

FANET을 위한 라우팅 메트릭 설계 및 구현

박 휘 성*, 이 희 란*, 차 경 민*, 안 현 준*,
김 장 훈*, 전 성 혁**, 서 난 솔*

Design and Implementation of a Routing Metric for FANETs

Hwi-Sung Park*, Hee-ran Lee*,
Gyoung Min Cha*, Hyunjun Ahn*,
Janghun Kim*, Seong-Hyeok Jeon**,
Nan Sol Seo*

요 약

본 논문에서는 FANET (Flying Ad-hoc Network)을 위한 새로운 라우팅 메트릭 RLT (Robust Load-aware weighted cumulative expected TDMA Time slots to use)를 설계하고, 무인기 C2링크 지상/탑재 장비가 포함된 테스트베드를 구성하여 설계된 메트릭의 동작을 검증한다.

Key Words : FANET, Routing Metric, UAV, Command and Control links, Testbed

ABSTRACT

In this paper, we design a new routing metric called RLT for FANETs. Moreover, we construct a testbed that includes ground/airborne equipment for UAV C2 datalinks. Based on the testbed, we verify the operation of RLT metric.

I. 서 론

무인기의 운용 환경 및 운용 목적이 다양해짐에 따라

기반시설의 도움 없이 무인기들 간에 자율적으로 망을 구성하는 FANET (Flying Ad-hoc Network)이 활발히 연구되고 있다. FANET 환경에서는 토폴로지가 빠르게 변화하기 때문에^[1], 무인기가 지상 통제소와 안정적으로 통신하기 위해서는 실시간으로 적합한 라우팅 경로가 형성되어야 한다. 이를 위해 다양한 라우팅 메트릭이 활발히 연구개발 되었다. 그 중 WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time) 메트릭은 데이터를 전송하는데 소요되는 예상되는 시간을 라우팅 경로 설정에 반영하며^[2], 다중 채널로 확장이 가능한 특징을 갖는다^[3]. 한편 LB (Load Balancing) 메트릭은 큐에 남아있는 패킷의 양을 고려하여, 특정 경로의 자원이 과용 되지 않도록 네트워크 부하를 분산시키는 특징을 갖는다. 본 논문에서는 두 메트릭의 장점을 동시에 가지면서 TDMA 통신망에서 사용이 가능하도록 LWCEETS (Load-aware Weighted Cumulative Expected TDMA Time Slots to use)^[4] 메트릭을 기반으로 최적 경로가 빈번하게 변경되는 문제를 개선한 RLT (Robust Load-aware weighted cumulative expected TDMA Time slots to use) 메트릭을 제안한다. 또한, 무인기 C2링크 웨이브폼이 적용될 실장비와 RF (Radio Frequency) 모의 환경이 포함된 테스트베드를 구성하여 제안한 메트릭의 동작을 검증한다.

II. 라우팅 메트릭 및 테스트베드

2.1 라우팅 메트릭

본 논문에서 제안하는 라우팅 메트릭 RLT는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$RLT = \alpha * \sum_{i=1}^N ETS_i + \beta * \sum_{i=1}^N L_i - \gamma * \sum_{i=1}^N p_i \tag{1}$$

*ETS_i*는 홉 *i*에서 트래픽 전송을 위해 소요되는 TDMA 슬롯 수를 의미하며, *L_i*는 홉 *i*에서 전송되지 못하고 큐에 쌓인 패킷의 수를 나타낸다. *p_i*는 홉 *i*에서의 경로가 기존 경로와 동일할지 판단하는 파라미터이다. *p_i*는 최적 경로가 빈번하게 변경되는 문제를 방지하기 위한 파라미터로, 기존 경로와 동일하면 1의 값을

* 본 연구는 국방과학연구소 “무인기 C2링크 전송 표준화 기술” 과제의 지원을 받아 작성되었습니다.

• First Author : Agency for Defense Development, 7hwisung7@add.re.kr, 정희원

◦ Corresponding Author : Agency for Defense Development, solbba@add.re.kr, 정희원

* Hanwha Systems, hr.lee19@hanwha.com, gm.cha@hanwha.com, hjahn14@hanwha.com, janghun.kim@hanwha.com

** Agency for Defense Development, jeonsh@add.re.kr, 정희원

논문번호 : 202304-082-B-LU, Received April 19, 2023; Revised April 29, 2023; Accepted April 29, 2023

가지고, 다른 0의 값을 갖는다. 특정 라우팅 경로의 메트릭 값은 해당 경로를 구성하는 N 홉의 메트릭 값의 합이다. 상수 α, β, γ 는 모두 0 이상의 조정 가능한 파라미터로, 본 논문에서는 $\alpha = 5, \beta = 2, \gamma = 50$ 을 사용하였다.

2.2 테스트베드

테스트 베드는 GCS (Ground Control System) 용 지상장비 1대 및 무인기용 탑재장비 4대를 사용하여 Figure 1과 같이 구성하였다. 실장비는 16-APSK (Amplitude and phase-shift keying), CTC (Convolutional Turbo Code) 2/3의 물리계층 구조를 가지며, F/TDMA (Frequency/Time Division Multiple Access) 다중접속방식을 적용하였다. 운용대역은 UHF 대역을 사용하였으며, 1MHz 대역폭으로 최대 4개의 신호를 동시에 송수신 가능하다. GCS는 무인기로 Tc (Telecommand)를 송신하며, 무인기는 GCS로 상태정보인 Tm (Telemetry) 및 128kbps의 영상 데이터를 송신한다. RF 채널 모의기는 5x5 구조를 지원하며, 노드

간 경로 감쇄 값을 조절하여 링크 연결/단절 및 노드 간 거리에 따른 자유공간 손실을 모의한다.

III. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 시나리오

Figure 2와 같이 3가지 임무 시나리오를 설계하였다. 모든 무인기는 GCS와 Tm/Tc 데이터를 송수신하며, 무인기 #1, 무인기 #2, 무인기 #3은 GCS로 128kbps 전송률의 영상 데이터를 추가로 송신한다. 시나리오는 (a), (b), (c) 순서로 순차적으로 진행된다. 먼저, 시나리오 (a)는 무인기 #2의 영상을 무인기 #1이 중계한다. 무인기 배치 후 무인기 #3, 무인기 #1, 무인기 #2의 영상을 09:59:01초 시점부터 순차적으로 약 15초 간격으로 재생하였다. 시나리오 (b)에서는 무인기 #3과 GCS의 1홉 통신 링크가 10:00:36초 시점에 단절되어 새로운 라우팅 경로를 탐색 및 선정한다. 시나리오 (c)에서는 10:01:40초 경 무인기 #3과 무인기 #4의 링크가 단절되어 GCS와의 통신 경로를 재 탐색한다.

3.2 시뮬레이션 결과

Figure 3은 GCS가 무인기 #1, #3, #4로부터 수신하는 트래픽의 전송률을 나타낸다. 이를 통해 시나리오 변화에 따른 동적 라우팅 결과를 확인할 수 있다. 먼저, Figure 3의 (a)에서 9:59:31초부터 무인기#1의 송신 트래픽이 GCS에 약 260kbps 전송률로 수신됨을 통해 GCS간 라우팅 경로가 정상적으로 형성되어 무인기 #1이 무인기 #2의 영상을 GCS에 중계하는 것을 확인할 수 있다. (b)에서는 10:00:36초 경 무인기 #3과 GCS간 연결이 단절되었으며, 무인기 #4의 트래픽 변화를 통해 무인기 #4를 중계 노드로 한 2홉 경로로 변경된 것을 확인할 수 있다. Figure 4는 경로 별 라우팅 메트릭을 비교한 결과로, 3홉 경로의 라우팅 메트릭 값은 항상 2홉 라우팅 메트릭보다 크기 때문에 라우팅 메트릭 값이 작은 경로인 2홉 경로가 지속적으로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또, 3홉 경로의 경우, 무인기 #1 및

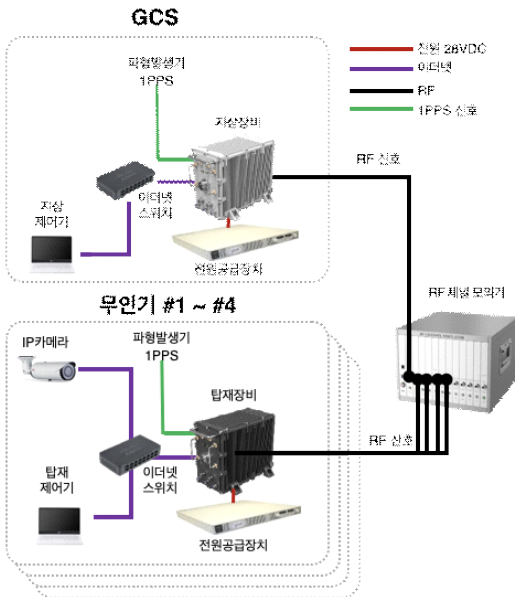


Fig. 1. Testbed Configuration

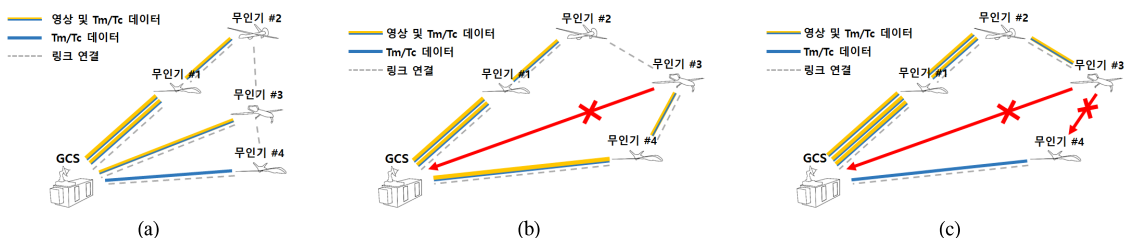


Fig. 2. Simulation scenarios.

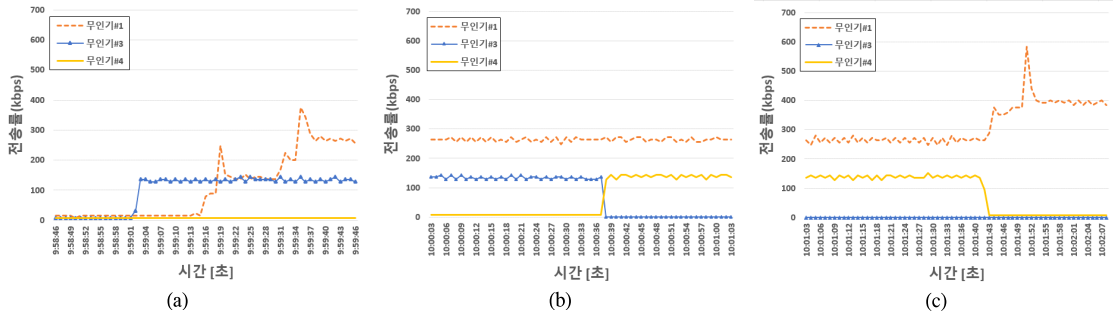


Fig. 3. Throughput of the GCS node.

무인기 #2가 송신하는 영상으로 메트릭이 변화하지만, 라우팅 경로 변경에 영향을 미치지 않는 수준인 것을 확인할 수 있다. (c)에서는 10:01:43초 경 무인기 #3과 무인기 #4의 링크 단절로 인해 무인기 #3이 GCS와 3홉 경로로 라우팅이 형성 되었고, 무인기 #1이 무인기 #2와 무인기 #3의 영상을 중계해주어 약 400kbps로 GCS에 송신함을 확인할 수 있다.

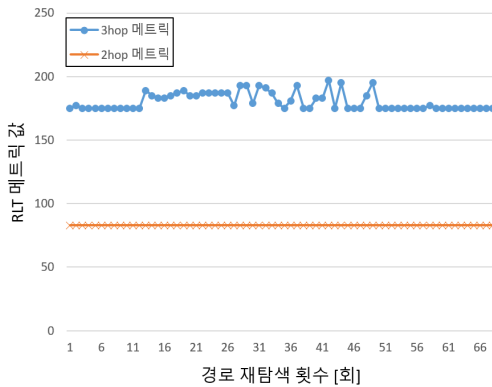


Fig. 4. Routing metrics in scenario (b).

IV. 결 론

본 논문에서는 FANET 환경에서 적용 가능한 RLT 메트릭을 설계하였으며, 이를 검증하기 위해 무인기 C2 링크 웨이브폼이 적용된 실장비 및 RF 채널 모의기를 이용한 테스트베드를 구성하였다. 또한 FANET 환경을 모의한 테스트베드를 활용하여, 시나리오에 따라 동적 라우팅이 정상적으로 동작함을 확인하였다. 본 논문의 RLT 메트릭을 응용하여, 이동하는 노드가 자율적으로 망을 구성하는 시스템에서 안정적인 통신 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, and Ş. Temel, "Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey," *Ad Hoc Netw.*, vol. 11, no. 3, pp. 1254-1270, May 2013. (<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.12.004>)
- [2] B. Roh, M. Hoh, K. Hwang, and G. Park, "An efficient ad hoc routing method for tactical networks using integrated metrics and traffic characteristics," *J. KICS*, vol. 35, no. 11, pp. 1676-1684, Nov. 2010.
- [3] J. P. R. Draves and B. Zill, "Routing in multi-radio multi-hop wireless mesh networks," in *Proc. ACM MobiCom*, pp. 114-128, Philadelphia, PA, Oct. 2004. (<https://doi.org/10.1145/1023720.1023732>)
- [4] D. H. Kim, W. J. Kang, J. H. Kim, G. M. Cha, and S. J. Lee, "Improving FANET performance with a novel routing metric and a distributed TDMA," *KIEES Summer Conf. 2021*, vol. 9, no. 1, Aug. 2021.