

광전소자 제조를 위한 최대 광 결합점 검색 알고리즘

한 일 호, 김 회 율
한양대학교 전자공학과

전화 : 02-2281-1759 / 핸드폰 : 011-9654-6470

Maximum Optical Coupling Point Search Algorithm for Manufacturing of Optical Device

Il-Ho Han, Whoi-Yul Kim
Division. of Electrical and Computer Engineering, Han Yang University
E-mail : han15@vision.hanyang.ac.kr

Abstract

Optical aligning process to archive the maximum optical coupling is crucial in many optical device manufacturing line such as laser diode module. Due to the three-dimensional nature of housing module and the aligning process for laser diode coupler, large amount of the manufacturing time, typically ranging from tens of minutes to an hour has to be devoted to the aligning process alone. In this thesis, we propose a new optical aligning process that employ a two-pass algorithm: coarse-to-fine search. Coarse search is a kind of blind search that finds the candidate region where the maximum optical coupling might mostly occur, followed by a fine searching that finds the maximum within the candidate region. The algorithm has been tested on 50 samples of cam-type laser diode modules, and the experimental results are analyzed in terms of aligning time and coupling efficiency.

I. 서론

초고속 인터넷 망의 수요가 확대되어 감에 따라 광

통신을 위한 부품들의 수요 또한 크게 확대되어 가고 있으며 과거 수동 작업으로 소량 생산하던 단계에서 대량 생산 체제로 전환되어 가고 있는 추세이다. 또한 하나의 소자를 생산하는 공정 시간이 15~30분 정도에서 5분 이내로 단축되어 가고 있다. 따라서, 광전 소자의 생산 과정을 자동화하여 전체 공정 시간을 단축하는 것이 필수적으로 대두되고 있다.

기존의 양산용 시스템 [1]에서 사용하는 알고리즘은 광이 나타나는 위치를 찾기 위한 초기 전역 탐색 (Blind Search) 과정을 수행한 후 사용자가 경험에 따라 검색 간격을 설정하여 Hill Climbing 알고리즘 [2]을 반복 수행하거나 3차원, 또는 4차원 영역을 전체 탐색하는 미세 탐색 (Fine Search) 과정을 수행하여 최대 광 결합점을 찾게 된다. 이 과정에서 사용자의 숙련 정도에 따라 검색 속도가 크게 좌우되게 되며 두 단계가 분리되어 있음에 따라 무인 자동화 공정의 실현이 어려운 단점을 안고 있다.

본 논문에서는 Blind Search에서 자동으로 광 발현점을 결정하는 알고리즘과 Fine Search에서 탐색 간격을 자동 조절하는 알고리즘을 이용하여 전 과정을 자동으로 수행하는 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 사용자의 숙련 정도에 의존하지 않고 측정값에 따라 자동으로 탐색 간격을 변경해 나감으로써 균일한 생산 시간을 보장할 수 있다.

제안된 알고리즘의 효용성을 검증하기 위해 50개의

Can-type LD(Laser Diode)를 이용하여 탐색 속도와 결합 효율을 측정하였다.

II. 광전소자 광학적 특징

2.1 광전 소자의 구조

본 논문에서 사용한 시험 재료인 Can-type LD 소자의 구조는 그림 1과 같다

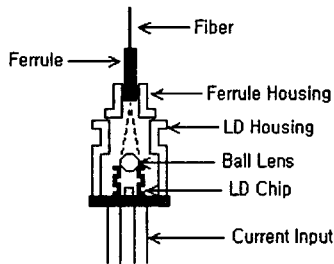


그림 1. Can-type LD Module

입력 전류를 가해주면 LD에서 레이저빔이 생성되고 이 빔은 Ball 렌즈를 통과하여 초점이 맺혀진 후 Ferrule로 고정되어 있는 광섬유로 전달되는 구조이다. 이때, LD와 Ball 렌즈와 광섬유가 최대 광 결합점에서 조립이 되어야만 손실 없는 광 전송이 가능하다. 일반적인 co-axial type LD 모듈의 경우 결합효율(Coupling Efficiency)은 17%이상이 요구된다[1]. 각 부품들은 정렬 과정을 거친 후 레이저 용접에 의해 결합되게 된다.

2.2 광 결합점 부근의 광 분포

그림 2는 100 μm 간격으로 광 결합점 부근에서 3mm \times 3mm 영역을 평면 방향으로 샘플링한 데이터의 그림이다. 소자마다 차이는 있으나 그림에서 나타나는 바와 같이 광이 나타나는 부분은 대략 직경 150 μm 정도의 원형 영역을 이루고 있다. 완벽하게 제조된 경우에는 Ball 렌즈를 통과해서 나온 레이저빔은 소자의 중심에 위치해야 하지만 공정상의 오차로 인해 좌우상하로 틀어지게 된다. 그러므로 전체 탐색의 과정에서는 5mm \times 5mm 정도의 넓은 영역을 무작위로 탐색하여 광이 나타나는 위치를 찾아야 한다.

그림3은 2 μm 간격으로 광 결합점 부근에서 30 μm \times 30 μm 영역을 평면 방향으로 샘플링한 데이터의 그림이다. 이 소자의 경우 평균 최대 출력은 160 μW 이었으며 최대 출력에서 10% 감소되는 곳의 영역의 직경은 3 μm 이었다. 그림에서와 같이 광의 분포는 최대 광 결합점

을 중심으로 가우시안 분포를 이루고 있다[1]. 미세 탐색 과정에서는 이를 바탕으로 하여 2 μm 내외의 간격으로 Hill Climbing 검색 알고리즘[2]을 적용하여 탐색을 수행한다.

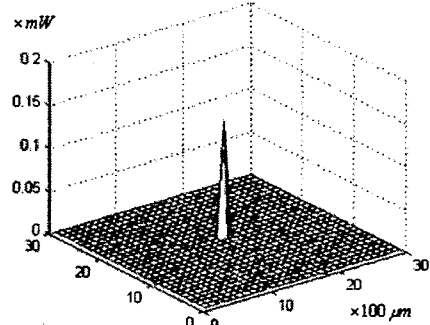


그림 2. 3mm \times 3mm 영역의 광 분포

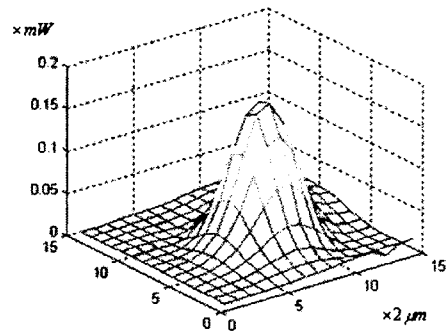


그림 3. 30 μm \times 30 μm 영역의 광 분포

III. 광학 정렬 알고리즘

광학 정렬 전체 과정은 그림 4와 같다. 전체 영역을 탐색하여 후보 영역을 찾은 후 미세 탐색을 수행하여 최대 광 결합점을 찾는다.

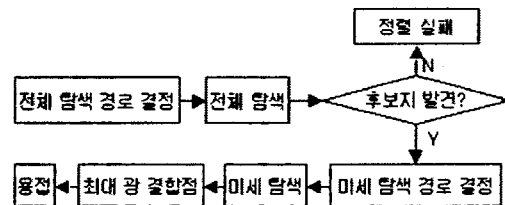


그림 4. 최 광 결합점 탐색 과정

광전소자 제조를 위한 최대 광 결합점 검색 알고리즘

나가는 방법을 되풀이함으로써 최대점으로 수렴해가는 알고리즘이다.

3.1 전체 탐색 알고리즘

광이 나타나는 위치는 각 모듈의 제조 공정상의 오차에 영향을 받게 된다. 따라서 그 위치는 완전히 무작위적이라 가정할 수 있으며 이에 따라 전체 탐색 영역을 탐색하여야만 한다.

(1) 검색 경로

현재 상용화된 광전 소자 레이저 용접용 시스템에서는 탐색 시작점에서 사용자가 입력한 탐색 간격으로 지그재그 방향으로 또는 나선 방향으로 움직이며 광 출력을 측정하는 방법을 사용하고 있다.

(2) 검색 종료 조건

미세 탐색을 위한 시작점을 찾게 되면 전체 탐색 과정은 종료된다. 이 위치를 결정하기 위해 상용화된 시스템에서는 사용자가 출력 값이 얼마 이상이 되는가의 문턱값을 입력해주고 이 값 이상의 출력이 나타나는 경우 검색을 종료하게 된다. 이 값을 너무 크게 정하면 전체 탐색 시간이 길어지게 되며 너무 낮게 정하면 잡음에 의한 출력을 찾게되어 미세 탐색이 실패하게 되는 원인이 된다. 그러므로 숙련된 사용자가 많은 실험을 거친 후에 이 값을 결정하게 된다.

3.2 미세 탐색 알고리즘

2.2절에서 본 바와 같이 최대 광 결합점 부근에서의 광 분포는 가우시안 형태를 이루게 된다. 미세 탐색 알고리즘은 이를 바탕으로 아래와 같이 구성되어 있다.

(1) 3D 전체 미세 탐색

사용자가 설정한 검색 간격으로 평면/수직 전체 3차원 영역을 탐색하는 방법으로 항상 최대 광 결합점을 찾을 수 있으나 3차원의 모든 위치에서 샘플링해야하므로 복잡도가 $O(n^3)$ 이 된다. 그러므로 일반적으로 이 검색 방법은 다른 알고리즘에 의한 검색이 모두 실패한 경우나 검색 조건을 찾기 위한 시험 단계에서 사용한다.

(2) Hill Climbing 알고리즘

실제 제조 공정에서는 미세 탐색을 위해서 2차원 Hill Climbing 알고리즘을 사용한다. Hill Climbing 알고리즘은 현재 위치에서 모든 주변 이웃 위치의 값들을 읽은 다음 이중에서 목표치와의 오차가 가장 작은 쪽으로 이동해감으로써 최대 위치를 찾아내는 알고리즘으로 1차원의 예를 들면 그림 5와 같은 형태로 수행된다. 처음 탐색 위치를 정한 후 좌우에서 일정한 간격으로 일정한 수의 이웃 점들에서 테이터를 샘플링한 후 예상 최대치와 오차가 가장 낮은 점으로 이동해

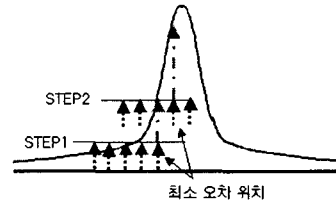


그림 5. Hill Climbing 수행 과정

현재 상용화된 시스템에서는 탐색할 이웃위치들의 숫자를 사용자가 정하도록 되어 있으며 평면 방향으로 샘플링하여 목표치와의 오차가 최소인 점으로 이동해 간다. 수직 방향은 탐색 과정의 복잡도를 낮추기 위해 사용하지 않는다. 따라서, 수평 방향의 샘플링 수를 n 이라 할 때 복잡도는 $O(n^2)$ 이 된다. 탐색 시작 위치가 최소 오차점이 되면 최대점을 찾은 것이므로 중지한다.

VI. 자동 탐색 알고리즘

4.1 전체 탐색 종료 조건

3.1절 (2)에서 본 바와 같이 전체 탐색은 시간이 많이 소요되므로 미세 탐색이 가능한 위치를 찾으면 중단함으로써 실행 시간을 단축하여야 한다. 이를 위한 종료 조건을 사람이 결정할 경우 적당한 문턱 값을 찾기가 매우 힘들며 잡음에 의한 영향도 크게 받는다.

본 논문에서는 전체 탐색 과정에서의 종료 위치를 자동으로 결정하기 위해 다음 식(1)과 같이 변화도를 정의하였다.

$$D_n = \frac{F(n)}{\sum_{x=1}^n F(x)} \quad (1)$$

여기서, D_n 은 n 번째 샘플에서의 변화도, $F(n)$ 은 n 번째 샘플에서의 광 출력이다. 잡음에 의한 오인을 없애기 위해 현재까지의 출력 평균과 현재 점에서의 출력의 비율로 정의하였다. 그림 2에서 나타난 것처럼 광 발현점 부근에서의 변화는 급격하므로 실험에서는 $D_n=50$ 을 문턱값으로 사용하였다. 이 값은 소자에 따라 변경할 필요 없이 모든 종류에 동일하게 적용된다.

4.2 Hill Climbing 간격 자동 조정 알고리즘

본 논문에서는 탐색 간격을 오차에 따라 자동으로 조정하여 여러 개의 이웃 위치에서 샘플링하지 않고 바로 이웃의 두 점에서만 샘플링하여 복잡도를 낮출

수 있는 변형된 Hill Climbing 알고리즘을 제안한다. 따라서 수직 방향도 Hill Climbing 과정에 포함할 수 있으며 수직 방향의 이동 횟수를 m 이라 할 때 복잡도는 $O(m)$ 이 된다.

탐색 간격 S 는 다음의 식(2)에 의해 결정한다.

$$e_k = |P_{desire} - P_k|$$

$$S = \eta F_{decision}(e_k) \quad (2)$$

여기서, P_{desire} 는 예상하는 최대 광 출력

P_k 는 현재 위치에서의 광 출력

e_k 는 현재 위치에서의 오차

$F_{decision}(x)$ 는 결정함수

η 는 학습 가중치이다.

결정함수 $F_{decision}(x)$ 는 다음 식(3)의 두 가지 형태 중 하나를 선택할 수 있다.

$$F_{decision}(x) = a \log(x+1) \quad (3)$$

$$F_{decision}(x) = a e^x + b \quad (4)$$

식(3)형태의 결정함수를 이용할 경우 탐색 간격이 완만하게 감소하게 되며, 식(4)형태의 결정함수를 이용할 경우는 급격히 감소하게 된다. 소자에 따라 최대 광 결합점 부근에서 광의 분포가 완만한 경우 탐색 간격을 급격히 줄일 경우 탐색 시간이 늘어나는 원인이 되므로 식(3)형태의 결정함수를 사용하는 것이 유리하며 반대의 경우는 식(4)형태의 결정함수를 사용하는 것이 좋다.

η 는 학습 속도를 결정하는 가중치로 이 값이 너무 클 경우 수렴 속도는 증가하나 지역 최대치에 빠질 가능성이 높아지며 반대의 경우 수렴속도나 느리게 된다. Hill Climbing 알고리즘을 이용하는 경우 지역 최대 값에서 탐색이 종료되는 단점이 있으나 Simulated Annealing 방법[2,3]을 도입하여 전체 탐색 영역의 에너지에 따라 간격 조절의 변화 속도를 조절하여 항상 최대점으로 수렴시킬 수 있다.

V. 실험 결과

제안한 알고리즘의 최대 광결합 점을 찾는 성능을 실험하기 위해 표1과 같은 특성을 가진 국내 제조사에서 만든 LD모듈 2종류 40개와 대만에서 만든 LD모듈 1종류 10개에 대해 최대 광 결합점을 찾는 데 걸린 시간과 용접 가공 완료 후의 광 출력을 측정한 결과는 표2와 같다.

샘플에 대한 지식이 전혀 없는 비 숙련자가 샘플에 따라 미리 실험하여 탐색 조건을 정하지 않고 샘플 제공사가 제공한 데이터에 따라 예상 최대치만을 사용하여

실험한 결과이다. 실험 결과에서 볼 수 있는 것처럼 비교적 고른 탐색 시간 안에 광 정렬을 할 수 있었으며 결합 효율 또한 상업적으로 사용하기 위한 효율인 17.5% 이상의 효율을 보여 주었다. 충분한 테스트 후 숙련자가 조건을 정확히 맞추어 준 경우 평균 검색 시간이 30%로 감소했다.

표 1. 실험 용 소자 특성

항목	가공 샘플		
	국내 A	국내 B	대만
기본 구성	Ferrule Fiber, Ferrule Housing, LD Module		Receptacle, Spacer, LD Module
구조	Pig Tailing		Receptacle
동작 전류mA	20	20	25

표 2. 최대 광결합 점 탐색 실험 결과

항목	가공 샘플		
	국내 A	국내 B	대만
평균 검색 시간	5분	7분	11분
최소/최대 검색시간	4분/8분	6분/10분	10분/15분
결합 효율	18.3 %	19.3%	20.1%
결정 함수	(4)	(4)	(3)

VI. 결론

광전 소자의 수요가 급격히 증가 하고있음에 따라 소자 생산을 자동화 대량화할 필요성이 증가하고 있다. 따라서 이를 뒷받침할 수 있는 알고리즘의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 광전 소자 생산 공정 중 제일 큰 비중을 차지하는 광학 정렬을 자동화할 수 있는 전체 탐색 종료 조건 자동 결정 알고리즘과 개량된 Hill Climbing 알고리즘을 제안하였고 실험 결과에서 사용자의 조정 없이도 자동으로 7분 내외의 검색 속도와 17%이상의 결합 효율을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] Newport Co, Ltd. *Laserweld PCSTM Process Control System Manual. Release 3.0*, 1999.
- [2] Christopher Thornton, Benedict Du Boulay, *Artificial Intelligence : Strategies, Applications, and Models Through Search. 2nd ed*, Glenlake Publishing Company, Chap4, Jan 1999.
- [3] Levi D, "HereBoy:a fast evolutionary algorithm," Proc, The Second NASA / DoD Workshop on Evolvable Hardware, pp 17 -24, July 2000.