The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 19, No. 2, pp.221-227, Apr. 30, 2019. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.2.221
JIIBC 2019-2-30

무기 목표물 배정 문제의 최대 치사인원 선택 알고리즘

Maximum Kill Selection Algorithm for Weapon Target Assignment (WTA) Problem

이상운*

Sang-Un, Lee*

요 약 무기 목표물 배정 문제는 지금까지 다항시간 알고리즘이 제안되지 않는 NP-hard 문제로 알려져 왔다. 그럼에도 불구하고, 본 문제에 대해 가능한 모든 경우수를 검증하는 Brute-Force 법이나 분기한정법으로 최적 해를 구하거나 유전자 알고리즘, 입자군 최적화 등의 인공지능 방법으로 근사 해를 구하는 방법들이 제안되고 있다. 본 논문에서는 단지 무기의 총 대수 k, 무기 종류 수 m, 목표물 개수 n에 대해 $O(mn)$을 k회 수행하는 $O(kmn)$ 다항시간으로 최적 해를 구하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 Brute-Force 법에 비해 수행횟수를 최소화 시킬 뿐 아니라 최적해도 구하는 장점을 갖고 있다.

Abstract It has long been known that weapon target assignment (WTA) problem is NP-hard. Nonetheless, an exact solution can be found using Brute-Force or branch-and bound method which utilize approximation. Many heuristic algorithms, genetic algorithm particle swarm optimization, etc., have been proposed which provide near-optimal solutions in polynomial time. This paper suggests polynomial time algorithm that can be obtain the optimal solution of WTA problem for the number of total weapons k, the number of weapon types m, and the number of targets n. This algorithm performs k times for $O(mn)$ so the algorithm complexity is $O(kmn)$. The proposed algorithm can be minimize the number of trials than brute-force method and can be obtain the optimal solution.

Key Words : Weapon Target Assignment, Kill (Destroying) Probability, Survival Probability, Optimization

Ⅰ. 서 론

아군과 적군이 교전을 하는 상황에서, 아군은 활용 가능한 무기 (weapon, W)의 종류는 $W_i, (i=1,2,\cdots,m)$를 보유하고 있고, 각 무기 종류별 가용수량은 x_i라 하자. 또한, 적 진지 (도시 또는 무기)를 파괴할 대상인 목표물 (target, T)은 $T_j, (j=1,2,\cdots,n)$이다. 각 목표물의 인원수는 V_j로 상이한 값을 갖고 있다. 이 경우 아군의 총 무기 개수를 $k=\sum_{i=1}^{m} x_i$라 하자. 임의의 무기가 임의의 목표물에 배정되는 경우 해당 무기가 해당 목표물을 파괴 또는 치사율 (probability of destroying or killed)을 p_{ij}라 하며, 하나의 목표물에 동일한 무기를 여러 대 배정될 수 있다. 이 경우 목표물 j에 배정된 동일 무기 i의 개수를 x_{i_j}라 하자.

상기와 같은 경우에 대해 무기 목표물 배정 문제는 식

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 : 2019년 1월 29일, 수정완료 : 2019년 3월 29일
게재확정일자 : 2019년 4월 5일

Received: 29 January, 2019 / Revised: 29 March, 2019 / Accepted: 5 April, 2019
*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr
Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University, Korea

(1)을 최소화시키는 비선형계획법으로 정의된다.[1]

$$S = {}_{minimize}\sum_{j=1}^{n}(V_j\prod_{i=1}^{m}(1-p_{ij}^{x_{ij}}) \quad (1)$$

$$\text{or } K = {}_{maximize}\sum_{j=1}^{n}(V_j\prod_{i=1}^{m}p_{ij}^{x_{ij}})$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^{n}x_{ij} \le W_i \text{ for } i=1,2,\cdots,m)$$

$$x_{ij} \ge 0 \text{ for } i=1,2,\cdots,m \text{ and } j=1,2,\cdots,n$$

여기서 S는 생존인원, K는 치사인원, x_{ij}는 다수의 무기 종류 i를 목표물 j에 배정한 상태를 의미하며, $q_{ij}=(1-p_{ij})$로 생존확률 (probability of survival)이다. 첫 번째 제약조건은 각 종류의 무기 배정량은 해당 무기 종류의 총 가용 수량을 초과할 수 없음을 의미하며, 두 번째 제약조건은 정수 배정 제약사항이다. 결국, 무기 목표물 배정 문제는 예상되는 생존 인원을 최소화시키는 것이 목표함수이며, 이는 예상되는 피해를 최대화 시키는 목표와 동일하다.

WTA 문제는 군사작전을 수행하는 실무분야에서 뿐 아니라 전쟁 게임 분야에서 활용이 가능한 문제로 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻기 위한 경제적 군 운용에 있어 필수적으로 해결하야 할 문제이다.

WTA 문제는 지금까지 다항시간 알고리즘이 제안되지 않는 NP-완전 (non-deterministic polynomial time complete) 문제로 알려져 왔다. 그럼에도 불구하고, 가능한 모든 경우수를 검증하는 Brute-Force법이나 분기한정법 (branch-and- bound)으로 최적 해를 구하거나 유전자 알고리즘 (genetic algorithm, GA), 입자군 최적화 (particle swarm optimization, PSO)등의 휴리스틱한 인공지능 방법으로 근사 해를 구하는 방법들이 제안되고 있다.[1-11]

기존의 방법은 생존율 $q_{ij}=(1-p_{ij})$을 적용하는데 반해, 본 논문은 $m\times n$의 주어진 파괴율 p_{ij}를 활용하며 $m\times n$을 k회 수행하여 최적 해를 얻는 복잡도가 다항시간인 $O(kmn)$ 알고리즘을 제안한다.

2장에서는 주어진 WTA 사례를 대상으로 Brute-Force 방법으로 해를 구하는 방법을 고찰한다. 3장에서는 알고리즘 수행 복잡도가 $O(kmn)$인 다항시간 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 특정 사례를 대상으로 제안된 알고리즘의 적용성을 검증한다.

II. 관련연구와 문제점

WTA 문제는 기본적인 할당 (또는 배정)문제 (assignment problem)를 일반화한 문제이다. 기본적인 할당 문제는 m개의 작업 $J_i, i=1,2,\cdots,m$이 있고, n대의 기계 $M_j, j=1,2,\cdots,n$의 기계가 있는 경우 각 작업을 특정 기계에서 작업하는 시간 t_{ij}는 모두 상이한 경우 총 작업소요시간이 최소가 되도록 하나의 작업을 하나의 기계에 배정하는 문제이다. 기본적인 할당 문제에서 모든 기계가 동일한 성능을 가지고 있고 각 작업의 수행시간이 다른 경우 동종처리기계 (identical processing machine) 할당 문제라 한다.

만약, WTA에서 $\forall_j, V_j=1$이고, $\forall_i, k_i=1$이라면 이는 기본적인 배정문제가 된다. 그러나 일반적으로, WTA는 무기의 종류가 다르고, 각 무기의 가용 개수가 차이가 있으며, 목표물의 인원수도 차이가 발생하여 배정문제 중에서 가장 복잡한 최적화 문제라 할 수 있다.

무기를 어느 한 목표물에 $x_{ij}(x_{ij}=1,2,\cdots)$로 1발, 2발,…을 계속하여 투하하면 해당 목표물의 치사율은 $p_{ij}\times p_{ij}\times\cdots=p_{ij}^{x_{ij}}$의 지수형태를 취한다.

표 1의 WTA_1사례를 대상으로 해를 구하여 보자. WTA_1은 Wikipedia[1]에서 인용되었다. 표 1은 아군의 전력은 탱크(tank) 5대, 항공기(aircraft) 2대와 전함(sea vessel) 1대를 보유하고 있으며, 적군의 목표물은 3곳으로 각 목표물에는 인원수(단위 천명)가 차이가 있다. 또한, 특정 무기로 완전 무장하고 전투에 임하였을 때 해당 목표물의 생존율 $q_{ij}=(1-p_{ij})$을 보여주고 있다. 이 문제에 대해 최대의 인원을 사망하도록 하여 최소 생존 인원수를 얻도록 아군의 총 8대의 무기를 각각 어떤 목표물에 몇 개의 무기들을 배정할 것인가를 결정하는 것이 목표이다. $(W_i,T_j)^{x_{ij}}$로 표기하면 Wikipedia[1]는 $(W_1,T_1)^3$, $(W_1,T_2)^2$, $(W_2,T_2)^1$, $(W_2,T_3)^1$와 $(W_3,T_3)^1$로 생존 인원수는 10.275×10^3명의 해답을 제시하였다.

표 1. WTA_1 문제의 치사율 p_{ij}
Table 1. Killed probability p_{ij} of WTA_1 Problem

무기 종류	목표물 (인원수 : $\times 10^3$)		
	T_1 ($V_1=5$)	T_2 ($V_2=10$)	T_3 ($V_3=20$)
W_1: 탱크 (5대)	0.30	0.20	0.05
W_2: 항공기 (2대)	0.10	0.60	0.50
W_3: 전함 (1대)	0.40	0.50	0.40

WTA_1 문제에 대해 Brute-Force 방법을 적용하면 표 2와 같이 생존율 $q_{ij}^{x_{ij}}=(1-p_{ij}^{x_{ij}})$에 대한 3×3 행렬을 구하고, 이 행렬에서 x_{ij}를 배정하는 가능한 경우수의 조합은 다음과 같이 324가지이다.

표 2. WTA_1 문제의 생존율
Table 2. Probability of Survival for WTA_1 Problem

생존율 $(1-p_{ij})^{x_{ij}}$		Target #1	Target #2	Target #3
무기 종류	x_{ij}	5	10	20
Tank	1	**0.7000**	**0.8000**	**0.9500**
	2	0.4900	0.6400	0.9025
	3	0.3430	0.5120	0.8574
	4	0.2401	0.4096	0.8145
	5	0.1681	0.3277	0.7738
Aircraft	1	**0.9000**	**0.4000**	**0.5000**
	2	0.8100	0.1600	0.2500
Sea Vessel	1	**0.6000**	**0.5000**	**0.6000**

가능한 총 경우 수 x_{ij}: $18\times 6\times 3=18^2=324$ 가지
- 탱크 (5대) : 18가지
  5-0-0, 0-5-0, 0-0-5 (3가지)
  4-1-0, 4-0-1, 1-4-0, 0-4-1, 0-1-4, 1-0-4 (6가지)
  3-1-1, 1-3-1, 1-1-3 (3가지)
  3-2-0, 3-0-2, 2-3-0, 0-3-2, 0-2-3, 2-0-3 (6가지)
- 항공기 (2대) : 6가지
  2-0-0, 0-2-0, 0-0-2 (3가지)
  1-1-0, 1-0-1, 0-1-1 (3가지)
- 전함 (1대) : 3가지
  1-0-0, 0-1-0, 0-0-1 (3가지)

따라서 Brute-Force 방법은 $324\times O(mn)$을 수행하여 총 수행횟수는 $324\times(3\times 3)=2{,}916$회이다. Brute-Force 방법은 무기 종류 W_i, 무기별 가용수량 x_i과 목표물의 개수 T_j가 증가하면 무기별 가능한 배정 경우수가 기하급수적으로 증가하여 다항시간으로 해를 구하기 어려워진다.

따라서 Lloyd와 Witsenhausen[12]는 WTA 문제를 다항시간으로 풀 수 있는 방법이 알려져 있지 않은 NP-완전 문제의 부류로 정의하였다. 3장에서는 이러한 NP-완전인 WTA 문제에 대해 k를 가용 총 무기수라 하면 $O(mnk)$의 다항시간으로 해를 찾아가는 규칙을 가진 휴리스틱 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. 최대 치사인원 배정-최적화 알고리즘

본 장에서는 $K={}_{max}\sum_{j=1}^{n}(V_j\prod_{i=1}^{m}(1-q_{ij}^{x_{ij}}))$의 최대 치사인원수를 구하기 위해 첫 번째로 W_i 무기로 T_j의 개별적(distinct) 치사율 $K_{ij}^d=V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$의 최대치를 선택하여 초기 실현 가능 해(initial feasible solution)를 구하고, 다음으로 무기들의 상호작용(correlation)에 따른 치사율 $K_j^c=V_j\prod_{i=1}^{m}(1-q_{ij}^{x_{ij}})$을 보다 증가시킬 수 있도록 x_{ij}를 교환하는 최적화 규칙을 적용하여 최적 해(optimal solution)를 구하였다.

여기서 초기 실현 가능 해는 다음과 같이 구한다. $m\times n$ X 행렬에 $\forall_{ij}, x_{ij}=1$을 배정한다. 여기서 각 W_i에 배정된 무기 수 $s_i=n$이 된다. 이에 따른 $m\times n$ K 행렬의 $s_i-(a_i-n)>0$인 W_i 행의 셀들을 대상으로 $K_{ij}^d=V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$들 중에서 ${}_{\max}K_{ij}^d$인 (W_i, T_j)셀을 선택하고, 이 셀의 $x_{ij}=x_{ij}+1$로 증가시킨다. 이 과정을 $s_i-(a_i-n)=0$이 될 때까지 $k=\Sigma a_i$회 반복하면서 ${}_{\max}K_{ij}^d$를 선정한다. 이 방법을 최대 치사인원 배정-최적화(maximum kill assignment-optimization, MKAO) 알고리즘이라 하자. MKAO는 다음과 같이 수행된다.

[초기 실현 가능 해 결정] /* 수행 복잡도 : $O(mnk)$ */

Step 1. 무기 종류 수 m과 목표물 수 n에 대해 $m\times n$ 배정 행렬 X의 x_{ij}는 $\forall_{ij}, x_{ij}=1$로 설정한다.

Step 2. $m\times n$ 치사인원 행렬 K^s의 $K_{ij}^d=V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$에 대해 $a_i-s_i-n<0$인 W_i 행들을 대

상으로 $_{\max}K_{ij}^d$ 셀인 (W_i, T_j)에 대해 $x_{ij} \leftarrow x_{ij}+1$로 설정한다. 이 과정을 $\forall_i, a_i - s_i - n = 0$가 되는 $k = \Sigma a_i$회 반복 수행한다.

Step 3. $m \times n$ 배정 행렬 X의 $\forall_{ij}, x_{ij} \leftarrow x_{ij} - 1$로 설정하여 초기 실현 가능 해를 결정한다.

[최적 해 결정] /* 수행 복잡도 : $O(mn)$ */

Step 4. 열(목표물)들에 대해, 무기들의 상호작용에 따른 치사율 $K_{ij}^d = V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$을 보다 증가시킬 수 있도록 x_{ij}를 교환한다.

표 1의 WTA_1 데이터에 제안된 MKAO 알고리즘을 적용하면 그림 1과 같이 수행된다. 즉 제안된 알고리즘은 $O(mnk)$복잡도로 총 인원수 35,000명 중에서 사망 인원수 25,085와 생존 인원수 9,915명을 구하여 알려진 해의 생존인원수 10.275명을 9,915로 개선하는 결과를 얻는다. 즉, 360명의 추가적인 치사 결과를 보였다.

Weapon	$q_{ij}=(1-p_{ij})$			a_i
	T1	T2	T3	
W1	0.70	0.80	0.95	5
W2	0.90	0.40	0.50	2
W3	0.60	0.50	0.60	1
V_j	5,000	10,000	20,000	35,000.00

Weapon	x_{ij}			a_i	s_i-n	s_i-n-a_i
	T1	T2	T3			
W1	**1**	**1**	**1**	5	0	−5
W2	**1**	**1**	**1**	2	0	−2
W3	**1**	**1**	**1**	1	0	−1

	$K_{ij}^d = V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$		
Weapon	T1	T2	T3
W1	1,500	2,000	1,000
W2	500	6,000	**10,000**
W3	2,000	5,000	8,000

(a) Initial assignment

선택 순서	$_{\max}K_{ij}^d$		미 선택 수량
1	$(W_2, T_3)^1$=10,000	$x_{23}=1\rightarrow2$	$a_2=2-1=1$
2	$(W_3, T_3)^1$=8,000	$x_{33}=1\rightarrow2$	$a_3=1-1=0$
3	$(W_2, T_2)^1$=6,000	$x_{22}=1\rightarrow2$	$a_2=1-1=0$
4	$(W_1, T_2)^1$=2,000	$x_{12}=1\rightarrow2$	$a_1=5-1=4$
5	$(W_1, T_2)^2$=1,600	$x_{12}=2\rightarrow3$	$a_1=4-1=3$
6	$(W_1, T_1)^1$=1,500	$x_{11}=1\rightarrow2$	$a_1=3-1=2$
7	$(W_1, T_2)^3$=1,280	$x_{12}=3\rightarrow4$	$a_1=2-1=1$
8	$(W_1, T_1)^2$ = 1,050	$x_{11}=2\rightarrow3$	$a_1=1-1=0$

Weapon	$q_{ij}=(1-p_{ij})$			a_i
	T1	T2	T3	
W1	0.70	0.80	0.95	5
W2	0.90	0.40	0.50	2
W3	0.60	0.50	0.60	1
V_j	5,000	10,000	20,000	35,000.00

Weapon	x_{ij}			a_i
	T1	T2	T3	
W1	**2**	**3**	0	5
W2	0	**1**	**1**	2
W3	0	0	**1**	1

Weapon	Damage			Total
	T1	T2	T3	
W1	0.49	0.51	1.00	
W2	1.00	0.40	0.50	
W3	1.00	1.00	0.60	
Product	0.49	0.20	0.30	
K	2,550.00	7,952.00	14,000.00	**24,502.00**
V_j	5,000	10,000	20,000	
S	2,450.00	2,048.00	6,000.00	**10,498.00**

(b) Initial feasible solution

Weapon	x_{ij}			a_i
	T1	T2	T3	
W1	2	3	0	5
W2	0	**1→0**	**1→2**	2
W3	0	**0→1**	**1→0**	1

Weapon	x_{ij}			a_i
	T1	T2	T3	
W1	**2→3**	**3→2**	0	5
W2	0	0	2	2
W3	0	1	0	1

(c) Increasing $K_{ij}^d = V_j(1-q_{ij}^{x_{ij}})$ optimization

Weapon	$q_{ij}=(1-p_{ij})$			a_i
	T1	T2	T3	
W1	0.70	0.80	0.95	5
W2	0.90	0.40	0.50	2
W3	0.60	0.50	0.60	1
V_j	5,000	1,0000	2,0000	35,000.00

Weapon	x_{ij}			a_i
	T1	T2	T3	
W1	**3**	**2**	0	5
W2	0	0	**2**	2
W3	0	**1**	0	1

Weapon	Damage			Total
	T1	T2	T3	
W1	0.34	0.51	1.00	
W2	1.00	1.00	0.25	
W3	1.00	0.50	1.00	
Product	0.34	0.26	0.25	
K	3,285.00	7,440.00	15,000.00	**25,725.00**
V_j	5,000	10,000	2,0000	
S	1,715.00	2,560.00	5,000.00	**9,275.00**

(d) Optimal solution

무기 배정 : $(W_1, T_1)^3$, $(W_1, T_2)^2$, $(W_2, T_3)^2$, $(W_3, T_2)^1$

생존 인원수 : $9{,}275$명

사망 인원수 : $35000 - 9{,}275 = 25{,}725$명

그림 1. WTA_1 문제의 MKAO 알고리즘

Fig. 1. MKAO Algorithm for WTA_1 Problem

Ⅳ. 알고리즘 적용 및 분석

본 장에서는 표 3의 WTA_2와 WTA_3 데이터를 대상으로 제안된 MKAO 알고리즘이 해를 찾을 수 있는지 검

증해본다.

WTA_2는 Lee[8]에서 인용되었으며, 무기 종류는 3종, 각 무기는 $x_1=2, x_2=3, x_3=2$로 총 7개의 무기를 갖고 있다. 또한 목표물은 3 지점으로 각 지점의 인원수는 2×10^3명이며, 각 무기의 각 목표물에 대한 치사율 p_{ij}를 나타내고 있다. Lee[8]는 WTA_2 문제에 대해 향상된 방대한 규모의 이웃 탐색법 (enhanced very large scale neighborhood search, EVLSN) 알고리즘을 적용하였다. 적용된 방법은 WTA의 실현 가능한 해 (feasible solution)를 랜덤하게 배정하여 결정하고, 사이클의 다중 교환 방법을 적용하여 $(W_1,T_1)^1$, $(W_1,T_3)^1$, $(W_2,T_2)^2$, $(W_2,T_3)^1$, $(W_3,T_1)^1$, $(W_3,T_2)^1$로 배정하였다.

WTA_3는 Zhu et al.[10]에서 인용되었으며, 무기 종류는 4종, $x_1=2, x_2=1, x_3=2, x_4=1$로 6대의 무기를 보유하고 있으며, 목표물은 6개이다. Zhu et al.[10]는 WTA_3에 대해 하이브리드 HPSO (hybrid PSO) 알고리즘을 제안하였으며, PSO와 HPSO 알고리즘을 50회 반복 수행하여 적합도를 검증한 결과 PSO는 0.6694, HPSO는 0,7024로 HPSO 알고리즘이 PSO에 비해 좋은 결과를 얻음을 보였다. 그러나 무기-목표물 배정 결과는 제시하지 않고 있다.

표 3. 실험 데이터
Table 3. Experimental data

(a) WTA_2 Problem

치사율 (p_{ij})		목표물		
		T_1	T_2	T_3
무기 종류	x_i	$V_1=2.0$	$V_2=2.0$	$V_3=2.0$
W_1	2	0.9000	0.3000	0.8000
W_2	3	0.2000	0.6000	0.5000
W_3	2	0.6000	0.4000	0.1000

(b) WTA_3 Problem

치사율 (p_{ij})		목표물					
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
무기 종류	x_i	$V_1=1$	$V_2=1$	$V_3=1$	$V_4=1$	$V_5=1$	$V_6=1$
W_1	2	0.5	0.7	0.7	0.8	0.4	0.8
W_2	1	0.4	0.8	0.5	0.7	0.6	0.9
W_3	2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5
W_4	1	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7	0.9

WTA_2 문제에 제안된 MKAO 알고리즘을 수행한 결과는 그림 2에, WTA_3 문제에 대해서는 그림 3에 제시되어 있다. WTA_2 문제에 대해서는 MKAO 알고리즘이 EVLSN 알고리즘과 동일한 결과를 얻었다. 반면에, WTA_3 문제에 대해서는 MKAO 알고리즘이 HPSO의 적합도 0.7024를 적합도 0.7667로 향상시켜 생존 인원수를 보다 최소화시켰다.

Weapon	$q_{ij}=(1-p_{ij})$			a_i
	T1	T2	T3	
W1	0.10	0.70	0.20	2
W2	0.80	0.40	0.50	3
W3	0.40	0.60	0.90	2
V_j	2	2	2	6.00

Weapon	x_ij			Total
	T1	T2	T3	
W1	**1**	0	**1**	2
W2	0	**2**	**1**	3
W3	**1**	**1**	0	2
Total	2	3	2	7

Weapon	Damage			Total
	T1	T2	T3	
W1	0.10	1.00	0.20	
W2	1.00	0.16	0.50	
W3	0.40	0.60	1.00	
Product	0.04	0.10	0.10	
K	1.92	1.81	1.80	**5.528**
V_j	2	2	2	
S	0.08	0.19	0.20	**0.472**

무기 배정 : $(W_1,T_1)^1$, $(W_1,T_3)^1$, $(W_2,T_2)^2$, $(W_2,T_3)^1$, $(W_3,T_1)^1$, $(W_3,T_2)^1$

생존 인원수 : 0.472×10^3명

사망 인원수 : $6.0-0.472=5.528\times10^3$명

그림 2. WTA_2 문제의 최대 치사인원수 선택 알고리즘
Fig. 2. MKAO Algorithm for WTA_2 Problem

Weapon	$q_{ij}=(1-p_{ij})$						a_i
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
W1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.6	0.2	2
W2	0.6	0.2	0.5	0.3	0.4	0.1	1
W3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	2
W4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	1
V_j	1	1	1	1	1	1	6

Weapon	x_{ij}						Total
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
W1				**1**		**1**	2
W2		**1**					1
W3	**1**		**1**				2
W4					**1**		1
Total	1	1	1	1	1	1	6

Weapon	Damage						Total
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
W1	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	0.20	
W2	1.00	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	
W3	0.20	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	
W4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	
Product	0.20	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	
K	0.80	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	**4.60**
V_j	1	1	1	1	1	1	
S	0.20	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	**1.40**

무기 배정 : $(W_1,T_4)^1$, $(W_1,T_6)^1$, $(W_2,T_2)^1$, $(W_3,T_1)^1$, $(W_3,T_3)^1$, $(W_4,T_5)^1$

생존 인원수 : 1.4×10^3명 (적합도 : 0.2333)

사망 인원수 : $6.0-1.4=4.6\times10^3$명 (적합도 : 0.7667)

그림 3. WTA_3 문제의 최대 치사인원수 선택 알고리즘
Fig. 3. MKAO Algorithm for WTA_3 Problem

V. 결론 및 추후 연구과제

무기-목표물 배정 문제는 아직까지 정확한 해를 찾는 다항시간 알고리즘이 존재하지 않아 근사 해를 찾는 휴리스틱한 인공지능 기법들이 널리 적용되고 있다. 인공지능 기법의 단점은 초기치를 랜덤하게 설정하기 때문에 매 시행시마다 다른 결과를 얻으며, 다수의 시행 횟수 중에서 최소값을 선택하는 방법으로, 검증이 불가능한 단점을 갖고 있다.

본 논문은 치사 인원수 $m \times n$ 행렬을 총 무기 대수 k회 수행하면서 단지 최대 치사인원수를 갖는 무기-목표물 쌍을 배정하는 방식을 적용하여 최적 해를 찾을 수 있는 수행 복잡도 $O(kmn)$의 다항시간 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘을 3개의 실험 데이터에 적용한 결과 모든 데이터에 대해 최적 해를 찾을 수 있음을 보였다.

본 논문에서는 지상의 고정된 목표물에 한정된 알고리즘을 대상으로 하였다. 그러나 공중과 해상의 움직이는 목표물 또는 목표물 개수가 랜덤하게 설정된 경우에 대해서는 동적인 적응 알고리즘(adaptive algorithm)이 필수적으로 요구될 수 있다. 따라서 추후 이러한 변화되는 실전 환경에 적합한 알고리즘으로 점차 확대 적용할 수 있는 방법을 연구할 계획이다.

References

[1] Wikipedia, "Weapon Target Assignment Problem," http://en.wikipedia.org/wiki/Weapon_target_assignment_problem, Wikimedia Foundation Inc., 2019.

[2] R. K. Ahuja, A. Kumar, K. C. Jha, and J. B. Orlin, "Exact and Heuristic Algorithms for the Weapon Target Assignment Problem," Operations Research, Vol. 55, No. 6, pp. 1136-1146, Nov, 2007, doi:10.1287/opre.1070.0440

[3] Z. J. Lee, S. F. Su, and C. Y. Lee, "Efficiently Solving General Weapon-Target Assignment Problem by Genetic Algorithms With Greedy Eugenics," IEEE Trans. on Systems, Management, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 33, No. 1, pp.113-121, Feb, 2003, doi:10.1109/TSMCB.2003.808174

[4] R. A. Murphey, "An Approximate Algorithm For A Weapon Target Assignment Stochastic Program," Approximation and Complexity in Numerical Optimization: Continuous and Discrete Problems, Vol. 42, pp. 1-16, 1999, doi:10.1007/978-1-4757-3145-3_24

[5] M. Chan, "A Genetic Algorithm for the Weapon to Target Assignment Problem," Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference (SCSC '09), pp. 61-65, Jul. 2009.

[6] F. Johansson and G. Falkman, "Real-time Allocation of Firing Units To Hostile Targets," Journal of Advances in Information Fusion, Vol. 6, No. 2, pp. 187-199, Dec, 2011.

[7] M. Ni, Z. Yu, F. Ma, and X. Wu, "A Lagrange Relaxation Method for Solving Weapon-Target Assignment Problem," Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2011, pp. 1-10, Hindawi Publishing Corporation, 2011, doi:10.1155/2011/873292

[8] M. Z. Lee, "Constrained Weapon-Target Assignment: Enhanced Very Large Scale Neighborhood Search Algorithm," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol. 40, No. 1, pp. 198-204, Jan, 2010, doi:10.1109/TSMCA. 2009.2030163

[9] L. Wang, H. Wang, and Z. Qiu, "An Improved Artificial Immune Algorithm for Solving Weapon-Target Assignment Problem," Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, pp. 8622-8625, Jun, 2008, doi:10.1109/WCICA.2008.4594284

[10] B. Zhu, F. X. Zou, and J. H. Wei, "A Novel Approach to Solving Weapon-Target Assignment Problem Based on Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm," International Conference on Electronics & Mechanical Engineering and Information Technology, pp. 1385-1387, Aug, 2011, doi:10.1109/EMEIT.2011.6023352

[11] Z. J. Lee, S. F. Su, and C. Y. Lee, "A Genetic

Algorithm with Domain Knowledge for Weapon-Target Assignment Problems," Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 25, No. 3, pp. 287-295, 2002, doi:/10.1080/02533839.2002.9670703

[12] S. P. Lloyd and H. S. Witsenhausen, "Weapons Allocation is NP-complete," In Proceedings of the 1986 Summer Conference on Simulation, Reno, NV, pp. 1054-1058, 1986.

저자 소개

이 상 운(정회원)

• 1987년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
• 1997년: 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
• 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
• 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
• 2004년 ~ 2007.2 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
• 2007.3 ~ 2015.3 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
• 2015.4 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
• 관심분야 :소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 최적화 알고리즘
• e-mail : sulee@gwnu.ac.kr