

## 4.4GHz 대역을 활용한 항공기내 무선통신 링크 성능 분석

조문제<sup>1</sup> · 정방철<sup>2</sup> · 박관근<sup>3</sup> · 장우혁<sup>4</sup> · 반태원<sup>1\*</sup>

### Link Performance Analysis for Intra-Aircraft Wireless Communications in 4.4GHz

Moon-Je Cho<sup>1</sup> · Bang Chul Jung<sup>2</sup> · Pangun Park<sup>3</sup> · Woohyuk Chang<sup>4</sup> · Tae-Won Ban<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>4</sup>Agency for Defense Development, Daejeon 34188, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 4.4GHz 대역에서 항공기내 무선 통신을 위한 채널 링크 버짓을 분석하였다. 항공기내의 채널을 일 반적인 경로 손실, 장애물로 인한 음영효과, 그리고 다중 경로 신호로 인한 페이딩의 조합으로 모델링하였다. 그리고, 항공기내에 존재할 수 있는 송수신기의 다양한 위치에 따라서 채널을 A~F의 6개 그룹으로 분류하고, 6개의 채널 그 룹별로 최대 전송 가능 거리와 전송 오류 확률 측면에서 링크 버짓을 분석하였다. 다양한 분석과 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 따르면, A, B, F 채널 그룹이 C, D, E 그룹 대비 우수한 전파 특성을 가지며, 그룹 E의 전파 특성이 가장 열악한 것으로 확인되었다. 이러한 결과들은 항공기내 또는 이와 유사한 환경에서의 채널 분석을 위한 기초자료로 활용 가 능하다.

#### ABSTRACT

This paper investigated the channel link budget for Wireless Avionics Intra-Communication (WAIC) in 4.4GHz. The band 4.2~4.2GHz was allocated for the communication service among aeronautical applications in world radiocommunication conference (WRC). Wireless channels in aircraft was modelled by the combination of path loss, shadowing effect caused by obstacles, and fading caused by multipath signals. In addition, wireless channels in aircraft are categorized into 6 groups according to various locations of transmitter and receiver. We analyzed the channel link budget for the 6 channel groups in terms of maximum transmission distance and outage probability. Our analysis and intensive computer simulation results show that the propagation characteristics of group A, B, and F is superior to group C, D, E, and the propagation of group E is the most vulnerable. Also, these results can be utilized as basic reference for the channel analysis of intra-aircraft or similar environment.

**키워드** : 항공기내 무선 통신망, 무선 채널, 링크 버짓, 오류 확률

**Key word** : Intra-aircraft wireless communication network, wireless channel, link budget, outage probability

Received 30 March 2016, Revised 04 April 2016, Accepted 28 April 2016

\* Corresponding Author Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.7.1243>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

현대의 항공 전자 시스템은 전자파에 노출되지 않는 안전한 통신을 위해 대부분 유선 통신망을 이용한다. 유선 통신망은 수 백 혹은 수 천의 케이블 번들로 연결되어 있다. 이러한 많은 양의 케이블은 항공기의 무게를 증가시킬 뿐만 아니라 항공기의 설계 및 수리를 어렵게 한다[1].

따라서, 항공기내의 유선 통신 네트워크를 무선 통신 네트워크로 대체할 경우, 케이블 비용을 절감할 수 있고 항공기 무게 감소함으로써 연료비를 절감할 수 있다. 또한, 항공기내에 필요한 전자 장비의 배치가 용이해져서 항공기의 설계와 수리의 편의성이 획기적으로 개선될 수 있다. 이러한 장점들로 인해서, 최근 항공 관련 산업계, 학계, 그리고 다양한 연구소들은 무선 통신 네트워크를 차세대 항공기에 적용하는 다양한 연구를 진행하고 있다[2-4]. 국제전기통신연합 (ITU: International telecommunication union)은 항공기내 무선 통신 (WAIC:Wireless Avionics Intra-Communications)을 지원하기 위한 다양한 기술들에 대한 기초 연구를 진행하였다. WAIC 시스템을 활용할 경우, 항공기에 탑재된 다양한 항공전자장비들이 유선이 아닌 무선 통신망을 이용하여 정보를 교환할 수 있다[4]. 이러한 WAIC 시스템은 그림 1과 같이 중형 유인 항공기(150~220인승)를 기준으로 항공기내 위치와 데이터 전송률에 따라서 LI(Low Inside), LO(Low Outside), HI(High Inside), HO(High Outside)로 분류된다[4]. WAIC 시스템은 데이터 전송률을 기준으로 10kbps 이하인 Low(L)와 그 이상인 High(H)로 구분되고, 항공기 동체와 날개 구조 안쪽에 설치되면 I(Inside), 바깥쪽에 설치되면 O(Outside)로 분류된다.

WAIC 시스템의 표준화는 항공 우주 시스템 연구소 (AVSI: Aerospace Vehicle Systems Institute), 미국 항공우주국 (NASA: National Aeronautics and Space Administration), 미국 연방항공청 (FAA: Federal Aviation Administration)과 같은 유럽과 미국의 정부기관과 보잉, 록히드마틴, 에어버스와 같은 항공 산업을 중심으로 진행되고 있다.

또한, AVIS는 ITU와 국제민간항공기구 (ICAO: International Civil Aviation Organization)와 협력하여 국제 표준화 작업을 진행하였다[5]. 그 결과, 2015년 세

계 전파 회의에서 4.2GHz~4.4 GHz 대역을 항공 전자 장비간의 통신용으로 할당하였다[6].

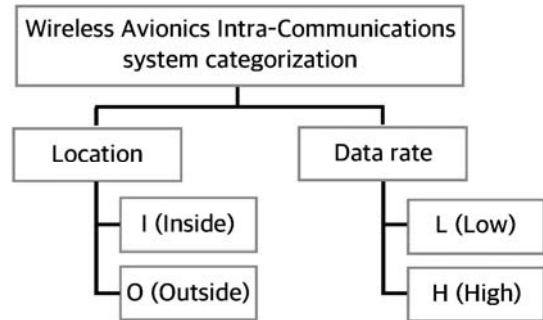


Fig. 1 Wireless Avionics Intra-Communications system categorization

본 논문에서는 4.4 GHz 대역에서 WAIC 시스템을 사용하기 위한 기본적인 링크 버짓을 분석한다. 구체적으로, 유사한 전파 특성에 따라 6개로 분류한 채널 그룹의 특징을 살펴보고 4.4GHz 대역에서 각 그룹에서 지원할 수 있는 최대 전송 거리, 데이터 전송률, 그리고 전송 오류 확률을 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 시스템 및 채널 모델을 설명하고, 제 3장에서는 항공기내 송수신기 위치에 따른 전파 특성을 고려하여 채널을 6개의 그룹으로 분류한다. 제 4장에서는 3장에서 분류한 각 채널 그룹별로 최대 전송 거리, 데이터 전송률, 그리고 전송 오류 확률을 분석한다. 마지막으로, 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 채널 모델

항공기내의 무선 채널은 일반적인 송수신기간의 채널 모델을 통해 표현될 수 있다[7]. 항공기내 송수신기 간 채널 손실  $L$ 은 다음과 같이, 경로 손실  $h(f, d)$ , 장애물로 인한 음영 효과 (Shadowing)  $Y$ , 다중 경로 신호로 인한 페이딩 효과  $X$ 로 구성된다.

$$L = h(f, d) \times Y \times X \quad (1)$$

$$L_{dB} = h_{dB}(f, d) + Y_{dB} + X_{dB} \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 반송 주파수이고  $d$ 는 송수신기간의 거리를 나타낸다. 먼저, 경로 손실  $h(f, d)$ 은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$h(f, d) = C_1 d^{-n} f^{-k} \quad (3)$$

$n$ 과  $k$ 는 각각 송수신기간 거리와 주파수에 대한 지수이고,  $C_1$ 는 상수 오프셋이다. 장애물로 인한 음영 효과를 나타내는  $Y$ 는 평균이 0dB이고 표준 편차는 4.8dB인 로그 정규 분포를 따른다. 페이딩 효과  $X$ 는 평균이 1인 지수 분포를 따른다.

앞서 정의한 식 (1) ~ (3)은 링크 버짓 분석에 이용된다.

### III. 항공기내 송수신기 위치에 따른 전파 특성을 고려한 채널 그룹 분류

표 1은 항공기내의 위치에 따라서 분류된 채널 그룹들과 각 채널 그룹별로 정의된 채널 파라미터를 나타낸다[7]. 이러한 채널 파라미터는 항공기 내에서 각 그룹에 해당하는 측정 데이터 셋을 평균화하고, 각 표본을 최적화한 값이다. 그룹 A는 객실 내 또는 조종실 내에서의 채널을 나타낸다. 그룹 B는 서로 다른 객실 간의 채널을 나타내며, 객실 사이에는 화장실이나 조리실과 같은 장애물이 존재한다. 그룹 C는 객실과 객실보다 낮은 구역 사이의 채널 또는 객실과 조종실 간의 채널을 나타낸다. 객실과 객실보다 낮은 구역간의 전파를 위해서는 주요 간판을 통과하여야 하며, 객실과 조종실 간의 전파를 위해서는 객실 내에 존재하는 다양한 장애물을 통과하여야 한다. 그룹 D는 객실 내의 특정 위치와 외부 항공기 날개 또는 엔진 내 특정 위치 간의 채널을 나타내며, 전자파는 객실의 창문을 통해서도 송수신될 수 있으므로 LOS(Line-Of-Sight) 혹은 거의 LOS인 경우가 생길 수 있다. 그룹 E는 객실과 착륙 기어 간의 채널 또는 객실보다 낮은 구역과 항공기 외부 동체사이의 채널을 나타낸다. 이러한 두 경우는 전자파가 항공기의 동체를 통과하여 송수신 되는 것을 가정하므로, 객실의 창문을 통한 LOS에 준하는 경로가 생기지 않을 것이다. 마지막으로, 그룹 F는 항공기 외부 동체에 존재하는 송수신기 사이의 채널을 나타낸다.

**Table. 1** Channel groups and parameters according to similar propagation characteristics

Group	Group name	k	n	$C_1$
A	Intra-Cabin & Intra-Flight Deck	2.45	2.00	189.8
B	Inter-Cabin	2.09	3.46	167.5
C	Inter-Cabin-to-Lower Lobe & Inter Cabin-to-Flight Deck	1.86	2.49	124.5
D	Inter-Cabin-to-Exterior	1.86	2.12	118.2
E	Inter-Cabin-to-Landing Gear & Inter-Lower-Lobe to Exterior	1.59	1.51	77.9
F	Inter-Exterior	1.95	2.31	142.5

### IV. 링크버짓 분석

본 장에서는 전파 특성에 따라 분류한 6개의 채널 그룹별로 데이터 전송율과 전송 오류율 관점에서 링크 버짓을 Matlab 시뮬레이션을 이용하여 분석한다. 일반적인 링크 버짓 분석은 주어진 통신 링크 상에서 필요한 성능을 만족시키는 예측 작업이다. 이를 바탕으로 항공기내 채널 그룹의 파라미터에 대한 링크 버짓 분석을 수행한다. 송수신기는 단일 안테나를 가지며 반송파는 4.4 GHz, 100mW를 사용하였다. 그리고 채널 대역폭은 10MHz, 열잡음 밀도는 174dBm/Hz로 가정하였다.

먼저, 수신기에서 특정 임계치 (Threshold)이상의 전력을 수신할 수 있는 최대 전송 거리를 분석한다. 그림 2는 다양한 임계치에 따른 최대 전송 거리를 보여준다. 임계치가 커질수록 최대 전송 거리가 감소함을 알 수 있다. 그룹 A, B, F는 그룹 C, D, E에 비해서 상대적으로 최대 수신 거리가 긴 것을 알 수 있고, 그룹 E의 최대 수신 거리가 가장 짧다는 것을 확인하였다.

그림 3는 송신 전력에 따른 평균 데이터 전송률을 나타낸다. 송수신기 사이의 거리는 일반적인 항공기 동체의 최대 거리인 20m로 정의한다. 수신기에서의 수신 전력이  $P_R$ , 열잡음 전력이  $P_N$ 일 때 수신 전력 대 잡음 전력 비 (SNR:Signal to noise ratio)은 다음과 같이 계산되며

$$SNR = \frac{P_R}{P_N}, \quad (4)$$

열잡음 전력  $P_N$ 는 (대역폭) $\times$ (열잡음 밀도)로 계산된다. 이때, 데이터 전송률은  $\log_2(1+SNR)$ 로 정의된다. 송신 전력이 증가함에 따라 모든 채널 그룹의 전송률은 증가하지만, 일정 이상의 송신 전력은 전송률에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그룹 A, B, F에서는 전송 전력에 관계없이 10kbps 이상의 데이터 전송률을 얻을 수 있는 반면, 그룹 C와 D에서는 전송 전력이 약 30mW 이상일 경우에만 10kbps 이상의 전송률을 얻을 수 있었다. 반면, 그룹 E에서는 전송 전력과 관계없이 10kbps 이상을 데이터 전송률을 얻을 수 없음을 확인하였다.

그림 4는 수신 전력이 특정 임계치보다 작을 확률을 나타내는 전송 오류 확률 (outage probability)을 나타내고 다음과 같이 정의된다.

$$\Pr(Outage) = \Pr(P_R \leq \gamma) \quad (5)$$

여기서  $\gamma$ 는 임계값이다. 전송 실패의 기준이 되는 임계값이 작을수록 전송 실패 확률도 낮아진다. 그룹 C, D, E는 그룹 A, B, F에 비하여 최대 전송 가능 거리가 짧고 전송률이 낮으며 전송 실패 확률이 높음을 확인하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 4.4GHz 대역에서 항공기내 무선 통신을 위한 채널 링크 버짓을 분석하였다. 항공기내의 송수신기의 위치에 따라서 채널을 6개의 그룹으로 구분하였으며, 구분된 채널 그룹별로 최대 전송 거리, 데이터 전송률, 그리고 전송 오류 확률을 분석하였다. 다양한 분석과 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 따르면, 6개의 그룹 중 A, B, F 그룹의 전파 특성이 상대적으로 우수하게 나타났으며, 그룹 E의 전파 특성이 가장 열악한 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 항공기내 무선 통신만이 아니라 유사한 환경의 무선 통신 시스템의 채널 분석을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후, 면밀한 이론적 분석과 다양한 실측을 통한 추가 연구가 필요하다.

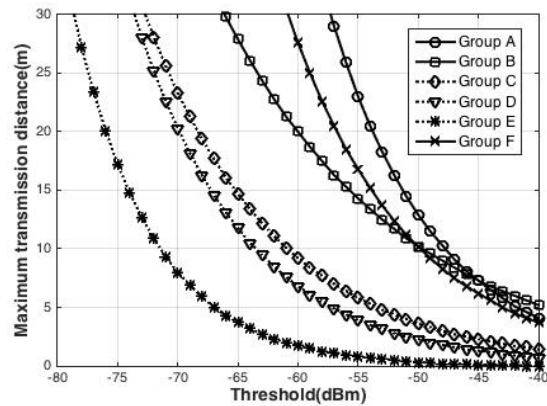


Fig. 2 Maximum distance according to a threshold of received power

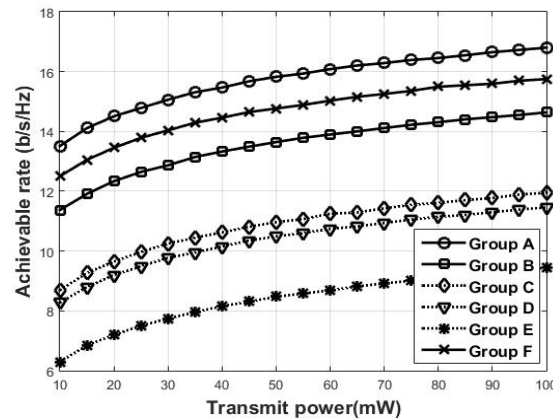


Fig. 3 Average sum-rates for varying transmit power

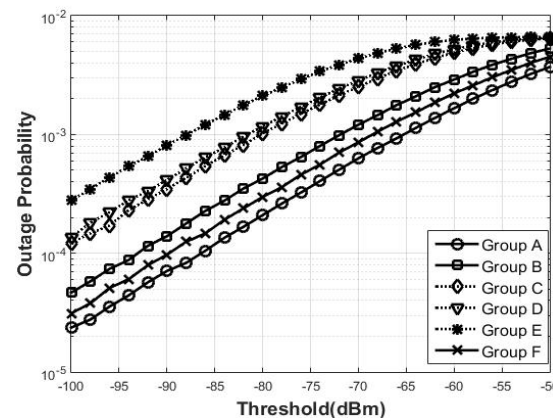


Fig. 4 Outage probability for varying threshold values

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development under Implementation Technology on High Reliability Wireless Networks for an Aircraft (UD150027JD).

## REFERENCES

- [1] C. Furse and R. Haupt, "Down to the wire[aircraft wiring]," *IEEE Spectrum*, vol. 38, no. 2, pp.34-39, Feb. 2001.
- [2] M. Pantiz, et al, "The opportunities and challenges associated with wireless interconnects in aircraft," *Proceedings of the institution of mechanical engineers part G-Journal of aerospace engineering*, vol. 224, no. 4, pp.459-470, 2010.
- [3] D. Hope, "Towards a Wireless Aircraft", Ph. D. dissertation, University of York, UK, 2011.
- [4] ITU-R Report M.2197, *Technical characteristics and operational objectives for wireless avionics intra-communications (WAIC)*, ITU, 2010.
- [5] ICAO Working paper ACP-WGF24, *On the future use of the band 4200-4400MHz*, ICAO, Paris, 2011.
- [6] ITU World Radiocommunication Conference 2015 (WRC-15)-Agenda and relevant resolutions, Available: <http://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/2015>.
- [7] ITU-R Report M.2283, *Technical characteristics and spectrum requirements of Wireless Avionics Intra-Communications systems to support their safe operation*, ITU, 2013.



조문제(Moon-Je Cho)

2012년 8월 경상대학교 정보통신공학과 학사  
 2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정  
 ※ 관심분야 : 이동통신, 신호처리, 다중안테나, 사용자 스케줄링



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사  
 2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사  
 2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사  
 2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT융합연구소 팀장  
 2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT융합연구소 연구교수  
 2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
 2014년 3월~2015년 8월 경상대학교 정보통신공학과 부교수  
 2015년 9월~현재 충남대학교 전자공학과 부교수  
 2010년 4월~현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수  
 ※ 관심분야 : 무선통신시스템, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱



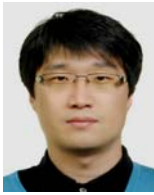
박관근(Pangun Park)

2005년 8월 아주대학교 전자공학부 학사  
 2007년 11월 Royal Institute of Technology 무선시스템공학과 석사  
 2011년 3월 Royal Institute of Technology 정보통신공학과 박사  
 2011년 3월~2011년 9월 Royal Institute of Technology 박사후 연구원  
 2011년 9월~2013년 8월 University of California, Berkeley 박사후 연구원  
 2013년 9월~2015년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2015년 3월~2016년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
 2016년 3월~현재 충남대학교 전자정보통신공학과 조교수  
 ※ 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 사이버물리시스템, 네트워크 제어시스템



**장우혁(Woohyuk Chang)**

2001년 2월 아주대학교 전자공학부 학사  
2003년 2월 KAIST 전자전산학과 석사  
2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
2009년 12월~2010년 11월 KAIST IT 융합연구소 선임연구원  
2010년 12월~2012년 1월 Massachusetts Institute of Technology 박사후 연구원  
2012년~현재 국방과학연구소 선임연구원  
※ 관심분야 : 신호처리, 정보이론, 부호이론, 무선통신시스템, 항공전자시스템



**반태원(Tae-Won Ban)**

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사  
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사  
2000년 2월~2012년 8월 KT 네트워크부문  
2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유