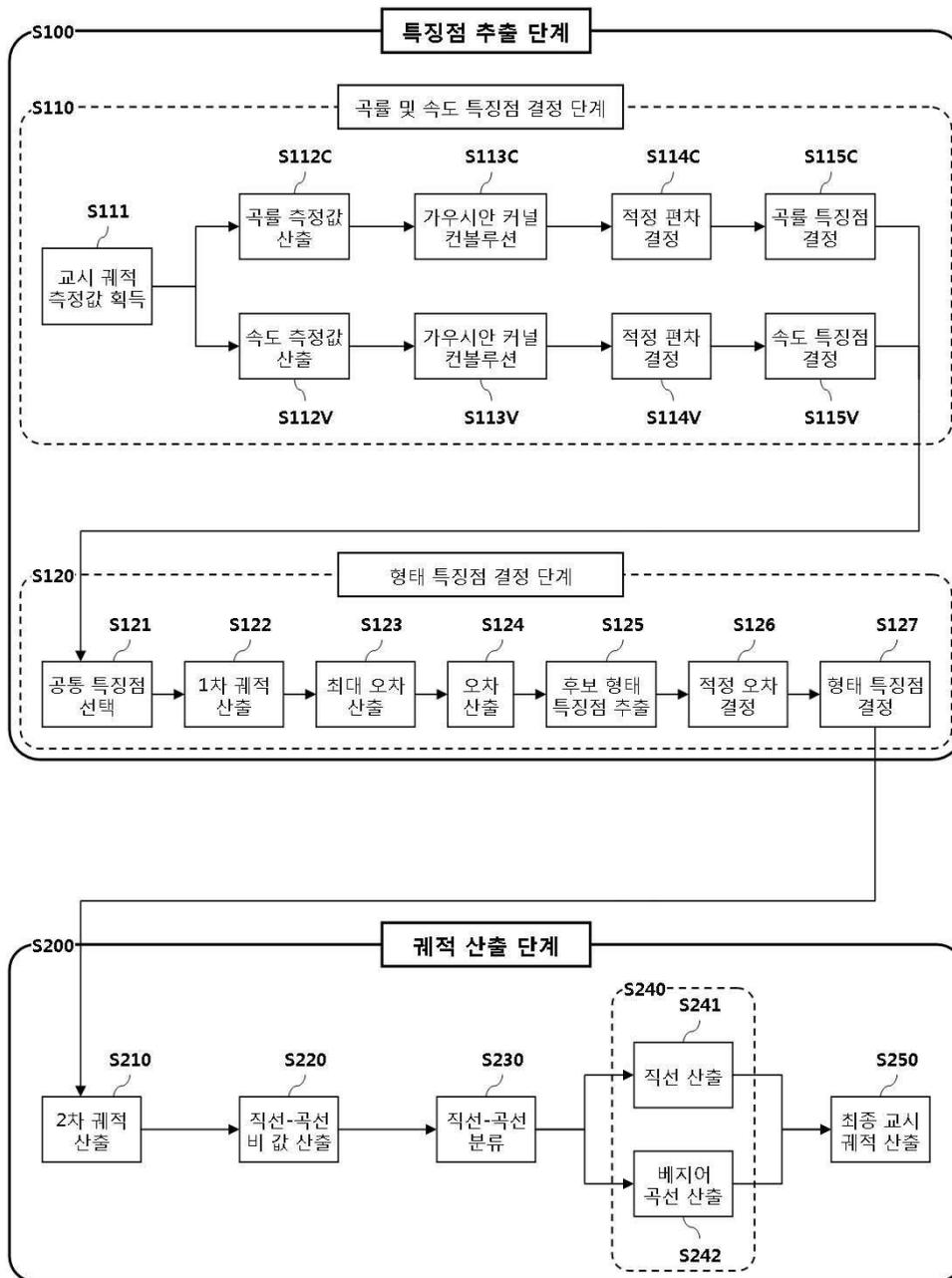


(A)

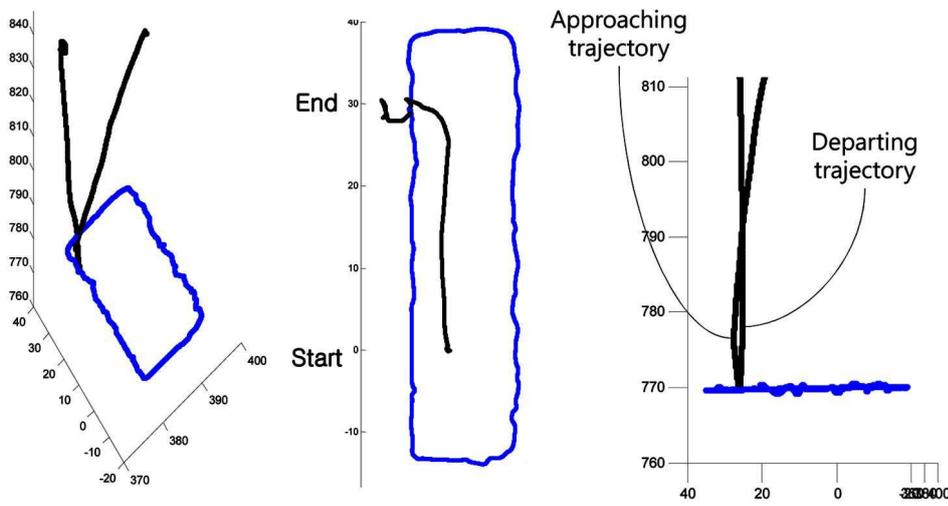
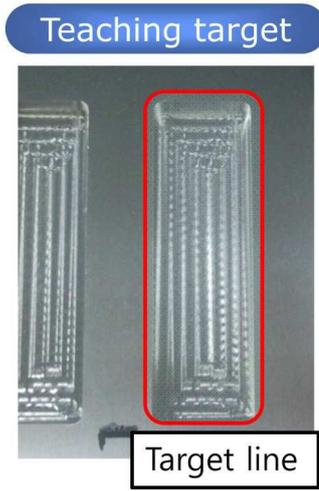


(B)

도면2

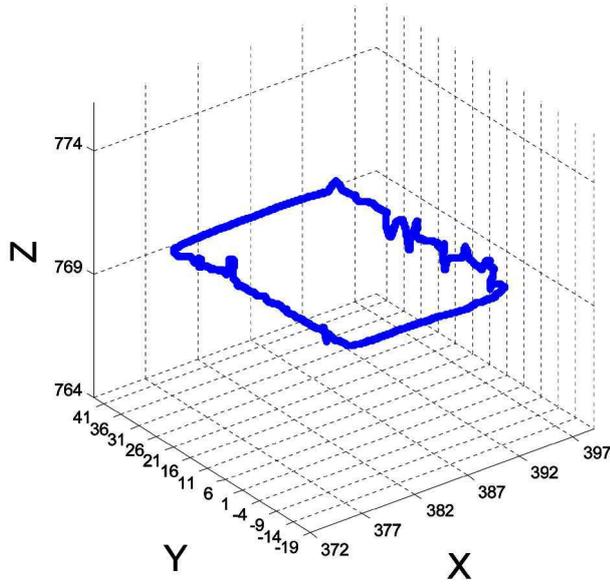


도면3

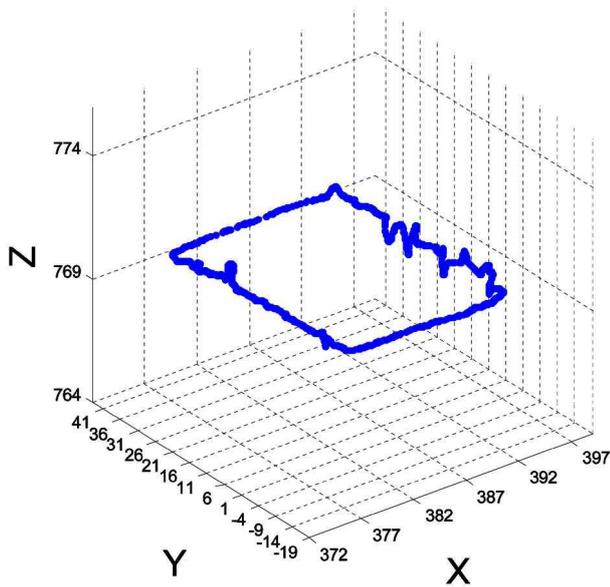


도면4

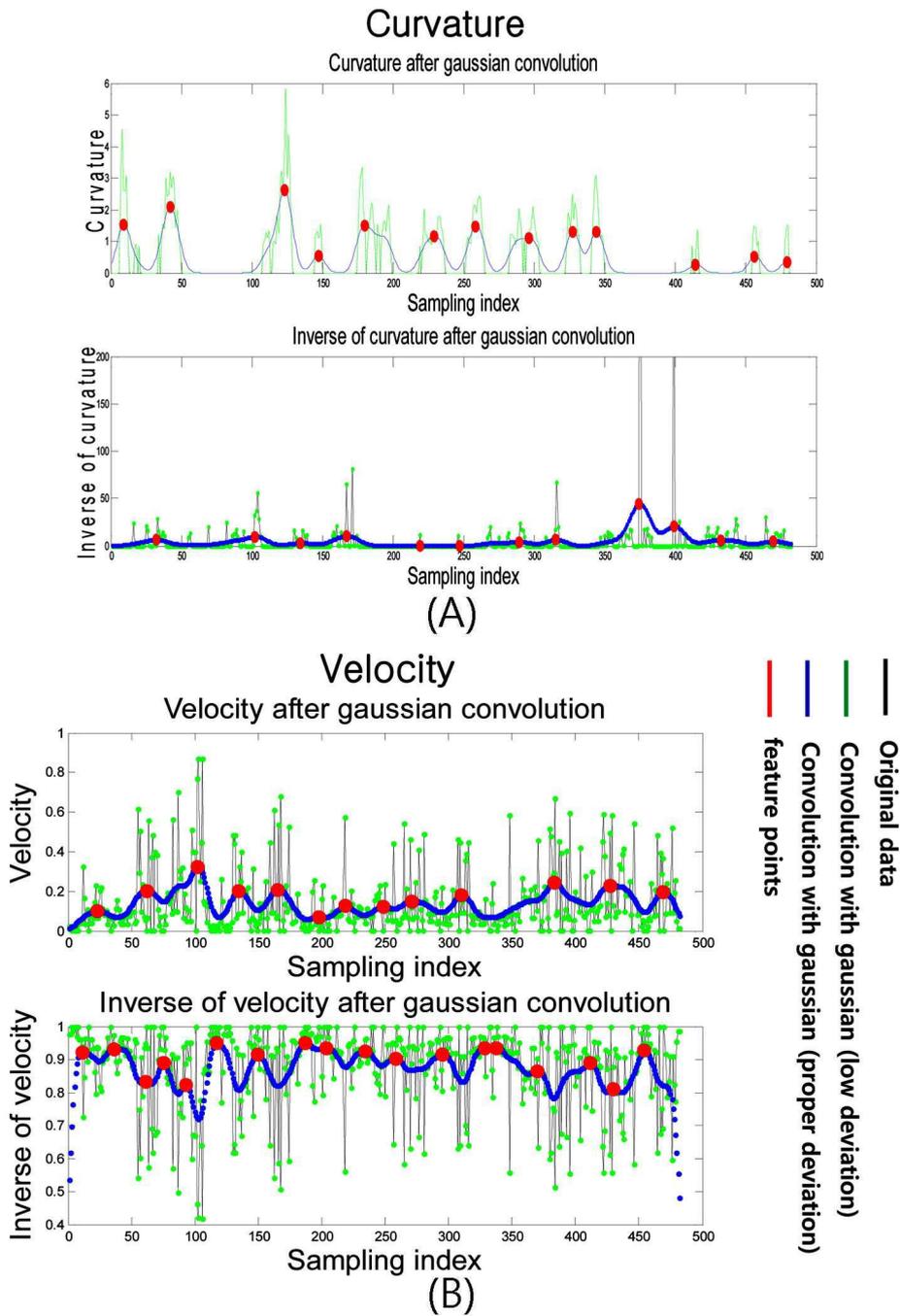
Original profile



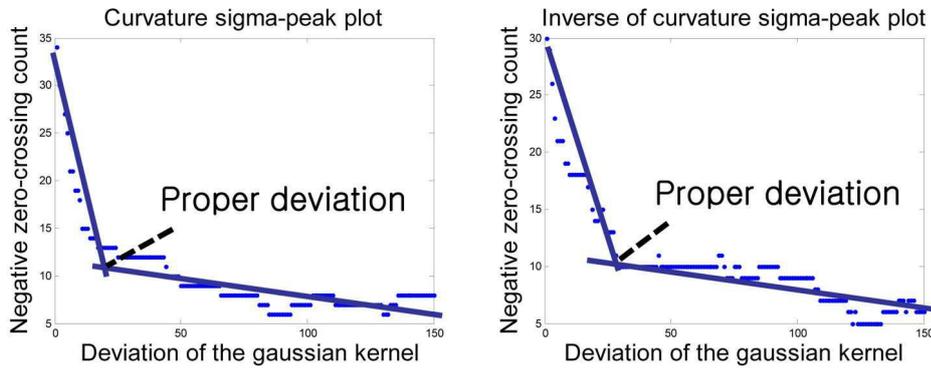
Profile after DPA



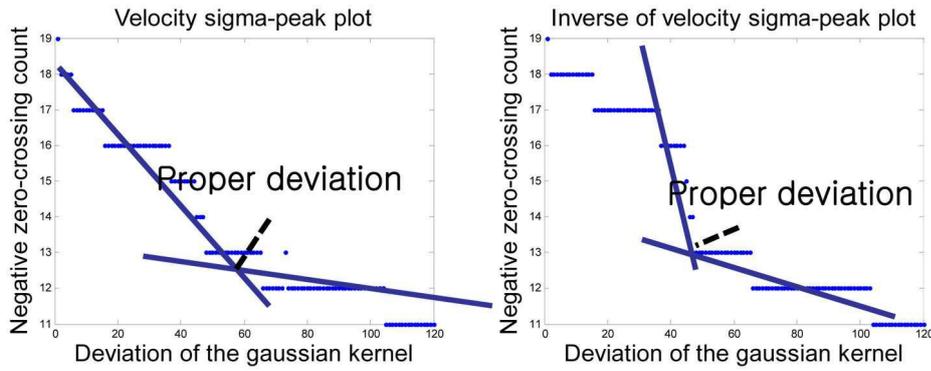
도면5



도면6



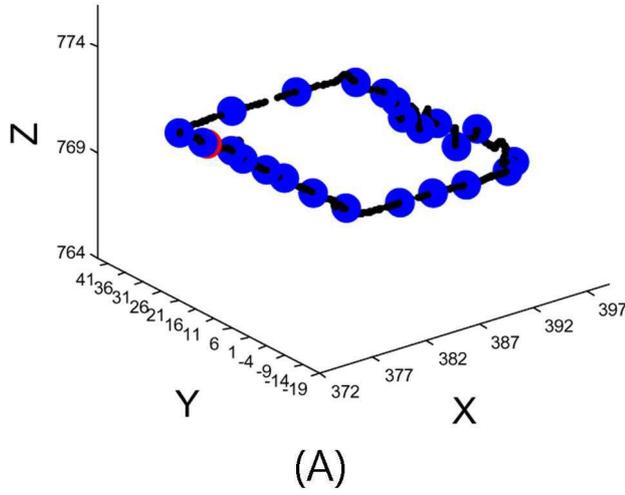
(A)



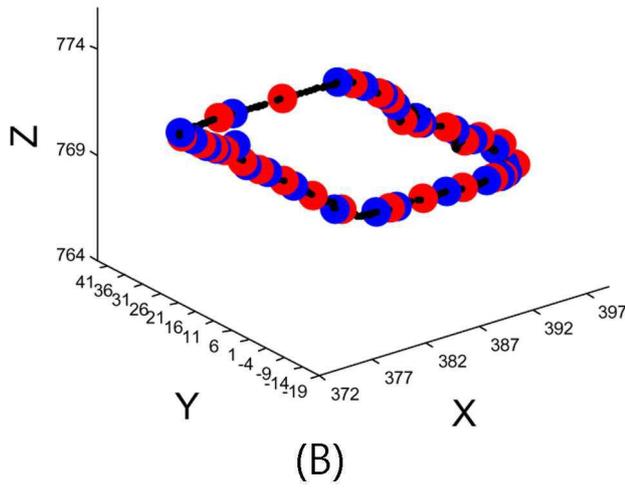
(B)

도면7

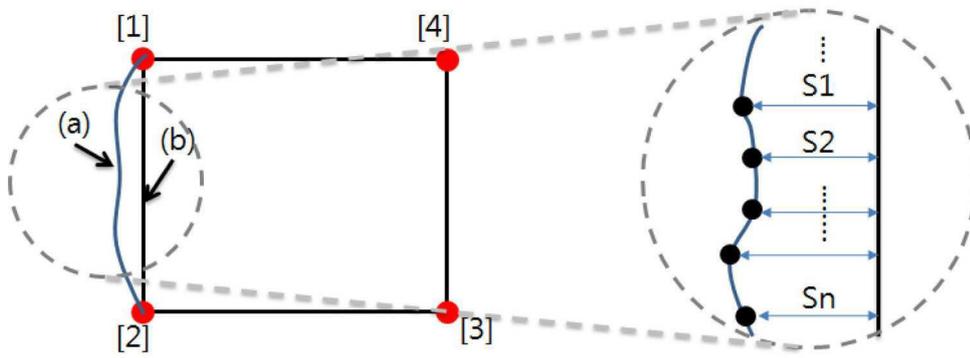
Curvature High & Low points



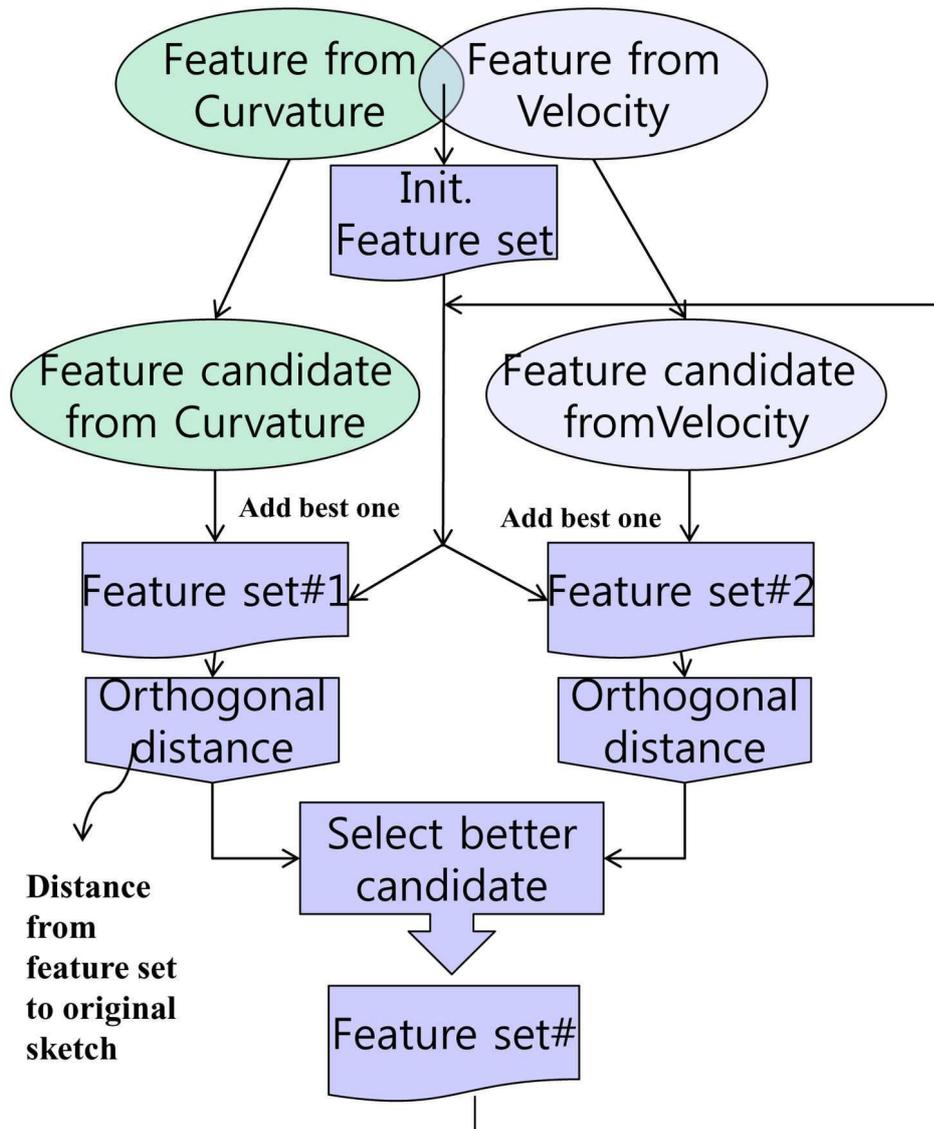
Velocity High & Low points



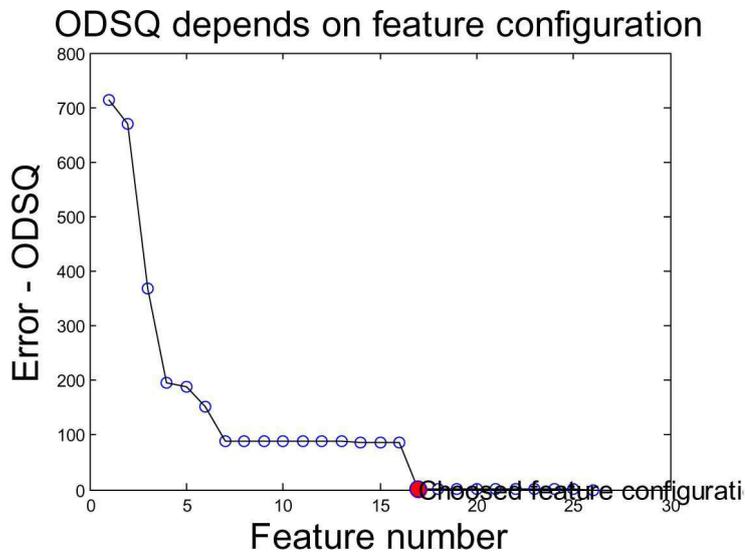
도면8



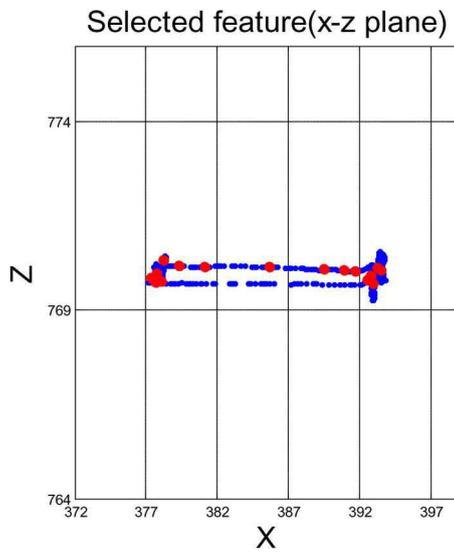
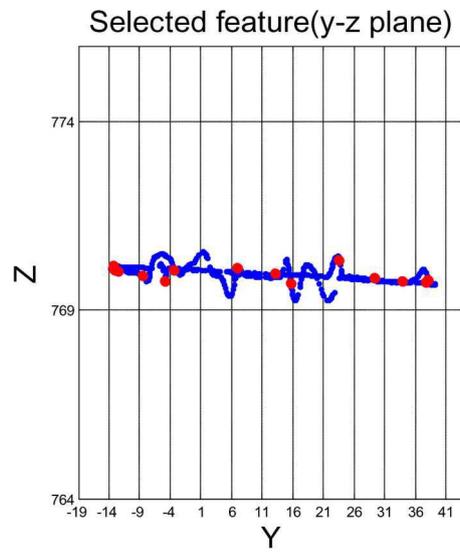
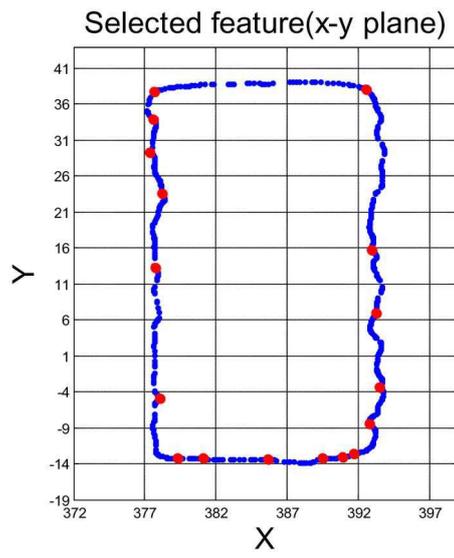
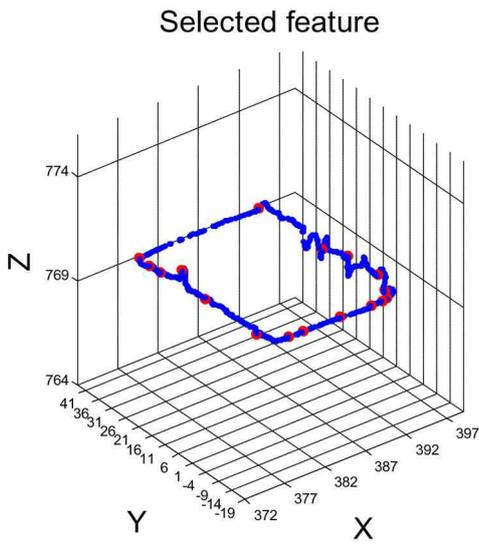
도면9



도면10



도면11



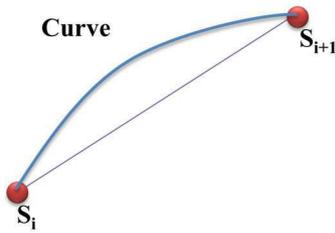
도면12



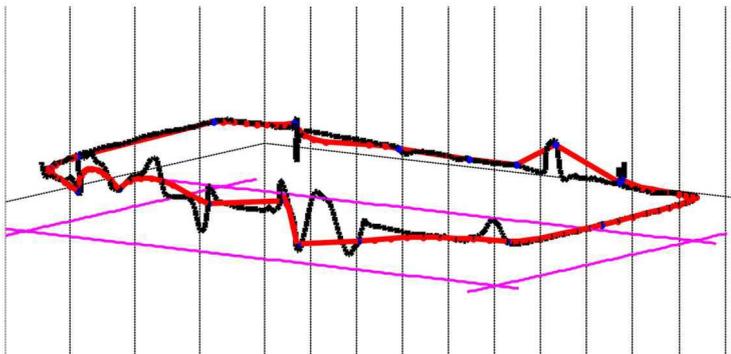
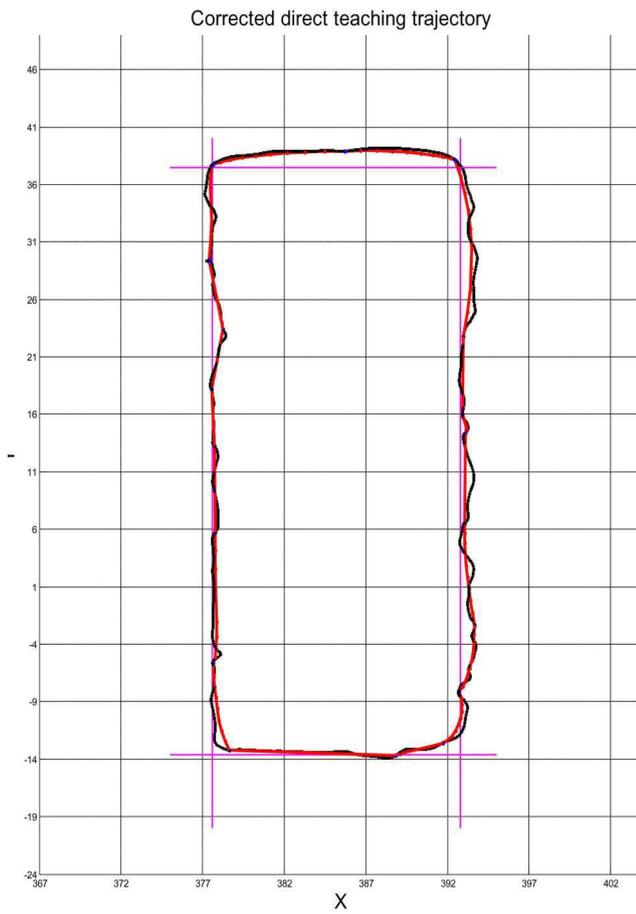
$$\delta = \frac{L_{curve}}{L_{line}}$$

$L_{curve}$  : length of curve ; accumulated length between  $S_i$  and  $S_{i+1}$   
 $L_{line}$  : length of line ; euclidian length between  $S_i$  and  $S_{i+1}$   
 If  $\delta > \gamma$ , that segment is curve, otherwise line.  $\gamma > 1$

Reconstructed using the bezier curve model.



도면13

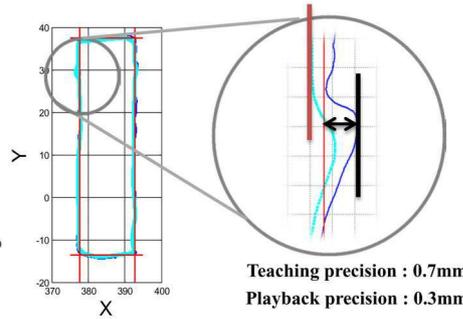
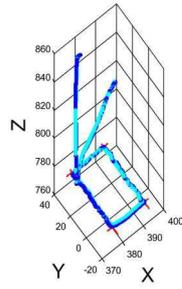


도면14

Test1



- width:15mm, height:50mm



Test2



- radius 20mm

