

## 무선랜 기반의 복수 무인기 통신링크 최대 처리량 분석

김인규\*, 문상만\*\*

# Theoretical Maximum Throughput (TMT) Analysis of the Multiple UAVs datalink system using WLAN (IEEE 802.11b)

In-Kyu Kim\*, Sang-Man Moon\*\*

### Abstract

In this study, We show that multiple UAVs (Unmaned Air Vehicle) have datalink system which includes the IEEE 802.11b technology. we are predicting and calculating to the number of the UAV and data rate between UAV and ground control system, using the IEEE 802.11 standards which include the transmit/receive the delay time and theoretical maximum throughput (TMT).

### 초 록

본 논문에서는 복수 무인항공기 통신장비로 IEEE 802.11b 기술을 적용할 때 기존 무선랜 표준서에서 제시한 송수신 지연시간과 최대 처리량을 근거로 하여 통신 가능한 무인항공기 대수와 전송 데이터량을 예측하였다.

키워드 : 복수 무인항공기 (Multiple UAVs), 무인항공기 통신링크 (UAV data link), IEEE 802.11b 처리량 (IEEE 802.11b throughput).

## 1. 서 론

현재 우리주변에서는 다양한 무선랜(WLAN) 기술이 적용된 제품을 손쉽게 접할 수 있고, 무선랜 기술이 탑재한 모바일 기기는 언제 어디에서든지 사용자가 주위의 Access Point (AP) 접속으로 광대역 서비스를 할 수 있다.

빠르게 발전하는 IT 및 이동통신 기술은 항공 우주분야 무인항공기 기술과 접목하여 새로운 융합산업으로 창출할 수 있다.

1990년 초부터 많은 IT 기술자들은 무선랜 기술을 개발하였고, 현재에는 국제표준화로 IEEE 802.11 기술이 정립된 상태이다.

본 논문은 무선랜 기술 소개, 복수 무인기 운용, 시뮬레이션 결과로 구성된다.

2절에서는 무선랜 기술 소개와 IEEE 802.11b 데이터 전송 능력인 이론적인 최대 처리량 (TMT) 수식이 만들어지는 방법과 가정을 소개하였다.

또한, IEEE 802.11b 기술이 복수 무인항공기

접수일(2013년 9월 5일),

수정일(1차 2013년 10월 18일),

게재 확정일(2013년 11월 1일)

\* 융합기술연구팀/timber@kari.re.kr

\*\* 융합기술연구팀/msm@kari.re.kr

에 적용할 때 이론적인 최대 처리량 (TMT) 변화를 수식적으로 소개하였다.

3절에서는 무인항공기 30대가 운용할 때 무선 장비 송/수신 지연시간과 이론적인 최대 전송량 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여준다.

## 2. 본 론

### 2.1 무선랜(WLAN) 소개

무선랜(WLAN)은 물리적인 계층에 따라서 IEEE 802.11a,b,g로 분류한다.

IEEE 802.11a는 5GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역을 사용하고, 최대 54Mbps 데이터 전송이 가능하다. 변조 방식은 송신되는 데이터양에 따라 BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation) 방식을 사용한다.

802.11b는 2.4GHz ISM 주파수 대역을 이용하며, 최대 11Mbps까지 데이터 전송이 가능하다. 변조방식은 DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying), DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), CCK (Complementary Code Keying) 방식을 사용한다.

802.11g는 802.11b와 동일한 주파수인 2.4GHz ISM 주파수 대역을 사용하고, 최대 54Mbps 데이터 전송이 가능하다. 변조방식은 802.11a/b 제시한 변조기술을 사용한다.

802.11a/g에서 이론적인 최대전송량은 54Mbps 이고, 802.11b에서 이론적인 최대전송량은 16Mbps가 가능하나, 실제적인 주변 환경이나 접속되는 가입자 수를 고려한 실제 전송 데이터량은 802.11a 에서는 6Mbps, 802.11b에서는 2Mbps, 802.11g에서는 6Mbps 성능으로 구현된다.

IEEE 802.11의 기본적인 계층은 일반적인 OSI (Open Source Interconnection) 7 계층을 준수하며 하위부분인 데이터 링크와 물리 계층만 IEEE 802.11 특성에 맞추어졌다.

또한, IEEE 802.11 a/b/g에 따라 서로 다른 하위계층을 가지고 있고, 각 계층별 표준화로 명시되었다.

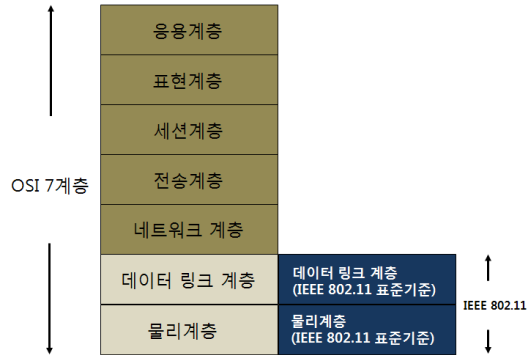


그림 1. IEEE 802.11 7 계층

### 2.1 IEEE 802.11b 이론적 최대 처리량

#### 2.2.1 가 정

IEEE 802.11 이론적 최대 처리량은 다음과 같은 가정으로부터 계산된다.

1. 비트에러 오류율 (bit error rate (BER))은 0으로
2. 송/수신 충돌로 인한 손실이 없음
3. Point coordination function (PCF) 모드는 사용하지 않음
4. 수신할 때 버퍼 오버플로(overflow)가 발생하지 않음
5. 송신모드에서는 항상 충분한 데이터를 보내짐
6. 비콘 신호와 같은 관리 프레임은 고려하지 않음

#### 2.2.2 IEEE 802.11b 송/수신 지연시간 및 TMT 분석

무선랜(IEEE 802.11b)에서 생성된 데이터는 데이터 링크 계층을 통해 physical layer convergence protocol (PLCP) 서브영역과 physical medium dependent (PMD) 서브영역의

로 구성된 물리계층을 거쳐 자유공간으로 신호를 전파한다.

데이터 링크 계층에서는 mac layer header (M-HDR)와 frame check sequency (FCS) 데이터가 추가되고, PLCP 영역에서는 preamble과 P-HDR 데이터가 더해져서 PMD로 보내진다. PMD에서는 inter frame spacing (IFS) 와 back off (BO) 데이터가 추가된다.

그림 2는 무선랜에서 데이터가 IEEE 802.11 데이터 링크계층과 물리 계층을 통과하여 데이터가 형성되는 내용을 보여주고 있다.

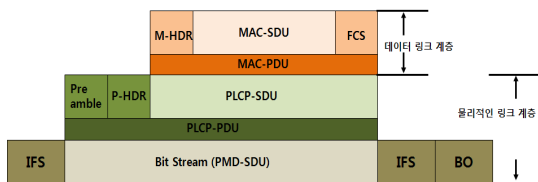


그림 2. IEEE 802.11 계층별 추가되는 데이터

IEEE 802.11 시간 다이어그램은 데이터 링크 계층에서 carrier sensing multiple access (CSMA)/ collision avoidance (CA)와 return to signal (RTS)/ clear to signal (CTS) 방식에 따라서 전송되는 시간을 분류한다.

데이터 링크계층 protocol data unit (PDU) 데이터량은 상위계층에서 입력되는 데이터량에 달라진다. 하지만, RTS/CTS 방식에서는 항상 1Mbps로만 전송한다.

전체 mac service data unit (MSDU)에서의 지연시간은 아래 식으로 나타낸다.

$$Delay\ per\ MSDU = (T_{IFS} + T_{SIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{ACK} + T_{Data}) \times 10^{-6} (s) \quad (1)$$

식(1)을 간략히 표현하면 아래의 식과 같다

$$Delay\ per\ MSDU(x) = (ax + b) \times 10^{-6} (s) \quad (2)$$

식(2)의 파라미터 a와 b는 아래 표에서 설명되었고, 파라미터 x는 데이터 비트(bit)가 된다.

표 1. 데이터 전송률에 따른 a 와 b 값 (CSMA/CA일 때)

변조방식	데이터 전송률	a	b
FHSS	1Mbps	8.25	1179.5
	2Mbps	4.125	1039.25
DSSS	1Mbps	8	1138
	2Mbps	4	1002
HR-DSSS	5.5Mbps	1.45455	915.45
	11Mbps	0.72727	890.73
OFDM	6Mbps	1.33333	223.5
	12Mbps	0.66667	187
	24Mbps	0.33333	170.75
	54Mbps	0.14815	159.94

IEEE 802.11 계층에서 추가되는 오버헤드 값을 고려하여 이론적 최대 처리량 (Theoretical maximum throughput (TMT))을 계산한다.

데이터 링크계층으로 전달되는 이론적 최대 처리량 값은 아래 식으로 나타낸다.

$$TMT = \frac{MSDU\ size}{Delay\ per\ MSDU} \quad (3)$$

따라서, 단순화된 이론적 최대 처리량 (TMT)은 MSDU 비트별 사이즈를 식(2) 전체 지연시간으로 나누고 TMT 계산은 아래식의 파라미터 a와 b는 표 1에서 보여준다.

$$TMT(x) = \frac{8x}{ax + b} \times 10^6\ bps \quad (4)$$

예를 들면 무인항공기 통신장비로 IEEE 802.11b 기술을 사용하여 이론적인 최대 처리량 (TMT)은 식 (4)로 계산되고 이때 파라미터 a와 b는 표 1에서 0.72727, 890.73 값으로 주어진다.

## 2.2 복수 무인항공기 운용에 IEEE 802.11b 기술 적용

### 2.2.1 복수 무인항공기 통신운용 개념

현재까지 무인항공기에 사용되는 통신장비는 일대일 통신을 위해 개발되어지고 있으나, 항공 공역에서 운항하는 무인항공기 수가 증가하면 지상관제장치도 증가한다.

무인항공기에 장착하는 센서들이 전자산업 발전으로 성능이 높아져 전송 데이터량이 증가하여 무선주파수 스펙트럼 대역폭 확대와 마이크로파 이상의 주파수를 요구하는 추세이다.

따라서, 무인항공기 통신장비가 기존의 일대일 (1:1) 방식에서 일대다수(1:N) 방식의 통신기술로 전환하면 동일 주파수 스펙트럼에서 다수의 무인항공기를 동시 운용이 가능하다.

아래 그림은 한 개의 지상제어장비에서 복수 무인항공기 사이에 통신운용 개념을 보여준다.

본 논문에서 아래 그림에서 보여주는 복수 무인항공기 통신링크를 제시한 복수 무인항공기 통신링크 운용개념은 아래 그림에서 보여주고 있다.

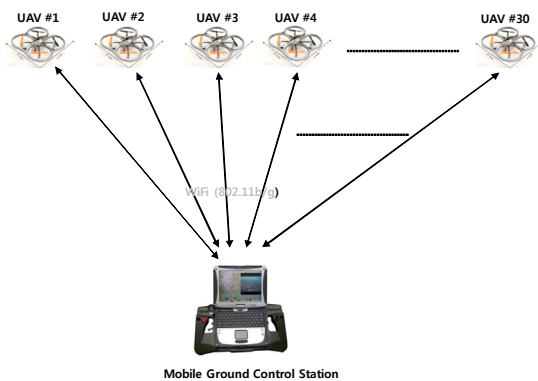


그림 3. 복수 무인항공기 통신운용 개념도

지상제어장비는 각각의 무인항공기로 명령신호를 실시간으로 전송하고, 무인항공기 상태신호를 수신한다.

모바일용 지상제어장비에서는 무인항공기 30대를 조종이 가능하고, 이때 사용하는 무선통신

기술은 우리가 주변에서 사용되는 IEEE 802.11b 무선랜(WLAN) 기술을 사용한다.

### 2.2.2 IEEE 802.11b 통신장비 최대 처리량 (TMT) 분석

그림 3에서 복수 무인항공기 운용 개념도에서와 같이 30대 무인항공기가 지상제어관제장비와 무선랜 기술로 거의 실시간으로 통신한다.

무인항공기 30대가 동일한 공간에서 동시에 통신을 수행할 때 최대 처리량은 식 (4)에 항공기 수를 곱한다.

$$TMT(x) = \frac{8x}{ax+b} \times 10^6 \times n \text{ bps} \quad (5)$$

여기서, n은 무인항공기 대수이다.

## 3. 시뮬레이션 결과

무인항공기 1대부터 30대 운용시 통신장비 송수신 지연시간은 그림 4에서 보여주고 있다. 1대 1 통신인 경우 데이터 사이즈 증가에도 지연시간이 크게 증가하지 않지만, 항공기 대수를 30대로 증가하면 송수신 지연시간이 큰 기울기로 높아진다.

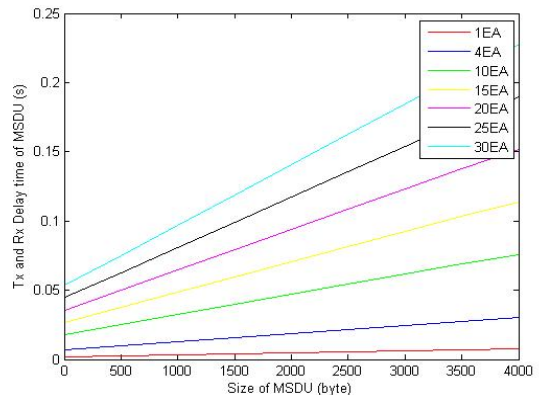


그림 4. 30대 무인항공기 송수신 지연시간 (s)

IEEE 802.11b 기술을 30대 무인항공기 통신링크

크로 사용할 때 최대 데이터 처리량 결과 시뮬레이션은 그림 5에서 보여주고 있다.

그림에서 보듯이 IEEE 802.11b 기술을 가진 통신장비가 10개 이상이 접속하면 최대 전송량이 1Mbps 이하가 된다. 복수 무인항공기에 영상신호(최대 2Mbps)와 같은 대용량 데이터 전송이 어렵다는 것을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있다.

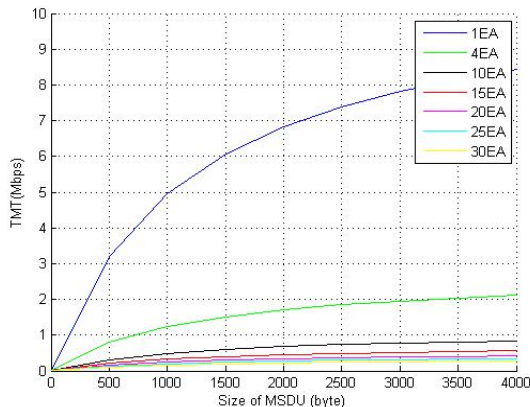


그림 5. 30대 무인항공기 이론적 최대 처리량 (Mbps)

## 4. 결 론

한 개의 무인비행체 통신으로 무선랜 기술을 이용하면 통신지연이 크지 않지만, 한 개 지상제어관제장비에서 다수의 무인항공기와 통신을 하면 송수신 지연시간이 커지는 것을 확인하였다.

따라서, 복수 무인항공기 운용에 무선랜 기술을 사용할 때는 지연시간과 이론적 최대 전송량을 고려하여 통신환경에 최적화된 항공기 대수를 선택할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Raju Sharma, Gurpal Singh and Rahul agnihotori, " Comparison of performance analysis of 802.11a, and 802.11g standard", IJCSE, Vol. 02, No. 06, 2010.

2. Yang Xiao, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11", IEEE communication letter, Vol. 06, No. 08, 2002.
3. Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and it's applications", IEEE international Symposium on Network Computing and Application, 2003.
4. 김인규, 문상만, "소형 쿼터콥터 무인기 군집비행을 위한 와이파이 지연시간 분석", 2013 추계전자파학회 학술대회, 2013.
5. John G. Proakis and Masound Salehi, Contemporary Communication System using MATLAB, 미국, Thomson Learning Inc, 2002.
6. [WWW.MATHWORKS.COM/user](http://WWW.MATHWORKS.COM/user)