

# 효율적 군용 드론 작전 운영을 위한 Drone Force Deployment Optimization 알고리즘<sup>☆</sup>

## Drone Force Deployment Optimization Algorithm For Efficient Military Drone Operations

송 주 영<sup>1,2</sup>                      장 현 덕<sup>2</sup>                      정 중 문<sup>2\*</sup>  
Ju-Young Song                      Hyeon-Deok Jang                      Jong-Moon Chung

### 요 약

본 논문에서는 4차산업의 혁명의 핵심 기술 중 사물 인터넷 (Internet of Things)과 드론(Drone)을 접목시킨 드론 인터넷(Internet of Drones)에 대해서 연구하였다. IoD 기술은 실제 전장에서 실제 전장과 C4ISR 작전을 효율적이고 경제적으로 운영하는데 특히 중요하다. 본 연구는 드론의 제한된 배터리 용량과 군의 드론 전사 육성 및 도입, 운용에 따른 예산 책정 기준 부재에 따른 문제점을 해결하는데 목적이 있다. 이에 따라 드론 투입 작전 상황 발생 시 임무 지역 (Mission area)이 정해지고 그에 따른 임무 지점 (Hovering point)과 임무 완료 제한시간이 정해질 경우, 최소한 몇 대의 작전 드론을 투입하여야 가장 경제적이고 효율적인 작전 운용이 가능한지 작전 투입 드론의 대수를 최적화해주는 DFDO(Drone Force Deployment Optimization) 알고리즘을 제안한다.

☞ 주제어 : 사물인터넷, 드론, 드론인터넷, 드론작전, 투입 드론 대수 최적화

### ABSTRACT

One of the major advancements of the Fourth Industrial Revolution is the use of Internet of Drones (IoD), which combines the Internet of Things (IoT) and drone technology. IoD technology is especially important for efficiently and economically operating C4ISR operations in actual battlefields supporting various combat situations. The purpose of this study is to solve the problems of limited battery capacity of drones and lack of budgeting criteria for military drone transcription, introduction, and operation. If the mission area is defined and corresponding multi-drone hovering check points and mission completion time limits are set, then an energy and time co-optimized scheduling and operation control scheme is needed. Because such a scheme does not exist, in this paper, a Drone Force Deployment Optimization (DFDO) scheme is proposed to help schedule multi-drone operation scheduling and networked based remote multi-drone control.

☞ keyword : Internet of Things, Drone, Internet of Drones, Drone force, Deployment Optimization

## 1. 서 론

4차 산업혁명의 핵심 기술 중 사물인터넷(IoT : Internet of Things) 분야는 가장 활발하게 산업화가 진행되고 각광 받고 있다. 최근 드론(Drone)과 IoT 기술을 접목시킨 기술들이 등장하였고 교통 감시, 촬영, 배송, 인명 구조뿐만

아니라 군사용으로도 활용되고 있다. 특히 군사적으로는 감시, 정찰, 타격, 제독(화생방 오염처리) 수송용까지 다양하게 사용되고 있다.

드론(Drone)과 IoT 기술 발전에 따른 새로운 전장 환경에 대비하는 노력은 필수적이라 할 수 있다. 현재 군에서도 미래전을 대비하여 지속적으로 드론 전력화 확대와 활용방법을 강구하고 있지만, 여전히 몇 가지 문제에 직면해 있다.

첫 번째는 드론의 제한된 배터리 용량이다. 드론의 성능은 크기와 무게로 인한 배터리 소모량으로 작전 활용에 크게 제한된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 작전 중 무선통신 에너지 소비와 추진 에너지를 고려한 시스템 설계를 해야 한다.

두 번째는 제한된 인력과 예산이다. 드론을 작전에 투

1 Republic of Korea Air Force

2 Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, South Korea

\* Corresponding author (jmc@yonsei.ac.kr)

[Received 15 November 2019, Reviewed 21 November 2019(R2 13 December 2019), Accepted 26 December 2019]

☆ 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 [2019-0-00685, 무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발]

입하기 위해서는 드론 전사 육성 및 작전 드론 도입이 필요하다. 성공적인 임무완수를 위해서 드론 전사 육성 방법 대비와 더불어 드론의 성능과 비행 가능 시간과 충전 시간 속도 등 여러 제반사항을 고려하여 적절한 드론의 종류와 대수를 선정하여야 효율적이고 경제적인 작전 운용이 가능하다. 그러므로 시간·공간적 제약과 예산을 고려한 중기계획을 세워야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 임무 지역(Mission area)이 정해지고 그에 따른 임무 지점(Hovering point)과 임무 완료 제한시간이 정해질 경우, 작전 드론 투입 대수를 최적화해주는 DFDO(Drone Force Deployment Optimization) 알고리즘에 대해 연구하였다.

DFDO 알고리즘은 드론의 에너지 소비량, 임무 완료 최대 지연시간, 드론 추진력을 위한 Battery 소비량을 기준으로 작전에 필요한 최소한의 드론의 대수를 구한다.

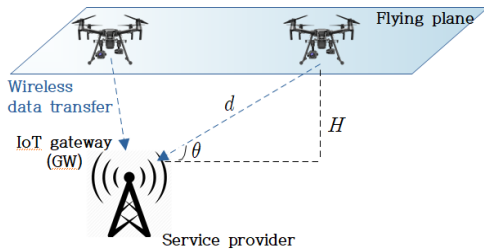
DFDO 알고리즘을 통해 향후 드론이 투입되어야 하는 작전 상황이 주어졌을 경우 합리적인 작전 드론 투입 대수를 산출하여 경제적이고 효율적인 작전을 운용할 것으로 기대한다.

2절에서는 관련 연구 소개 및 본 연구가 필요한 드론 작전의 문제에 대해 제기하였고 3절은 시스템 모델 및 알고리즘을 제안하였다. 4절에서는 제안한 알고리즘의 적절성을 확인을 위하여 실제 전장 상황에서 발생 가능한 상황을 가정하여 기존 논문 [1]과 비교하고 예상 성능을 시뮬레이션하였다.

## 2. 관련 연구 및 문제 제기

### 2.1 공중과 지상 간의 채널 환경

공중과 지상의 채널 환경은 드론과 IoT GW 간의 채널 환경이다. 여기서는 가장 흔히 쓰이는 모델을 사용한다.



(그림 1) IoT를 활용한 데이터수집  
(Figure 1) Data collection in IoT

임무 지역의 환경(건물의 높이 및 밀집도, 산악 환경, 수목 등)에 따라 드론과 IoT GW 간에 Line of sight(LoS)가 확보된 상황과 Non line of sight(NLoS)인 상황을 고려한다. LoS 환경과 NLoS의 확률 모델[2]은 식(1), (2)과 같다.

$$P(LOS) = \frac{1}{1 + \alpha \exp(-\beta[\frac{180}{\pi}\theta - \alpha])} \quad (1)$$

$$P(NLOS) = 1 - P(LOS) \quad (2)$$

이때,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 environment-related constant(e.g. 도시, 시골)이고,  $\theta$ 는, 그림 1의 elevation angle이다. 그리고 평균 Path loss는  $\overline{PL} = P(LOS) \times PL_{LOS} + P(NLOS) \times PL_{NLOS}$ 이며,  $PL_{LOS}$ 와  $PL_{NLOS}$ 는 각각 LoS와 NLoS 환경에서 path loss 모델[3]을 의미하고 식(3), (4)과 같다.

$$PL_{LOS} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f_c d}{c} \right) + \xi_{LOS} \quad (3)$$

$$PL_{NLOS} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f_c d}{c} \right) + \xi_{NLOS} \quad (4)$$

식 (3), (4)의  $f_c$ 는 carrier frequency이며,  $d$ 는 그림 1 드론과 IoT Gateway와의 거리이며,  $c$ 는 빛의 속도,  $\xi_{LOS}$ ,  $\xi_{NLOS}$ 는 environment related constant이다. 그러므로 transmission rate  $R_i$ 는  $i$ 의 위치에서  $R_i = W \log_2 \left( 1 + \frac{p_i G_i}{N_0 W} \right)$ 로 나타낼 수 있으며,  $W$ 는 bandwidth,  $p_i$ 는 transmission power,  $G_i$ 는 channel gain을 나타내며 이는  $G_i = 10^{-\frac{\overline{PL}}{10}}$ 로 구할 수 있다.  $N_0$ 는 noise power spectrum density를 의미한다.

### 2.2 기존 최신 연구(PETROL 알고리즘)

PETROL(PowEr control) 알고리즘[1]은 드론을 이용한 IoT 기술에서 드론의 배터리 용량의 한계와 공중에서 운용되는 드론의 특성으로 인하여 무선 채널 사용자의 서비스 품질(QoS) 저하 문제를 해결하고자 제시한 알고리즘이다.

PETROL 알고리즘은 드론의 에너지 소비량을 최소화하며 최소 무선 채널 사용자의 서비스 품질(QoS)를 보장하는 최적의 파워를 구하기 위해 비율의 합 분수 프로그

램 문제를 공식화하였다.

NP-완전 문제를 해결하기 위해서 반복 알고리즘을 기반으로 미분벡터투영법으로 콘벡스 최적화 문제의 최적의 해결책을 구하고 수정된 뉴턴 방법으로 라그랑주 변수를 업데이트하였다. 4절에서는 PETROL 알고리즘과 비교하는 시뮬레이션을 통해 드론 운용 시 성능의 우수성을 증명하였다.

### 2.3 기존 최신 연구의 문제점 및 한계

PETROL 알고리즘은 드론의 Power control 문제를 연구하는 분야로 최소의 무선 채널 사용자의 서비스 품질(QoS)을 보장하면서 드론의 에너지 소비량을 최소화하는 방법을 택했다. 하지만 1대의 드론을 가정하여 공간적 시간적 제약 때문에 실제적인 상황(재난 또는 전장 등)에 적용하기에는 한계가 있다.

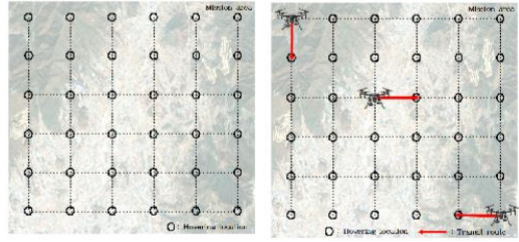
또한, 드론의 성능과 에너지 소비량을 좌우하는 드론 추진 에너지는 무게와 모터 프로펠러의 효율. 그리고 양항비에 따라 크게 영향을 받는다 하지만 기존 연구에서는 드론 추진 에너지를 상수로 취급하여 최적의 Power를 구하였다.

본 연구에서는 기존 연구의 문제점과 한계를 해결하기 위해 드론을 투입하는 작전 상황이 주어졌을 경우 1대가 아닌 여러 대를 투입 가능한 상황을 가정하여 최소한의 투입 드론의 개수를 산출하는 DFDO(Drone Force Deployment Optimization) 알고리즘을 고안한다. 또한, 드론 추진 에너지를 계산할 때 기존  $\frac{P_{full}}{v_{full}}v$  식을 이용하지 않고 무게와 모터 프로펠러의 효율. 그리고 양항비까지 고려한 식  $\frac{mv}{370er}$  을 통해 실제적인 모델 [4]을 제시한다.

## 3. 시스템 모델 및 알고리즘 제안

### 3.1 시스템 모델

본 연구는 사람이 직접 접근이 힘든 전장이나 재난 상황 등의 임무 지역(Mission area)에서  $N$ 개의 임무 지점(Mission point)이 선정되고 드론을 활용하여 정해진 경로(Transit route)대로 비행하며 필요한 데이터(동영상, 이미지 등)를 수집하여 서비스 제공자(Service provider)에게 전송하는 상황을 가정하며 이때, 성공적인 작전 수행을 위해 필요한 드론의 개수를 최적화한다.



(그림 2) 군용 드론 작전 운영개념  
(Figure 2) Military Drones Operation Concept

그림 2는 실제 작전을 실시할 때 임무 지역이 선정되고 임무 지점이 선택되어 드론을 투입하여 임무를 수행하는 과정을 나타낸다.

임무 지역과  $N$ 개의 Hovering location이 정해진 후 드론이 각 임무 지점으로 위치하였을 때  $i \in N = \{1, 2, \dots, N\}$  수집된 데이터를 GW로 완전히 전송한 후에 다음 지점으로 이동한다.

그림 1과 같이 드론은  $H$ 높이의 임무 고도(Flying plane)에서 비행하며, 정해진 비행경로(Transit route)에 따라 비행하면서 임무 지점(Mission point)으로 이동한다. 이때 비행경로(Transit route)의 길이는  $d_m$ 으로 일정하고 각 임무 지점에서 데이터(이미지, 비디오)를 수집한 후 수집된 데이터를 서비스 제공자에게 제공한다. 이때, 투입되는 드론이 여러 대일 경우 충돌이 일어나지 않는 경로를 설계함을 가정한다.

### 3.2 드론 에너지 소비량

드론의 에너지 소비량은 두 개의 파트로 구분한다. 공중에서 Hovering과 Transition을 할 때 추진 에너지  $E_{prl}$ 와 IoT transmission을 위한 Communication energy  $E_{com}$ 이다. Hovering power란 공중에서 드론의 위치를 유지할 때 필요한 power로 식 (5)와 같다.

$$P_{hov} = \sqrt{\frac{(mg)^3}{2\pi r_p^2 n_p \rho}} \quad (5)$$

식 (5)의  $m$ 은 드론의 무게로  $m = m_p + m_v$ 로 나타낼 수 있고  $m_p$ 는 payload의 무게,  $m_v$ 는 드론 자체의 무게를 의미한다.  $g$ 는 지구의 중력 가속도,  $r_p$ 는 드론 프로펠러의 반지름,  $n_p$ 는 프로펠러의 수,  $\rho$ 는 공기밀도를 의미한다. Transition power는 식 (6)과 같고

$$P_{trs} = \frac{mv}{370\epsilon r} \quad (6)$$

식 (6)의  $\epsilon$ 는 모터와 프로펠러의 효율을 의미하고  $r$ 은 양항비를 의미한다.

$$\begin{aligned} E_{prl} &= \sum_{i=1}^{N-1} P_{trs} T_{i,i+1}^{trs} + \sum_{i=1}^N P_{hov} T_i^{com} \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} P_{trs} \frac{l_{i,i+1}}{v} + \sum_{i=1}^N P_{hov} \frac{D_i}{R_i} \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{m}{370\epsilon r} l_{i,i+1} + \sum_{i=1}^N P_{hov} \frac{D_i}{R_i} \end{aligned} \quad (7)$$

$E_{prl}$ 은 식(7)과 같고  $T_{i,i+1}^{trs}$ 과  $T_i^{com}$ 은  $i$ 와  $i+1$ 에서의 data transmission 시간을 의미하고,  $l_{i,i+1}$ 은  $i, i+1$ 의 거리,  $D_i$ 는 data size를 의미한다.

$$\begin{aligned} E_{com} &= \sum_{i=1}^N (\eta p_i + p_{static}) T_i^{com} \\ &= \sum_{i=1}^N (\eta p_i + p_{static}) \frac{D_i}{R_i} \end{aligned} \quad (8)$$

$E_{com}$ 은 식 (8)과 같고  $\eta$ 는 transmission coefficient이고  $p_{static}$ 은 data를 transmission 하지 않을 때 드론이 소비하는 power를 의미한다. 결론적으로 드론의 에너지 소비량은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} E_{tot\ tot} &= E_{prl} + E_{com} \\ &= \sum_{i=1}^N (\eta p_i + p_{static} + P_{hov}) \frac{D_i}{R_i} + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{m}{370\epsilon r} l_{i,i+1} \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{D_i (\eta p_i + p_{static} + P_{hov})}{W \log_2(1 + \frac{p_i G_i}{N_0 W})} + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{m}{370\epsilon r} l_{i,i+1} \end{aligned} \quad (9)$$

### 3.3 Drone Force Deployment Optimization

#### 3.3.1 DFDO 알고리즘

기존 연구에서는 단순히 주변 환경을 고려하지 않고 최적의 에너지 소비량을 구현하는 파워 컨트롤에 목적을 가졌다면 현실적인 상황(전장 또는 재난 상황 등)에서 공간과 시간의 제약을 고려하고 드론 에너지와 파워 소비량을 효율적으로 사용하기 위한 Drone Force Deployment Optimization(DFDO) 알고리즘을 제안한다.

DFDO 알고리즘은 드론의  $E$ 소비량, 소비량, 임무 완료해야 하는 최대 지연시간, 드론의 추진력을 위한 Battery 소비량을 분석하여 임무완수를 위한 최적의 드론 개수를 산출한다. 임무 지역이 정해지면 데이터를 수집해야 할 지점인 임무 지점(Hovering location)의 개수  $N$ 이 정해지고 임무를 완수해야 할 제한시간  $L_{max}$ 가 주어진다.

#### A. 드론 에너지 소비량(E)

임무 지점  $N$ 이 주어지면 1 cycle(1 Hovering + 1 Transit) 동안의 소비한 E양은 식 (10)과 같다.

$$E_{one} = \frac{D(\eta p_{one} + p_{static} + P_{hov})}{W \log_2(1 + \frac{p_{one} G}{N_0 W})} + E_{trs} \quad (10)$$

식 (10)의  $P_{one}$ 은 1 cycle에 필요한 최소 파워이며 이는 한 임무 지점에서 수집해야 할 데이터 사이즈  $D$ 가 주어지면 임무 수행 중 Hovering 시간  $T_{hov}$ 를 통해 Data rate 구하는 식을 통해 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{one} = \frac{N_0 W (2^{\frac{D}{T_{hov} W}} - 1)}{\eta G} \quad (11)$$

$E_{one}$ 이 정해지면 Hovering location의 수  $N$ 에  $E_{one}$ 을 곱한 값은 임무완수를 위해 필요한 총  $E$ 소비량 식 (12)와 같이 표현한다.

$$E_t = N \times E_{one} (1 + \tau) \quad (12)$$

식 (12)의  $\tau$ 는 환경 변수이며 날씨, 드론 노후화 등이 작용한다. 결론적으로 드론  $E$ 소비량을 기준으로 임무 투입해야 하는 드론의 개수는 드론 1개의 총 가용 에너지 식 (13)  $E_{full}$ 로  $E_t$ 를 나누어 올림 한 양의 정수이다.

$$Z_{dn}^E = \left\lceil \frac{E_t}{E_{full}} \right\rceil \quad (13)$$

#### B. 임무 완료 최대 지연시간 (T)

전장이나 재난 상황에서 빠른 상황 판단은 승리 또는 피해를 최소화하기 위한 필수적인 조건이다. 만약 허용되는 최대 지연시간이  $L_{max}$ 로 주어졌을 때, 최적의 드론 개

수를 구해보자.

먼저 임무를 완료하는 데 필요한 총 시간  $T_t$ 와  $L_{max}$ 를 비교하여 더 적게 소요되는 시간을 기준으로 한다.  $T_t$ 는 임무 지점  $N$ 이 주어지는 식 (14)와 같다.

$$T_t = NT_{one}(1+\tau) \quad (14)$$

이때,  $T_{one} = T_{hov} + T_{trs}$ 이며,  $T_{trs} = \frac{d_m}{v}$ ,  $v$ 는 드론 이 동속도이다. 드론 1기의 최대 비행시간은  $T_{full}$ , 1개의 완 충 시간이  $T_{char}$ ,  $T_t$ 와  $L_{max}$ 중 더 적은 시간을  $T_D$ 라 한다 면, 시간을 기준으로 한 최적의 드론 개수는 식 (15)이며,

$$Z_{dn}^T = \left\lceil \frac{T_D}{T_{full} + kT_{char}} \right\rceil \quad (15)$$

식 (15)의  $k$ 는 드론 충전 횟수이다.

#### C. 드론 추진력을 위한 Battery 소비량 (B)

드론 운용 시 추진력을 위한 Battery 소비량에 따른 시 간의 제약성으로 Battery 용량과 소비량 임무를 수행하는 데 중요한 요소이다. 드론 1기의 Battery 용량을  $B_{full}$ , 1 cycle 임무 수행 시 필요한 배터리 용량을 식 (16)  $B_{one}$  필 요한 총 드론 추진력 Battery 소비량은 식 (17)과 같다.

$$B_{one} = \frac{md_m}{370\epsilon r} + P_{hov} T_{hov} \quad (16)$$

$$B_t = NB_{one}(1+\tau) \quad (17)$$

식(16)의  $\frac{md_m}{370\epsilon r}$ 는  $B_{trs}$ 이며 Battery 소비량을 고려한 최적 드론의 개수는 식 (18)과 같다.

$$Z_{dn}^B = \left\lceil \frac{B_t}{B_{full}} \right\rceil \quad (18)$$

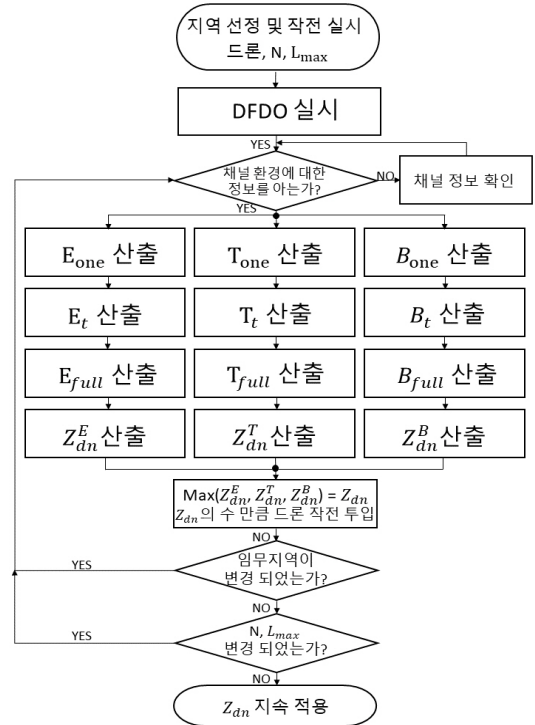
#### D. DFDO 알고리즘

드론의 E소비량, 임무 완료 최대 지연시간, 추진력 Battery 소비량을 기준으로 각각 최적의 드론 개수를 구하 였다. 이때 한 조건이라도 만족하지 못하면 임무를 성공 적으로 완수할 수 없다. 결론적으로 세 가지 경우 중 가장 큰 수를 선정하면 시간과 공간의 제약을 해결하면서 가 장 효율적인 드론의 개수로 임무를 성공적으로 완수할

수 있다. 이를 DFDO 알고리즘이라 하며 식 (19)과 같다.

$$Z_{dn} = \max(Z_{dn}^E, Z_{dn}^T, Z_{dn}^B) \quad (19)$$

#### 3.3.2 DFDO 알고리즘 순서도



(그림 3) DFDO 순서도

(Figure 3) DFDO Flow Chart

#### 3.3.3 DFDO 알고리즘 프로그램 코드

Algorithm : Drone Force Deployment Optimization

Input :  $L_{max}, P_{hov}, P_{trs}, T_{hov}, T_{trs},$   
 $N, D, R, H, d_m, \tau, v, k$

Output :  $\max(Z_{dn}^E, Z_{dn}^T, Z_{dn}^B) = Z_{dn}$

1. Initialize  $Z_{dn}, Z_{dn}^E, Z_{dn}^T, Z_{dn}^B = 1$
2. Do drone E consumption procedure
3. Calculate  $E_{one}$  satisfying Eq.(10)
4. Calculate  $E_t$  satisfying Eq.(12)
5. SET  $E_{full}$  by drone spec
6. Calculate  $Z_{dn}^E$  satisfying Eq.(13)

7. **Do** mission Time procedure
8.     **Calculate**  $T_{one}$  executes the following code
9.     **Calculate**  $T_t$  satisfying Eq.(14)
10.    **Calculate**  $T_D = \min(L_{max}, T_t)$
11.     **SET**  $T_{full}$  by drone spec
12.     **Calculate**  $Z_{dn}^T$  satisfying Eq.(15)
13. **Do** battery consumption procedure
14.     **Calculate**  $B_{one}$  satisfying Eq.(16)
15.     **Calculate**  $B_t$  satisfying Eq.(17)
16.     **SET**  $B_{full}$  by drone spec
17.     **Calculate**  $Z_{dn}^B$  satisfying Eq.(18)
18. **if** update Mission area,  $L_{max}$ ,  $N$  Type of drone
19.     repeat 1 do
20. **else**
21.     **Calculate**  $Z_{dn} = \max(Z_{dn}^E, Z_{dn}^T, Z_{dn}^B)$
22. **end**

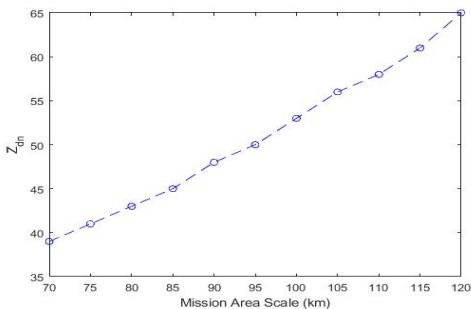
(그림 4) DFDO 프로그램 코드  
(Figure 4) DFDO pseudo code

#### 4. 성능 평가 및 분석

본 연구에서 제시한 DFDO 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다.

DFDO 알고리즘이 어떻게 작동하는지 임무 지역에 따라 최적의 드론 개수를 도출하였으며,  $L_{max}$ 가 주어졌을 경우,  $Z_{dn}$  개의 드론을 사용하였을 때와 아닐 때의 차이점을 비교 분석하고 마지막으로 임무 지역이 일정할 때 드론 개수에 따른 Interference power에 대해서 분석하였다.

##### 4.1 임무 지역에 따른 최소한 필요 드론 개수

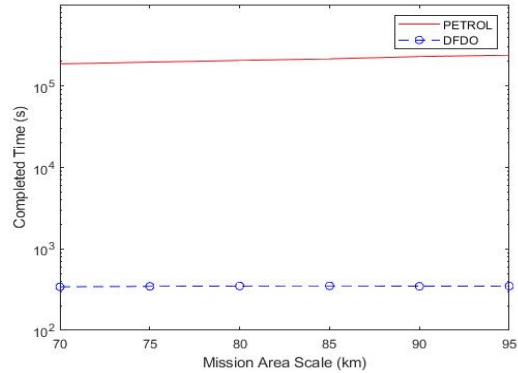


(그림 5) 임무 지역 스케일에 따른  $Z_{dn}$   
(Figure 5) Mission area vs.  $Z_{dn}$

그림 5는 임무 지역(Mission Area) 스케일에 따라서 적합한 드론의 개수를 나타내는 그래프이다. 임무 지역에 따라 드론의 개수는 늘어나며 DFDO에 따른 최적의 드론 개수를 알 수 있다.

##### 4.2 PETROL vs. DFDO

그림 6은 기존 최신 연구 PETROL(Power Control) 알고리즘은 실제 전장 상황에서는 적용이 어려움을 보여준다. 드론은 비행 가능 시간에 비해 충전 시간이 오래 걸리기 때문에 아무리 Power를 최소로 운영하여도 한계가 존재한다. 그러므로 시간과 공간의 제약을 해결하면서 가장 최적의 드론 개수를 최적화시키는 DFDO 알고리즘이 필요하다.



(그림 6) PETROL과 DFDO 성능 비교 그래프  
(Figure 6) PETROL vs. DFDO

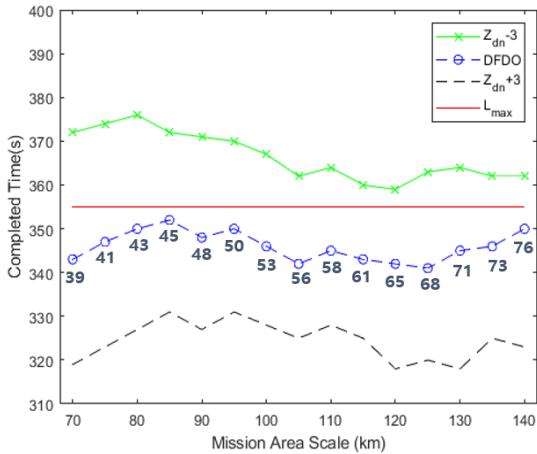
##### 4.3 $L_{max}$ 가 주어졌을 경우 임무 완료 시간

그림 7은  $L_{max}$ 가 주어졌을 경우, 임무 지역 스케일에 따라 임무 완료 시간을 보여준다. 그래프에서 보는 바와 같이 DFDO 알고리즘을 이용하여 최적의 드론 개수  $Z_{dn}$ 을 적용한 경우  $L_{max}$  절대 넘지 않은 범위에서 완료하나 개수를 3개를 줄일 경우, 제한시간 내에 임무를 완수하지 못하며 개수를 늘릴 경우, 시간을 줄어드나 그에 따른 Interference 증가로 인해 Outage probability는 증가할 것이다. 이때 DFDO 그래프 아래 숫자는  $Z_{dn}$ 이다.

##### 4.4 드론 개수에 따른 Interference Power

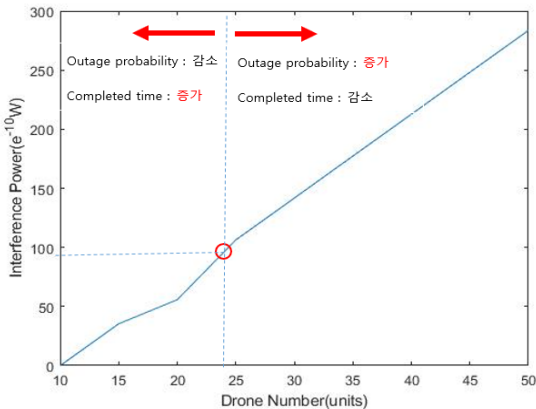
그림 8은 일정한 임무 지역 (Mission area)가 정해졌을 때 드론 개수에 따른 Interference power를 나타내는 그래

프이다. 빨간 원은 DFDO 알고리즘을 썼을 경우 최적의 드론 개수  $Z_{dn}$ 와 그에 따른 Interference power를 나타낸다.  $Z_{dn}$ 보다 더 적은 수의 드론을 사용하면 Interference power는 줄어드나 그림 8 그래프에서 보듯이 제한시간  $L_{max}$ 가 주어지면 시간 내에 임무를 완수하지 못하며  $Z_{dn}$ 보다 수를 늘릴 경우는 시간은 줄어дна Interference power가 늘어나며 Outage probability는 증가한다.



(그림 7) 임무지역 스케일에 따른 임무완료 시간

(Figure 7) Mission Area Scale vs. Completed Time



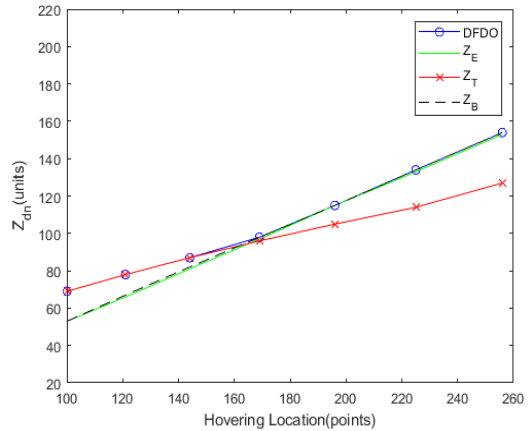
(그림 8) 드론 개수에 따른 방해전력

(Figure 8) Drone Number vs. Interference Power

#### 4.5 E 소비량, 시간, Battery 소모량 비교

그림 9 DFDO 알고리즘의 결과값을 산출할 때 에너지

소비량, 시간, Battery 소모량 중 어떤 값이 우세한지 보여 준다. Hovering Location이 많아짐에 따라 최적의 드론 개수는 늘어나며 이때 에너지 소비량과 Battery 소모량은 비슷하게 증가하는 양상을 보이고 Hovering point가 적을 때는 시간이 우세하고 Hovering point가 늘어날수록 에너지와 Battery 소모량이 우세하다는 것을 알 수 있다.



(그림 9) 임무 지점 수에 따른 결정 기준

(Figure 9) energy consumption vs. time vs. power consumption

### 5. 결 론

본 연구에서는 군 드론을 활용한 작전 수행 시 드론의 E 소비량, 임무 완료해야 하는 최대 지연시간, 드론의 추진력을 위한 Battery 소비량을 분석하여 성공적인 임무 완수를 위한 최적의 드론 개수를 산출하는 알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘은 작전 수행을 위한 드론의 성능과 작전 환경, 채널 환경과 path loss를 고려하여 임무 완수에 필요한 총 드론의 소비량과 최대 지연시간, Battery 소비량을 계산하여 드론 1대의 총 E 량, 최대 비행시간, 총 Battery 양과의 관계를 통해 최적의 드론 개수를 산출하였다.

기존 논문에서 제시된 방식은 무선 채널 사용자의 서비스 품질 (QoS)를 보장하면서 드론의 에너지 소비량을 최소화하였지만 실제 상황에 적용하기에는 한계가 있다는 것을 제안한 알고리즘과 비교하여 입증하였으며 제안한 알고리즘의 우수성을 확인하였다. 또한, 작전 환경과 유사한 parameter를 대입하여 실전에서 기대할 수 있는

데이터 값을 산출하였다.

4차 산업혁명의 도래와 함께 미래전의 양상은 더욱 복잡하게 진행될 것으로 예상된다. ‘국방 개혁 2.0’은 주요 과제 중 하나로 ‘4차 산업혁명 시대에 걸맞은 방위 산업 육성’을 목표로 하고 있으며 그에 따라 미래지향적 국방 기술 개발을 추진 중이다. [5]

저렴한 도입 비용과 인명 피해 없이 위험한 임무를 효과적으로 수행할 수 있다는 측면에서 미래전에서의 드론의 활용은 필수 불가결한 것으로 예상된다. [6] 드론은 미래전에서 공격, 정찰, 통신, 의료, 보급 수송 등 다양한 분야에서 활용될 것이다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용하여 향후 미래전에서의 작전 상황에서 최적의 드론 대수를 구할 수 있다면 저비용의 혁신적인 플랫폼과의 균형을 맞춰 미래전에서 임무완수와 승리를 보장받을 수 있을 거라 기대해 본다.

### 참고문헌(Reference)

- [1] Jingjing Yao, Nirwan Ansari, “QoS-Aware Power Control in Internet of Drones for Data Collection Service,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 7, Jul. 2019.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2019.2915270>
- [2] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, “Drone small cells in the clouds: Design, deployment, and performance analysis,” *Proc. IEEE Global Commun. Conf.*, San Diego, CA, USA, pp. 1-6, Dec. 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1109/GLOCOM.2015.7417609>
- [3] A. Al-Hourani, S. Kandeepan, and A. Jamalipour, “Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments,” *Proc. IEEE Global Commun. Conf.*, Austin, TX, USA, pp. 2898-2904, Dec. 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1109/GLOCOM.2014.7037248>
- [4] J. A. L. Calvo, G. Alirezai and R. Mathar, “Wireless powering of drone-based MANETs for disaster zones,” *Proc. 2017 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)*, Montreal, QC, 2017, pp. 98-103.  
<http://dx.doi.org/10.1109/WiSEE.2017.8124900>
- [5] 국방기술품질원, “4차 산업혁명과 연계한 미래국방기술,” 2017. [Ebook] Available: 국방기술품질원 e-book.
- [6] 윤용현, “국내의 드론 산업 정책 동향,” TBT Policy Report, 5호, 4-11쪽. 2018.



● 저 자 소 개 ●



**송 주 영(Ju-Young Song)**

2011년 공군사관학교 전산과학과(공학사)  
2011년~현재 공군 장교(대위)  
2018년~2020년 연세대 전기전자공학과 석사 과정  
2020년~현재 사이버작전센터 계획운영과장  
관심분야 : 드론, 컴퓨터, 정보통신, 전술통신시스템, 인공지능, 빅데이터  
E-mail : songjuyoung@yonsei.ac.kr



**장 현 덕(Hyeon-Deok Jang)**

2019년 연세대학교 전기전자공학과 (학사)  
2019년~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정  
관심분야 : 자율주행차, 드론, 5G, 인공지능  
E-mail : jhd93825@yonsei.ac.kr



**정 종 문(Jong-Moon Chung)**

1992년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1994년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1999년 Pennsylvania State University, Electrical Engineering (공학박사)  
1997년~1999년 Pennsylvania State University, Electrical Engineering, Faculty Instructor 및 조교수  
2000년~2005년 Oklahoma State University, Electrical and Computer Engineering 부교수(정년보장)  
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수(정년보장)  
2011년~현재 Editor, IEEE Trans. on Vehicular Technology  
2013년~현재 KSII Trans. on Internet and Information Systems (TIIS) Co-EiC  
2015년~현재 연세대학교 국방융합공학협동과정 주임교수  
2017년~현재 Section Editor, Wiley ETRI Journal  
2018년~현재 연세대학교 공과대학 부학장  
2019년~현재 한국인터넷정보학회 (KSII) 학술부회장  
2019년~현재 연세대학교 의과대학 응급의학교실 (겸직)교수  
2019년~현재 IEEE Consumer Electronics Society 부회장  
2019년~현재 Assoc. Editor, IEEE Trans. on Consumer Electronics  
관심분야 : 무선통신, 군 위성통신, 군 UAV, 이동통신망, Ad Hoc망, 정보이론, 통신보안, 인공지능, 빅데이터  
E-mail : jmc@yonsei.ac.kr