JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항공 통신 기술

J. Adv. Navig. Technol. 19(2): 140-146, Apr. 2015

L-대역 디지털 항공 통신 시스템의 수신 성능 분석

Performance Analysis of L-band Digital Aeronautical Communication Systems

천 정 현 · 윤 경 한 · 장 수 현 · 정 윤 호*
한국항공대학교 항공전자공학과

Jeong-hyeon Cheon · Kyung-han Yoon · Soo-hyun Jang · Yun-ho Jung*
School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 412-791, Korea

[요 약]

최근 항공 통신의 데이터 트래픽 증가로 인하여, 대륙 간 항공통신을 위한 L-band 대역 디지털 통신시스템인 LDACS가 제안되었다. LDACS 모델은 LDACS type-1과 LDACS type-2의 두 가지 규격으로 정의 되었으며, 향후 면밀한 검토를 바탕으로 한 가지 시스템을 선정하여 운용하기로 하였다. 이에 본 논문에서는 두 LDACS 시스템의 규격 분석과 함께 채널 환경에 따른 수신 성능을 비교 및 평가함으로써 항공 통신 시스템에의 적용 가능성을 분석하였다. 분석결과, 두 시스템 모두 airport 채널 환경에서 큰 성능 열화를 보였으나 LOS 환경의 en-route 채널의 경우에 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 또한, en-route 환경에서 LDACS type-1과 LDACS type-2의 비교 분석 결과, LDACS type-2 대비 LDACS type-1의 수신 성능이 10^{-3} BER 기준 1 dB 우수함을 확인할 수 있었으며, 이는 보다 강력한 채널 부호가 적용되었기 때문으로 판단된다.

[Abstract]

Due to the increase in the data traffic for the aeronautical communications, LDACS has been proposed to support the data link in the continental domain. LDACS is defined in two standards of LDACS type-1 and LDACS type-2, which are going to be selected through the intensive comparison. In this paper, we analyzed two types of standards and evaluated their performance for various channel models. Simulation results show that both LDACS type-1 and LDACS type-2 have a good performance in the en-route channel model, while they have a poor performance in the airport channel model. In the comparison results for LDACS type-1 and LDACS type-2, LDACS type-1 shows the better performance of 1dB than LDACS type-2 owing to the stronger channel coding technique.

Key word : L-band digital aeronautical communication system, L-Band, Aeronautical communication, Communication.

http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.2.140

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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.

Received 11 April 2015; **Revised** 13 April 2015
Accepted (Publication) 21 April 2015 (30 April 2015)

***Corresponding Author; Yun-ho Jung**

Tel: +82-2-300-0133
E-mail: yjung@kau.ac.kr

Ⅰ. 서 론

최근 항공기에서 요구되는 데이터 트래픽이 증가함에 따라, 높은 데이터 전송률과 안정적인 데이터 통신 성능을 보장하는 고속 광대역 통신 시스템의 필요성이 증대하고 있다 [1],[2]. 이에, 미국의 FAA (federal aviation administration)와 유럽의 EUROCONTROL은 2020년 이후 항공기와 지상 시스템 간의 ATS (air traffic service)와 AOC (airline operational communication) 데이터 통신을 지원하는 미래 항공 통신에 대한 공동 연구 프로젝트를 시작하였고, 이를 FCS (future communications study)라 명명하였다.

FCS의 최종 연구 결과, 표 1과 같이 서비스가 이루어지는 영역에 대해 3개의 통신 기술이 선정되었다. 공항영역에서는 IEEE 802.16e Mobile WIMAX 규격에 기반한 AeroMACS (aeronautical mobile airport communications cystem) 시스템 사용을 권고하고 있으며, 대양/오지/극지방에서는 INMARSAT SBB (international marine/maritime satellite swift broad band)와 같은 위성통신 시스템 사용을 권고하고 있다. 마지막으로 대륙간 항공통신 규격으로는 L-Band 주파수 대역을 사용하는 새로운 항공 통신 규격으로 LDACS (L-band digital aeronautical communications) type-1 (LDACS-1)과 LDACS type-2 (LDACS-2)의 두 가지 모델이 제안되었으며, 향후 두 후보 중 하나의 시스템을 채택하기로 하였다. LDACS는 데이터 통신 이외에도 항공기 위치 추적 및 감시, GNSS 기반 항행시스템의 보완 기술로 활용 가능할 것으로 기대되고 있다.

LDACS-1은 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 변조방식에 기반한 다중 반송파 (multi-carrier) 통신이며, 항공기와 기지국 간의 데이터 전송 방향에 따라, FL (forward Link)와 RL (reverse Link)로 정의하고 이를 FDD (frequency division duplex)방식으로 지원 한다 [3]. 반면, LDACS-2는 GMSK (Gaussian minimum shift keying) 변조방식을 사용한 단일 반송파 (single-carrier) 통신으로, TDD (time division duplex) 방식을 사용 한다 [4],[5]. 두 LDACS 모델은 각 특징에 따라 미래 항공통신 규격으로써 크게 주파수 활용도 측면과 고속항행의 특징으로 인한 도플러 채널환경 측면에서 그 적합성이 평가될 수 있다.

그림 1은 현재 L-Band 주파수 대역의 점유 현황과 LDACS 시스템의 주파수 할당 영역을 보여준다. L-Band 주파수 대역은 GSM (global system for mobile communications), DME (distance measuring equipment), GPS (global positioning system), Galileo E5, JTIDS (joint tactical information distribution system), 그리고 MIDS (multi-functional information distribution system) 등 기 상용 시스템의 점유로 인하여 포화상태 이며 LDACS 등과 같은 새로운 항공 통신 시스템을 위한 주파수 할당에 어려움이 따른다. 이와 관련하여 LDACS-1 시스템은 OFDM 변조방식의 주파수 분할에 용이한 특성으로 인해 다른 상용 시스템과 채널 간섭을 최소화하기에 용이한 장점을 갖는다 [6],[7].

표 1. FCS 연구 결과에 따른 서비스 영역별 통신 기술
Table 1. Communication technology for service area by FCS results.

Service Area	Technology
대륙간 통신	LDACS
대양/오지/극지방 통신	INMARSAT SBB
공항영역 통신	AeroMACS

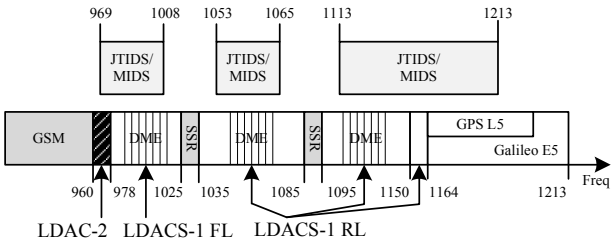


그림 1. L-band 주파수 사용
Fig. 1. L-band frequency usage.

한편, 고속항행이 이루어지는 항공통신에서는 높은 성분의 도플러 효과로 인한 심각한 위상 왜곡이 발생한다. OFDM 변조방식은 도플러 효과가 존재하는 채널 환경에서 채널 추정기 설계가 까다로운 반면, GMSK 변조기술에 기반을 둔 LDACS-2 시스템은 복조 방법에 따라 위상 왜곡에 강인하면서도 저복잡도 특성의 수신기 구현이 가능하므로 고속항행 시스템으로 사용하기에 적합하다. 이와 같이, 두 LDACS 모델은 미래 항공통신 규격으로써 장단점이 있으며, 두 후보 중 한 가지 시스템을 채택하기 위해서는 보다 면밀한 검토와 그 성능 평가가 우선되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 각 LDACS 시스템의 규격 분석 및 사양을 분석하고 채널환경에 따른 성능 평가를 통해 적합성을 검토한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서 두 LDACS 모델의 규격을 분석하고, Ⅲ장에서 각 시스템에 적용된 수신 알고리즘에 대해 서술한다. Ⅳ장에서는 두 LDACS 모델의 채널환경에 따른 수신 성능을 비교 분석하였으며, Ⅴ장에서 성능 분석 결과에 따른 각 시스템의 보완점을 제시함으로써 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 파라미터 및 물리계층 구성

2-1 LDACS-1

LDACS-1 규격에 따른 시스템 파라미터는 표 2와 같이 정리되며, 그림 2-a는 LDACS-1의 기저대역 모뎀 블록도를 보여준다. 먼저, MAC 계층을 거쳐 송신부로 입력된 데이터는 randomizer를 통과한 후 Reed-Solomon (RS) encoder블록을 통해 부호화 된다. 이어 연집에러에 강인한 block/helix interleaver를 통과한다. LDACS-1은 가변 전송률을 지원하도록 정의하고 있으며, convolutional encoder 및 puncturer를 이용하여 가변 전송률을 지원한다. 그 후 데이터는 QPSK, 16QAM 또는 64QAM

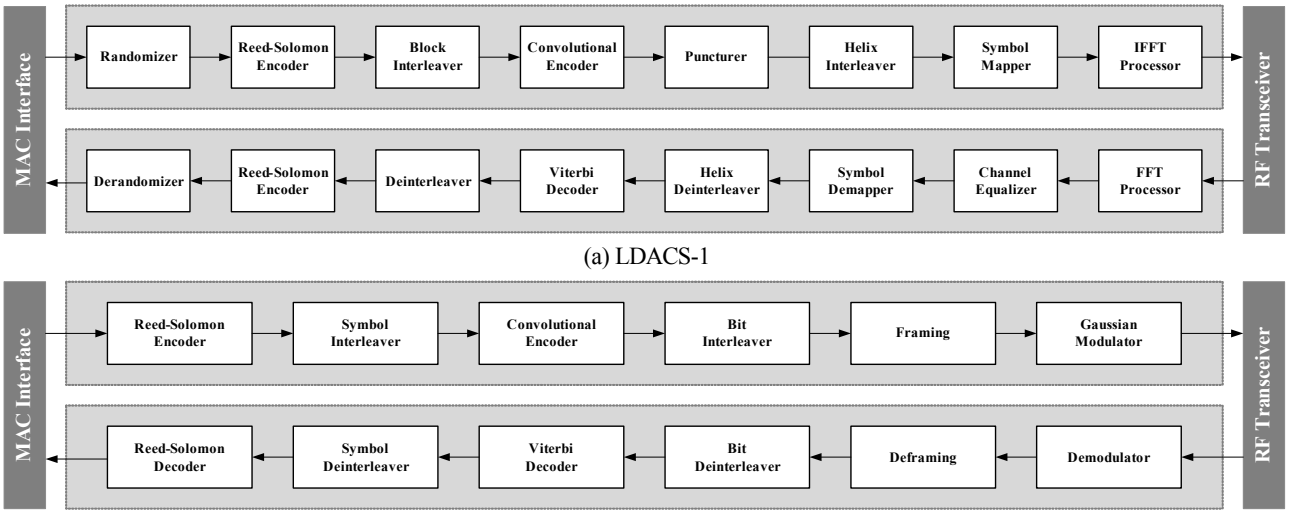


그림 2. LDACS-1과 LDACS-2 시스템 블록도
Fig 2. Block diagram of LDACS-1 and LDACS-2.

표 2. LDACS-1 시스템 파라미터
Table 2. Parameter of LDACS-1 system.

Parameter	Value
Effective bandwidth(FL or RL)	498.05 kHz
Sub-carrier spacing	9.765625 kHz
Used sub-carriers	50
FFT length	64
OFDM symbol duration	102.4 μs
Cyclic prefix - guard time - windowing time	17.6 μs 4.8 μs 12.8 μs
Total OFDM symbol duration	120 μs

기법을 통해 심볼로 변조되며, 최종적으로 변조된 심볼은 IFFT를 통과하여 RF 단으로 전송된다.

그림 3은 FL와 RL의 프레임 구조를 나타낸다. RL의 경우, 2개의 RA (random access)와 4개의 MF (multi frame)이 전송된다. 여기서, RA는 지상국과의 통신 링크를 위해 전송되는 패킷이며 6.72 ms 동안 전송되며, 다음으로 데이터 구간인 4 개의 MF가 전송된다. 각 MF 구간의 길이 58.32 ms 이며, DC (data control) 타일 및 Data 타일로 구성된다. FL의 경우, BC (broadcast)와 연속된 4개의 MF로 구성된다.

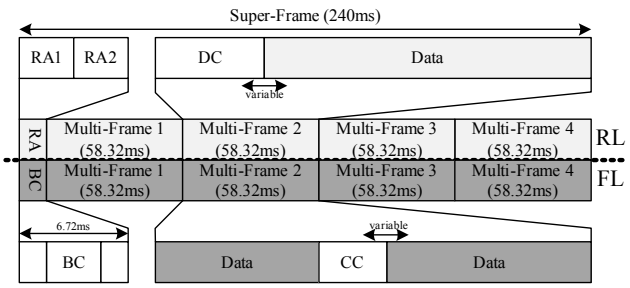


그림 3. LDACS-1 프레임 구조
Fig. 3. LDACS-1 frame Structure.

2-2 LDACS-2

LDACS-2 규격에 따른 시스템 파라미터는 표 3과 같이 정리되며, 그림 2-b는 LDACS-2 표준에서 정의한 시스템 구조도를 나타낸다 [5]. LDACS-2는 오류정정부호로 RS encoder (15,11,4) 및 부호율 3/4인 convolutional encoder를 사용하였으며, 최종 부호율은 22/45가 된다. 또한, 기존 시스템의 점유가 많은 L-Band 대역에서의 주파수 간섭을 최소화하기 위해 BT (bandwidth time) product가 0.3인 GMSK 변조 기법이 적용되었다.

그림 4는 LDACS-2의 프레임 구조를 나타낸다. LDACS-2의 물리계층은 프레임 사이클로 구분되며, 각각의 프레임 사이클은 1 sec 단위 길이로 정의되어 있으며 150개의 basic slot으로 구성된다. 여기서, basic slot은 up-link에 사용되는 UP1 및 UP2와 down-link에 사용되는 COS (class of service) 1 및 COS2, 그리고 링크 접속에 이용되는 LOG (login) 2 부분으로 구성된다 [5]. UP1 구간을 통해 현재 서비스되는 GS (ground Station)의 정보를 받은 MS (mobile station)은 LOG2 구간에서 GS와 연결되며, 이후 UP2와 COS2를 통해 통신한다.

표 3. LDACS-2 시스템 파라미터
Table 3. Parameter of LDACS-2 system.

Parameter	Value
Effective bandwidth	200 kHz
BT Product	0.3
Modulation Index	0.5
Frame duration	36923 μs

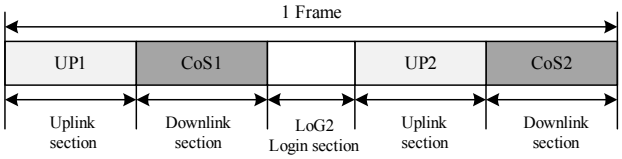


그림 4. LDACS-2 프레임 구조
Fig. 4. Frame structure of LDACS-2.

Ⅲ. LDACS 주요 수신 알고리즘

3-1 LDACS-1

OFDM 시스템 수신단에서 수신 신호를 복조하기 위해서는 채널 정보가 필요하다. 그러나, 수신 단에서는 채널 정보를 미리 알고 있지 못하므로 수신 신호를 이용하여 채널 정보를 추정해야 한다. 일반적으로 채널 추정 알고리즘은 파일럿을 이용하는 LS (least square) 채널 추정 알고리즘 및 LS에 의해 구한 채널 값과 채널의 통계적 상관관계를 이용하여 노이즈의 영향을 줄이는 MMSE (minimum mean square error) 알고리즘 등을 주로 사용한다. 본 논문에서는 LS 알고리즘을 기반으로 하는 LI (linear interpolation) 알고리즘을 사용하였다 [8],[9]. 또한, 잡음 성분으로 인한 채널 추정 성능 저하를 막기 위해 시간 및 주파수 축에서 LPF (low pass filtering)을 적용하였다. 수신단의 주파수 영역에서 수신신호 $Y_{l,m}$는 수식 1과 같이 표현된다.

$$Y_{l,m} = X_{l,m}H_{l,m} + Z_{l,m} \tag{1}$$

여기서, X는 송신신호, H는 채널 응답이고 Z는 백색잡음이다. 또한, l과 m은 각각 수신된 심볼의 주파수 영역, 시간 영역에서의 순서를 나타낸다. 수신신호 Y로부터 송신신호 X를 복조하기 위해 채널응답 H는 수식 2를 통해 추정할 수 있다.

$$\hat{H}_{l,m} = \frac{Y_{l,m}}{X_{l,m}} \tag{2}$$

LDACS-1은 FL과 RL의 OFDM 프레임 구조를 다르게 정의하고 있으며, 본 논문에서는 RL 프레임 구조에 대한 수신 성능을

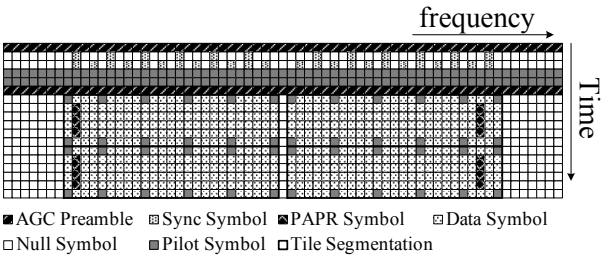
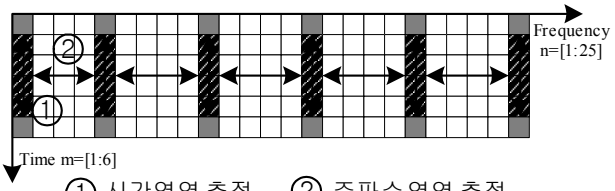


그림 5. LDACS-1의 RL(reverse link) 프레임 구조
Fig 5. RL(reverse link) frame structure of LDACS-1.



① 시간영역 추정 ② 주파수영역 추정
그림 6. RL (reverse link) 타일의 채널 추정 알고리즘
Fig. 6. Channel estimation algorithm for reverse link tile.

평가하였다. RL의 OFDM 프레임 구조는 그림 5와 같이 AGC 프리앰블로 시작하며 Sync 심볼, PAPR 심볼, 데이터 심볼, 그리고 파일럿 심볼로 구성된다 [3]. 여기서, 채널추정은 tile segmentation 단위로 이루어지며, 그림 6은 첫 번째 tile segmentation의 2차원 선형 채널 추정 방법을 도식적으로 나타낸다. LI 채널추정의 순서는 파일럿 위치에서 추정된 채널 응답 값을 이용하여 시간 축으로 채널 응답 값을 선형 추정한 후, 이를 다시 주파수 축으로 선형 추정한다. 우선 파일럿 위치에서 추정된 채널을 수식으로 나타내면 수식 3과 같다.

$$\hat{H}_{n_p,m} = \frac{Y_{n_p,m}}{X_{n_p,m}},\ n_p = \{1,5,10,15,20,25\},\ m = \{1,6\}. \tag{3}$$

여기서, n_p는 첫 번째 tile segmentation에서 정의된 파일럿 위치를 나타낸다. 다음으로 시간영역에서의 LI 채널 추정은 수식 3, 주파수 영역에서 채널 추정은 수식 4, 5, 그리고 6과 같이 추정되어 데이터 반송파에 대한 채널 응답 $H_{l,m}^{EST}$이 추정된다.

$$H_{n_p,k+1}^{EST} = k\gamma + H_{n_p,1},\ k = \{1,2,3,4\},\ \gamma = \frac{h_{n_p,6} - h_{n_p,1}}{6}, \tag{4}$$

$$H_{n_1+i,m}^{EST} = i\mu + H_{n_1,m},\ i = \{1,2,3\},\ \mu = \frac{h_{n_2,m} - h_{n_1,m}}{4}, \tag{5}$$

$$H_{n_p+i,m}^{EST} = i\nu + H_{n_p,m},\ \nu = \frac{H_{n_{p+1},m} - H_{n_p,m}}{6},\quad i = \{1,2,3,4\},\ p = \{2,3,4,5\}. \tag{6}$$

여기서, k는 시간 축 방향의 추정 index, γ는 시간 축 방향의 interpolation 비율을 나타낸다. 또한, i는 주파수 축 방향의 추정 index, p는 파일럿 index를 나타내며, μ, υ는 주파수 축 방향의 interpolation 비율을 나타낸다. 이와 같이 산출된 최종 채널 성분에 대해 시간 및 주파수 축에서 LPF를 적용함으로써 최종 채널 추정이 완료된다.

3-2 LDACS-2

LDACS-2의 GMSK 변조방식은 MSK 변조의 메인 로브를 협대역화하기 위해 추가적인 Gaussian filter를 이용하여 대역폭을 제한한 변조 방식이며 메인 로브의 협대역화로 인해 신호의 대역 효율이 향상된다. 항공기의 고속 이동 환경에서 수신 신호

는 페이딩에 의한 위상 왜곡 현상이 발생하며, 따라서 페이딩 영향에 강인한 복조 방식이 필요하다. 이에, 수식 7과 같은 differential detection 방식을 적용한 non-coherent 기반의 복조 알고리즘을 사용하여 복조가 가능하다 [10],[11].

$$\begin{aligned} & r_{pd}(t) \\ & = r^*(t) r(t - T_c) \\ & = |s^*(t)| e^{-(j\omega_0 t + \Phi + \theta_2)} |s(t - T_c)| e^{j\omega_0 (t - Tc) + \Phi + \theta_1} \\ & = |s^*(t)| s(t - T_c)| e^{-j\omega_0 Tc} e^{(\theta_1 - \theta_2)} \end{aligned} \tag{7}$$

여기서, $r_{pd}(t)$는 differential detection 방식에 의한 수신 심볼의 위상 차이, $r(t)$는 수신 신호, 그리고 T_c는 한 chip의 주기를 나타내며 $s(t)$는 전송된 신호를 나타낸다. 또한, 시간 t에 비례하여 위상 왜곡을 발생시키는 $e^{j\omega_0 t - \Phi}$는 최종적으로 $e^{-j\omega_0 T_c}$로 정리되어 보다 적은 위상 왜곡을 나타내게 된다. $r_{pd}(t)$는 최종적으로 $e^{\theta_1 - \theta_2}$에 의하여 현재 수신된 수신신호와 지연된 수신신호의 위상 변화 정보를 가지고 있으며, GMSK 변조방식 기반의 differential detection 복조 알고리즘에 의하여 위상 변화 값이 양수인 경우 'binary 0', 음수인 경우 'binary 1'로 복조된다.

Ⅳ. 성능 분석 결과

4-1 채널 모델 및 성능 평가 시스템 파라미터

본 논문에서는 표 4와 같이 EUROCONTROL이 LDACS 평가를 위해 제시한 ENR (en-route), APT (airport)의 두 가지 채널 모델 [3]과 AWGN 환경에서 각 LDACS 모델의 수신 성능을 분석하였다. 순항중의 상황인 ENR의 경우, LOS (line of sight) 환경이므로 Rician fading 모델을 사용하였으며, 공항 내 상황인 APT 채널의 경우, 반사파의 영향이 많은 환경이므로 Rayleigh 채널 모델을 사용하였다.

본 논문에서는 각 LDACS 모델의 수신 BER 성능을 비교하였으며, 성능평가에 사용된 시스템 파라미터는 표 5와 같다.

표 4. 채널 모델 파라미터
Table 4. Channel model parameter.

	Fading	Delay	Doppler
ENR	Rician k_R=15 dB (direct/total scattered) near-spec / off-path SR 6 dB	direct + 2 delayed paths delays: τ_0=0.3 μs τ_0=15 μs	Gaussian, f_D=1250 Hz means: fM_0=0.85*f_D, fM_1=−0.6*f_D spreads: fS_0=0.05*f_D, fS_1=0.15*f_D
APT	Rayleigh k_R=−100 dB	exponentially decaying power delay profile, max delay: τ_{max}=3 μs	Jakes f_D=413 Hz

표 5. 성능 평가 주요 파라미터
Table 5. Parameters for the performance evaluation.

	LDACS-1 (RL Data)	LDACS2
Modulation	QPSK	GMSK
RS encode	(16,14,1)	(15,11,4)
Convolutional code rate	1/2	3/4
Symbol decision	soft	soft
Total code rate	0.44	0.49

LDACS-1의 경우, RL frame의 data 통신 링크를 평가하였으며, QPSK 변조기법 기반의 (16,14,1)의 RS code, convolutional code를 사용하여, 최종 0.44의 code rate를 갖는 시스템 모드에 대해 평가하였다. LDACS-2의 경우, GMSK 변조 기법 기반의 (15,11,4) RS Code, 3/4의 code rate를 갖는 convolutional code를 사용하여 최종 0.49의 code rate를 가지는 시스템 모드에 대해 수신 성능을 평가하였다. 또한, 두 시스템 모두 soft decision 방식을 이용하였다.

4-2 시뮬레이션 결과

그림 7과 8은 두 가지 채널 모델에 대해 Ⅲ장에서 서술한 수신 알고리즘을 적용하여 BER 성능을 평가한 결과 그래프이다. 그림 7은 LDACS-1 시스템의 성능 평가 결과 그래프이며, 그림에서 보듯이 Rayleigh fading 채널 특성으로 인해 APT 채널 환경에서 현저한 성능 열화를 보인다. 하지만, ENR 채널의 경우, 채널 fading 영향으로 인해 AWGN 환경에 10^{-3}의 BER 기준 2.5 dB 정도의 성능 열화를 보인다.

그림 8은 LDACS-2 시스템의 성능 평가 결과를 나타낸다. LDACS-2 시스템의 경우에도 마찬가지로 multipath propagation 환경의 APT 채널에서 심각한 열화 현상을 보이며, LOS 환경의 ENR 채널의 경우 AWGN 환경 대비 1.5 dB 가량의 성능 열화를 관찰할 수 있다. 두 LDACS 모델의 성능 비교를 위해 ENR 채널 환경에서 수신 성능 그래프를 함께 도시하면 그림 9 와 같다.

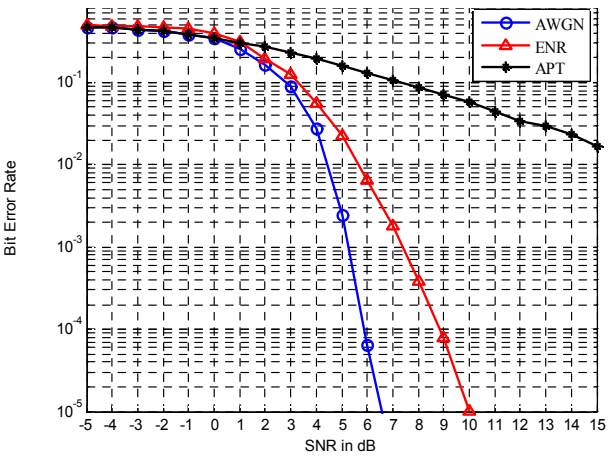


그림 7. LDACS-1 시스템의 채널에 따른 BER 성능 평가 결과
Fig. 7. BER performance evaluation results for LDACS-1.

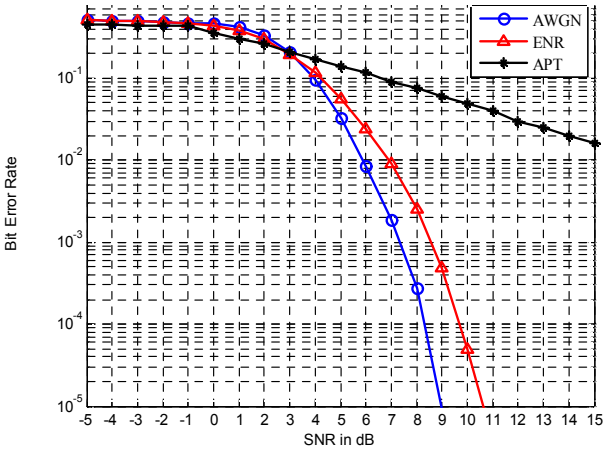


그림 8. LDACS-2 시스템의 채널에 따른 BER 성능 평가 결과
Fig. 8. BER performance evaluation results for LDACS-2.

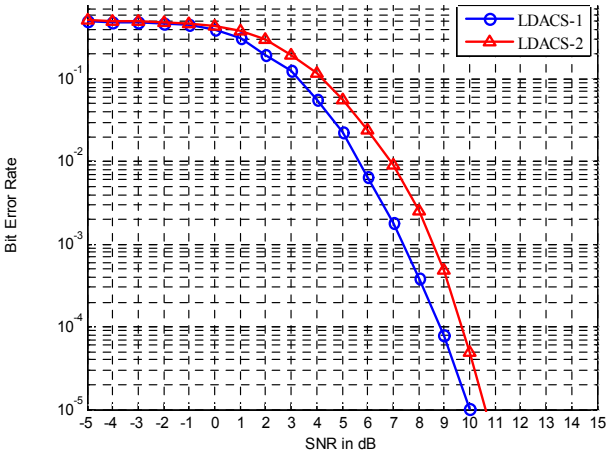


그림 9. ENR 채널 환경에 대한 LDACS-1과 LDACS-2의 BER 성능 비교
Fig. 9. BER performance comparison of LDACS-1 and LDACS-2 for ENR channel environment.

그림에서 보듯이 LDACS-1 대비 LDACS-2의 성능이 10^{-3}의 BER 기준 1 dB 정도의 성능 열화를 보이고 있다. 이는 LDACS-2의 GMSK 변조 방식에 따른 Gaussian filtering의 효과와, non-coherent 복조 방식에 따른 결과로 보이며, 이에 convolutional code 3/4 보다 강력한 오류정정 부호의 사용이 필요할 것으로 예상된다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 대륙 간 항공통신을 위해 제안된 두 가지 LDACS 시스템의 규격을 조사하고 상위 수준에서 모델링하였으며, 채널 상황에 따른 성능평가를 수행하였다. 성능분석 결과, 두 시스템 모두 Rayleigh fading 채널 특성으로 인해 APT 환경에서 큰 성능열화를 보였으며, 이에 APT 환경에서는 AeroMACS와 같은 시스템 사용이 필요한 것으로 판단된다. 반면, ENR 채널 환경에서 AWGN 환경 대비 1.5-2.5 dB 정도의 성능 열화를 보이며, LDACS 시스템이 항공기의 순항 상황의 통신에 적합함을 판단할 수 있다. ENR 환경에서, LDACS-1 대비 LDACS-2의 BER 성능이 1 dB 열화를 보이고 있으며, 이에 LDACS-2의 경우 convolutional code 3/4 보다 강력한 오류정정 부호의 사용이 필요할 것으로 예상된다. 본 논문의 결과는 향후 두 LDACS 후보 중 한 가지 시스템을 선택하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2011-0013076)을 받아 수행되었고, 본 논문의 주저자는 해양수산부 해양시설과 "해양교통 전문인력 양성사업(GNSS 부분)"의 지원을 받고 있습니다.

참고 문헌

[1] N. Neji, R. de Lacerda, A. Azoulay, T. Letertre, and O. Outtier, “Survey on the future aeronautical communication system and its development for continental communications,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 62, No. 1, pp. 182-191, Jul. 2010.

[2] T. Gilbert, G. Dyer, and J. Budinger, “Future communication study technology investigation,” in *IEEE Conference on Integrated Communications Navigation and Surveillance*, Herndon: VA, pp. 1-11, May. 2007.

[3] Updated LDACS1 system specification, SESAR, Deliverabel ID EWA04-1-T2-D1, 2011.

[4] R. Jain, F. Templin, and K. Yin, “Analysis of L-band digital aeronautical communication systems: L-DACS1 and L-DACS2,” in *IEEE Conference on Aerospace*, Big Sky: MT, pp. 1-10, Mar. 2011.

[5] L-DACS2 Transmitter and Receiver prototype equipment specifications : Deliverable D3, EUROCONTROL, Edition Number 1.2, 2009.

[6] U. Epple and M. Schnell, “Overview of legacy systems in L-band and its influence on the future aeronautical communication system LDACS1,” *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE Magazine*, Vol. 29, No. 2, pp. 31-37, Feb. 2014.

[7] N. Neji, R. de Lacerda, and A. Azoulay, T. Letertre, O. Outtier, “Coexistence between the future aeronautical system for continental communication L-DACS and the distance

measuring equipment DME," in *IEEE Conference on Satellite Telecommunications*, Rome: Italy, pp. 1-7, Oct. 2012.

[8] A. Doukas and G. Kalivas, "Analysis and performance evaluation of a K-symbol pilot assisted channel estimator using linear interpolation for OFDM Systems," in *IEEE Conference on Wireless Communications and Networking*, Kowloon: Hongkong, pp. 1247-1252, Mar. 2007.

[9] A. Doukas and G. Kalivas, "Performaance analysis of a channel estimator using linear interpolation for OFDM systems," in *Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Pacific Grove: CA, pp. 1786-1790, Nov. 2006.

[10] A. Yongacoglu and D. Makarakis, "Differential detection of GMSK using decision feedback," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 36, No. 6, pp. 641-649, Jun. 1988.

[11] D. Lee, S. Jang, and Y. Jung, "Design of non-coherent demodulator for LR-WPAN system," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 17, No. 6, pp. 705-711, Dec. 2013.

천 정 현 (Jeong-hyeon Cheon)
2014년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2014년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정
※ 관심분야 : 무선 통신 시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC

윤 경 한 (Kyung-han Yoon)
2014년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2014년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정
※ 관심분야 : 무선 통신 시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC

장 수 현 (Soo-hyun Jang)
2009년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
2011년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : 무선 통신 시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC

정 윤 호 (Yun-ho Jung)
1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2005년 ~ 2007년 : 삼성전자 책임연구원
2008년 ~ 현재 : 한국항공대학교 부교수
※ 관심분야 : 무선 통신 시스템, 항공통신 시스템, VLSI 신호처리, 모뎀 SoC