

광부품 조립을 위한 비전 기반의 앵글 튜닝 알고리즘의 개발

이호동, 장민수, 이석주, 박귀태

서울특별시, 성북구, 안암동5가, 1번지, 고려대학교, 전기공학과, 지능시스템연구실

Tel: +82-2-3290-3673, Fax: +82-2-958-6910, E-mail: {jurgic, jangms, gidung, gtpark}@elec.korea.ac.kr

Development of Vision Based Angle Tuning Algorithm for Assembling Opto-Electrical Component

Ho-Dong Lee, 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: {jurgic, jangms, gidung, gtpark}@elec.korea.ac.kr

Abstract - 최근 광섬유와 일반 통신 선로 사이의 인터페이스인 레이저 펌프(laser pump)와 같은 광 부품의 수요가 늘어나고 있다. 그러나 대부분의 광 부품 조립은 수작업으로 이루어지고 있기 때문에 한명의 전문가가 하루에 조립할 수 있는 광 부품의 수는 많지 않다. 따라서 이러한 광 부품의 대량생산을 위해서는 광 부품 제작 과정의 자동화가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 980nm 레이저 펌프 조립 과정에서 광섬유 끝단 렌즈의 각도 조절을 자동화하기 위한 비전 기반의 앵글 튜닝 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 입력된 영상으로부터 광섬유 끝단 렌즈의 하단 영역의 넓이를 이용하여 광섬유의 각도를 측정하고, 광섬유를 회전시키면서 변화하는 각도 값을 이용하여 광섬유를 원하는 각도로 튜닝 한다.

1. 서 론

최근 네트워크 기술의 발달과 상용화로 인해 통신 속도는 점점 고속화 되어 가고, 기존에 사용되어 왔던 일반적인 구리선을 이용한 통신선로에서 좀더 고속의 데이터 전송이 가능한 광섬유를 이용한 통신선로로 대체되고 있으며, 이에 따라, 기존의 통신선로와 대체되고 있는 광섬유 사이의 인터페이스인 레이저 펌프 같은 광부품의 수요가 급격하게 늘어나고 있다. 본 논문에서는 현재, 수작업으로 이루어지고 있는 980nm 레이저 펌프(manufactured by COSET Inc.)[1]의 조립 자동화를 위해 광섬유 끝단 렌즈의 각도 조절을 위한 다수 비전 기반 [2]의 앵글 튜닝 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 2절에서는 광 부품 조립 자동화를 위해 구성된 시스템의 구조와 본 논문에서 제안하는 앵글 튜닝 알고리즘을 설명한다. 실험 결과는 3절에서 소개하고 있으며 마지막으로 4절에서는 결론을 맺도록 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구조

그림 1은 980nm 레이저 펌프 조립 자동화를 위해 구성된 시스템의 구조이다. 전체적인 시스템은 마이크로 스테이지와 비전 모듈, 앵글 튜닝 알고리즘을 포함한 슬레이브 시스템과, 햅틱 디바이스와 VR(virtual reality)시스템을 포함한 마스터 시스템으로 구성되어 있다. 마스터 시스템은 네트워크를 통해 슬레이브 시스템에 접속하여 슬레이브 시스템의 마이크로 스테이지 및 기타 디바이스들을 제어할 수 있도록 구성 되어 있다.

2.1.1 광 부품 조립 공정

그림 2.(a)는 980nm 레이저 펌프 조립을 자동화 하

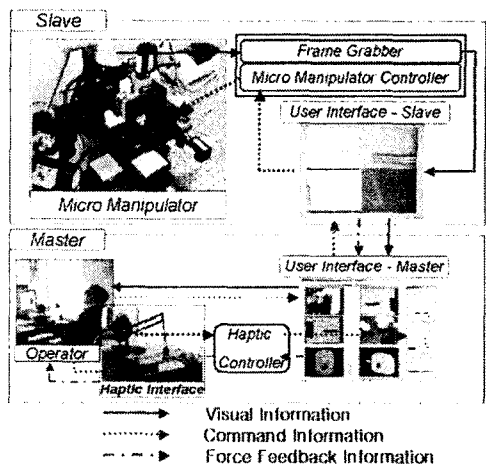


그림 1. 시스템 구조

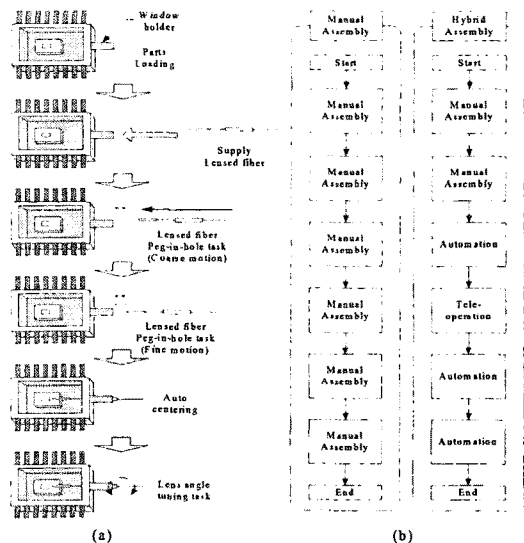


그림 2. 980nm 레이저 펌프 조립 공정

기 위한 공정을 나타내고 있다.

레이저 펌프 조립의 공정 순서는 다음과 같다. 레이저 펌프의 패키지(package)와 광섬유를 스테이지의 작입

영역에 로딩(loading)한다. 그리고 광섬유 끝단의 렌즈를 패키지의 윈도우 홀더(window holder)에 접근시키고 광섬유를 패키지의 윈도우 홀더에 삽입하기 위해 정렬한 후, 광섬유를 패키지 안으로 삽입하여 패키지 안의 레이저 다이오드(LD:laser diode)에 접근시킨다. 다음으로, 광섬유 끝단의 렌즈를 LD에 맞추어 센터링을 한 후, 본 논문에서 제안한 앵글 튜닝 알고리즘을 이용하여 광섬유 끝단 렌즈의 각도를 튜닝하게 된다. 렌즈 각도의 튜닝 후, 광섬유를 패키지에 고정시키는 웰딩(welding) 작업을 마치면 전체 공정이 끝나게 된다. 그림 2.(b)는 레이저 펄스를 조립하는 매뉴얼 작업과 현재 시스템에서 자동화가 이루어진 작업을 비교하여 표시한 것이다

2.2 비전 기반의 앵글 튜닝 알고리즘

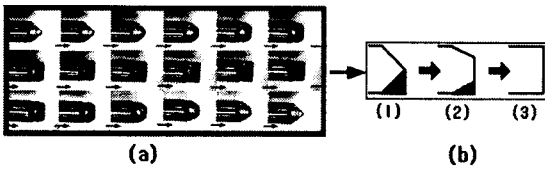


그림 3. 렌즈의 윤곽선의 변화

그림 3은 광섬유를 회전 시키면서 그 끝단 렌즈를 찍은 영상이다. 광섬유가 회전함에 따라 광섬유의 끝단 렌즈의 모양이 바뀌고 있으며, 그림 3.(b)와 같이 광섬유 끝단 렌즈 하단부의 넓이가 변화한다. 따라서 이 변화를 이용하여 광섬유 끝단 렌즈의 각도를 조절 할 수 있다.

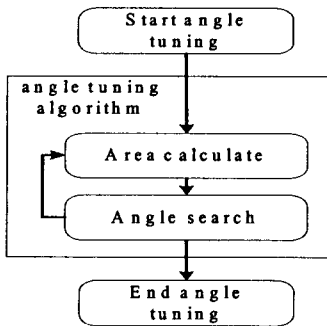


그림 4. 앵글 튜닝 알고리즘의 블록 다이

그림 4는 앵글 튜닝 알고리즘의 전체적인 블록 다이어그램이다. 본 알고리즘은 입력된 영상에서 광섬유 끝단 렌즈의 하단의 넓이를 계산하는 부분과, 계산된 넓이를 바탕으로 넓이가 최대가 되는 지점을 탐색하는 부분으로 구성된다.

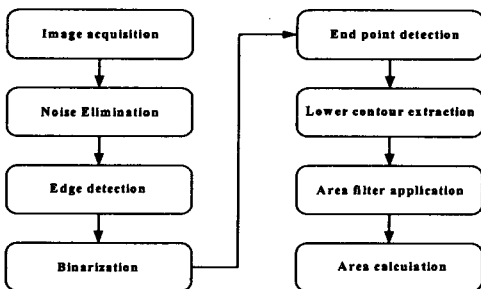


그림 5. 넓이 계산 알고리즘의 블록 다이어그램

2.2.1 넓이 계산 알고리즘

그림 3.(b)에 나타난 렌즈 하단의 삼각형 영역의 넓이를 얻기 위해서는 몇 단계의 이미지 프로세싱 과정이 필요하다. 그림 5는 광섬유 끝단 렌즈의 하단 영역의 넓이를 계산하는 알고리즘의 블록 다이어그램이다.

입력된 렌즈 끝단의 영상은 노이즈를 줄이기 위해 노이즈 필터를 통과한다. 그리고 영상의 에지를 구하기 위해 SOBEL 오퍼레이터를 이용하여 영상의 에지를 구한다. 구해진 에지 영상을 이진화 시킨 후, 렌즈의 윤곽선을 추출해낸다[3]. 그리고 추출해낸 윤곽선을 이용하여 광섬유 끝단 렌즈의 하단의 넓이를 계산한다.

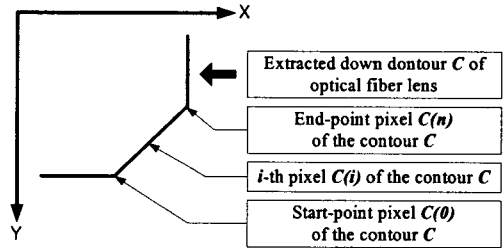


그림 6. 렌즈 하단 삼각형의 넓이를 구하기 위한 좌표 값

그림 6은 렌즈 하단 삼각형의 넓이를 구하기 위해 필요한 좌표 값들의 정보를 나타낸다.

광섬유 끝단 렌즈의 하단 삼각형 영역의 넓이를 계산하기 위해 사용된 식은 수식 (1)이다.

$$Area = \sum_{i=1}^n (C(0) - C(i))^2 \quad (1)$$

수식에서 C 는 추출된 렌즈 하단의 윤곽선을, n 은 윤곽선의 픽셀 수를, $C(i)$ 는 윤곽선의 i 번째 픽셀의 y 좌표를, $C(0)$ 는 윤곽선의 시작 픽셀의 좌표를 나타낸다. 이때, 알고리즘의 정밀도를 높이기 위해 삼각형 영역의 넓이를 제공해서 삼각형 영역의 넓이 값을 증폭시켰다.

본 알고리즘을 적용하기 위해 가장 이상적인 경우는 광섬유를 회전시키는 동안 광섬유가 회전 운동만을 하고 좌우나 상하 운동은 하지 않는 경우이다. 그러나 실제적으로 광섬유가 회전 스테이지에 의해 회전할 때, 광섬유의 몸체는 상, 하로 움직이며 광섬유의 몸체 역시도 수평을 이루지 못한다. 결국 광섬유 끝단 렌즈의 위치가 달라지게 되어 면적 값에 많은 오차를 더해지게 된다.

이 문제를 해결하기 위해서 광섬유 끝단 렌즈의 윤곽선의 영상에서 그림 7의 직선(Dash) 영역과 같은 불필요한 영역을 제거할 수 있는 필터를 설계하고, 렌즈의 위치 정보를 이용하여 광섬유가 항상 영상 내에 있도록 스테이지를 제어 한다. 그림 7은 필터의 역할을 그림으로 나타낸 것이다. 그림 7.(a)의 직선 영역과 렌즈가 접해 있는 부분의 기울기는 급하고, 그림 7.(b)의 직선 영역

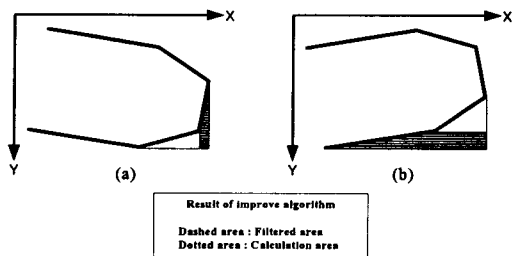


그림 7. 영역 필터

과 렌즈가 접해 있는 부분의 기울기는 완만하다. 따라서 추출된 윤곽선의 기울기를 측정하여, 그림 7.(a)의 경우에는 기울기가 급한 직선 영역을, 그림 7.(b)의 경우에는 기울기가 완만한 직선 영역을 제거한다.

2.2.2 탐색 알고리즘

광섬유 끝단 렌즈의 각도가 그림 3.(b).(3)과 같은 모양이 되었을 때 광섬유와 LD 사이의 전송 실패율이 가장 낮기 때문에, 탐색 알고리즘은 광섬유 끝단 렌즈의 모양이 그림 3.(b).(3)과 같은 모양을 찾아가도록 설정되어야 한다. 그러나 광섬유 끝단 렌즈의 모양이 그림 3.(b).(3)과 같은 모양에 접근하면 넓이 계산 알고리즘의 특성상 알고리즘에서 계산하는 삼각형 영역 값의 변화가 미미하여 정확한 광섬유 끝단 렌즈의 각도를 찾기에 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 알고리즘의 효율과 정확도를 높이기 위해서 일차적으로 가장 높은 값을 가지는 위치를 찾고, 다음으로 낮은 위치에서 회전 스테이지를 90° 회전시키는 방법을 사용한다. 본 연구에서 가장 높은 값을 찾는 알고리즘은 힐-클라임(hill-climb) 알고리즘을 적용하였다(4).

3. 실험

그림 8은 최종적으로 얻어진 광섬유의 회전에 따른 면적의 변화를 나타낸 그래프이다. 우리가 설계한 필터를 사용한 실험결과와 사용하지 않은 실험결과는 많은 차이를 보이고 있다. 그래프상의 낮은 값을 가지는 위치에서 필터를 사용하지 않았을 때와 비교하면 필터가 대부분의 노이즈를 제거하고 있음을 알 수 있다. 이는 필터를 사용함으로써, 좀더 정확한 삼각형 영역을 계산하고 있음을 나타낸다. 또한 2.2.2절에서 설명한 바와 같이, 광섬유 끝단 렌즈의 모양이 3.(b).(1)의 모양에 접근했을 경우, 그래프 상에 가장 높은 위치로 나타났으며, 광섬유 끝단 렌즈의 모양이 3.(b).(3)의 모양에 접근했을 경우, 그래프상의 가장 낮은 위치로 나타났다.

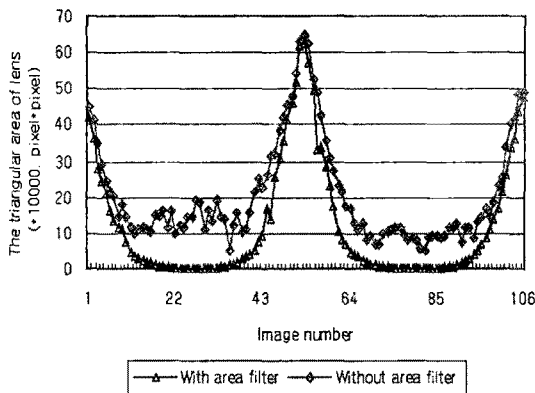


그림 8. 광섬유의 회전에 따른 렌즈 하단의 삼각형 영역의 넓이 변화

그림 9는 본 탐색 알고리즘을 적용하여 광섬유 끝단 렌즈가 원하는 각도로 수렴하여 가는 과정을 보여준다. 초기, 광섬유가 로딩된 위치로부터 광섬유가 회전하며 0°를 목표로 수렴해가고 있으며, 로테이션 스테이지가 목표지점인 0°의 위치를 넘어갔을 경우, 두 번의 알고리즘 수행으로 로테이션 스테이지의 회전을 반전시키고 로테이션 스테이지의 회전거리를 반으로 줄이는 것을 볼 수 있다. 실험에서 알고리즘 종료 후, 로테이션 스테이지가 회전한 각도는 25.368°이다.

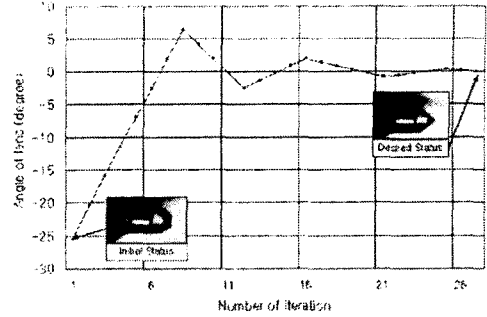


그림 9. 앵글 튜닝 알고리즘의 실험 결과



그림 10. 앵글 튜닝 알고리즘 수행 전의 영상과 알고리즘 수행 후의 영상

그림 10은 앵글 튜닝 알고리즘을 수행하기 전의 광섬유의 위치 및 각도와 수행한 후의 광섬유의 위치 및 각도를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 앵글 튜닝 알고리즘을 수행하는 과정에서 광섬유의 포지션의 이동 현상이 일어나고 있지만 앵글 튜닝 알고리즘은 만족할 만한 정밀도를 보여주고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 광섬유 조립 자동화를 위해 필요한 알고리즘으로써 앵글 튜닝 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 앵글 튜닝 알고리즘은 광섬유 조립 자동화 과정에서 비전 정보만을 이용하여 광섬유 끝단 렌즈의 기울어진 정도를 추출할 수 있으며, 힐-클라임 탐색 알고리즘을 이용하여 최고점을 탐색할 수 있다. 또한 실험을 통해 본 논문에서 제안한 앵글 튜닝 알고리즘이 광섬유 끝단 렌즈의 각도를 튜닝 하는 과정에서 충분한 정밀도를 보이는 것을 확인하였다.

Acknowledgements

This work was supported by the 21st Century's Frontier R&D Projects, under the contract number MS-02-324-01, sponsored by the Ministry of Science and Technology, Korea.

[참고 문헌]

- [1] [Http://nety.co.kr/clients/coset/index.htm](http://nety.co.kr/clients/coset/index.htm)
- [2] Seok Joo Lee, Kyunghwan kim, Deok-Ho Kim, Jong-Oh Park and Gwi Tae Park, "Recognizing and Tracking of 3D-Shaped Micro Parts Using Multiple Vision for Micromanipulation", Proc. of MHS, pp.211-217, 2001.
- [3] Gragory A. Baxes, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, Inc, 1994.
- [4] Kang-Sun Choi, Jun-Suk Lee, Sung-Jae Ko, "New autofocusing technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 45 Issue: 3, Aug 1999, Page(s): 820-827.