

CSMA/CA를 적용한 백업 UAV 기반 Multi-UAV 네트워크 복구기법

김시완*, 장민희*, 김동성**, 이재민^o

Backup UAV-Based Multi-UAV Network Recovery Scheme Applying CSMA/CA

Si-Wan Kim*, Min-Hui Jang*, Dong-Seong Kim**, Jae-Min Lee^o

요약

본 논문은 중계 UAV의 결함 발생으로 인한 네트워크 통신 공백 시간을 최소화하기 위해 중계 UAV 결함 복구기법을 제안한다. 제안하는 기법은 UAV 메쉬 네트워크의 커버리지 안에 백업 UAV를 배치하여 중계 UAV의 데이터를 동기화한다. 중계 UAV의 결함이 발생하면 백업용 UAV는 결함 중계 UAV 구역으로 이동하여 배치된다. 배치된 백업용 UAV는 기존의 결함 중계 UAV 임무를 수행하여 통신을 복구할 수 있도록 한다. 또한 중계 UAV와 백업 UAV간의 메시지 통신 간격을 조절하여 에너지 소모를 줄이고자 한다. 모의 환경에서 복구기법의 성능 평가 결과, Hello 메시지를 통한 전송 전력 조절 기법에 비해 패킷 손실이 낮음을 확인하였다. 또한 interval 조절을 통해 시간별 데이터 처리량을 비교하여 적절한 절전모드 시간을 확인하였다.

Key Words : Relay UAV, Backup UAV, Recovery Network, CSMA/CA, Mesh Network, Interval

ABSTRACT

This paper proposes a relay UAV defect recovery scheme to minimize network communication gap time due to the occurrence of a relay UAV defect. The proposed scheme synchronizes the data of the relay UAV by placing the backup UAV within the coverage of the UAV mesh network. When a defect occurs in the relay UAV, the backup UAV moves to the defect relay UAV area and is disposed. The disposed backup UAV enables communication to be recovered by performing an existing defect relay UAV mission. In addition, it is intended to reduce energy consumption by adjusting the message communication interval between the relay UAV and the backup UAV. As a result of evaluating the performance of the recovery scheme in the simulated environment, it was confirmed that the packet loss was lower than that of the transmission power control technique through Hello messages. In addition, through interval control, the appropriate power saving mode time was confirmed by comparing the data throughput by time.

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2018104148)

• First Author : Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., bigshow@kumoh.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., ljmpaul@kumoh.ac.kr, 종신회원

* Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., jmhee@kumoh.ac.kr, 학생회원

** Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., dskim@kumoh.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202106-133-B-RN, Received June 15, 2021; Revised September 30, 2021; Accepted October 26, 2021

I. 서론

최근 기동성, 배치 용이성, 저비용의 장점인 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 통해 국방뿐만 아니라 민간영역에서도 네트워크 인프라를 구축하는 통신 중계기 역할이 떠오르고 있다^{1,2)}. 이로써 네트워크 인프라를 요구하는 구역에 신속한 구축이 가능하게 한다^{3,4)}.

그러나 UAV의 매쉬 구조로 이루어진 Multi-UAV 네트워크 환경은 하나의 중계 UAV 결함이 발생하면 전체 네트워크의 끊어짐이 발생하는 문제가 도래한다⁵⁾. 이는 중계 UAV를 통한 네트워크 구축 이후 자연에서 발생하는 변수, 전장 환경에서 적군으로부터의 격추, 작동 중지 및 고장과 같은 UAV 자체적인 결함으로 인한 네트워크의 끊어짐이 발생하는 상황의 대처방안이 부족함을 뜻한다. 이는 실시간 정보 공유가 필요한 환경에서 중계 UAV의 결함은 막대한 손실을 발생시킬 수 있다. [7]에서는 중계 UAV의 상태 모니터링을 통한 자체 오류를 감지하고 분석하는 방안을 제안하였다. [8]에서는 FANET (Flying Ad-hoc Networks) 환경에서 동적으로 움직이는 UAV 간 네트워크 연결 끊김 문제를 해결하기 위해 Hello 메시지의 전송 전력을 조절하여 통신이 단절된 UAV의 위치 정보를 획득하고 네트워크 복구하는 기법을 제안하였다. 그러나 이러한 방안들은 복구 과정에서 동기화를 위한 지연이 발생하거나 UAV의 결함으로 인한 네트워크 끊어짐이 발생하였을 때 즉시 복구하는 방안과 결함 중계 UAV의 데이터 복구 방안이 부족하다⁶⁾.

따라서 본 논문에서는 매쉬 형태로 이루어진 Multi-UAV 기반 네트워크 환경에서 내외부적인 요인에 의해 중계 UAV의 결함이 발생할 수 있음을 감안하여 특정 지역의 통신 공백 시간을 최소화한 복구기법을 제시한다. 또한 여러 변수가 존재하는 자연환경, 전장 환경에서 적의 격추 위험을 내포하는 경우를 방지하기 위하여 브라운 운동을 통해 불규칙적으로 호버링 하도록 한다. 그리고 적절한 interval 조절을 통해 에너지 효율을 고려하는 방안과 네트워크 복구를 위한 기법의 성능 평가를 진행한다.

II. 관련 연구 및 문제점 분석

중계 UAV 기반 네트워크는 지상 중계 장비 설치 장소가 제한적이고, 신속한 중계 장비의 구축이 필요한 환경을 위해 등장하였다. 이러한 환경은 각각의 중계기 역할을 하는 UAV가 그물망처럼 연결되어 하나

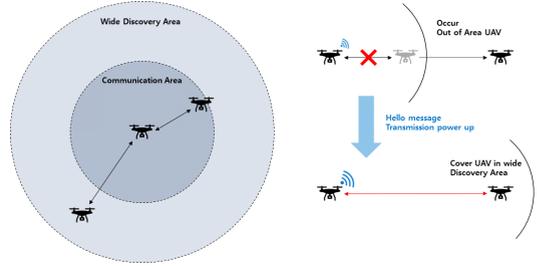


그림 1. Hello 메시지를 통한 이탈 UAV 네트워크 복구 방안
Fig. 1. Network Recovery Techniques due to deviated relay UAV through Hello Messages

의 큰 네트워크를 이룬다. 그림 1은 [8]에서 제안하는 중계 UAV 기반 네트워크 환경에서 끊어짐 없는 통신 링크를 유지하는 방안을 보여준다. 기존 UAV 기반 네트워크 환경에서는 이웃 UAV와 주기적으로 Hello 메시지를 교환함으로써 통신 링크를 유지하도록 한다. 그러나 이러한 환경은 자연으로 인한 변수 혹은 UAV의 호버링 오류로 인해 지정한 위치를 이탈하여 통신 링크의 끊어짐이 발생할 수 있다. 따라서 [8]에서는 그림 1과 같이 Hello 메시지의 전송 전력을 높여 통신 커버리지 구역을 이탈한 UAV의 위치를 파악하도록 하였다. 이후 이탈 UAV에 복구 명령을 통해 본래 지정된 위치로 이동하여 통신 링크를 복구할 수 있도록 하였다. 그러나 이러한 방안은 단순히 이탈 UAV로 인한 통신 복구 과정으로 자연에서 발생하는 변수, 적군으로부터의 격추, UAV 자체적인 결함으로 인한 네트워크의 끊어짐이 발생하는 상황의 대처방안이 부족하다.

III. 백업 UAV 기반 Multi-UAV 네트워크 복구기법

3.1 Multi-UAV 네트워크 통신망 아키텍처

그림 2는 본 논문에서 제안하는 Multi-UAV 네트워크와 백업 UAV의 아키텍처이다. 제안하는 네트워크는 2가지 유형의 UAV를 활용하여 구성된다. 각 중

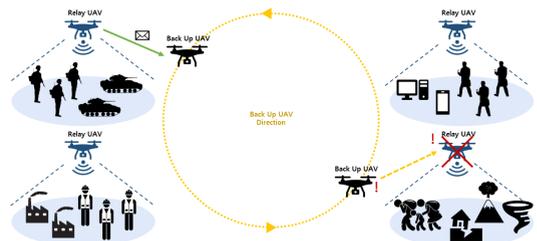


그림 2. Multi-UAV 기반 네트워크 통신 복구기법 구성도
Fig. 2. Architecture of fault recovery scheme for relay UAVs communication network in battlefield environments

계 UAV는 매쉬 형태로 배치되어 지상의 노드들과 통신한다. 백업 UAV는 중계 UAV가 배치된 구역에서 원을 그리며 이동한다. 중계 UAV의 상태는 백업 UAV와 비콘 메시지를 통해 생존을 확인한다. 이때 중계 UAV에서 비콘 메시지가 전송되지 않는 경우 중계 UAV의 결함으로 인한 통신 단절이 발생하였음을 파악하고 해당 중계 UAV 위치로 백업 UAV가 이동하여 역할을 대신할 수 있도록 한다.

3.2 중계 UAV 및 백업 UAV의 배치 구조

그림 3은 제안하는 중계 UAV 기반 통신망의 에너지 효율을 위한 중계 UAV와 백업 UAV의 배치 구성도이다. 중계 UAV는 Ground 노드와 연결되며 무작위 혹은 균일한 배치로 R 영역 안에 분포되도록 한다. 이때 배치된 중계 UAV는 전장 환경에서 격추를 회피하기 위해 $R = 6.4km$ 내에서 브라운 운동을 적용하여 불규칙한 움직임을 유지할 수 있도록 한다^[10]. 이로써 UAV의 움직임을 예측할 수 없으므로 적군의 격추 확률을 감소시킬 수 있다. 백업 UAV는 $h = 50m$ 고도에서 반지름 r을 통해 $V = 60km/h$ 로 이동한다. r은 전체 R에서 $2/R$ 를 의미한다. 백업 UAV 커버리지 영역은 $\sqrt{R/r^2 + h^2}$ 을 가지도록 하며 데이터 속도는 $250kbps$ 로 100bit 길이의 비콘 프레임을 브로드캐스트 한다. 중계 UAV는 MAC 프로토콜 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) P-Persistent 기반으로 백업 데이터를 백업 UAV에게 송신하고 절전, Back off, 캐리어 센싱, 감지모드를 가진다. 여기서 절전모드는 백업 UAV가 근처에 위치하지 않을시, interval 설정을 통해 메시지를 주고받는 간격을 줄여 에너지 소모를 줄이는 방안

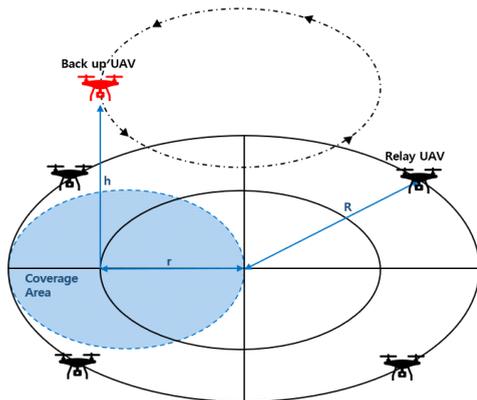


그림 3. 중계 UAV와 백업 UAV의 배치 구성도
Fig. 3. Configuration Diagram of relay UAVs and Backup UAV

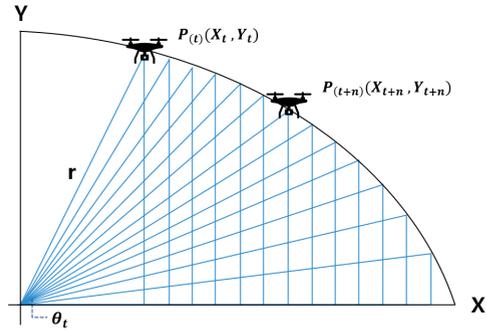


그림 4. 백업 UAV의 이동 경로
Fig. 4. Path of Backup UAV

을 뜻한다. 그림 4는 백업 UAV의 이동 경로를 나타낸다. 백업 UAV는 중심으로부터의 반지름 r의 경로 끝부분에서 시계 방향으로 이동한다. 백업 UAV의 좌표는 수식 (1)로 나타내며 θ 는 수식 (2)로 나타낸다. T_{packet_tx} 는 패킷 전송 시간, T_{slot} 은 슬롯 시간이다.

$$X = r \cdot \cos(\theta) , Y = r \cdot \sin(\theta) \quad (1)$$

$$\theta = \frac{360 \cdot T_{mini_slot}}{2\pi r (V \cdot 60 \cdot 60) \cdot T_{packet_tx}} \quad (2)$$

3.3 중계 UAV의 데이터 공유를 위한 알고리즘

Algorithm 1은 interval 설정이 포함된 절전모드를 활용한 중계 UAV의 데이터 전송 방안을 나타내는 알고리즘이다. 해당 알고리즘은 IEEE 802.11 기반 CSMA/CA 프로토콜을 기반으로 설계하였다^[11,12]. 본 논문에서 제안하는 Multi-UAV로 이루어진 매쉬 네트워크 환경은 여러 UAV 노드들이 분산 환경에 존재하며 각 노드는 높은 이동성을 갖기 때문에 이러한 사항이 네트워크의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 한 채널에서 여러 UAV 노드들이 효율적으로 통신하기 위해서는 각 노드가 상태를 파악하여 충돌(Collision)을 회피하는 방안이 필요하다^[13]. 따라서 충돌 감지가 불가능한 무선 네트워크 환경에서 idle 여부를 판단하고 주변 노드와 충돌 여부에 대한 통보 신호를 주고받음으로써 충돌을 회피할 수 있는 사전 충돌 회피 무선전송 다원접속 방식인 CSMA/CA를 활용한다. CSMA/CA는 1-persistent, non-persistent, P-persistent 3가지 유형의 Persistent Mechanism을 제공한다. 이 중 본 논문에서는 매체의 사용 유무에 따라 확률 p를 통한 단위시간만큼 대기시간을 부과하여 충돌을 줄이는 P-persistent 방안을 채택하였다. 중계

Algorithm 1 Hibernation mode of UAV

```

Input: coverage of UAV = threshold, hibernation_time,
backoff_time, carrier_sense_time
output: void
Procedure
While
timer_sensor += 1:
if (mode_sensor = Hibernation) then
if (timer_sensor >= Hibernation_time) then
mode_sensor goto Detecting mode
timer_sensor = 0
end if
end if
if (mode_sensor = Detecting mode) then
if (timer_sensor < detecting_time) then
if (received Backup UAV beacon signal) then
if (Euclidean distance(sink, location) <= threshold )
then
mode_sensor goto carrier_sense
timer_sensor = 0
end if
end if
else (mode_sensor = Hibernation )
timer_sensor = 0:
end if
else if (mode_sensor = carrier_sense)
if (timer_sensor < carrier_sense_time ) then
carrier = 0:
if (Calculate location with nearby UAVs) <=
Threshold) then
if (Neighbor UAV mode_sensor is
Transmitting) then
carrier += 1
end if
end if
if (carrier = 0) then
mode_sensor ← Transmitting
timer_sensor = 0:
packet transmission
else ( mode_sensor = Backoff )
end if
else ( mode_sensor = Hibernation )
timer_sensor = 0:
end if
else if (mode_sensor = Backoff )
if (time_sensor < backoff_time) then
if (Bernoulli(random(), p) == 1) then
mode_sensor goto carrier_sense
end if
else (mode_sensor = Hibernation )
timer_sensor = 0:
Transmission Fail
end if
end if
end if
end Procedure
    
```

UAV Sending mode 실행 시, 절전모드의 interval 시간 hibernation_time과 hibernation mode를 포함한다. 중계 UAV의 timer_sensor가 설정된 절전모드 시간 이후 Detecting mode를 진행한다. 중계 UAV의 Detecting mode에서 백업 UAV에게 비콘 메시지를 수신할 경우 Carrier sense mode로 변환한다. Carrier sense mode에서 중계 UAV는 동일한 threshold에서 이웃하는 백업 UAV의 상태를 확인한다. 이때 이웃 중계 UAV가 Transmitting 상태이면 Carrier sense mode에서 Back off mode로 변환한다. Back off

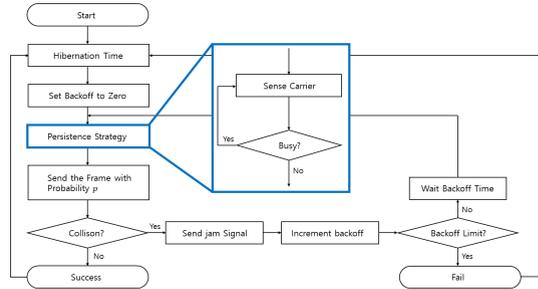


그림 5. 절전모드 CSMA/CA P-persistent 알고리즘 순서도
 Fig. 5. Flowchart of Sleep Based CSMA/CA P-persistent Algorithm

mode에서는 Bernoulli 함수를 활용하여 backoff_time 이내에 랜덤한 p=1의 확률로 Carrier sense mode를 실행하고 backoff_time 이내에 데이터 전송 실패 시 hibernation mode로 복귀한다. 그림 5는 절전모드를 포함한 CSMA/CA P-persistence 동작 순서도이다. 절전모드에서 설정된 시간의 경과 후 backoff_time이 설정된다.

backoff_time 완료 후 Persistence Strategy mode를 통해 캐리어 센싱모드에서 채널의 busy/idle 상태를 확인한다. idle 상태는 p확률로 송신한다. 이후 데이터 전송이 완료되면 다시 interval 설정을 통해 메시지를 주고받는 간격이 증가한 절전모드를 실행한다. 이때 충돌 발생 시 재밍 신호를 전송하고 리셋하며 이후 backoff_time을 증가시킨다. 이후 backoff_time 내에 데이터 전송을 반복한다. 최대 backoff_time 내에 전송이 실패하면 전송 실패로 저장 후 다시 절전모드로 복귀한다.

3.4 백업 UAV를 통한 Multi-UAV 네트워크 복구 과정 아키텍처

그림 6은 중계 UAV의 결함 복구기법 전체 구성도이다. 매쉬 형태로 배치된 중계 UAV 배치 구성에서 백업 UAV를 사용함으로써 데이터 동기화가 가능할 수 있도록 한다. 중계 UAV와 백업 UAV는 주기적으로 백업 데이터 전송과정을 가진다. 중계 UAV의 결함이 발생하면, 가장 근접한 백업 UAV가 중계 UAV의 상태를 인지한다. 결함 중계 UAV의 발생을 인지한 백업 UAV는 해당 좌표를 예측하여 가장 빠른 경로로 이동한다. 이후 백업 UAV는 중계 UAV의 역할을 대신하여 수행한다.

3.5 백업 UAV 기반 Multi-UAV 네트워크 복구 알고리즘

Algorithm 2는 중계 UAV의 결함 발생 시, 백업

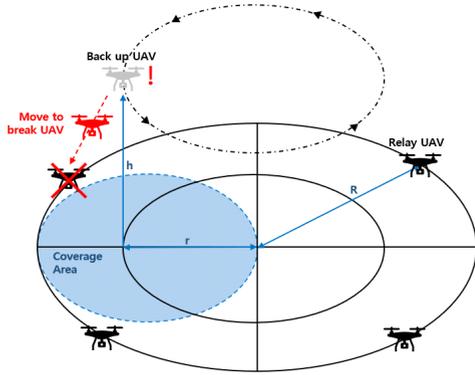


그림 6. 백업 UAV 기반 중계 UAV 결함 복구기법 구성도
Fig. 6. Configuration Diagram of Relay UAV Fault Recovery Scheme with Backup UAV

UAV가 결함 중계 UAV의 위치로 이동하여 중계 UAV의 기능을 대신하는 방안을 보여준다. 표 1은 백업 UAV를 통한 결함 중계 UAV 복구기법을 나타내는 알고리즘이다. 중계 UAV의 결함 발생 시 백업 UAV가 결함이 발생한 중계 UAV로 이동하여 기능을 대신하는 방법이다. 각 중계 UAV는 U_n 이며 백업 UAV의 위치는 sink, v의 속력을 가지고 커버리지 영역은 Threshold 값으로 나타낸다. 이때 특정 중계 UAV U_n 이 결함이 발생 시, 백업 UAV의 커버리지 영역 내에 결함 중계 UAV가 위치하면 백업 UAV는 결함 중계 UAV 구역으로 v속도로 t초 만큼 이동한다. 이때 백업 UAV와 중계 UAV의 좌표는 Euclidean distance()로 도출하도록 한다. 이후 백업 UAV는 결함 중계 UAV의 위치로 이동하도록 한다.

Algorithm 2 Recovery flaw UAV

```

Input: Velocity = v output: void
Procedure
let Node[] UAV = [u1, u2, ... un];
sink = (backup UAV position)
location = (relay UAV position)
if (Node[un] = false) then
do
if (Euclidean distance(sink, location[un] > 0)
sink += v
else sink += 0
end if
while (Euclidean distance(sink, location[un] == 0)
end if
Update the UAV, Sink is expire
end Procedure
    
```

IV. 백업 UAV 기반 Multi-UAV 네트워크 복구기법 성능 평가

4.1 시험 환경 구성

전체 시뮬레이션에는 1개의 슬롯을 전송 소요 시간은 4us이며, 감지모드는 20s, 백오프 시간은 최소 3s에서 최대 20s으로 설정하였다. 시뮬레이션을 위한 전체 Loss는 HATA 모델을 적용하였고 h_b 는 백업 UAV 높이, h_m 은 중계 UAV의 높이를 뜻한다.

$$L(db) = A + B$$

$$A = 69.55dB + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_b) \quad (3)$$

$$B = -a(h_m) + (44.9 - 6.55\log h_b)\log d - K$$

$$a(h_m) = (1.1\log f - 0.7)h_b - (1.56\log f - 0.8) \quad (4)$$

$$a(h_m) = 3.2(1.1\log 11.75 \cdot h_m)^2 - 4.97 \quad (5)$$

$$K = 4.78(\log f)^2 - 18.33\log f + 40.94 \quad (6)$$

수식 (3)에 사용되는 $a(h_m)$ 는 소도시 범위를 위한 수식 (4)와 대도시 범위를 위한 수식 (5)로 나뉜다. K는 전파환경 보전 값으로 장애물이 없는 개방지역에 수식 (6)을 적용하고, 도심 지역은 $K=0$ 으로 구성한다. 패킷 발생 프로세서는 Bernoulli를 적용한다. 시뮬레이션 환경의 세부 사항은 표 1에 서술하였다.

표 1. 시뮬레이션 환경 구성
Table 1. Simulation Environment Configuration

Property	Description
Simulation time(s)	18,000
Number of relay UAV	3, 5, 10, 15, 20, 30
Number of back up UAV	1, 2
Velocity of relay UAV(m/s)	15, 25, 35, 45, 55
Velocity of back up UAV(m/s)	60
Loss model	HATA model
Distance of back up UAV(km)	20
Message Size(byte)	100
Packet Generation	Bernoulli processor
Trip Radius(km)	3
Field Radius(km)	6
Location of back up UAV_high(m)	100
Location of relay UAV_high(m)	50
Sink threshold(m)	3000
Detection time(s)	20
Minimum back off time(s)	3
Maximum back off time(s)	20
Transfer time(s)	2
Frequency	2400

4.2 절전모드 알고리즘에서 최적의 interval 시간 성능분석

그림 7은 interval 조절을 통한 절전모드 시간별 데이터 처리량과 절전모드 비율을 보여준다. 데이터 처리량은 절전모드의 4s에서 최대 데이터 처리량을 나타내고 이후 감소함을 보여준다. 이와 같은 결과는 절전모드 시간이 길어질수록 Carrier sense mode를 진행할 확률이 적어 전송하는 패킷의 수가 감소하기 때문이다. 1s-4s에서는 절전모드 시간은 감소하나 Carrier sense mode에서 데이터 전송 충돌이 일어날 수 있는 확률이 증가하여 전송 패킷 수는 증가하고 데이터 처리량에는 기인하지 않는다. 절전모드 시간별 데이터 처리량은 UAV 이동 속도에 영향을 받지 않는 결과를 보여준다. 이는 절전모드와 Carrier sense mode 간 존재하는 Trade off를 보여주며 최적의 절전모드 시간이 존재함을 뜻한다.

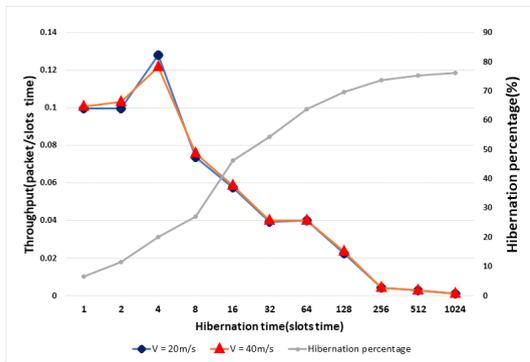


그림 7. 절전모드 시간별 데이터 처리량과 절전모드 비율
Fig. 7. Data throughput and sleep ratio according to sleep mode time

4.3 중계 UAV 복구기법의 비교 분석

그림 8은 기존 연구 [8]과 제안하는 기법의 패킷 손실 비율을 비교한 것을 보여준다. 120분 이내는 전체 패킷 손실의 유사한 양상을 보인다. 제안하는 기법은 150분 지점에서 중계 UAV의 결함이 발생하였음을 인지하고, 이후 180분 지점에서 네트워크 복구가 완료되어 패킷 손실 비율이 결함 전과 비슷함을 보인다. 그러나 기존의 Hello 메시지를 통한 전송 전력 조절 기법은 결함이 발생한 중계 UAV를 복구하는 방안이 부족하므로 패킷 손실 비율이 증가함을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 CSMA/CA를 활용한 Multi-UAV

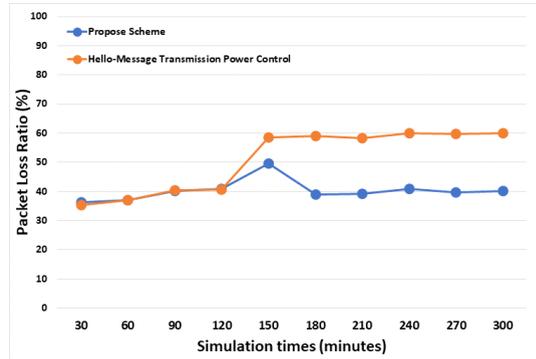


그림 8. 기존 이탈 UAV 복구기법과 제안하는 기법의 패킷 손실 비교
Fig. 8. Packet Loss Comparison between Deviation UAV Recovery Scheme and Proposed Scheme

네트워크의 복구기법을 제안하였다. 제안된 기법은 자연에서 발생하는 변수, 적군으로부터의 격추, UAV 자체적인 결함으로 인해 네트워크의 끊어짐이 발생할 수 있는 상황의 대처방안을 고려한 백업 UAV의 배치와 interval 조절을 통한 중계 UAV의 절전모드 방안이다. 백업 UAV와 중계 UAV의 상호작용을 통해 중계 UAV의 문제를 확인하고 이를 복구하는 과정을 통해 UAV 네트워크의 신뢰성을 보장할 수 있다. 제안하는 기법의 성능을 확인하기 위하여 기존 기법들과의 비교를 통해 제안하는 기법이 처리량과 최적 절전모드 시간을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 백업 UAV의 수를 조정해 보고 이후와 같은 자연환경 및 배치 환경을 고려하여 최적의 이동 경로를 능동적으로 도출하는 방안을 고려해 보고자 한다. 또한 이를 활용하여 중계 및 백업 UAV의 이동에 대한 에너지 효율성을 보장하는 방안의 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] G. Panda, S. Das, D. Sen, and W. Arif, "Design and deployment of UAV-aided post-disaster emergency network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102985-102999, Jul. 2019.
- [2] R. Akter, V. S. Doan, J. M. Lee, and D.-S. Kim, "CNN-SSDI: Convolution neural network inspired surveillance system for UAVs detection and identification," *Comput. Netw.*, vol. 201, pp. 1-12, Dec. 2018.
- [3] X. Liu and N. Ansari, "Resource allocation in

UAV-Assisted M2M communications for disaster rescue,” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 8, pp. 580-583, Nov. 2018.

[4] M. R. Ramli, J. M. Lee, and D. S. Kim “LSAR: Multi-UAV collaboration for search and rescue missions,” *Internet of Things*, vol. 14, pp. 1-13, Jun. 2021.

[5] M. Y. Arafat and S. Moh, “Localization and clustering based on swarm intelligence in UAV networks for emergency communications,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 5, pp. 8958-8976, Oct. 2019.

[6] E. T. Alotaibi, S. S. Alqefari, and A. Koubaa, “LSAR: Multi-UAV collaboration for search and rescue missions,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 55817-55832, Apr. 2019.

[7] K. Xiao, J. Zhao, Y. He, C. Li, and W. Cheng, “Abnormal behavior detection scheme of UAV using recurrent neural networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 110293-110305, Aug. 2019.

[8] G. H. Kim, I. Mahmud, and Y. Z. Cho, “Hello-message transmission-power control for network self-recovery in FANETs,” *2018 ICUFN*, pp. 546-548, Prague, Czech Republic, Aug. 2018.

[9] S. W. Kim, J. M. Lee, D. S. Kim, and C. B. Moon, “Fault recovery scheme of relay uav in battlefield environment,” in *Proc. Symp. KICS*, pp. 289-290, YongPyong, South Korea, Feb. 2020.

[10] T. E. Duncan, “Mutual information for stochastic signals and fractional brownian motion,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, pp. 4432-4438, Sep. 2008.

[11] M. Gamal, N. Sadek, M. R. M. Rizk, and M. A. E. Ahmedc, “Optimization and modeling of modified unslotted CSMA/CA for wireless sensor networks,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, pp. 681-691, Apr. 2020.

[12] Y. H. Jo, I. S. Yoon, S. U. Kim, and H. D. Park, “A study on the MAC(Media Access Control) protocol for unmanned aerial vehicle(UAV),” *The J. Korea Inst. Electron. Commun. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 119-124,

Jan. 2016.

[13] J. H. Byun, S. J. Park, J. H. Yoon, Y. C. Kim, W. W. Lee, O. H. Jo, and T. H. Joo, “Learning-backoff based wireless channel access for tactical airborne networks,” *J. Convergence for Inf. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 12-19, 2021.

김 시 완 (Si-Wan Kim)



2018년 2월 : 금오공과대학교 전자 공학과 졸업
 2020년 2월 : 금오공과대학교 IT 융복합공학과 석사졸업
 2020년 3월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 박사과정

<관심분야> 항공기 네트워크, 미들웨어, 실시간 시스템
 [ORCID:0000-0002-1978-1877]

장 민 희 (Min-Hui Jang)



2019년 8월 : 금오공과대학교 전자 공학과 졸업
 2021년 8월 : 금오공과대학교 IT 융복합공학과 석사졸업
 2021년 9월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 박사과정

<관심분야> 산업용 통신망 및 IoT 시스템, 미들웨어, 항공기 네트워크
 [ORCID:0000-0002-0349-5091]

김 동 성 (Dong-Seong Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
2003년 3월 : 서울대학교 전기 및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년 : Cornell 대학교 ECE 박사 후 연구원
2004년 3월~현재 : 금오공대 전자공학부 정교수

2015년~2018년 : 금오공과대학교 융합기술원 원장
2014년 6월~현재 : ICT 융합특성화연구센터 센터장(과기정통부 ITRC 및 연구재단 중점연구소)
2019년~현재 : 금오공과대학교 산학협력단장
2014년 9월~현재 : IEEE/ACM Senior 회원
<관심분야> 실시간 통신망 및 IoT 시스템, 네트워크 기반 분산 제어 시스템, 실시간 S/W
[ORCID:0000-0002-2977-5964]

이 재 민 (Jae-Min Lee)



1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사졸업
1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사졸업
2005년 3월 : 서울대학교 전기 및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년~2016년 : 삼성전자 수석 연구원

2016년~2017년 : 금오공과대학교 ICT융합특성화 연구센터 산학협력중점교수
2017년~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 조교수
<관심분야> 산업용 통신망, 네트워크 기반 임베디드 시스템 설계 및 성능분석
[ORCID:0000-0001-6885-5185]