

Efficient Satellite Mission Scheduling Problem Using Particle Swarm Optimization

Youngin Lee · Kangwhan Lee · Inwoo Seo · Sung-Seok Ko[†]

Department of Industrial Engineering, Konkuk University

입자 군집 최적화 방법론을 이용한 효율적 위성임무 일정 수립에 관한 연구

이영인 · 이강환 · 서인우 · 고성석[†]

건국대학교 산업공학과

We consider a satellite mission scheduling problem, which is a promising problem in recent satellite industry. This problem has various considerations such as customer importance, due date, limited capacity of energy and memory, distance of the location of each mission, etc. Also we consider the objective of each satellite such as general purpose satellite, strategic mission and commercial satellite. And this problem can be modelled as a general knapsack problem, which is famous NP-hard problem, if the objective is defined as to maximize the total mission score performed. To solve this kind of problem, heuristic algorithm such as taboo and genetic algorithm are applied and their performance are acceptable in some extent. To propose more efficient algorithm than previous research, we applied a particle swarm optimization algorithm, which is the most promising method in optimization problem recently in this research.

Owing to limitation of current study in obtaining real information and several assumptions, we generated 200 satellite missions with required information for each mission. Based on generated information, we compared the results by our approach algorithm with those of CPLEX. This comparison shows that our proposed approach give us almost accurate results as just less than 3% error rate, and computation time is just a little to be applied to real problem. Also this algorithm has enough scalability by innate characteristic of PSO. We also applied it to mission scheduling problem of various class of satellite. The results are quite reasonable enough to conclude that our proposed algorithm may work in satellite mission scheduling problem.

Keywords : Particle Swarm Optimization, Scheduling, Satellite Mission, Knapsack Problem

1. 서 론

위성 산업이 가장 강력한 성장 동력으로 부상하게 된 것은 그리 오래되지 않았으나 그 성장 잠재력으로 인해 최근 급속한 발전을 이루고 있다. 특히 다목적 실용위성,

저궤도 위성 산업 등 고부가가치 창출이 가능한 상업 위성 시장이 주목 받기 시작하면서 상업적인 운영 기술과 이를 활용한 관련 산업들이 빠르게 성장하였다[2, 9].

초기의 위성들은 간단하고 반복적인 임무들이 대부분을 차지하고 있었지만, 최근에는 고해상도 위성들의 출현과 기능의 향상으로 다양한 모드에서 영상을 획득할 수 있을 뿐 아니라 수행 임무의 다양성이 증가하였다. 하지만, 그 증가한 다양성만큼 임무를 수행하기 위해 필요한 조건과 제약사항 또한 증가하게 되었다[8]. 이러한 상

황 변화에 따라 위성 임무의 효율적인 운용을 위한 연구에 필요성은 커지고 있다.

위성 임무 스케줄링은 위성에게 할당되는 작업들과 그에 따른 제한 사항 및 여러 변수들을 고려하여 서로 간의 충돌을 회피함과 동시에 주어진 위성의 자원들을 최대한 활용하여 최적의 작업 시간을 설계하는 것을 목적으로 한다[7, 8]. 그러나 위성임무의 스케줄링은 일반적인 스케줄링에 관한 변수 이외에도 위성만의 특별한 환경을 고려한 다양한 변수들과 제약조건이 필요하다. 우주 공간 상의 각종 이벤트, 사용자의 요구 사항, 위성의 자원 등에 대한 총체적인 고려가 필요하다. 또한 위성의 운영 목적과 활용 방안에 따라 공익을 목표로 하는 위성과 이윤을 추구하는 상업적 목적의 위성, 재난 혹은 전시와 같은 비상 상황 발생을 대비한 위성 등이 구별되며, 이러한 위성들은 각 운영 목적에 따라 우선적으로 고려해야 하는 변수와 임무 기준에 차이가 존재하며, 이러한 사항에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.

위성 임무 스케줄링은 국내 및 국외에서 활발히 연구되어 타부 탐색(Tabu Search), 유전 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)과 같은 휴리스틱 알고리즘을 활용한 연구[10]가 이루어졌으나 연산 속도 등에 한계를 지나고 있었다.

본 논문에서는 이러한 단점의 보완을 위하여 생체 군집 이론에 바탕을 둔 입자 군집 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO)를 이용하여 인공위성 임무 스케줄링 알고리즘을 설계하고자 한다. 최적화 알고리즘 중 하나인 PSO 알고리즘은 다양한 분야의 시스템 모델링에 새로운 방법론적 이슈로써 등장하고 있으며[6] 다양한 문제에서 유전 알고리즘과 비교하였을 때 더 간결하고 수렴이 빠른 장점이 있다고 알려져 있다[3, 11].

이 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 이 논문을 이해하기 위한 기본적인 배경 지식과 문제를 정의하고 그 결과들을 설명한다. 제 3장에서는 문제 해결을 위한 PSO 알고리즘 기반 위성 임무 스케줄링 알고리즘을 제시한다. 제 4장에서는 제시된 알고리즘에 대한 효율성의 검증은 위해서 몇 가지 가정 상황에서 시뮬레이션을 실시하고, 그 결과를 CPLEX 모델과 비교하여 유효성을 검증한 후, 검증된 PSO 알고리즘을 운영 목적이 다른 위성에 적용하여, 각 운영 목적에 적합한 임무 스케줄링이 제시되는지 여부를 검증하였다. 제 5장에서는 이 논문의 결론을 제시한다.

2. 위성 임무 스케줄링

2.1 위성 임무 스케줄링 업무 흐름

위성의 관제와 운영을 담당하는 기상관제국의 위성 임무

계획 수립에 대한 업무는 이벤트 예측, 임무 스케줄링, 명령 계획으로 나눌 수 있다. 이벤트 예측은 위성의 궤도 예측, 사용자의 요구, 임무 수행에 따라 자세 및 궤도 수정 등의 정보를 종합하고 이를 분석하여 임무 계획에 주요 요소로 작성하는 이벤트에 대한 정보를 생성하는 단계라 할 수 있다.

임무 스케줄링 단계에서는 전 단계에서 생성된 정보를 기반으로 미리 정의한 규칙 및 방법론에 기반하여 각각 임무 및 작업 그리고 고려해야 할 제한사항 등으로 나누고, 이 정보를 토대로 기 구축된 스케줄링 알고리즘에 따라 최적의 스케줄링 해를 도출하여, 수행 할 임무와 그에 따른 작업을 시간 순서에 따라 정리하는 단계이다.

명령 계획 단계는 기 도출된 임무 스케줄링의 결과에 따라 위성이 각종 작업들을 수행할 수 있도록 위성이 수행 가능한 명령으로 변환하는 기능 수행하는 단계라 할 수 있다.

본 연구는 주로 두 번째 단계의 위성 임무의 최적화된 스케줄링을 수립하는 내용을 연구하고 있으며, 주로 영상 촬영 임무를 주 대상으로 하고 있다.

2.2 위성 임무 스케줄링 주요 변수 및 조건

본 연구의 목적은 최적의 위성 임무 스케줄링 알고리즘을 제안하고, 실제 정보를 기반으로 임의로 설정된 시나리오에 적용해 봄으로써 적합성을 검증하는데 있으며, 따라서 본 연구는 백승우 외[1]의 연구에서 제안한 8가지 변수 및 조건 중에서 촬영 면적을 제외하고 거리와 촬영 각에 대한 조건을 추가하여 전체 변수 및 고려해야 할 조건을 구성하였다.

- 고객 중요도(Customers Importance) : 고객을 각각 민간, 공공 기관, 국방 관련 등 세 종류로 분류하여 시나리오 구성 시 각각 1, 3, 5점을 부여하여 고객 중요도에 따라 위성 임무 계획 시 차등 고려 할 수 있도록 하였다.
- 임무 완료 기한(Due date) : 임무 완료 기한이 적게 남은 임무일수록 선택 받을 확률이 높아지도록 설계 하였으며 1~10의 범위에서 구성하였다.
- 보상(Compensation) : 해당 임무를 수행했을 시 대가, 즉 임무의 수익성을 의미하며 값이 클수록 임무가 선택 받을 확률이 높으며, 1~20의 범위에서 구성하였다.
- 임무의 긴급성(Emergency) : 임무의 긴급성은 자연재해, 재난, 전시 상황과 같이 긴급 상황에 놓여 있는 경우 1점을 부과하며, 그렇지 않은 경우 0점을 부과하여 임무 선택 시 긴급한 임무를 먼저 수행하도록 설계 하였다.

- 에너지(Energy) : 에너지는 위성이 임무를 수행할 때 소모되는 전력량으로서 임무마다 각기 다른 크기의 전력량을 소비하여 최대 전력량을 초과하면 추가적으로 임무를 수행할 수 없다. 에너지 소모량은 임무 별로 1~50의 범위에서 구성하였다.
- 메모리(Memory) : 메모리는 에너지와 같이 위성이 임무를 수행할 때마다 각기 다른 양이 소요되며, 그 총합이 가용 메모리 총량을 초과 할 수 없으며, 50~500 사이의 범위에서 구성하였다.
- 운량(Cloud) : 위성이 촬영 임무를 수행하는데 있어 운량은 중요한 제약 조건이다, 본 논문에서는 운량을 0~100의 범위 내에서 설정하였으므로, 운량이 70 이상일 경우 임무 수행이 제한적이다.
- 거리(Distance) : 이전 임무 지역에서 다음 임무 지역까지 떨어진 거리는 숫자 1, 2, 3, 4, 5의 상대적인 값을 가진다.
- 촬영 각(Angle) : 위성은 궤도를 따라 운항하며 고객이 요구한 지점에서 촬영을 수행하게 되는데 이때 촬영은 반드시 고객이 요구한 촬영 각 하에서 수행되어야 한다. 위성의 촬영 각은 좌우 30°만큼 움직일 수 있으며 거리 1을 가는 동안 5°만큼 촬영 각을 움직일 수 있다.

2.3 위성 운영 목적 별 변수 가중치 산정

위성의 운영 목적에 따라 일반위성, 상용위성, 전술위성으로 나눌 수 있으며, 종류에 따라 운영 목적이 상이한 부분이 존재한다.

일반 위성은 공익과 상업적 수익을 복합적으로 고려하지만 상업적 수익보다는 공익을 우선으로 하고 있다. 따라서 긴급 상황과 관련된 임무에 대한 중요성을 고려해야 한다.

상용위성은 국가가 운영하는 일반 위성과는 다르게, 공익추구가 아닌 상업적 수익을 최대화 하는데 그 운영의 목적을 두고 있다. 따라서 고객 중요도나 임무의 긴급성과는 무관하게 보상과 임무완료 기한을 중점적으로 고려해야 한다.

전술 위성은 정부나 군의 요구와 같은 공익을 중시하고 재난 지역, 경찰과 같은 임무 수행을 가장 중요한 운영 목적이라 할 수 있다. 따라서 임무의 긴급성이 가장 고려해야 할 요소인 반면 보상은 크게 중요치 않음을 알 수 있다.

이와 같이 위성 임무 스케줄링은 각 위성의 목적에 따라 변수에 적용할 가중치(Weight)를 차별화할 필요가 있으며, 이를 반영하기 위해서 <Table 1>는 기존 연구[4]의

자료를 기반으로 작성하였으며 상황에 따라 가중치의 값은 수정될 수 있다.

<Table 1> Weight by Classes of Satellite

	General		Commercial		Strategic	
	Weight	Score	Weight	Score	Weight	Score
Importance (w_1)	2	0.4	0	0	1.5	0.3
Deadline (w_2)	2.5	0.25	5	0.5	2	0.2
Compensation (w_3)	1	0.05	4.5	0.225	0	0
Emergency (w_4)	4	4	0	0	6	6
Energy (w_5)	0.1	0.00026	0.1	0.00026	0.1	0.00026
Memory (w_6)	0.4	0.00007	0.4	0.00007	0.4	0.00007
Total	10		10		10	

가중치는 상대적인 중요도를 의미를 나타내고 있으며 <Table 1>에서는 편의상 전체 총 합 10으로 하였다. 일반 위성의 경우는 업무의 긴급성이 가장 중요한 고려 사항이며 마감 시한, 고객의 중요도 순으로 중요도를 평가되고 있다. 상업용의 경우는 업무의 보상이 가장 중요한 요인이며, 그 다음은 마감 시한이라 할 수 있다.

그리고 <Table 1>에 Score는 가중치를 각 항목의 최대치로 나눈 값으로 원 점수를 이용하여 각 임무의 점수를 산출할 때 사용된다.

2.4 위성 임무 스케줄링 문제 정의

본 연구에서 고려하고 있는 임무 스케줄링 문제는 먼저 고객으로부터 요청받은 임무를 위성의 지나가는 위치를 고려하여 순서대로 정렬할 후 고객 요구사항을 고려하면서 할당된 임무 수행을 하기 위해서는 다양한 제약 사항들이 있으며, 이들과 위성의 가용성을 종합적으로 고려하여 짧은 시간 내 성과를 최대화 할 수 있는 임무들을 선택하는 문제라 할 수 있다. 따라서 이 문제의 형태는 대표적인 조합 최적화 문제인 배낭 문제[5](Knapsack Problem)와 동일한 구조를 가지고 있다.

이 문제의 의사결정 변수는 x_j 는 j 번째 위성임무의 수행여부를 나타내는 이진변수로 정의하고 수행하면 1, 수행하지 않으면 0의 값을 가진다고 하면 총 요청 받은 N개의 위성임무에 대한 스케줄링 문제는 다음과 같이 표현될 수 있다.

Maximize

$$\sum_{i=1}^N mp_i x_i \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^N e_i x_i \leq Energy_{max} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N m_i x_i \leq Memory_{max} \quad (3)$$

$$c_i x_i \leq Cloud_{max} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$|a_j x_j - a_i x_i| \leq 5 \sum_{k=i+1}^j d_k + M(1-x_i) + M(1-x_j) \quad (5)$$

for $1 \leq i < j \leq N$

위 식에서 사용된 기호는 다음과 같은 의미를 가지고 있다.

- mp_i : i번째 임무의 임무수행 점수(Mission Point)
- e_i : i번째 임무의 에너지 소비량
- m_i : i번째 임무의 메모리 소비량
- c_i : i번째 임무를 수행할 장소의 운량
- a_i : i번째 임무를 요청한 고객의 요구 촬영각
- d_i : i-1번째 임무지역과 i번째 임무지역간의 거리
- M : 임의의 큰 수

본 연구의 목적식 (1)은 수행될 임무의 임무수행 점수들의 총합을 최대화하는 것을 나타내고 있다. 여기서 각 임무의 임무수행 점수는 <Table 1>에서 정의된 고려 사항들의 점수와 각 임무의 각 고려 사항의 점수의 곱들의 합으로 이루어져 있으며 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$mp_i = w_1 p_1 + w_2 (11 - p_2) + w_3 p_4 + w_5 (Energy_m - e_i) + w_6 (Memory_{max} - m_i)$$

여기서 w_i 는 <Table 1>에서 제시된 위성의 목적에 따른 고려 사항의 점수들을 의미하며 <Table 1>에 소개된 i번째 변수의 점수를 의미한다. 즉 w_2 는 일반위성의 임무완료기한의 점수를 의미하며 0.25의 값을 가진다. 그리고 p_i 는 각 임무의 변수에 대한 점수를 의미하며 차례대로 고객의 중요도, 임무완료기한, 보상, 임무의 긴급성의 실제 점수를 의미하고 있다. 따라서 각 임무의 임무수행 점수는 10을 초과할 수 없도록 되어 있다.

제약 조건 식 (2)는 전체 에너지 소비량이 최대 전력량을 초과할 수 없음을 나타내고 있으며, 제약 조건 식 (3)은 전체 수행될 임무들의 총 메모리 용량이 시스템에서 제공되는 가용 메모리 총량을 초과하지 못함을 의미하고 있다.

그리고 각 임무를 수행하고자 하는 지역의 운량 또한 중요한 제약요소인데 운량이 일정한 양을 넘으면 임무 수행이 힘든 것으로 알려져 있으며, 이를 식 (4)에 반영되어 있으며, 일반적으로 $Cloud_{max} = 70$ 으로 설정해 놓고 있다.

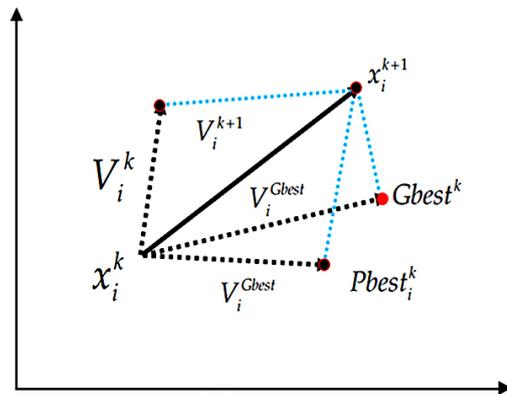
각 임무들의 첨자는 임무의 수행 위치에 따라 순서대로 정의되어 있기 때문에 위성이 거리 1당 촬영 각을 5°씩 움직일 수 있고 이전 임무 지에서 다음 임무지 까지 떨어진 거리 안에 다음 임무가 요구하는 촬영 각을 만족시키지 못할 경우 임무를 수행할 수 없다는 조건식은 식 (5)로 표현될 수 있다.

3. 스케줄링 알고리즘 설계

본 논문에서는 생체 군집 이론에 바탕을 둔 입자 군집 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO)를 이용하여 인공위성 임무 스케줄링 알고리즘을 설계하고자 한다. 최적화 알고리즘 중 하나인 PSO 알고리즘은 다양한 분야의 시스템 모델링에 새로운 방법론적 이슈로써 등장하고 있으며[6], 많은 분야에서 유전 알고리즘과 비교하였을 때 더 간결하고 수렴이 빠른 장점이 있다고 알려져 있다[8].

PSO 알고리즘은 새들이 먹이가 많은 장소 등을 찾아가는 과정을 모방하여 컴퓨터로 시뮬레이션 하는 최적화 알고리즘이다. 즉, 문제 해결을 위해 각 Particle들에 이동 방향과 속도를 설정하고 일정 시간마다 Particle들이 갖는 해를 구하고, 각 Particle들이 거쳐 왔던 가장 좋은 해와 모든 Particle들이 가지는 가장 좋은 해를 활용하여 방향과 속도를 재설정하며 반복적으로 이를 수행하여 최적의 해를 찾는 모델이다.

PSO 알고리즘은 <Figure 1>와 같이 Particle의 움직임에 따라 진행된다. 매 반복 당 도출되는 전체에서 가장 좋은 해인 Gbest값과 각 Particle이 갖고 있던 해중 가장 좋은 해인 Pbest로 다음 방향, 속도가 결정되어 움직이게 된다.



<Figure 1> Basic Concept of PSO

x_i^k 를 Particle i 의 k 번째 위치, v_i^k 는 Particle i 의 k 번째 속도라 정의하면, $k+1$ 번째의 위치와 속도는 다음의 식에 의해 계산되어 진다.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 r_1^k [Pbest_i - x_i^k] + c_2 r_2^k [Gbest - x_i^k]$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1}$$

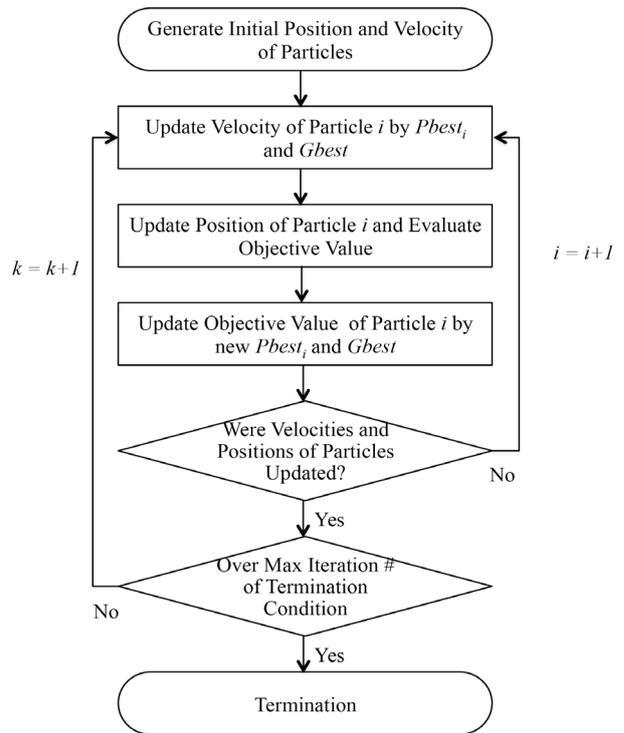
여기서 c_1 와 c_2 는 Learning Factor라 불리며 어느 정도 좋은 해의 방향으로 Particle들이 방향, 속도를 바꿀 것인지 결정하는 계수로 일반적으로 $c_1 = c_2 = 2$ 가 주로 쓰인다. 그리고 r_1^k 과 r_2^k 는 Uniform(0, 1)를 따른 확률변수이며, Learning Factor가 얼마나 적용될 것인가를 매 반복마다 무작위로 결정한다. 이와 같은 기본 개념을 바탕으로 PSO 알고리즘의 전형적인 구조는 다음과 같이 표현할 수 있다.

```

Initialize position  $x_i^0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ , velocity  $v_i^0$ .
Evaluate  $f_i^0$  (using  $x_i^0$ )
Set P, Set N
for (k < N) {
    for (i < P) {
         $v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 r_1^k [Pbest_i - x_i^k]$ 
             $+ c_2 r_2^k [Gbest - x_i^k]$ 
         $x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1}$ 
        Evaluate  $f_i^k$  (using  $x_i^k$ )
        if ( $f_i^k \leq f_{Pbest_i}$ )  $f_{Pbest_i} = f_i^k$ ,  $Pbest_i = x_i^k$ 
        if ( $f_i^k \leq f_{Gbest}$ )  $f_{Gbest} = f_i^k$ ,  $Gbest = x_i^k$ 
    }
    if ( $k \geq N$  || satisfied with terminal condition)
        stop;
}
    
```

- N : 최대 반복 횟수
- P : 총 Particle 수
- i : 각 Particle에 부여된 고유 숫자(Particle Index)
- t : 전체 Particle이 재생산된 횟수(Iteration Index)

<Figure 2>는 PSO 알고리즘을 활용하여 위성 임무 스케줄링을 구하는 절차를 표현한 것으로 위성의 종류, 기준에 따라 가중치, 제약 조건을 각 단계별로 설정하여 효율적으로 위성임무 스케줄링 문제를 해결할 수 있다.



<Figure 2> Flowchart of PSO Algorithm for Satellite Mission Scheduling

<Table 2> Data of Satellite Mission Generated Randomly

Mission	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	Cloud	Distance	Angle
M_1	1	3	8	0	22	289	32	1	-7
M_2	3	2	5	0	17	370	40	1	17
M_3	5	2	12	0	46	70	26	1	18
~									
M_{50}	5	9	15	0	50	450	10	5	-26
~									
M_{100}	5	9	15	0	50	450	56	1	30
~									
M_{150}	5	9	15	0	50	450	32	4	-6
~									
M_{198}	5	5	15	1	48	94	36	4	18
M_{199}	3	3	12	0	21	371	42	5	-18
M_{200}	5	9	15	0	50	450	16		-29

4. 실험 결과

4.1 시나리오 생성

실제 고객의 요청 정보를 수집하는데 한계가 존재하기 때문에 PSO 알고리즘이 위성 임무 계획 스케줄링에 대한 실험을 위해서 가상의 고객으로부터 요청받은 임무와 그에 따른 각 임무별 세부 데이터가 필요하다. 이를 위해 <Table 2>와 같이 총 200개의 위성 임무의 정보를 난수를 발생시켜 임의로 생성하였다. 생성된 정보는 제 2장에서 변수 설명에 따른 제약과 조건을 고려하였다.

<Table 2>의 Distance는 임무사이의 거리를 의미하며, Angle은 각 임무를 수행하기 위한 위성의 촬영각을 나타낸다.

4.2 일반위성 시나리오 스케줄링

<Table 3>의 임의로 생성된 일반 위성의 가상 시나리오를 PSO 알고리즘을 통해 스케줄링을 실시하고, 그 결과의 유효성을 검증하기 위해 동일한 문제에 대해 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio를 이용하여 풀이한 결과와 비교해 보았다. <Table 3>은 임무 수 50개, 100개, 200개의 가상 시나리오에 대해 PSO 알고리즘과 CPLEX를 이용한 결과를 각각 두 번째와 세 번째 행에 보여주고 있다. 그리고 기존 연구에서 적용한 것과 같이 에너지, 메모리, 운량에 대한 최대 허용치를 각각 $Energy_{max} = 350$, $Memory_{max} = 5,500$, $Cloud_{max} = 70$ 으로 설정하였다.

<Table 3> Comparison of Results of PSO and CPLEX

# of Mission	50	100	200
PSO	90	119	144
CPLEX	92	122	144
Error Rate	2.2%	2.4%	0%

임무 수 50개, 100개, 200개에 대해 각각의 목적 값을 비교해 본 결과 그 값의 차이가 3% 이내임을 보여주고 있으며, 이를 통해 PSO 알고리즘을 활용한 위성 임무 스케줄링이 유효함을 확인할 수 있다. 또한 본 연구에서는 5가지 종류의 제약 조건만을 고려하였으나 현실에서 매우 복잡한 위성 임무 스케줄링 문제에 대해 많은 가정과 제약 조건이 존재하는 것으로 알려졌다. 비록 현재의 모델을 적용하면 이 연구에서 제시한 PSO 알고리즘과 CPLEX를 이용한 경우는 크게 연산속도에 차이가 나지 않는 것으로 나타났으나 일반적으로 조건이 복잡해짐에 따라 PSO 알고리즘의 유용성이 부각되는 것으로 알려져 있다. 향후

연구를 계속적으로 수행함에 있어 가정된 부분들을 제거해 더욱 현실에 가까운 상태에서 스케줄링을 수행한다면 PSO 알고리즘을 통한 풀이는 CPLEX를 이용하여 문제를 해결하는 것 보다 경쟁력을 유지할 것이라 예상할 수 있으며, 본 연구는 적용 가능성을 보여주었다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

4.3 위성의 종류에 따른 스케줄링

제 2장에서 설명한 바와 같이 위성은 그 운영 목적에 따라 일반 위성, 상용 위성, 전술 위성으로 나눌 수 있으며, 각 목적에 따라 고려해야 할 사항이 달라짐을 설명하였다. 따라서 본 연구에서는 <Table 2>에서 생성한 50개의 시나리오를 대상으로 위성의 종류에 따라 서로 다른 운영 목적을 고려한 각기 다른 변수 가중치를 적용하여 위성 임무 스케줄링 문제를 PSO 알고리즘으로 적용한 결과 <Table 4>와 같은 결과를 얻었다.

<Table 4> Result of Three Satellite Mission Scheduling

Mission	General	Commercial	Strategic
M_1	0	1	0
M_2	0	0	0
M_3	0	1	0
M_4	1	1	1
M_5	0	0	0
M_6	0	0	0
M_7	1	0	1
~			
M_{28}	1	0	0
~			
M_{48}	0	0	0
M_{49}	0	1	0
M_{50}	0	0	0

<Table 4>는 첫째 열은 <Table 1>에서 생성된 가상의 임무이며 숫자 0은 해당 임무가 스케줄링에 포함되지 않음을 나타내고 숫자 1은 해당 임무가 스케줄링에 포함됨을 의미하고 있다.

첫 번째 임무(M_1)의 경우 일반 위성과 전술 위성의 스케줄에는 포함되지 않은 반면에 상용 위성의 스케줄에는 포함됨을 알 수 있다. 이는 M_1 의 경우 상용 위성에서 가장 중요한 인자인 임무 완료 기한과 보상에서 높은 점수를 가지고 있어 상용 위성의 경우 수행해야 할 임무를 할 수 있으나, 일반 위성이나 전술 위성에서 가장 중요한 변수인 긴급성 측면에서는 0의 값을 갖고 있기 때문에

일반 위성이나 전술 위성에서는 우선 순위가 낮은 것이 당연하며 따라서 현 상황에서는 임무를 수행하지 않는 것이 최적의 해인 것으로 나타났다.

반대로 M_7 의 경우에는 고객의 중요도와 긴급도에 관한 변수의 값이 상대적으로 높기 때문에 해당 변수에 대한 가중치가 높은 일반 위성과 전술 위성의 스케줄에 포함되어 수행해야 할 임무라 할 수 있으나 상용 위성의 경우 이 두 가지 변수에 대한 가중치가 그리 크지 않기 때문에 만약 상업 위성이라 하면 이 임무는 다른 임무에 비해 우선 순위가 낮을 수 밖에 없어 현재 상황에 이 임무는 수행되지 않는 것이 최적의 스케줄이라 할 수 있다.

나머지 임무들에 대해서도 위와 같은 방법으로 비교 분석하여 위성의 종류에 따라 변수에 대한 가중치를 서로 다르게 설정하여 스케줄링을 시행하였을 때 그 위성의 운영 목적에 적합한 임무들이 스케줄에 포함됨을 확인할 수 있다. 위 결과로부터 일반 위성뿐 아니라 다른 운영 목적을 가진 위성에 대해서도 PSO 알고리즘을 활용한 스케줄링의 유용성을 확인할 수 있다.

5. 결 론

위성 산업이 미래의 먹거리 산업으로 발전하면서 많은 국가와 기업에서 관심을 기울이고 있으며, 이에 따라 많은 발전과 연구가 이루어지고 있다. 또한 위성을 이용한 정보들이 생성되고 이를 요청하는 기업의 요구가 증가하고 있다. 이러한 환경에서 고객의 요구를 효과적으로 수행하기 위해 많은 노력을 기울이고 있는데, 그 중에 하나가 위성 임무 스케줄링이다.

본 연구는 최근까지 가장 활발하게 연구가 진행되고 있고 많은 분야에서 적용되고 있는 PSO 알고리즘을 위성 임무 스케줄링에 적용하여 효율적인 스케줄링을 수립하였고, 본 연구의 유용성을 검토하기 위해 임의로 생성된 시나리오를 가지고 CPLEX를 이용한 최적해와 비교해 봄으로써 본 연구에서 제시한 알고리즘을 유용성을 검증하였다.

임의로 생성된 위성 임무 200개와 각 임무의 각 종 정보를 생성하였으며, 생성된 정보를 입력 요소로 본 연구에서 제안된 PSO 알고리즘과 CPLEX를 이용하여 도출된 최적해와 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 최적해와 오차율이 3% 내외로 PSO 알고리즘을 활용한 위성 임무 스케줄링이 유효성이 있음을 확인 할 수 있었다. 그리고 운영 목적에 따라 구분되는 일반 위성, 상용 위성, 전술 위성에 대해서 각각의 성격에 맞는 가중치를 설정하여 스케줄링을 수행하고 그 결과를 비교하여 PSO 알고리즘을 활용한 위성 임무 스케줄링이 목적에 따른 유연한 적

용이 가능함을 보여 주었다.

본 연구의 한계로는 다양한 임무를 가지고 있는 위성의 임무 중 가장 많은 고객의 요청이 있는 위성 촬영 임무를 주 연구 대상으로 하여, 실제 위성 임무 스케줄링을 수립하는데 한계를 가지고 있다. 그러나 다양한 임무를 고려하게 되면 복잡도가 증가하는데 본 연구에서 적용한 PSO 알고리즘은 기존의 많은 복잡한 문제에서도 훌륭한 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있어 여전히 유용한 접근 방법이라 할 수 있다. 또 하나의 한계는 국내 위성 산업이 그리 발달되지 않는 관계로 실제 정보를 쉽게 구할 수 없어 이를 이용하기 쉽지 않았다는 점이 있다. 하지만 다양한 상업 위성이 국내에서도 도입되고 많은 정보들이 접근 가능하면 더 다양한 방향에서 연구가 진행될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

References

- [1] Baek, S.-W., Cho, K.-R., Lee, D.-W., and Kim, H.-D., A Comparison of Scheduling Optimization Algorithm for the Efficient Satellite Mission Scheduling Operation, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 2010, Vol. 38, No. 3, pp. 48-57.
- [2] Choi, S., Current Status and Outlook of the Space Economy, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 2008, Vol. 6, No. 1, pp. 3-13.
- [3] Chung, I.-H. and Yun, W.Y., Spare Par Optimization of MINE Systems using Simulation and Genetic Algorithm under Availability, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2010, Vol. 36, pp. 9-19.
- [4] Han, S.-M., Beak, S.-W., Cho, K.-R., Lee, D.-W., and Kim, H.-D., Satellite mission scheduling using genetic algorithm, *In SICE Annual Conference*, 2008, pp. 1226-1230.
- [5] Hristakeva, Maya and Shrestha, Dipti, *Different Approaches to solve the 0/1 Knapsack Problem*, 38th Midwest Instruction and Computing Symposium 2005.
- [6] Jiang, Y., Hu, T., Huang, C.C., and Wu, X., An improved particle swarm optimization algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 2007, Vol. 193, No. 1, pp. 231-239.
- [7] Kim, H.-D., Choi, H.-J., and Kim, E.-K., Development of KOMPSAT-1 Scheduling and Automatic Command Plan Generator (KSCG), *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 2002, Vol. 30, No. 1, pp. 139-146.
- [8] Kim, H.-D., Choi, H.-J., and Kim, E.-K., Mission Plan-

- ning and Operations for the KOMPSAT-1, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 2001, Vol. 29, No. 7, pp. 118-126.
- [9] Kim, S.-W., Kim, S.-H., Hwang, D.-S., and Jin, I.-M., Trend Of The World Satellite Industry, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 2012, Vol. 10, No. 2, pp. 48-59.
- [10] Park, B.-J., Oh, S.-K., Kim, Y.-S., and Ahn, T.-C., Comparative Study on Dimensionality and Characteristic of PSO, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 2006, Vol. 12, No. 4, pp. 328-338.
- [11] Perez, R.E. and Behdinan, K., Particle swarm approach for structural design optimization, *Computers and Structures*, 2007, Vol, 85, pp. 1579-1588.
- [12] Yim, D.-S., Particle Swarm Optimizations to Solve Multi-Valued Discrete Problems, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2013, Vol. 36, No. 3, pp. 63-70.

ORCIDYoungin Lee | <http://orcid.org/0000-0002-1393-1846>Kangwhan Lee | <http://orcid.org/0000-0002-6693-8064>Inwoo Seo | <http://orcid.org/0000-0002-0006-7956>Sung-Seok Ko | <http://orcid.org/0000-0001-8659-007X>