

# 전술통신 환경 구축을 위한 MSAP의 최적위치 선정 알고리즘

정희원 조 상 목\*, 강 정 호\*\*, 종신회원 김 재 현\*\*°

## Optimal Location Selection Algorithm of MSAP for Tactical Communication Networks

Sang-Mok Cho\*, Jung-Ho Kang\*\* *Regular Members*, Jae-Hyun Kim\*\*° *Lifelong Member*

### 요 약

네트워크 중심전 수행을 위해서는 고속의 데이터 전송을 보장하는 전술통신망 구축이 필수적이다. 이에 군은 상용 Wireless BroadBand (Wibro) 장비를 활용한 전술이동통신체계(MSAP : Mobile Subscriber Access Point)를 개발하여 군 작전의 효율성을 높이는 방안에 대해 연구하고 있다. MSAP은 Wibro기반의 이동기지국 개념으로 기지국(Base Station)을 차량에 장착하여 이동성을 제공한다. 따라서 MSAP을 전장상황에 활용 시 고속의 데이터 전송을 통해 임무수행에 필요한 데이터들의 원활한 전송을 보장한다. 또한 MSAP은 차량화 되어 있어 전장 상황 변화 시 이에 맞추어 기동이 가능하다. 본 논문에서는 기계화부대, 전방 예비부대, 후방 예비부대, 지원부대, 포병부대, 지휘소 등에 MSAP을 활용한 전술통신체계를 구축하여 작전 수행시에, 작전 부대들의 위치를 고려하여 이 부대들이 MSAP을 이용한 통신을 가능하게 하는 MSAP의 최적 위치 선정을 통해 최소의 MSAP장비로 작전지역에 고속의 통신환경을 구축하는 방안에 대해 제시한다. 이에 관한 수리적 모델을 제시한 후 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하고 그 적용결과를 제시한다.

**Key Words** : NCW, Wibro, MSAP, Optimal location, 전술통신 환경

### ABSTRACT

In Network Centric Warfare (NCW) environment, having a tactical communication network which provides high data exchange rate is very important. In the process, Korean Army developed Mobile Subscriber Access Point (MSAP) which is based on the commercial Wireless BroadBand (Wibro). MSAP is a vehicle attached base station which provide high data exchange communication environment in a given area. Thus MSAP can provide high data exchange rate and mobility to accomplish missions in the battlefield more effectively. In this paper, we propose an operational strategy of using MSAP to provide tactical communication network in the battlefield. The idea is to find the optimal location point of the MSAP in the operational area where all the troops in the operational area can be supported by the MSAP with a minimum number of MSAP. Since the current Korean Army's basic idea of using MSAP is just distribute this MSAP to each troop, so by applying our strategy we can save MSAP devices for more flexible operation. We will show our strategy's benefits through the mathematical model and the algorithm of the presented problem.

※본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

\* 육군사관학교 수학과(smcho@kma.ac.kr)

\*\* 아주대학교 전자공학과 무선인터넷 연구실({kjhsa and jkim}@ajou.ac.kr), (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2011-09-338, 접수일자 : 2011년 9월 5일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 30일

## I. 서 론

군은 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)으로 바뀐 전장 환경에서 우위를 달성하기 위해 노력하고 있다. 네트워크 중심전을 달성하는 핵심은 고속의 정보 교환이고, 이를 위해서는 이러한 정보교환이 가능한 전술통신환경 구축이 필수적이다. 군은 이를 위해 여러 가지 통신방식을 고려하고 있다. 이러한 기술 가운데 하나로 상용 Wireleas BroadBand (Wibro)를 활용한 전술이동통신체계(MSAP : Mobile Subscriber Access Point)를 개발하여 군 작전의 효율성을 높이는 방안에 대해 연구하고 있다. MSAP은 Wibro기반의 이동기지국 개념으로 기지국(Base Station)을 차량에 장착하여 이동성을 제공한다. 이를 통해 전장 지역에서 작전 지역이 변경되어도 신속하게 차량으로 이동하여 변경된 지역에 고속의 통신 제공이 가능하다.

Wibro를 차량화 한 MSAP을 이용할 경우 작전 지역에 통신을 구축하는데 걸리는 시간이 크게 단축될 것이며, 고속의 데이터 통신이 가능하기에 NCW작전 수행에 핵심인 정보 공유에 크게 기여할 것으로 판단된다. 적용이 가능한 부대는 후방지역이나 지원부대들, 차량화된 기계화 부대들이다. 이러한 MSAP을 활용하기 위해 여러 가지 방안이 고려될 수 있다. 먼저 각 부대에 개별적으로 MSAP을 할당하는 방안을 고려할 수 있다. 하지만 부대별로 모든 장비를 할당 할 경우 장비의 소요도 많아질 뿐 아니라 MSAP 운용 간 작전지역이 겹침으로 인한 MSAP의 낭비가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 MSAP을 부대별 할당하는 방법이 아닌 장비 할당을 최소화 하기 위해 작전 지역 내에 있는 부대의 위치를 고려하여, 부대들에게 통신을 고루 지원할 수 있도록 MSAP을 최적 위치에 배치하여 활용하는 방안에 대해 제시한다. 작전 지역에 통신제공을 위해 최적위치에 MSAP을 배치하게 되면, 부대 간 작전 지역이 겹쳐짐으로 인한 MSAP 간 중첩을 방지할 수 있다. 또한 부대의 작전지역 중첩으로 인한 MSAP의 낭비를 막을 수 있다. 이에 더하여 MSAP의 차량화 기동이 가능한 장점을 활용하여 우발상황 발생 시 부대의 위치 변동에 따른 MSAP 위치의 조정이 빠르게 실시될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 MSAP을 작전 지역 내 위치한 부대의 위치를 고려하여 최적위치에 할당을 위한 수리 모형을 제시한다. 제시된 문제의 해를 도출하기 위한 방법으로 메타휴리스틱 기법 중 하나인 타부서치(Tabu Search) 알고리즘을 이용하여 최적위치를 선

정하는 기법을 제시한다. 제시된 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 정수계획법의 최적해 도출에 사용되는 상용 소프트웨어인 CPLEX를 이용하여 해를 도출하고 제시된 알고리즘의 해와 비교하여 그 성능을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 이와 관련된 연구내용을 살펴보고, MSAP 최적위치 선정에 관한 수리모형과 이의 해결을 위한 타부서치 알고리즘을 제시한다. III장에서는 제시된 알고리즘의 성능을 평가 및 분석하기 위해 여러 실용 문제에 적용한 결과를 제시한다. IV장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## II. 본 론

### 2.1 관련연구

현재까지는 MSAP을 작전 지역에 운용함에 있어 부대별로 할당하는 방안이 고려되고 있고, 아직까지 이 장비를 최적 위치에 두고 인접 부대들에게 통신을 고루 제공하는 수리모형을 통해 활용방안을 제시한 경우는 없는 것으로 보인다.

#### 2.1.1 Set Covering Problem

본 논문에서 제안하고자 하는 활용방안은 Set Covering Problem을 통해 모델을 수립할 수 있다.

그림 1에서 사각형은 지역을 나타내고, 원은 이 지역의 수요를 충족 가능한 어떠한 소방서나 우체국 등이 위치 가능한 노드로 볼 수 있다. 여기서 지역과 노드의 관계는 예를 들어, 지역 1의 수요를 충족시킬 수 있는 후보 노드는 1과 2가 된다는 것이다. 이러한 상황에서 1에서 9까지의 지역의 수요를 모두 충족시킬 수 있도록 1부터 6까지의 후보 노드 가운데 최소한으로 소방서를 위치시켜 모든 지역의 수요를 충족하도록 하는 것이 바로 Set Covering Problem이다. 위의

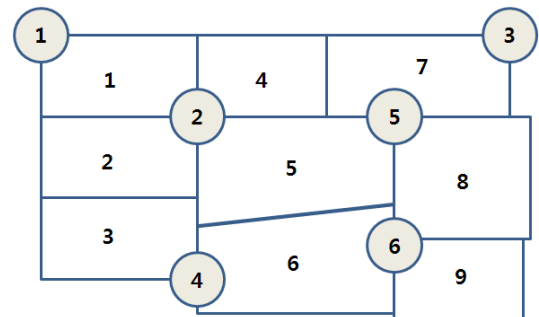


그림 1. Set Covering Problem 예<sup>1)</sup>

그림에서의 최적위치는 눈으로 쉽게 찾을 수 있으며, 그것은 2, 4, 5, 6 (혹은 2, 3, 4, 6)노드에 소방서를 위치시키는 것이다. 이곳에 소방서를 위치시키면 1, 3 노드에 소방서를 위치시키지 않아도 모든 지역을 모두 충족시킬 수 있다. 따라서 모든 지역의 수요를 만족하는 최적의 노드 수는 4개가 되고, 그 지역은 2, 4, 5, 6 (혹은 2, 3, 4, 6)이라는 것이다.

2.1.2 Set Covering Problem을 위한 알고리즘

Set Covering Problem의 복잡도는 NP-hard이고<sup>[2]</sup>, 이 모델은 많은 분야에 응용이 되어왔다. 비행기 항공 승무원의 스케줄링 문제<sup>[3]</sup>, 철도원의 스케줄링 문제<sup>[4]</sup>에 응용된 바 있다. 이 외에도 다양한 현실 문제들에 응용이 되어왔다.

Set Covering Problem을 해결하기 위한 여러 가지 알고리즘들이 연구되었다. 정확한 해를 찾기 위한 알고리즘은 Branch-and-bound와 Branch-and-cut을 기반으로 한다<sup>[5]</sup>. 하지만 정확한 해를 찾는 알고리즘은 많은 시간과 노력이 필요하므로 (근)최적해를 찾는 휴리스틱 기법이 많이 이용된다. 가장 간단한 휴리스틱 방법으로 Greedy 방식이 있는데<sup>[6]</sup>, 간단하고 빠르긴 하지만 해의 질이 그다지 좋지 않은 단점이 있다. 이를 개선하기 위한 시도로 확률적 개념을 추가하여 약간의 성능 향상을 보기도 했다<sup>[7]</sup>. 이 외에도 메타 휴리스틱 기법으로 Simulated Annealing Algorithm<sup>[8]</sup>, Genetic Algorithm<sup>[9][10]</sup>, Ant Colony Optimization<sup>[11]</sup> 등이 연구되었다.

2.2 문제의 정의 및 수리모형

2.2.1 문제의 정의 및 가정사항

본 연구의 목적은 최소한의 MSAP장비를 가지고 작전지역에 통신을 고루제공하기 위한 MSAP의 최적 위치를 선정하기 위한 것으로 문제의 단순화를 위한 가정사항은 다음과 같다.

MSAP 장비가 접속하는 기반노드는 격자형 구조로 작전 지역에 사전에 구축되어 있어 MSAP은 그림2에 서와 같이 원으로 표시된 후보 노드에 위치할 경우 기반노드에 접속이 가능하다. 또한 각 후보 노드에 위치할 경우 통신 제공이 가능한 부대가 표시되어 있다.

또한 그림 2에서 확인할 수 있듯이, 하나의 노드에 위치할 경우 최대 4개의 사각형 지역 즉, 4개의 부대에 통신제공이 가능한 것으로 가정하고 전장 지역을 정의하였다.

군이 목표로 하는 MSAP의 송출 거리는 상용

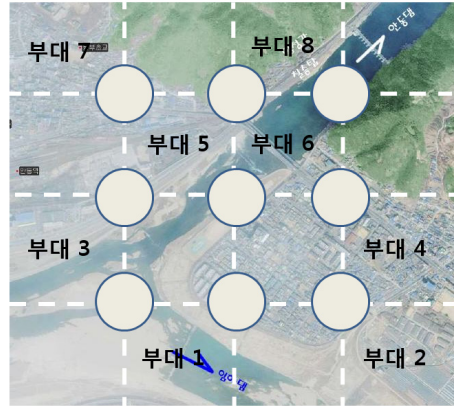


그림 2. 작전 지역의 표현

Wibro의 1km보다 큰 10Km까지를 목표로 하고 있다. 이를 반영하여 전장 지역의 표현에서 한 칸은 5km로 가정하여 실험을 실시하였다. 즉, 위의 그림 3의 경우 20 × 20km<sup>2</sup> 크기의 지역을 의미한다.

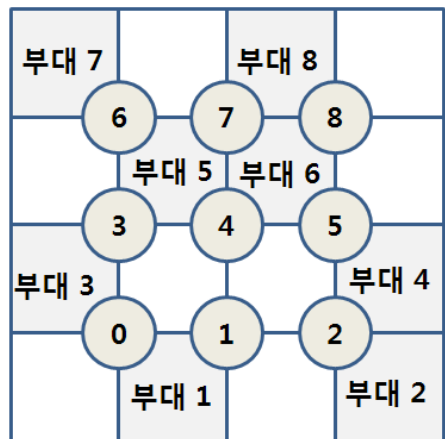


그림 3. 작전 지역의 단순화 표현

2.2.2 수리모형

{Set}

- $N$  : 후보 노드의 집합,  
 $N = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$
- $D$  : 지역 내 부대의 집합,  
 $D = \{1, 2, \dots, m\}$

{Decision variables}

$$x_j = \begin{cases} 1, & MSAP \text{이 후보노드 } j \text{에 위치할 경우} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

{Mathematical model}

$$\min \sum_{j=0}^{n-1} x_j \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij}x_j \geq 1, \forall i \in D \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in N \quad (3)$$

목적함수 (1)은 후보 노드 n개 중에서 실제 MSAP 이 위치하는 곳의 총합을 나타내며, 최소한의 MSAP 으로 지역의 통신을 제공하는 것이 목적이다.

제약식 (2)는 모든 부대가 통신을 공급받도록 하는 것이다. 예를 들어, 그림 3에서 부대 1에 통신 제공이 가능한 위치는 노드 0와 1에 MSAP을 위치시키는 것 이라면 그 중 하나는 꼭 MSAP이 위치하도록 하여, 그 부대가 통신을 제공받도록 하는 것이다.  $a_{ij}$ 는 부대  $i$ 가 MSAP이 노드  $j$ 에 위치함으로써 통신제공이 가능하면 1을 그렇지 않을 경우에는 0을 의미한다. 제약식 (3)은 MSAP이  $j$ 노드에 위치할 경우 1을 그렇지 않을 경우에는 0을 나타내는 2진 변수이다.

Set Covering Problem의 복잡도는 앞서 관련연구 에서 언급한바와 같이 NP-hard이며, 이 문제의 해를 찾기 위해서 여러 알고리즘이 연구되어 왔다.

본 논문에서는 우리가 제시한 문제의 해를 구하기 위해 타부서치를 이용한 알고리즘을 제시한다.

### 2.3.1 타부서치 알고리즘

타부서치는 메타휴리스틱의 한 기법으로 해를 탐색 하는 과정의 기억을 이용, 이전해로 되돌아가는 것을 제한하여 해의 순환을 방지하고 타부 메모리를 이용하여 해의 탐색공간을 확대하여 지역 최적해 (Local Optimum)에서 벗어나 최적해 (Global Optimum)를 찾아나가는 탐색 알고리즘이다.<sup>[12]</sup> 타부서치 알고리즘 은 일반적으로 초기해 생성, 단기 메모리 전략 및 장기 메모리 전략으로 이뤄진다.

#### 1) 현재해(Current Solution)와 우수해(Best Solution)

본 논문에서는 타부서치 알고리즘을 통해 새로이 찾은 해를 현재해로 정의하고, 현재까지 찾은 해 가운데 가장 우수한 해를 우수해로 가정한다.

#### (1) 해의 표기

해의 표기는 선택되는 노드를 아래의 그림과 같이 Set으로 표현한다.

위의 그림 4는 노드 0, 1, 3, 8에 MSAP이 위치하

는 경우의 해를 표기한 것이다.

0	1	3	8
---	---	---	---

그림 4. 해의 표기

#### (2) 초기해 생성

초기해 생성은 작전 지역 내 부대에 통신 제공이 가능한 후보 노드를 식별하는 것부터 시작된다. 식별 된 후보노드들 Set에서 하나씩 노드를 랜덤하게 선택 하여 모든 부대들에 통신 제공이 가능할 때까지 반복 적으로 노드를 선택한다. 이때, 반드시 MSAP이 위치 해야만 하는 위치를 식별하여 이 노드는 반드시 초기 해에 포함시킨다. 반드시 MSAP이 위치해야 하는 노 드는, 그 노드에서만 특정 부대에 통신제공이 가능한 경우이다.

예를 들어, 앞서 제시한 그림 3에서 통신 제공이 되 어야 하는 부대의 Set은 {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}의 8개 이다. 그리고 이들 부대에 통신 제공이 가능한 후보 노드의 Set은 {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}이다. 그리고 반드시 MSAP이 위치해야할 노드의 Set은 {2, 6}이 다. 따라서 최초 노드 2와 6을 초기해에 포함시킨다.

다음으로 후보 노드 가운데 랜덤하게 선택된 노드 가 0이라면, 0번 노드에서 통신 제공이 되는 부대를 부대 Set에서 제외한다. 남은 부대의 Set은 {6, 8}가 된다. 다음으로 랜덤하게 선택된 노드가 4이라면 부대 6에 통신제공이 되어 남은 부대 Set은 {8}가 된다. 마 지막으로 부대 8에 통신제공이 가능한 노드는 7과 8 인데 이 중 랜덤으로 8이 초기해에 추가된다. 이 과정을 통해 다음과 같은 초기해를 얻을 수 있다.

0	2	4	6	8
---	---	---	---	---

그림 5. 초기해의 생성

#### (3) 해의 평가

해를 평가하기 위해서 현재해가 부대들에 통신을 제공하고 있는 수준을 먼저 구한다. 평가를 위한 수준 은 해의 표기와 같은 방식으로 Set으로 표현한다. 그림 4의 해를 예로 들어 설명하면, 선택된 노드 0, 1, 3, 8로부터 각각의 부대가 통신을 제공받는 수준을 계산하여 Set으로 표현하면 다음과 같다.

위의 Matrix에서 각 열은 부대를 의미하며, 제 1열 은 부대 1, 2열은 부대 2를 각각 의미한다. 계산된 수 준의 의미는 부대 1은 2개의 노드로부터 통신을 제공

받는다는 것이고, 부대 2는 통신을 제공해주는 노드가 없다는 의미이며, 부대 3은 2개의 노드로부터 통신을 제공받는다는 것이다. 나머지 부대는 표시된 수만큼의 노드로부터 통신을 제공받는다는 것을 의미한다.

위의 그림 6과 같이 표현된 해의 수준을 기준으로 해의 목적함수 값을 계산하며, 방법을 설명하면 다음과 같다. 먼저 각 열에서 0이 있으면, 그 부대는 통신을 제공받지 못한다는 것을 의미하며 이는 원 문제의 제약식 (2)를 만족하지 못하는 해이기 때문에 Penalty 값으로 1000을 부여한다. 그리고 1보다 큰 값은 큰 크기만큼 목적식에 값을 더한다. 마지막으로 원 문제의 목적함수는 선택되는 노드의 수를 줄이는 것이기 때문에, 현재해에 포함된 노드의 개수를 더한다. 이렇게 더해진 값을 목적함수의 값으로 한다. 위의 그림 6을 예로 값을 계산하면, 먼저 0이 3개가 있으므로 3000을 목적함수 값에 더한다. 둘째, 1보다 큰 값은 각각 부대 1에서 1, 부대 3에서 1로 2를 목적함수 값에 더한다. 마지막으로 이 해의 평가 수준을 계산한 해는 {0, 1, 3, 8}로 4개의 노드를 가지고 있으므로 4를 목적식에 더한다. 따라서 목적함수의 값은 3006이 된다.

2	0	2	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

그림 6. 해를 평가하기 위한 수준의 표현

2) 단기 메모리 전략

단기 메모리 전략에서는 이동(Move)을 정의하고 이웃해와 타부를 정의하여 이를 바탕으로 이웃해를 탐색해 나가는 과정이다.

(1) 이동

본 논문에서 이동은 2가지로 정의한다. 첫째는 현재해에 노드 추가, 둘째는 현재해에서 노드 삭제이다. 그림 5를 현재해로 예를 들어, 노드 8을 삭제하면 다음과 같은 새로운 해를 얻을 수 있다.

그림 5에서 노드 5를 추가하면 다음과 같은 해를 얻을 수 있다.

0	2	4	6
---	---	---	---

그림 7. 노드 삭제 이동의 예

0	2	4	5	6	8
---	---	---	---	---	---

그림 8. 노드 추가 이동의 예

(2) 이웃해의 정의

이웃해는 이동의 유형에 따라 추가 이동이라면 현재해에 포함되지 않은 모든 노드가 되고, 삭제 이동이라면 현재해에 포함되어 있는 모든 노드가 된다. 단, 초기해 생성시에 식별된 반드시 포함되어야 하는 노드는 삭제 후보 노드에 포함되지 않는다.

본 논문에서는 다음과 같은 2가지 전략을 선택한다.

첫째, 현재해가 원문제의 제약식 (2)를 만족하면 노드 삭제 이동으로써 현재해에 포함된 노드들 중 해의 수준표현에서 1보다 큰 수가 나타난 노드들로 이웃해를 구성한다.

둘째, 현재해가 원문제의 제약식 (2)를 만족하지 않으면, 현재해에 포함되지 않은 노드들 중에서 현재 제약식 (2)를 만족시키지 못하는 부대에 통신제공이 가능한 노드들로 이웃해를 구성한다.

(3) 이웃해 평가

이웃해의 평가는 이웃해 가운데에서 위의 (3)에서 설명한 첫 번째 경우 즉, 삭제 이동의 경우에는 이웃해 중에서 가장 적은 수의 부대에 통신을 제공하는 노드를 선택하고, 두 번째 경우 즉, 추가 이동의 경우에는 이웃해 중에서 가장 많은 수의 부대에 통신을 제공하는 노드를 선택한다.

(4) 타부 정의 및 크기

본 논문에서 타부는 삭제되거나 추가되는 노드로 정의한다. 즉, 그림 7에서는 노드 8이 타부가 되고, 그림 8에서는 노드 5가 타부가 된다. 이 노드는 타부리스트에 포함된다. 타부리스트에 포함된 노드는 타부크기 기간(Tabu Tenure)이 경과할 동안에는 이웃해로 선정되는 것을 제한한다.

3) 장기 메모리 전략

대표적인 장기 메모리 전략으로 강화 전략과 다양화 전략을 들 수 있으며 본 논문에서는 다양화 전략을 반영한다. 다양화 전략방법으로 일정 기간(조건)의 탐색을 진행한 후 다시 초기해를 생성하여 탐색하지 않은 해공간을 탐색해나가는 전략을 택했다.

본 논문에서는 업데이트된 현재해가 현재까지의 우수해를 갱신하지 못하는 횟수가 일정회수  $K$ 를 초과하면 초기해를 랜덤으로 재 생성하여 탐색을 실시하는 다양화 전략을 적용하였다.

4) 종료조건

본 논문의 알고리즘은 첫째, 반복 횟수로 알고리즘 종료 조건을 설정한다. 반복 횟수는  $R$  (문제 크기에

따라 상이)로 문제의 크기에 따라 다르게 설정하였다.

둘째, 우수해가 해의 평가 결과값이 우수해에 속한 노드의 개수와 같아지면 종료하도록 하였다. 즉 아래의 그림에서 보여지는 해의 수준표현에서 모든 열의 값이 1이 되는 경우를 말한다. 해의 수준이 이와 같은 경우는 현재 해에서 나타내는 노드에 MSAP을 위치시킬 경우, 각 부대별로 하나의 노드로부터 통신을 제공받는다라는 것을 의미하는 것으로, 이때 이웃해 평가시 삭제할 수 있는 노드가 더 이상 없는 것으로 판단하고 종료하도록 설정하였다.

1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---

그림 9. 종료시점의 해의 평가 수준 표현

5) 알고리즘 Flow Chart

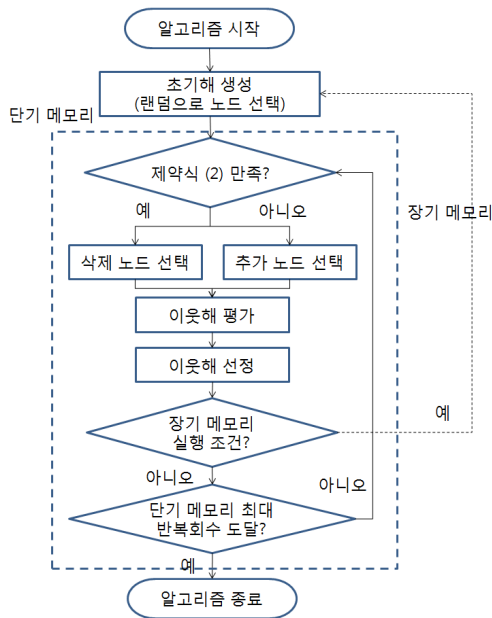


그림 10. 알고리즘 Flow Chart

III. 실험 및 결과

먼저 그림11에 제시된 예제문제에 대해 제한한 타부서치 알고리즘으로 도출된 해와 상용 소프트웨어를 이용하여 얻은 해를 비교하여 알고리즘의 성능을 검증한다. 이후에 이를 확장하여 현실 상황에서 고려될 수 있는 실용문제에 제한한 알고리즘을 적용한 결과를 제시한다.

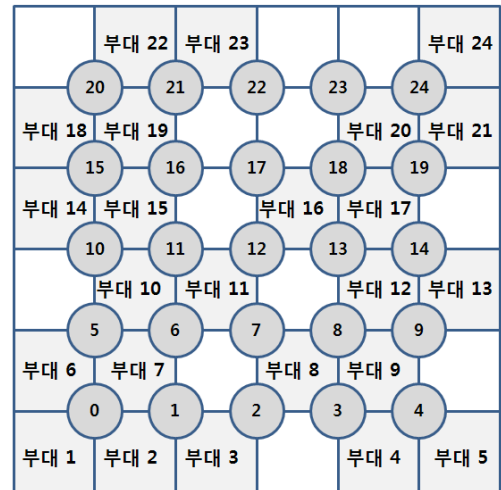


그림 11. 효용성 평가를 위한 예제문제

3.1 알고리즘 효용성 실험

알고리즘의 효용성을 평가하기 위해 그림 11과 같이 30×30km<sup>2</sup> 크기로 표현된 작전 환경에서 후보노드가 25개, 부대수가 24개인 문제를 이용하여 실험한다. 타부서치 알고리즘의 타부크기는 2로 하고, 최적해가 10번 업데이트 되지 않으면, 장기 메모리 과정을 이용하여 랜덤으로 초기해를 다시 생성하였으며 단기 메모리과정에서 반복회수는 200으로 설정하였다.

최적해를 도출하기 위해 GAMS (Modeling Language)를 이용하여 모델링하고 CPLEX 12.3을 이용하여 혼합정수계획인 원 문제의 최적해를 구하였다. 실험은 Intel(R) Core(TM) i5 CPU M480 2.67GHZ, 2.99 GB RAM에서 실험하였다.

3.1.1 효용성 실험 결과(30회 반복 실험)

CPLEX로 구한 최적해는 9이었고, 계산시간은 0.106초였다. 이때 선택된 노드는 {0, 2, 4, 11, 12, 14, 15, 21 24}였다. 타부서치를 이용해 30회 반복 실험한 결과는 표 1과 같다.

표 1에서와 같이 타부서치를 이용하여 최적해를 찾은 경우는 30회 중 26회 였고, 계산시간은 CPLEX로 구하는 경우보다 빠르다. 평균해의 GAP(최적해와의 차이)도 0.133으로 우수한 해를 얻을 수 있음을 보였다.

표 1. 타부서치 알고리즘 효용성 실험 결과

반복 횟수	TS_min	TS_max	TS_mean	GAP	평균 시간	최적해 횟수
30	9	10	9.1333	0.1333	0.0043	26/30

3.2 실용 문제에 제한한 알고리즘 실험

실제 전장상황에서 이 알고리즘을 이용하여 MSAP의 적정위치를 얻을 수 있는지를 확인하기 위해서 본 알고리즘을 실제 전장 상황에서 당면할 수 있는 전장의 크기별로 늘려가면서 실험한 결과를 제시한다. 이때, 실험을 위한 작전지역 내 부대의 수와 위치는 랜덤하게 데이터를 생성하였다.

표 2의 결과에서 보듯이 전장지역에 통신제공을 위한 MSAP의 수는 본 논문에서 제시한 방법으로 운용할 경우 각 부대에 한 대씩 할당하여 운용하는 경우보다 훨씬 적다. 예를 들어 50km×50km의 경우 각 부대에 MSAP을 할당할 경우 53개의 MSAP이 필요하나, 제시한 방법으로 작전지역에 통신을 제공할 경우 32개의 여유분이 발생한다. 이와 같이 발생한 여유분의 MSAP은 예비로 보유하고, 작전 상황에 따라 유동적으로 운용이 가능할 것이다. 따라서 작전 수행에 있어서 장비의 여유가 많은 만큼 우발 상황에 대한 대처 등 더욱 유동적인 작전을 수행할 수 있을 것이다. 또

표 2. 실용 문제에 타부서치 알고리즘 적용 결과

작전지역 (부대 수)	CPLEX	TS		최적해 횟수
	Optimal	Best	Worst	
35×35km2 (21)	9	9	10	7 / 10
40×40km2 (32)	13	13	15	7 / 10
45×45km2 (35)	17	17	18	8 / 10
50×50km2 (53)	21	21	22	7 / 10

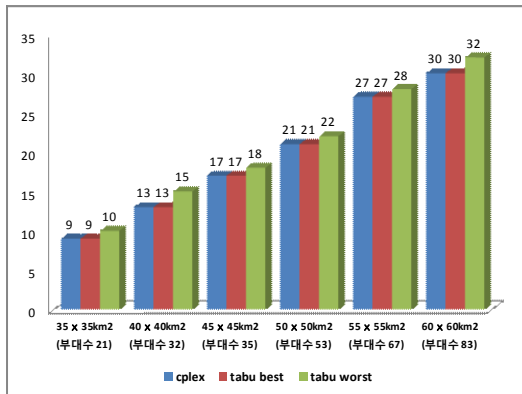


그림 12. CPLEX 최적해와 타부서치 Best 및 Worst 해의 비교

한 본 논문에서 제시한 타부서치 알고리즘은 휴리스틱의 특성상 CPLEX의 최적해와 차이가 있으나 최대 2대 밖에 차이가 나지 않고, 우수한 해를 제공하고 있어 실제 작전에서 MSAP의 위치를 찾을 때 적용이 가능할 것으로 보인다.

그림 12는 CPLEX 최적해와 타부서치의 해를 비교하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 CPLEX로 구한 최적해와 타부서치를 이용하여 구한 해를 비교한 결과, 그 해의 질이 크게 나쁘지 않음을 볼 수가 있다. 그림 13은 해 도달 시간을 비교한 것으로 타부서치 알고리즘이 CPLEX보다 빠른 시간에 해에 도달하는 것을 볼 수가 있다.

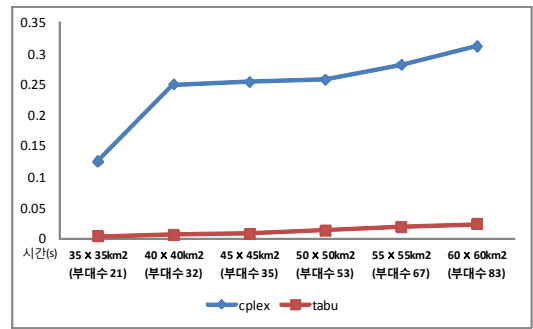


그림 13. CPLEX와 타부서치의 해 도달 시간 비교

IV. 결론

본 논문에서는 MSAP으로 작전 지역내 부대 모두에 통신을 제공할 수 있도록 MSAP의 최적위치를 찾는 것을 목적으로 하고, 이를 Set Covering Problem으로 수리모형을 수립한 뒤 이를 해결하기 위한 알고리즘으로 타부서치에 기반한 알고리즘을 제시하였다. 그리고 본 논문에서 제시한 것과 같이 MSAP을 모든 부대의 통신이 가능한 최적 위치에 배치하여 운용할 경우, 각 부대에 MSAP이 할당되는 것보다 적은 수의 MSAP으로 통신제공이 가능함을 보였다. 따라서 부대별로 할당하는 경우보다 적은 수의 MSAP이 사용되어, 여유분의 MSAP이 발생함을 보였다. 이를 통해 전장상황에서 제한된 자원의 효율적인 사용이 가능하며, 예비 장비의 확보를 통해 유동적인 작전을 수행할 수 있을 것으로 보인다.

본 논문에서는 하나의 노드에 위치할 경우 최대 4개의 부대에 통신을 제공할 수 있는 것으로 가정하였다. 하지만 MSAP에서는 원활한 통신제공이 가능한 가입자의 수가 제한되어 있다. 따라서 이러한 요소를

제한사항으로 반영하여 수리모형을 추가적으로 수립하여 개선된 최적위치 선정 모델을 수립하는 연구도 진행될 필요성이 있을 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

[1] R. L. Radin, Optimization in Operations Research, Pearson Education, pp. 567, 1998.

[2] M. R. Garey, D. S. Johnson, Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. Freeman, San Francisco, USA. 1979.

[3] M. Desrochers, Y. Dumas, F. Soumis, and P. Trudeau, "Column Generatino Approaches to Ariline Crew Scheduling Problems," *TRISTAN Conference*, Montreal, 1991.

[4] A. Capara, M. Fischetti, P. Toth, D. Vigo, P. L. Guida, "Algorithms for railway crew management," *Mathematical Programming* 79, pp. 125 - .141. 1997.

[5] M. Fisher, P. Kedia, "Optimal solution of set covering/partitioning problems using dual heuristics," *management Science* 36, pp. 674 - 688, 1990.

[6] V. Chvatal, "A greedy heuristic for the set-covering problem," *Mathematics of Operations Research* 4, pp. 233 - .235. 1979.

[7] F. J. Vasko, G. R. Wilson, "An efficient heuristic for large set covering problems," *Naval Research Logistics Quarterly* 31, pp. 163 - 171, 1984.

[8] L. Jacobs, M. Brusco, "Note: A local-search heuristic for large set-covering problems," *Naval Research Logistics* 42, pp. 1129 - 1140. 1995.

[9] J. E. Beasley, P. C. Chu, "A genetic algorithm for the set covering problem," *European Journal of Operational Research* 94, 392 - 404., 1996.

[10] U. Aickelin, "An indirect genetic algorithm for set covering problems," *Journal of the Operational Research Society* 53, pp. 1118 - 1126, 2002.

[11] L. Lessing, I. Dumitrescu, T. Stutzle, "A comparison between ACO algorithms for the set

covering problem," *Lecture Notes in Computer Science* 3172, pp. 1 - .12, 2004.

[12] F. Glover, M. Laguna, Tabu Search, Springer, pp.2-5. 1998

조 상 목 (Sang-Mok Cho)

정회원



2004년 육군사관학교 졸업  
2008년 Arizona State university  
산업공학 석사  
2010년~현재 육군사관학교 수  
학강사  
2011년~현재 아주대학교 NCW  
학과 박사과정

<관심분야> 메타휴리스틱, 모델링&시뮬레이션, 국  
방전술 네트워크 등

강 정 호 (Jung-Ho Kang)

정회원



2000년 육군사관학교 졸업  
2006년 서울대학교 대학원 계  
산과학 전공 석사  
2010년~현재 아주대학교 NCW  
학과 박사과정

<관심분야> RFID, 네트워크  
보안, 클라우드 컴퓨팅 등

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)

종신회원



1987~1996년 한양대학교 전  
산과 학사 및 석/박사 졸업  
1997~1998년 미국 UCLA  
전기전자과 박사 후 연수  
1998~2003년 Bell Labs,  
Performance Modeling and  
Management Group, 연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 부교수  
<관심분야> 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE  
802.111/15/16/20, 3GPP, 국방전술네트워크 등