

# 비주기적 광위상배열 구조에서 신호 품질 개선을 위한 최적화 알고리즘의 비교 연구

인하대학교 물리학과  
반도체광학연구실  
이보해



# "CONTENTS

#OPA #LiDAR #FFP #MATLAB  
#Optimization  
#ParticleSwarmOptimization  
#GeneticAlgorithm  
#SideLobeLevel

## Optical Phased Array

- Periodic OPA
- Aperiodic OPA
- Side lobe level

## Optimization method

- Particle Swarm Optimization
  - Genetic Algorithm
- Pattern Search Algorithm

## Results

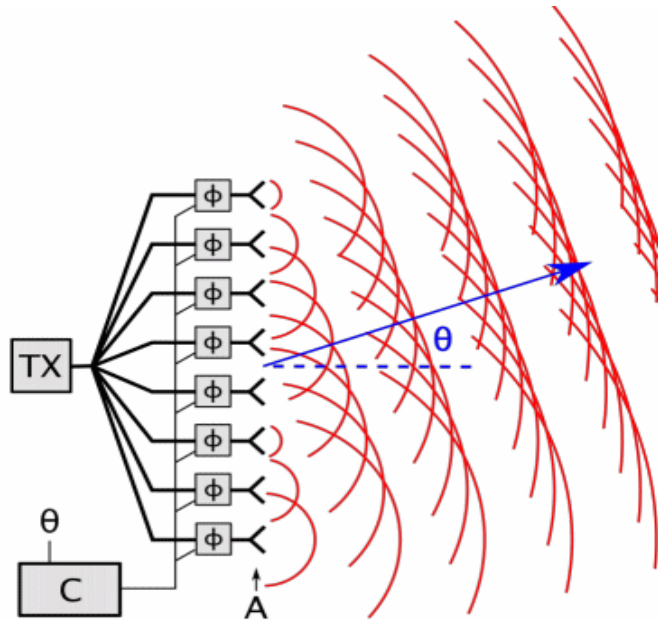
## Q&A



# Optical Phased Array

# Optical Phased Array(OPA)

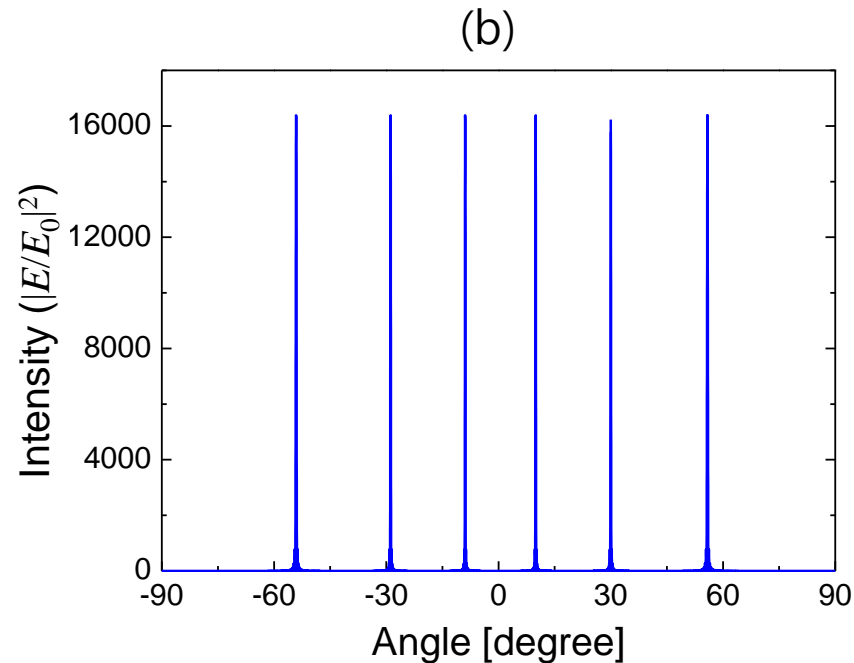
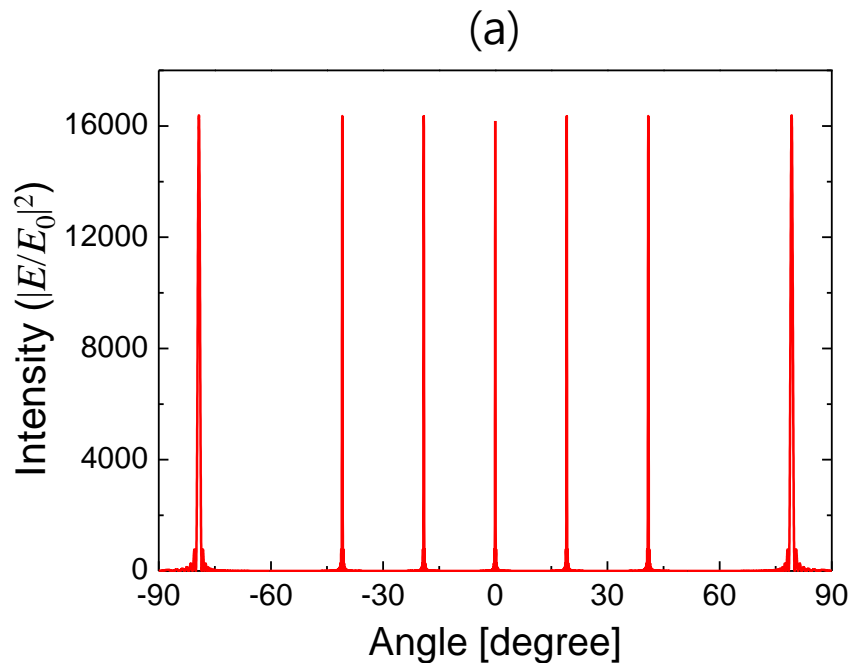
광파의 위상 및 진폭을 제어하여 특정 방향으로 빔을 조향할 수 있는 광학 소자  
실리콘 칩 위에 구현 가능하고 반도체 파운드리와 호환돼 저비용, 소형화 가능



# Periodic OPA



주기적 OPA 전기장 분포는 다중 슬릿에서 빛의 간섭 현상으로 생각  
다중 슬릿의 간섭에서 각 슬릿이 OPA를 구성하는 광 안테나에 해당



$$E = E_0 \frac{\sin\left[\frac{N}{2}(kd \sin \theta + \varphi)\right]}{\sin\left[\frac{1}{2}(kd \sin \theta + \varphi)\right]}$$

$$\sin \theta_m = \frac{\lambda}{d} \left(m - \frac{\varphi}{2\pi}\right)$$

▲  $b = 0.2\mu\text{m}$ ,  $d = 4\mu\text{m}$ ,  $\lambda = 1310\text{ nm}$ ,  $N = 128$ 인 주기적인 OPA 배치를 이용하여 (a)  $0^\circ$ , (b)  $30^\circ$ 에 조향된 원거리장

# Aperiodic OPA

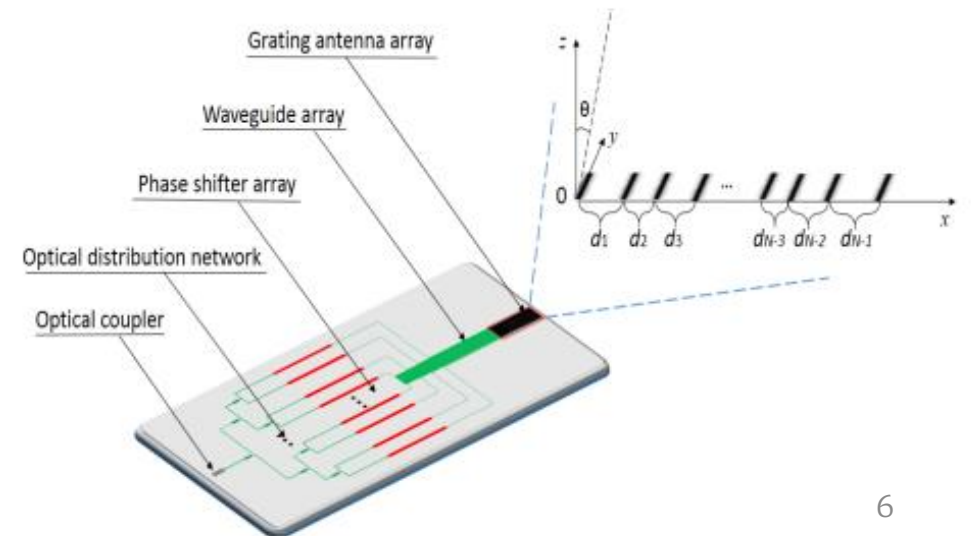
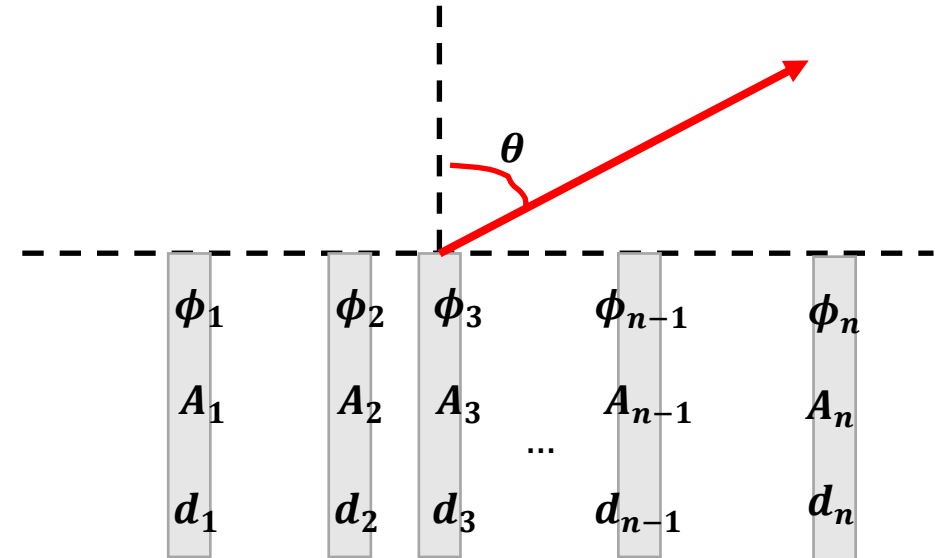
$$E_{total}(\theta) = e^{i(kR - \omega t)} \frac{\sin\beta}{\beta} \sum_n A_n e^{i(\alpha_n + \phi_n)}$$

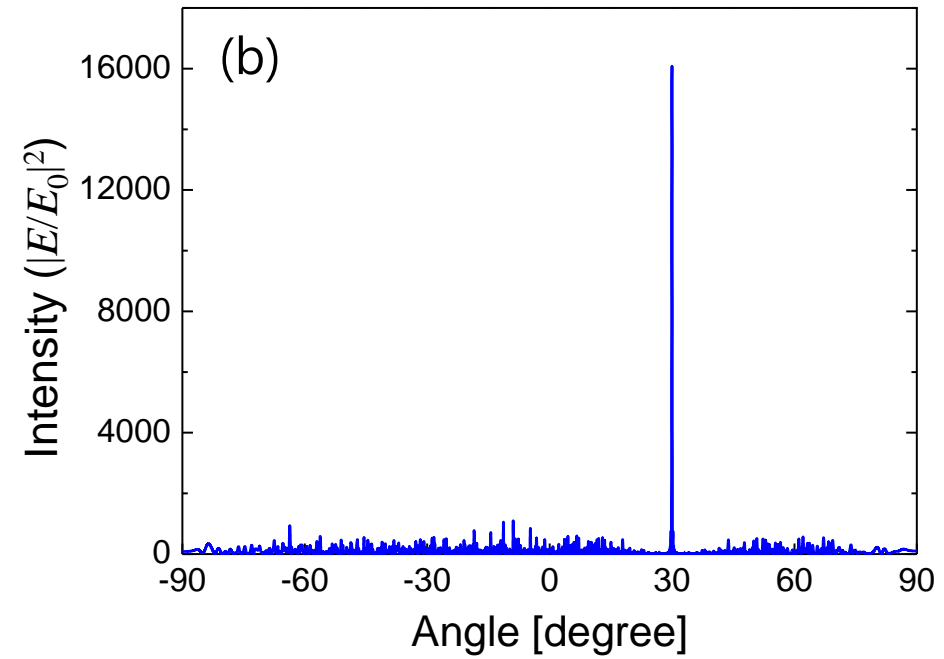
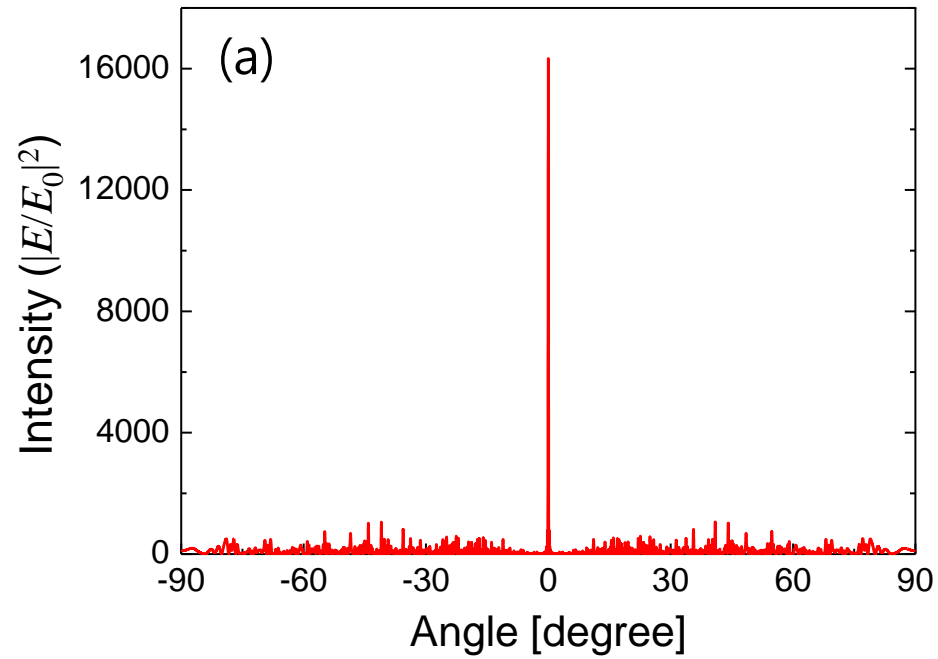
$$\alpha_n = \frac{2\pi}{\lambda} d_n \sin\theta \quad \beta = \frac{\pi}{\lambda} b \sin\theta$$

$\theta$  = angle between screen and centre of waveguides

$d_n$  = waveguide position

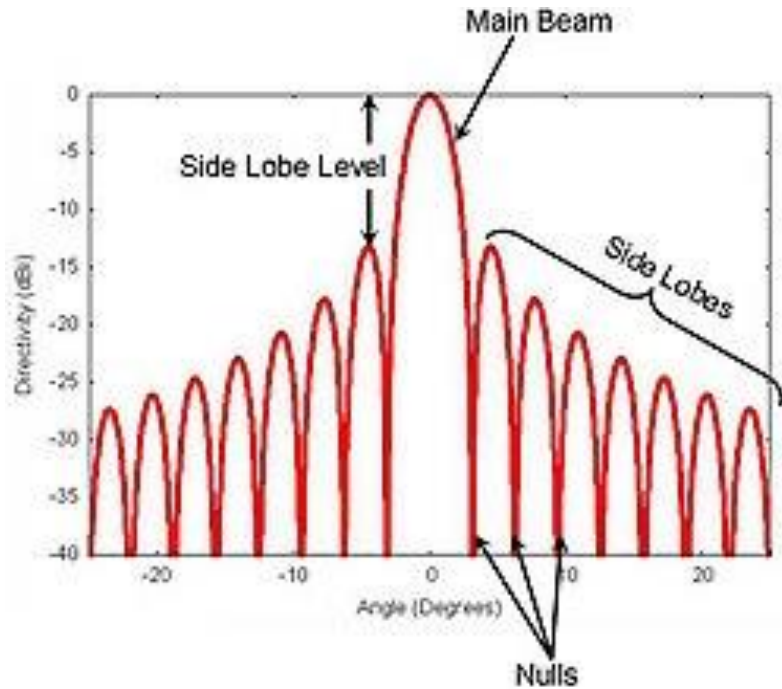
$$\phi_n = 2\pi \left( m - \frac{d_n}{\lambda} \sin\varphi \right)$$





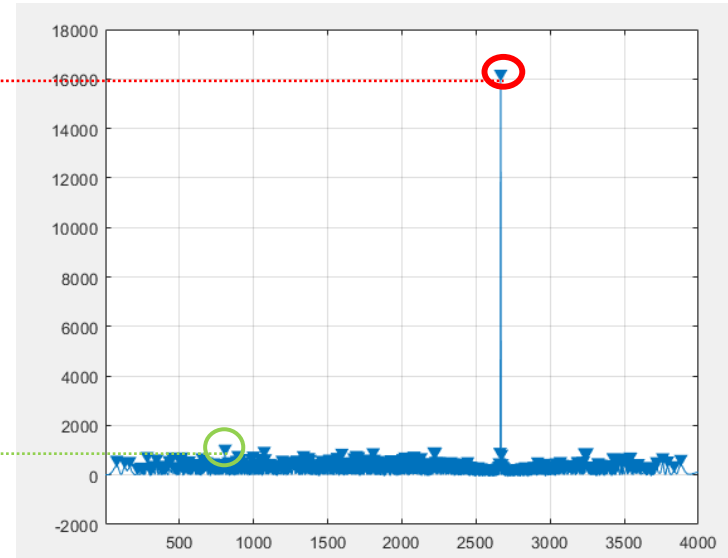
▲ 비주기적인 OPA 배치를 이용하여 (a)  $0^\circ$ , (b)  $30^\circ$ 에 조향된 원거리장

# Side lobe level (SLL)



$I_M$  Main beam intensity

$I_S$  Side lobe intensity



intensity

$$SLL [dB] = 10 \log_{10} \frac{I_S}{I_M}$$

SLL 값이 작을수록 main beam과 잡음 신호의 최대 세기 차이가 커지게 되며 빔의 품질이 개선





# Optimization Method

# Optimization problem



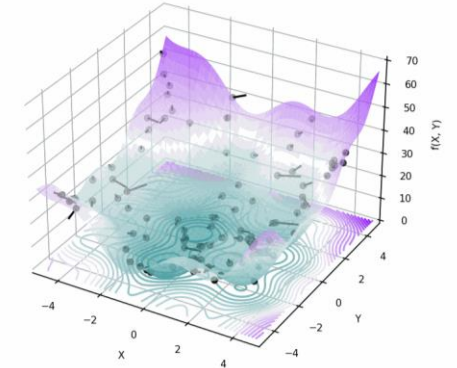
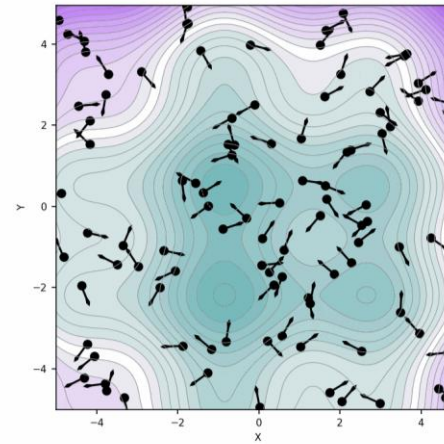
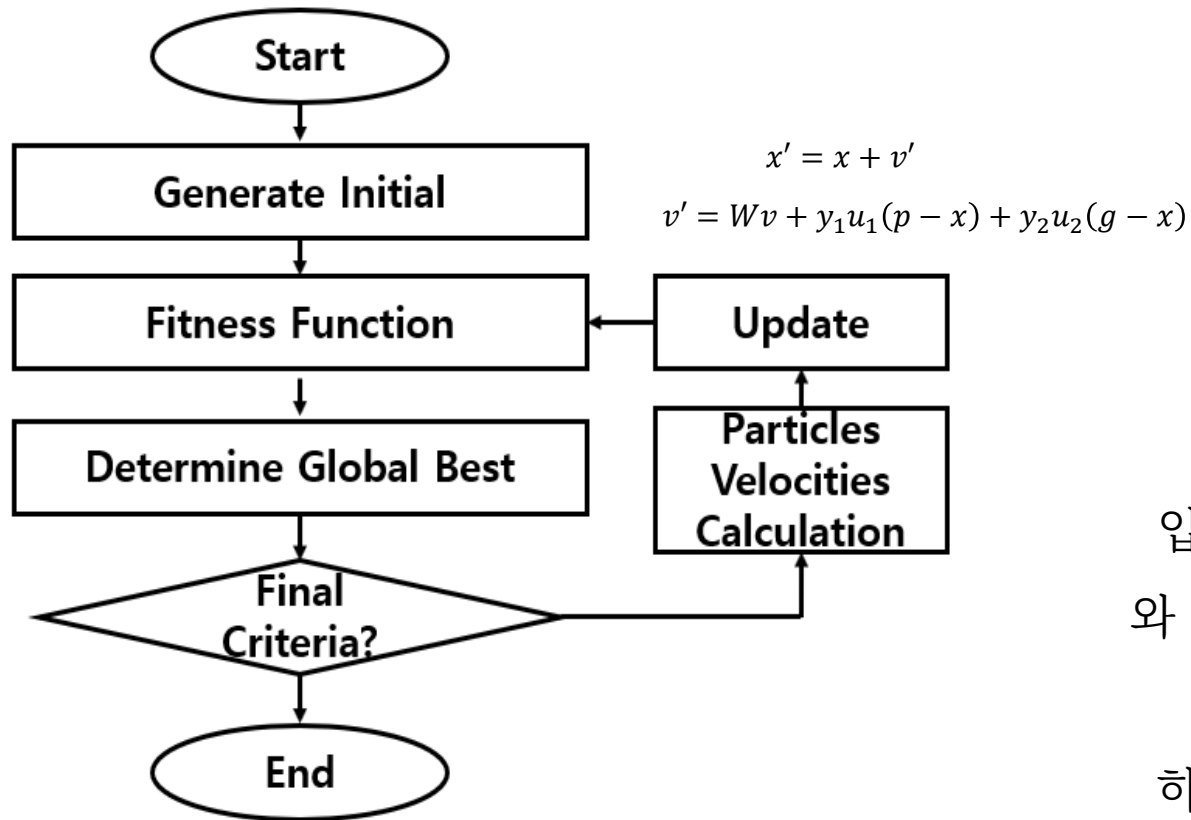
목적 함수 (Fitness function)  $y = f(x)$ 를 최적화하는 것이 알고리즘의 목표

->  $y$ 를 최적화(최소 또는 최대화)하는  $x$ 를 찾아내는 것

$$\underbrace{SLL(x_1, x_2, \dots, x_{128})}_{\text{Fitness function}} = 10 \log_{10} \frac{I_S}{I_M} \quad \underbrace{\quad}_{\text{Variables}} \quad d_n = \sum_{l=1}^n x_n$$

- ✓  $x_1, x_2, \dots, x_{128}$  의 평균이  $4\mu\text{m}$ , 표준편차가  $1\mu\text{m}$ 가 되도록 설정하여 최적화 문제 수행
- ✓ 알고리즘 별 비교를 위하여 계산 수행시간은 최대 1일로 통일
- ✓ 최적화 각도 ( $\psi$ )를 각  $0, 15, 30, 45, 60, 80^\circ$ 로 달리하여 비교

# Particle Swarm Optimization(PSO)

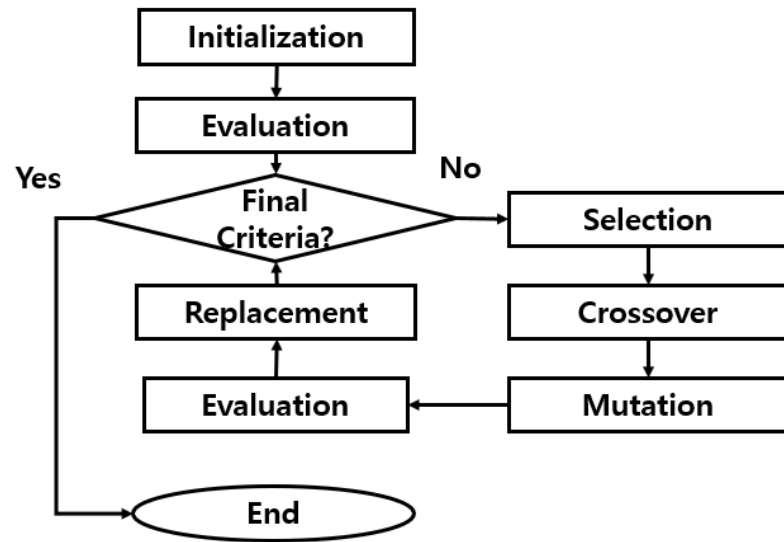


입자 군집 최적화는 해를 입자로 간주하여 입자들의 위치와 속도 등을 향상시켜가면서 문제를 최적화하는 알고리즘

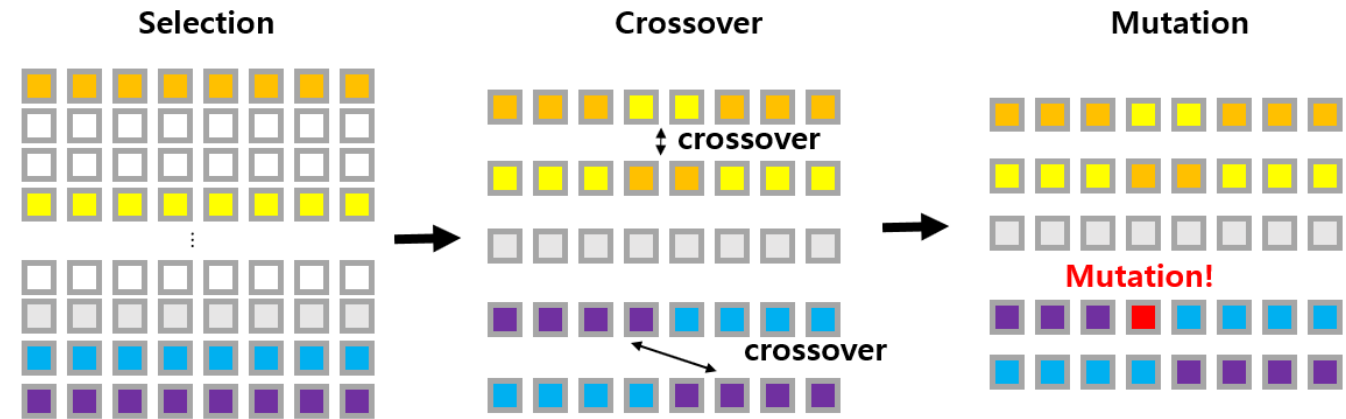
하나의 해가 가지고 있는 정보와 집단 전체의 정보를 동시에 사용하는 특징이 있어 입자나 군집이 가지는 가중치들을 통하여 최적해 탐색 성능 조절 가능

▲ 입자 군집 최적화 알고리즘 도식

# Genetic Algorithm(GA)



▲ 유전 알고리즘 도식



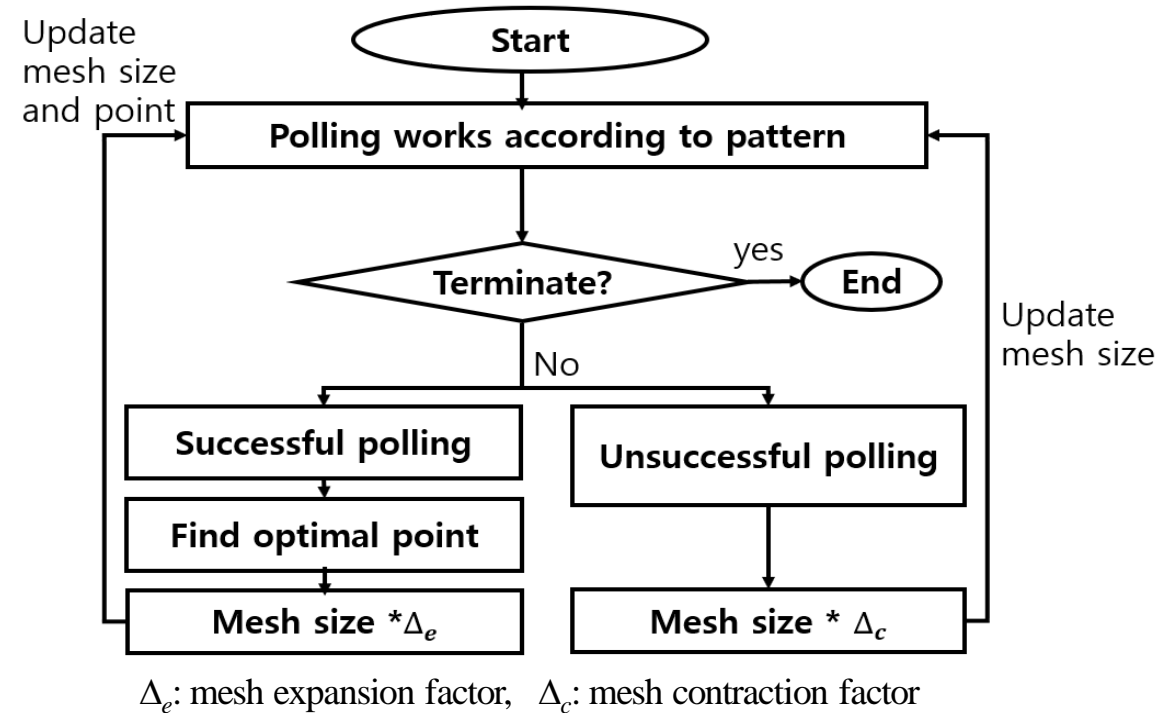
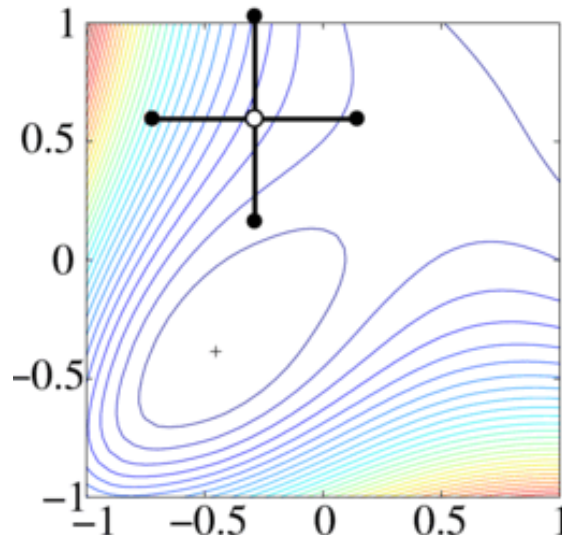
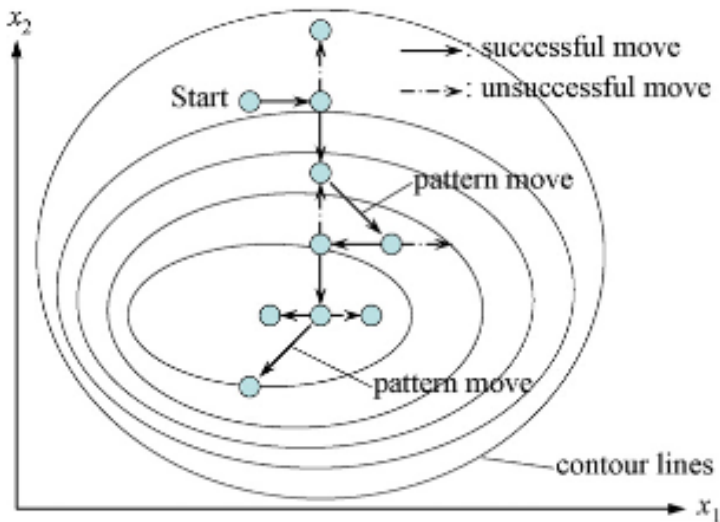
▲ 선택, 교차, 변이

유전 알고리즘은 다윈(Darwin)의 적자생존을 기본 개념으로 분석하는 알고리즘으로 진화를 모방  
세대마다 해의 적합도를 평가하고 선택, 교차, 변이를 통하여 새로운 조합의 해들이 평가되고 진화  
마찬가지로 선택 방법이나 교차, 변이 비율 등을 조절하여 최적화 성능 조절 가능

# Pattern Search Algorithm(PSA)

PSA는 수치적 최적화 방식으로 패턴 중심을 시작점으로 하고, 벡터들의 집합인 패턴(pattern)을 따라 조사(polling)를 진행

패턴의 길이를 메시 크기 (mesh size)라고 하며 패턴을 따라 해를 평가하고 메시 크기가 조절되어 목표 메시 크기 이하가 되면 종료되는 방식



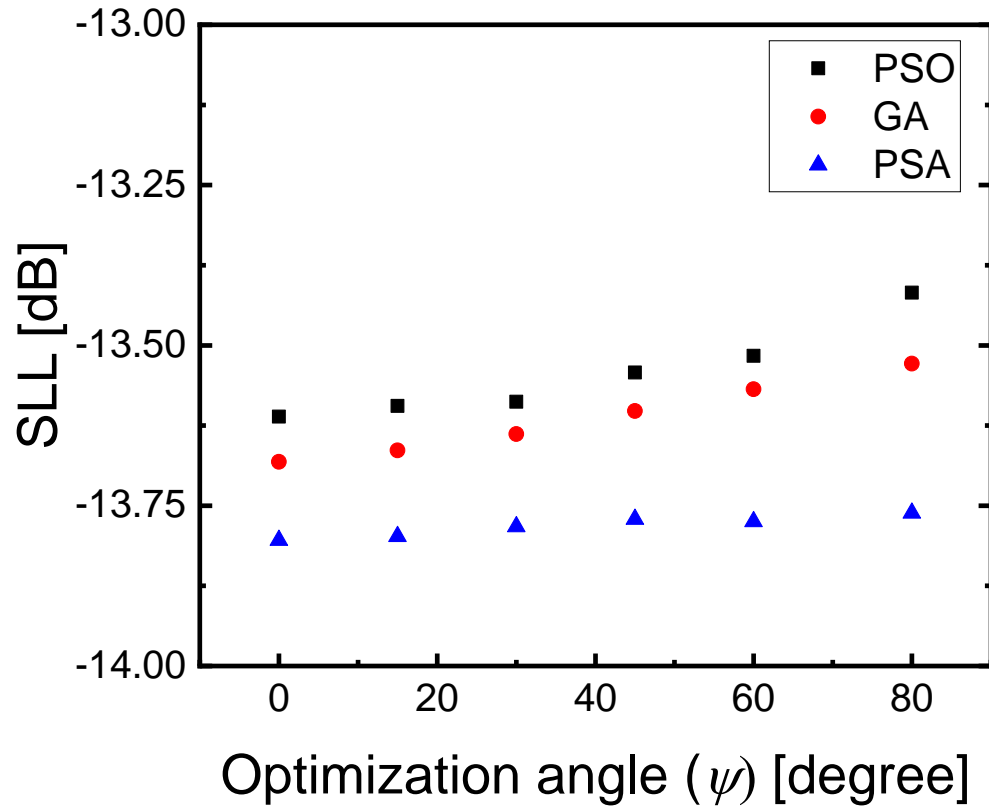
## ▲패턴 검색 알고리즘 도식

$2N$  method 를 사용하여  $[1\ 0\ \dots\ 0\ 0]$ ,  $[0\ 1\ \dots\ 0\ 0]$ , ...  $[0\ 0\ \dots\ 1\ 0]$ ,  $[0\ 0\ \dots\ 0\ 1]$ , ...  $[-1\ 0\ \dots\ 0\ 0]$ ,  $[0\ -1\ \dots\ 0\ 0]$ , ...  $[0\ 0\ \dots\ -1\ 0]$ ,  $[0\ 0\ \dots\ 0\ -1]$ 의 메시 패턴을 따라 조사



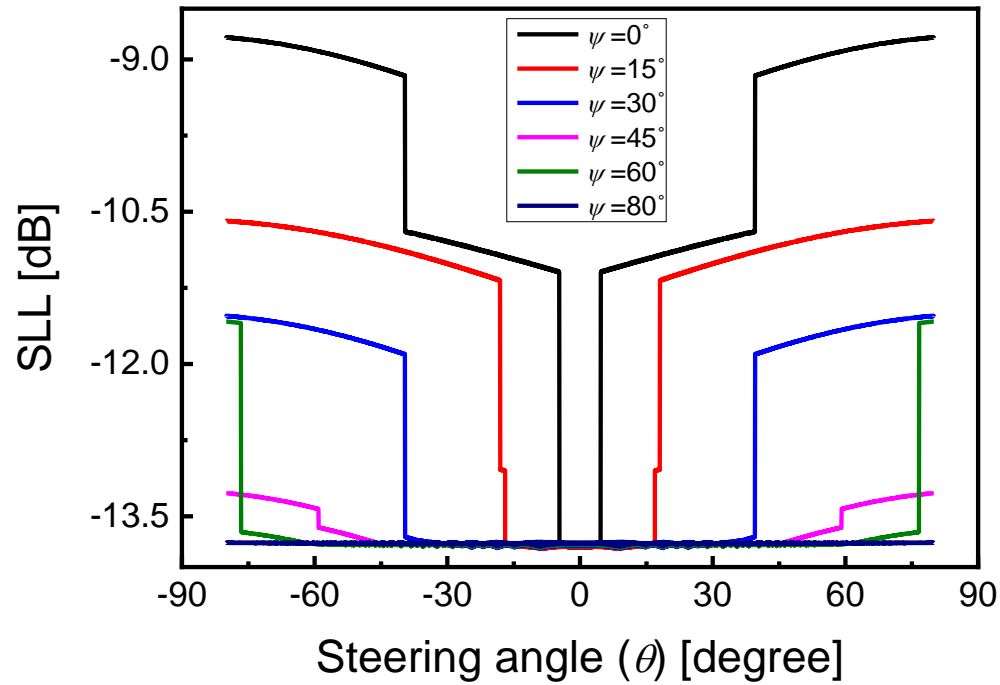
# Results

# 결과

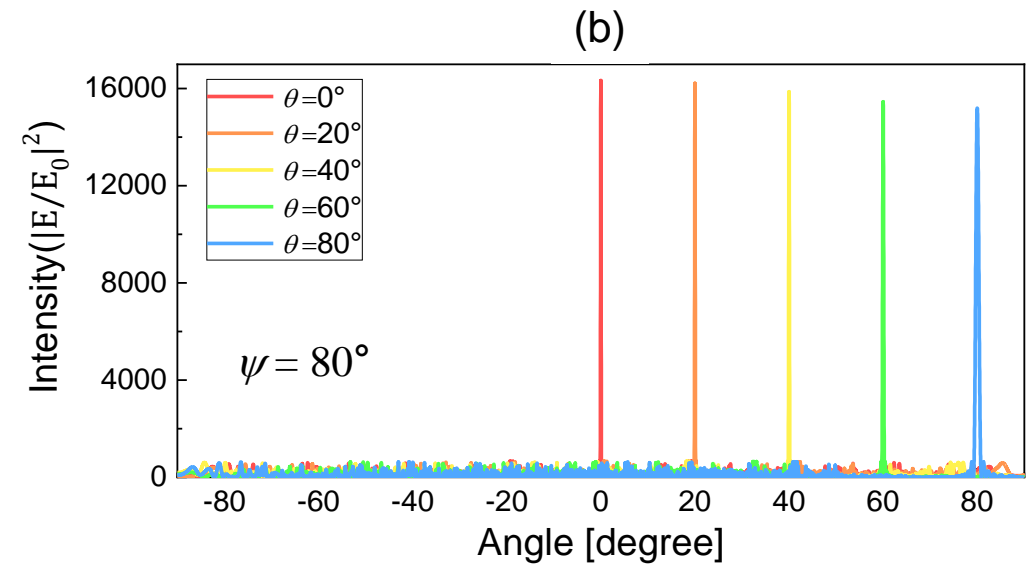
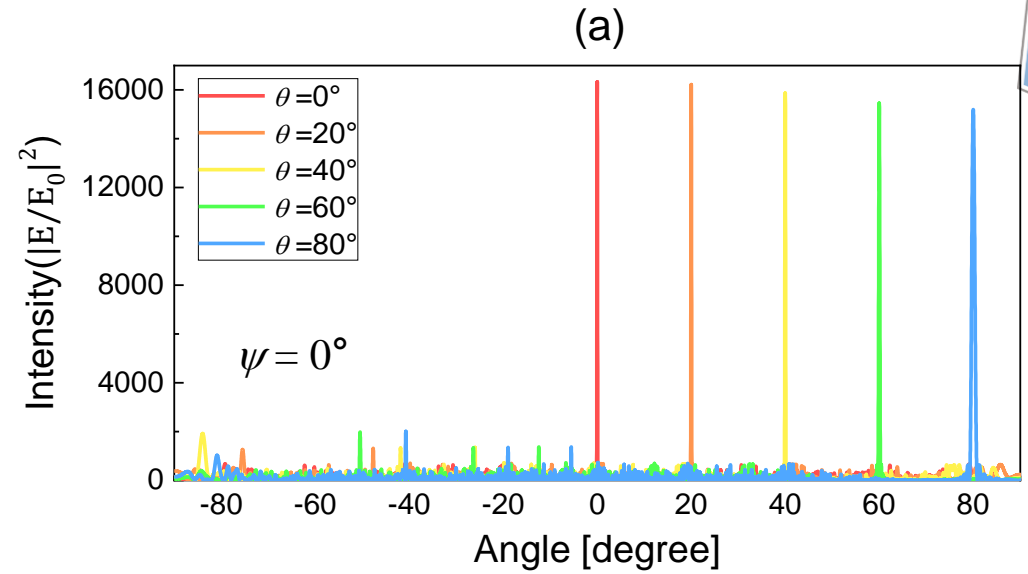


- 사용한 모든 최적화 각도에서  $PSA < GA < PSO$
- PSO와 PSA의 SLL 차이는 각도에 따라 0.19~0.34dB
- PSA를 사용한 배치가 신호 품질이 가장 우수

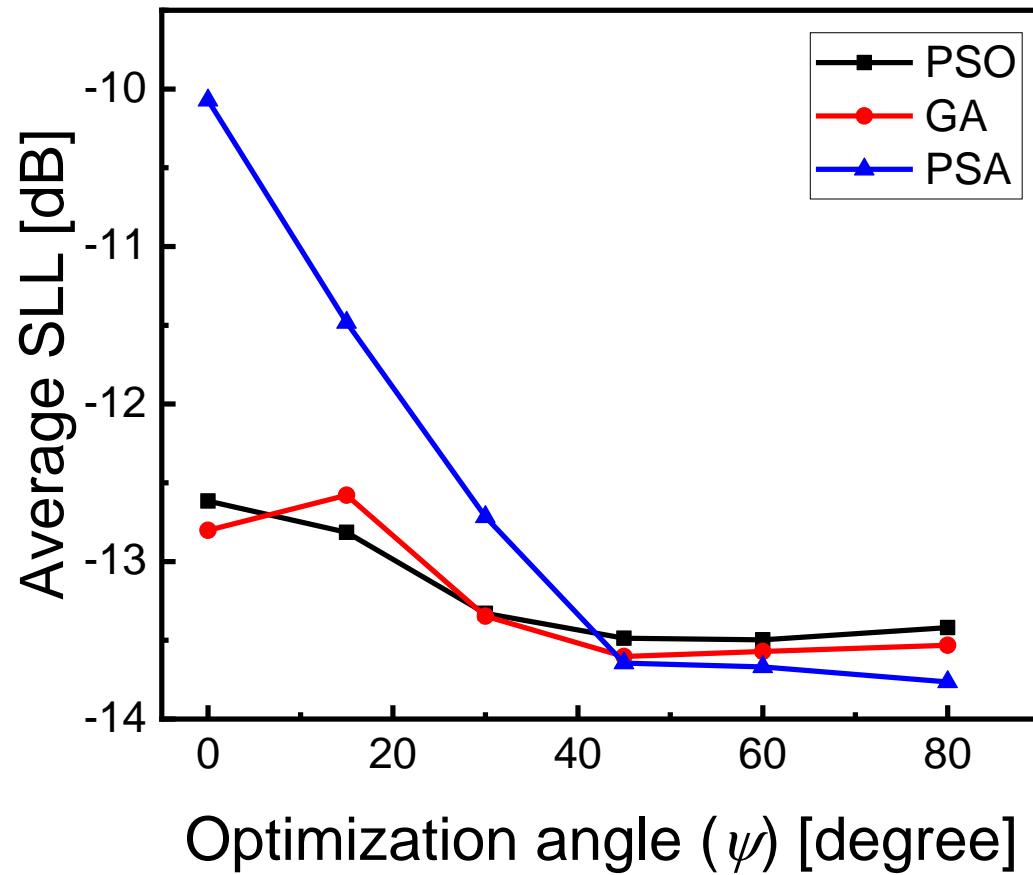
▲ 각 알고리즘 별 최적화 각도 ( $\psi$ )가 각각 0, 15, 30, 45, 60, 80° 일 때의 최소 SLL값



▲ 최적화 각도 ( $\psi$ ) 별로 PSA를 사용하여 얻은 최적화 배치를 사용한 각 조향 각도 ( $\theta$ )에서의 SLL값







- 3가지 알고리즘 모두 대부분의 조향 각도에서 SLL이 낮게 유지되어 평균 SLL도 -13 dB 이하의 값
- PSA를 이용하여 80도에서 최적화한 OPA의 경우 모든 조향 각도에서 평균한 SLL 값은 -13.8 dB로 가장 낮은 값을 가지므로 평균적으로 가장 우수한 빔 품질을 얻을 수 있음

▲ 최적화 배치 별 조향 각도 ( $\theta$ )에 따른 평균 SLL값

- ✓ 전반적으로 최적화를 수행한 각도( $\psi$ )에서의 SLL은 PSO와 GA는 서로 유사한 최적화 결과를 보인 반면, PSA는 이들과는 약간 차별적인 특성을 보이며 SLL 값을 보여 신호 품질이 가장 우수한 배치 결과
- ✓ 비주기적인 OPA에서 고품질의 신호를 얻기 위한 최적의 안테나 배열을 구하는데 있어서 PSO, GA, PSA의 최적화 알고리즘이 유용하게 활용될 수 있음을 보였으며, 특히 45도 이상의 큰 조향 각도에서 OPA를 최적화 하는 것이 조향 시 신호 품질 향상에 유리



# Q&A



감사합니다.