

# 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당

## Weapon-Target Assignment Using Genetic Algorithms

권경엽, 조중선\*

\*교신저자, 창원대학교 제어계측공학과

Kyoung-Youb Kwon, Joongseon Joh\*

\*Dept. of Control and Instrumentation Eng., Changwon National University

E-mail : jsjoh@sarim.changwon.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제를 제안하였다. 무장할당이란 적의 공격으로부터 방어대상물의 손상을 최소화하거나 적의 공격물 또는 표적의 격추 확률이 최대가 되도록 표적에 대한 방어무기의 적절한 할당을 목적으로 하는 최적화 문제로서, 본 논문에서는 무장할당 문제에 전역 최적화의 강점을 가진 유전자 알고리즘을 적용하였다. 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘 형태와 파라메타를 선정하는 방법을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해서 기존의 전통적인 최적화 기법과의 성능 비교를 수행한 결과, 제안된 방법이 우수함을 입증하였다.

### 1. 서론

무장할당(weapon-target assignment : WTA)이란 적의 공격으로부터 방어대상물의 손상을 최소화하거나 적의 공격물 또는 표적의 격추 확률이 최대가 되도록 표적에 대해 방어무기를 적절하게 할당하는 행위이다. 이는 다수의 탄도 미사 일이나 비행체가 방어대상을 파괴함을 목적으로 공격시, 이에 대응하여 최적의 요격기(interceptor)를 발사하는 계획을 의미한다. 즉, 공격해 오는 표적에 대하여 보유한 방어무기로서 가장 효과적인 방어망을 구축하기 위한 것으로, 수학적인 관점에서는 특정한 목적에 대해 전체 확률을 최적화하기 위한 비선형 구속조건이 결합된 최적화 문제이다 [1-5].

따라서, 본 논문에서는 전형적인 최적화 방법인 Exterior Penalty Function, Lagrange Multiplier, Hopfield Network을 이용한 무장할당의 문제점을 분석하여 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당의 우수성을 입증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 무장할당 문제에 대한 수학적인 모델을 제시하고, 3절에서는 기존의 최적화 방식을 통한 무장할당의 문제점 고찰과 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제 및 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘 파라메타를 선정하는 방법을 제시한다. 4절에서는 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제를 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 결과 제시 및 성능을 살펴보고, 5절에서 결론을 맺는다.

### 2. 무장할당 문제의 모델링

그림 1은 무장할당 문제가 요구되는 전투상황을 묘사한다. 이는 방어대상물에 잠재적으로 피해를 입힐 수 있는 위협 물체인 표적과 일정지역 내에 발사 가능한 interceptor들이 모여 있는 weapon farm으로 표현되며, 하나의 weapon farm 내에는 수 개의 동시발사가 가능한 interceptor가 존재한다.

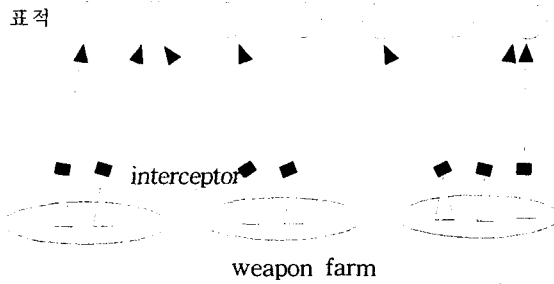


그림 1. 전투 상황에 따른 무장할당 묘사

이때 표적이  $T$ 개이고, weapon farm이  $W$ 개이며,  $j$ 번째 weapon farm에서  $i$ 번째 표적을 향해 interceptor가 발사되어 표적을 격추시킬 확률  $P_{ij} \in [0, 1]$ ,  $i \in T$ ,  $j \in W$ 가 존재하는 전투 상황을 가정했을 때의 무장할당 모델은 그림 2와 같이 표현된다. 이러한 무장할당의 변수들은 표적의 특성, 무장의 성능 및 전장 환경에 의해 변화하지만, 무장통제장치의 기술적인 분야에서 처리되므로 정량적인 양이 데이터베이스화되어 제공된다. 본 논문에서는 한 weapon farm내의 interceptor의 종류는 모두 동일한 것으로 가정한다.

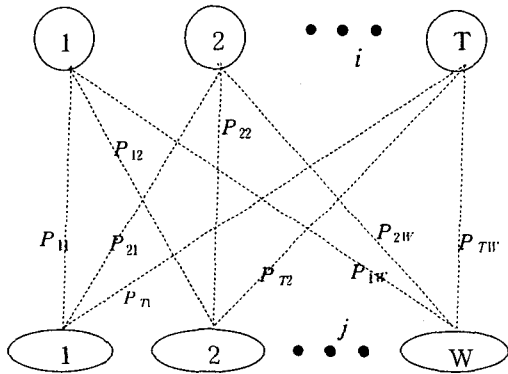


그림 2. 전투상황에 따른 무장할당 모델

본 논문에서의 무장할당 문제는 2가지의 상황으로 구분된다. 첫 번째는 하나의 표적에 여러 발의 interceptor를 동시에 발사할 수 있는 상황이며, 두 번째는 하나의 표적에 최대 한발의 interceptor를 발사할 수 있는 상황이다. 이러한 각각의 상황을 수학적 모델로 표현할 경우, 첫 번째 경우를 Nonlinear Integer Programming Problem(NP)으로, 두 번째 경우를 Linear Integer Programming Problem(LP)으로 정의할 수 있다 [3].

### 2.1 Nonlinear Integer Programming Problem

무장할당 문제에 있어서의 Nonlinear

Integer Programming Problem은 하나의 표적에 여러 발의 interceptor를 동시에 발사시 전체 표적에 대해서 격추 실패 확률을 최소화하는 문제로서, 이를 목적함수로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$(NP) \min_{x_{ij}} \sum_{i=1}^T \prod_{j=1}^W V_i (1 - P_{ij})^{x_{ij}} \quad (1)$$

여기서  $T$ 는 총 표적 수,  $W$ 는 weapon farm의 수,  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 weapon farm에서  $i$ 번째 표적으로 할당되는 interceptor의 수이며,  $P_{ij}$ 는  $j$ 번째 weapon farm에서  $i$ 번째 표적을 격추시킬 확률  $j$ 이고,  $V_i$ 는 표적의 속도, 거리, 특징을 고려한 통합적인 위협수준(threat density)을 나타낸다.

식 (1)에 대한 구속 조건은 하나의 weapon farm에서 발사 가능한 interceptor의 수를 최대  $M_j$ 개라고 가정할 때,  $j$ 번째 weapon farm에서 다수의 최대  $M_j$ 까지의 interceptor가 할당이 가능함을 나타내는 식 (2)와  $j$ 번째 weapon farm에서 1개의 표적에 대해 최대  $M_j$ 개까지의 interceptor가 할당이 가능함을 나타내는 식 (3)으로 이루어진다.

$$\sum_{i=1}^T x_{ij} \leq M_j, \quad j=1, 2, \dots, W \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1, \dots, M_j\} \quad (3)$$

### 2.2 Linear Integer Programming Problem

무장할당 문제에 있어서의 Linear Integer Programming Problem은 하나의 표적에 최대 한 발의 interceptor를 발사시 전체 표적에 대해서 격추 확률을 최대화하는 문제로서, 이를 목적함수로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$(LP) \max_{x_{ij}} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^W V_i P_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

식 (4)에 대한 구속조건은 아래의 식 (5), (6), (7)과 같이 3가지로 정의된다. 이때 식 (5)와 (6)의 구속조건은 식 (2)와 (3)과 동일하며,  $i$ 번째 표적에 임의의 weapon farm에서 발사되는 interceptor의 수가 0 혹은 1발만 가능함을 나타내는 식 (7)이 추가된다.

$$\sum_{i=1}^T x_{ij} \leq M_j, \quad j=1, 2, \dots, W \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1, \dots, M_j\}, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^W x_{ij} \leq 1, \quad i=1, 2, \dots, T. \quad (7)$$

전장상황에 따라 무장할당을 나타내는 2가지 목적함수인 식 (1)과 (4)는 최소화 문제와 최대화 문제에 구속조건이 결합된 최적화 문제가 된다. 이러한 Nonlinear Integer Programming Problem과 Linear Integer Programming Problem은 함수의 특성상 최적의 해가 구속조건들의 경계선상(boundary)에 존재하기 때문에 무장할당 문제는 구속조건 함수에 의존적인 함수가 된다.

### 3. 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제

#### 3.1 기존의 최적화 방법의 문제점 고찰

Exterior Penalty Function 방법은 페널티 계수(penalty coefficient)와 학습율(learning rate)의 선택이 전체 최적화 문제의 정확도와 효율성에 큰 영향을 끼쳤다.

Lagrange Multiplier 방법은 일반적으로 시스템이 원하는 근최적해로 수렴하는 것을 보장하지 못하므로 최적화 문제에서는 상대적으로 한정된 문제에서만 적용이 가능하였다.

Hopfield Network을 이용한 무장할당 문제에서는 weight와 bias값이 연관된 에너지 함수가 최소화되기 위해 완벽하게 결정되어야만 했다. 따라서, 학습율의 미세한 변화에도 출력값의 심한 변동으로 인해 지역해에 빠져 근최적해를 찾기 힘들었다.

#### 3.2 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당

##### 3.2.1 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘 설계

본 절에서는 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘의 형태 및 파라메타를 선정하는 방법을 제시하였다. 무장 할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘 형태는 시뮬레이션을 통해 결정한 후, 제시한 유전자 알고리즘의 파라메타들을 변화시키면서 가장 우수한 성능을 내면서, 수렴 시간이 짧은 파라메타를 선정하였다.

또한, 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제는 목적함수와 구속조건이 있는 최적화 문제로서, 구속 조건을 다루기 위해서 페널티 기법을 사용하였다.

무장 할당 문제를 해결하기 위한 적합한 유전자 알고리즘 형태는 표현형태, 선택연산자, 표본 공간, 그리고 유전 연산자 결정의 4가지로 구성하였다. 표현 형태의 결정에서 NP일 경우에는 정수 표현, LP일 경우에는 이진 표현을 사용하였다. 이는 무장할당 문제에 가장 적합한 표현 형태이며, 기존의 구속조건으로 묶여 있던 식이 간소화되어 NP와 LP의 경우 각각 식 (8)과 (9)로 표현된다.

$$\min_{x_{ij}} E = \sum_{i=1}^T \prod_{j=1}^W V_i (1 - P_{ij})^{x_{ij}} + k \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^W [\max(0, x_{ij} - M_j)]^2 \quad (8)$$

$$\max_{x_{ij}} E = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^W V_i P_{ij} x_{ij} - k \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^W [\max(0, x_{ij} - M_j)]^2 \quad (9)$$

유전자 알고리즘의 파라메타는 개체 집단, 교배율, 돌연변이율, 페널티 계수, 최대 세대수, 그리고 수렴 시간으로 구성하였다. 개체 집단에서 개체 길이는 NP와 LP에 대해서 weapon farm  $j$ 에서 표적  $i$ 로 할당되는 모든 경우의 수인  $W \times T$ 로 결정되었다.

### 4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 절에서는 3절에서 제시한 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘의 형태와 파라메타를 시뮬레이션을 통해서 결정하여, 이를 표 1과 표 2에 나타내었다.

전체적으로 NP와 LP에 적용된 유전자 알고리즘 형태는 표현 형태를 제외하고는 동일하게 적용되었다. 페널티 계수와 개체 길이, 교차율, 돌연변이율은 NP와 LP가 동일하였고, 개체집단 크기만 달랐다.

표 1. 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘의 형태

파라메타	NP	LP
표현 형태	정수 표현	이진 표현
선택 연산자	Top pop size	Top pop size
표본 공간	확장된 샘플링 공간	확장된 샘플링 공간
유전 연산자	전통적 연산자	전통적 연산자

표 2. 유전자 알고리즘에 사용된 최종 파라메타

파라메타	NP 값	LP 값
개체 집단	500	300
교차율	0.3	0.3
돌연변이율	0.0001	0.0001
패널티 계수	100	100
최대 세대수	100	100

그림 3은 설계된 유전자 알고리즘 형태와 파라메타를 최소화하는 문제인 NP에 적용하여 나타난 fitness 함수의 최종 결과로서, 근최적해에 잘 수렴함을 볼 수 있었다.

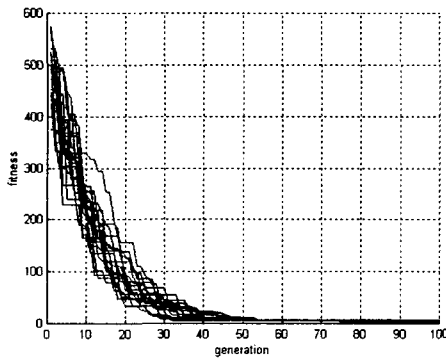


그림 3. NP 최종 파라메타를 이용한 시물레이션 (표적 10개, weapon farm 4개)

그림 4는 설계된 유전자 알고리즘 형태와 파라메타를 최대화하는 문제인 LP에 적용하여 나타난 fitness 함수 결과로서, NP와 마찬가지로 근최적해에 잘 수렴함을 볼 수 있었다.

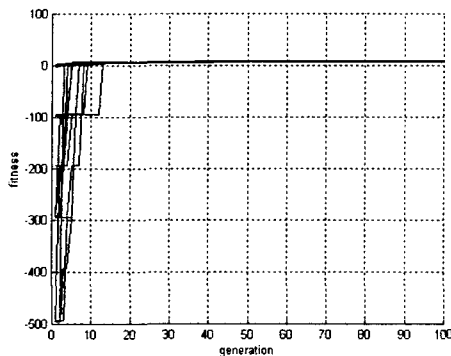


그림 4. LP 최종 파라메타를 이용한 시물레이션(표적 10개, weapon farm 4개)

이상으로, 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당에서는 여러 가지의 파라메타 중 개체 집단 크기가 교차율이나 돌연변이율, 패널티 파라메타보다 큰 영향을 미쳤으며, 따라서, 개체 집단 크기

의 적절한 선정으로 근최적해의 수렴이 보장되었다. 이로써, 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제가 LP와 NP의 모든 경우에 근최적해의 수렴성을 보여줌으로써, 유전자 알고리즘이 무장할당에 적합한 최적화 기법임을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 무장할당 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 기존의 최적화 기법들인 Exterior Penalty Function, Lagrange Multiplier, Hopfield Network 등은 적절한 해를 제시하지 못하거나, 지역해에 빠지기 쉬웠으며, 조그만 시스템의 변화에도 출력이 민감하게 반응하는 단점을 보임으로써 무장할당 문제에 적용하기에 부적합하였다. 반면, 유전자 알고리즘을 이용한 무장할당 문제에서는 근최적해의 수렴보장이 잘됨을 보였으며, 본 논문에서 제시한 무장할당 문제에 적합한 유전자 알고리즘의 형태와 설계 파라메타 값이 매우 강인한 것으로 확인되었다. 그러므로 무장할당 문제를 위한 가장 우수한 최적화 방안은 유전자 알고리즘이라고 판단된다.

## 후기

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터 지원에 의한 것입니다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Read, W.T. "Tactics and Deployment for Anti-Missile Defense", Bell Telephone Laboratories, Whippany, N.J.
- [2] Dr. David A. Castanon, "Development of advanced WTA algorithms for parallel processing", Commonwealth Of Australia, October, 1989
- [3] Geyer, H.K. "Parallelization of ALPHATECH's Auction Algorithm", Argonne National Laboratory, 1987.
- [4] Payne, D.G. and J.C. Horvath, "Battle Management on the Hypercube: Concurrent Engagement Management", March, 1988.
- [5] Balas, E., D. Miller, J.Pekny and P.Toth, "A Parallel Shorts Path Algorithm for the Assignment Problem", Management Science Research Report MSRR 552, Camegie Mellon University, Pittsburgh, PA, April, 1989.