

## 정찰용 무인기를 위한 공용데이터링크 모뎀 설계 및 성능 분석

정성진<sup>1</sup> · 김영길<sup>2\*</sup> · 이대홍<sup>1</sup>

### Design and Performance Analysis of Common data link digital modem for surveillance UAVs

Sungjin Jung<sup>1</sup> · Younggil Kim<sup>2\*</sup> · Daehong Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satellite-Datalink Team, Hanwha Systems, Sungnam 13524, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

#### 요 약

최근 다양한 분야에서 이슈가 되고 활용되는 드론 등을 포함한 무인기체계는 군사분야에서부터 시작되어 다양한 민간분야에서도 활발하게 연구 개발되고 있다. 최근 개발되는 다양한 형태의 무인기체계에서, 지상의 조종장치와 무인기간의 연결을 담당하는 통신체계를 데이터링크라고 한다. 특히, 군 분야의 무인기에서 획득된 감시/정찰용 영상정보 및 무인기의 상태정보를 실시간으로 지상으로 전송하기 위한 공용데이터링크는 특성상 통신의 안정성 확보를 우선으로 한다. 본 논문에서는 정찰용 무인기에서 사용되는 공용 데이터링크의 안정성 확보를 위한 디지털 변복조기의 소요규격을 파악하고, 해당 규격을 만족하기 위한 설계를 제안하였다. 설계된 시스템의 타당성은 구현된 시스템의 성능측정을 통하여 검증하였다.

#### ABSTRACT

The UAV(Unmanned Aerial Vehicle) system, including the drone of a variety of fields, which has become an issue and utilized in various fields, has begun to develop in military fields and is actively developed in the commercial field. In various types of UAV systems, which have been developed recently, the communication system that is responsible for the connection between the ground control unit and the UAVs is called the data link. Especially, common data link used in military UAVs is required stability of communication to transmit surveillance and reconnaissance intelligence information and UAV's status. In this paper, the requirement for a modem was defined to secure the communication stability of the common data link used in surveillance UAVs. And, the design of the data link modem to satisfy applicable specifications was proposed. The proposed modem design was verified through the performance measurement of the implemented systems.

**키워드** : 무인기, 공용데이터링크, 감시정찰, 모뎀

**Key word** : UAV, common data link, surveillance, Modem

Received 04 August 2017, Revised 24 November 2017, Accepted 19 December 2017

\* Corresponding Author Younggil Kim(E-mail:ykkim@ajou.ac.kr, Tel:+82-42-520-5123)  
Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2018.22.1.162>

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

최근 다양한 분야에서 이슈가 되고 활용되는 드론 등을 포함한 무인기체계는 군사분야에서부터 시작되어 민간 분야에서도 다양한 분야에서 활발하게 연구 개발되고 있다. 군사분야에서 무인기는 주로 항공표적, 감시정찰 등의 목적외의 공격용도까지도 사용하게 되면서, 점차 그 운용폭을 넓혀가고 있다[1, 2].

무인기 시스템에서 무인기와 지상장비간 연동을 위한 시스템을 데이터링크라고 하며, 특히 감시정찰을 위한 무인기 시스템에서 무인기와 지상의 제어시스템 간의 제어정보 및 상태정보의 교환, 감시정찰 체계 체계로부터 수집된 감시정찰 정보를 지상으로 전달하기 위한 대용량의 고속전송용 데이터링크를 공용데이터링크(CDL, Common Data Link)라 한다.

미국에서는 CDL 프로그램을 통하여 업링크 0.2~2 Mbps, 다운링크 10.71~274Mbps의 데이터 전송률을 지원하며 추후 최대 1,096Mbps의 전송률 까지 지원을 목표로 개발을 진행 중이다[3].

기존의 국내 무인기체계에서는 해외에서 개발된 공용데이터링크시스템을 도입하여 적용하였었다. 이 후 무인기체계의 국내개발을 진행하면서, 대용량의 영상정보용 공용데이터링크에 대한 국산화의 필요성이 대두되었다. 이에 국내의 공용 데이터링크 기술 표준화를 목표로 공용 데이터링크를 개발하게 되었다. 국내에서는 이러한 공용데이터링크 장비로 최대 00Mbps급 전송이 가능한 공용데이터링크기술이 있으며, 미국 CDL 장비수준의 000Mbps 급 전송이 가능한 시스템을 개발 중이다[4].

본 논문에서는 앞서 언급한 00Mbps급 전송을 목표로 개발된 공용데이터링크의 송수신기 중 디지털 변복조기(이하 모뎀)의 설계를 제안하고 구현된 모뎀을 통한 최종 성능을 확인하였다.

## II. 공용데이터링크 모뎀 관련 연구

군사목적의 공용데이터링크관련 연구는 미국을 중심으로 진행되었으며, 실제로 미국 공용데이터링크는 운용 개념 및 사용 용도에 라 세분화하고 규격을 다양화 하여 CDL, TCDL, MP-CDL 등으로 분할 하였다.

1980년 후반 미 국방부는 미군 전반에서 사용 가능한 표준화된 통신 방식의 개발을 시작하였고, 1991년 CDL(Common Data Link)을 이미지/영상 데이터 전송을 위한 표준으로 채택하였다. CDL은 양방향 통신이 가능하고, 항재밍 능력을 갖춘 점대점 통신 방식을 제공하였다. 상향링크는 200Kbps ~ 45Mbps, 하향링크는 10.71 Mbps ~ 274Mbps의 전송속도를 지원한다.

CDL의 경량화 버전인 TCDL(Tactical CDL)은 저비용, 경량의 CDL로 기존의 체계와 호환이 가능하며 초기 TCDL의 전송률은 200Kbps ~ 10.71Mbps로 CDL에 비해 저속의 전송률을 지원하였다.

이와 별도로 미군의 합동 지휘통제체계인 JSTARS(Joint Surveillance Target Attack Radar System)와 연계하여 동작하는 데이터 링크인 SCDL(Surveillance Common Data Link)체계가 있다. 미 공군과 육군은 SCDL을 통해 JSTARS의 표적 정보를 확보하고 공유한다. SCDL의 전송속도는 1.9Mbps이고 TDMA와 FHSS를 사용하여 보안성을 제공한다. SCDL의 전송속도와 네트워크 성능을 향상시키는 방안으로 MP-CDL을 개발하였다[5].

국내 감시정찰용 무인기체계를 위한 공용데이터링크 시스템은 실제 무인기의 운용성을 고려하여 전체 최대전송속도 00Mbps, 최대 통신거리 200km 이상이 요구되었다.

일반적으로 데이터링크장비의 구성은 신호처리 및 변복조 제어 등을 수행하는 기저대역부, 기저대역신호를 RF 신호로 변조하는 RF송수신부와 안테나부로 구성되며, 전체 데이터링크 시스템의 요구사항을 만족하기 위하여 각각의 성능들은 Trade off를 통하여 설정된다.

Table. 1 Data Link System Link Budget

Parameter	Unit	Spec.
Transmit Power	dBm	38
Antenna Gain(Tx+Rx)	dBi	63
Cable/Insertion Loss	dBm	5
Channel Loss	dBm	170
Receiver Sensitivity	dBm	81
Required SNR of Modem	dBm	13.5

송신기의 출력 및 안테나이득과 채널의 상황을 고려한 전체 시스템의 링크버짓은 표 1과 같이 설정되었

다. 송신출력, 안테나 이득 등은 관련 구성품의 특성 및 성능을 고려하여 결정되며, Channel loss 는 통신거리 200km를 기준으로 자유공간 손실 과 채널환경 등을 고려하여 ITU-R P.618모델을 기준으로 분석된 수치이다. 링크버킷에서 모델과 관련된 규격은 'Required SNR of Modem'이며, 이는 요구되는 수신감도 및, 변복조 방식, 채널코딩 등을 고려하여 결정되며 13.5dBm (@00Mbps)이다.

### III. 모뎀 송수신 구조 설계

본 연구에서 00Mbps급 공용데이터링크는 상향(지상에서 비행체측으로 송신) / 하향(비행체에서 지상으로 송신)이 동시에 가능한 Full Duplex 구조이며 상향/하향에 각각 별도의 송수신 주파수를 할당하여 통신하는 FDD방식을 채택하였다.

모뎀은 상향/하향의 송수신구조를 동일하게 적용하였으며, 전송속도를 가변 가능하도록 하여 상하향 전송속도를 대칭/비대칭으로 설정이 가능하도록 하였다. 가변 가능한 전송속도는 00Mbps ~ 000kbps 까지 가능하나, 본 논문에서는 최대 전송속도인 00Mbps에 중점을 두어 다루기로 한다.

송신부의 개략적인 구조를 그림 1에 도시하였다. 기본적인 구조는 일반적인 디지털 변조기의 구조와 유사하다. 입력된 데이터는 채널코딩(Encoding) 수행 후 Mapping과정을 거쳐, 매 프레임마다 Preamble과 함께 전송된다.

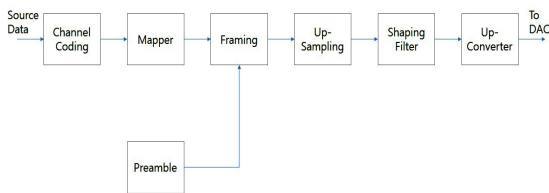


Fig. 1 Block diagram of transmitter

송신 프레임 구성은 그림 2와 같다. Preamble은 데이터부분과 별도로 BPSK방식 symbol로 구성되며, 매 프레임마다 Guard Interval 을 구성하였다. 실제 모뎀구현시는 RF단의 AGC 및 송신출력레벨의 급격한 변화를 방지하기 위하여 정보가 없는 랜덤신호를 삽입하였다.

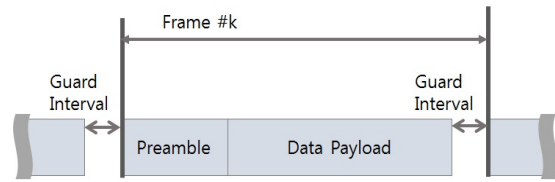


Fig. 2 Frame Structure

Preamble은 BPSK 224심볼로, 수신기 동기 기능을 고려하여 반복 고정 패턴(32심볼)과 의사잡음 구간(192심볼)으로 나뉘어 구성된다.

구성된 송신부의 주요 파라메타는 표 2 와 같이 설정되었다.

Table. 2 Feature of transmitter

Feature	Specification
Data rate	00Mbps
Channel Coding	RS(216,200) CC K=7, code rate 3/4
Modulation	8-PSK
Preamble	BPSK Modulation, 200 symbols or more
Symbol rate	23.04MHz
Shaping Filter	SRRC(roll-off factor 1.2)
Bandwidth	Up to 28MHz

채널코딩은 Outer-code로는 Burst Error에 강한 Block-Code 방식인 RS-Code(Read Solomon Code)를 Inner-Code로는 Radom부호에 강한 CC(Convolutional Code)를 적용하고, 그 사이에 인터리버를 고려하여 Burst Error가 Random Error로 분산되도록 하였다. RS 코드는 RS(255,239) 를 단축한 RS(216,200)를 적용하였다. Convolutional Code 구속장 길이는 7이며, puncturing 하여 부효율 3/4 이 되도록 하였다.

변조방식은 8PSK로 3bit의 정보를 하나의 심볼에 mapping 되도록 하였다. 맵핑된 정보는 Shaping Filter 또는 Pulse Shaping Filter를 거치는데, 이는 디지털 펄스 열을 대역이 제한된 파형으로 바꾸는 것으로 심볼간 간섭(ISI)을 방지하고, 대역폭을 제한하도록 하며, 일반적으로 많이 적용되는 SRRC(Squared Root Raised Cosine) Filter를 고려하였으며, roll-off Factor는 1.2 로 설정하였다.

수신부는 신호검출, 동기획득, 복조 및 채널코딩(디코더)기능을 하는 블록으로 구성되며, 개략적인 블록도는 그림 3 에 도시하였다.

Signal Detection 부에서 신호검출을 수행하여 신호가 검출되면 해당신호에 대한 시간동기(TR : TimeRecovery) 및 주파수동기(CR : Carrier Recovery)을 수행하고 8PSK 복조를 거쳐 채널 디코딩을 수행하여 데이터를 복원해낸다.

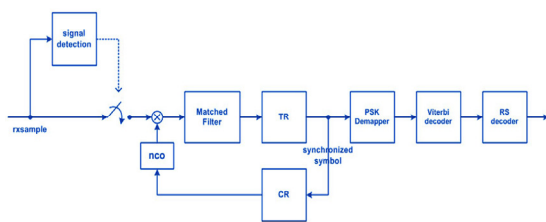


Fig. 3 Block diagram of receiver

수신부의 주요 파라메타는 신호검출 확률, 시간동기 성능, 주파수 동기 성능 및 채널코딩 성능이며, 각 항목의 목표 규격은 표 3과 같다.

Table. 3 Feature of receiver

Function	Specification
Signal Detection	Over 99% signal detection @ Eb/No 6dB
Timing Recovery	Uncer 0.5dB performance loss @ +/-2 sample offset
Carrier Recovery	Estimate +/-1.5% frequency offset
RS-CC Decoder	BER 1.0e-6 @ Eb/No 8dB

Signal detection 블록의 구조는 그림 4와 같다.

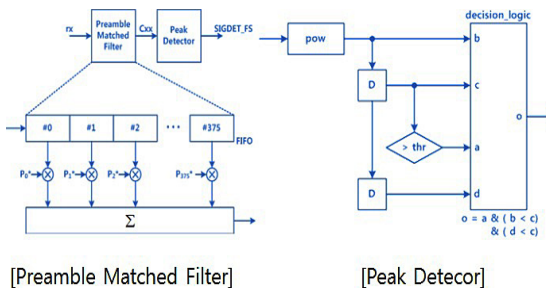


Fig. 4 Block Diagram of Signal detector

Matched Filter 에서는 샘플마다 기준 Preamble 신호와의 상관 값을 구하여, Peak Detector Matched Filter 출력 신호의 전력값을 Threshold 와 비교하여 Peak 신호를 검출 하여 신호의 수신 여부를 판정한다.

TR(Timing Recovery) 블록은 Gardner방식의 Timing 에러를 추정기법을 적용하였으며, 지속적인 Timing 에러 추적 및 보상 기능을 수행한다. 또한, 시간이 흐름에 따라 발생할 수 있는 수신신호 타이밍의 변화에 적응하고, Signal Detection에서의 부족한 Timing Resolution 을 보충하는 역할을 한다[6, 7]. 그림 5에 TR블록의 구조를 나타내었다. 크게 타이밍 오차를 추정하는 TED(Timing Error Detector) 블록과 추정된 타이밍 오차를 보상하는 Interpolator 블록으로 구성된다.

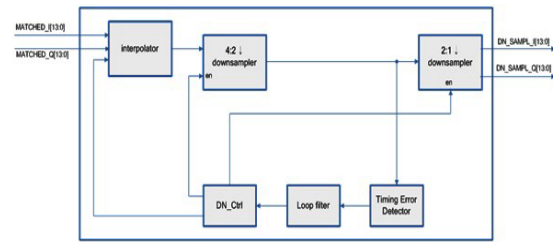


Fig. 5 Block Diagram of Timing Recovery

CR(Carrier Recovery) 블록은 송/수신기간 local oscillator의 주파수 오차로부터 비롯된 반송파 주파수 옵셋을 추정/보상하는 기능을 수행한다. 반송파 주파수 옵셋은 preamble구간에서는 알려진 preamble 심볼과 수신된 심볼과의 직접적인 차이를 통해 계산되며, PLL 방식으로 누적 보상하게 된다. CR블록의 구조는 그림 6 과 같다.

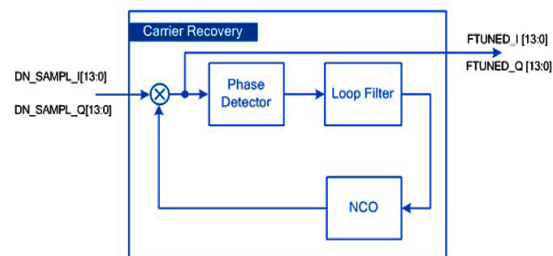


Fig. 6 Block Diagram of Carrier Recovery

시간 및 주파수동기를 통하여 검출된 신호는 Soft-Decision Demapper를 통하여 입력되는 심볼의 Soft-Decision 값을 출력하고 이를 Viterbi Decoder와 RS Decoder를 통하여 복호화한 후 최종 데이터를 복원한다.

#### IV. 모뎀 수신부 성능분석

모뎀 수신부의 동기부 및 복조부의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. Signal Detection 성능은 그림 7의 그래프와 같다. 주파수 오프셋 0에서 수신신호로부터 신호검출 확률 및 False Alarm 확률을 도시하였다. Eb/No -1 dB에서 검출확률이 99% 이상검출이 이뤄짐을 확인할 수 있다.

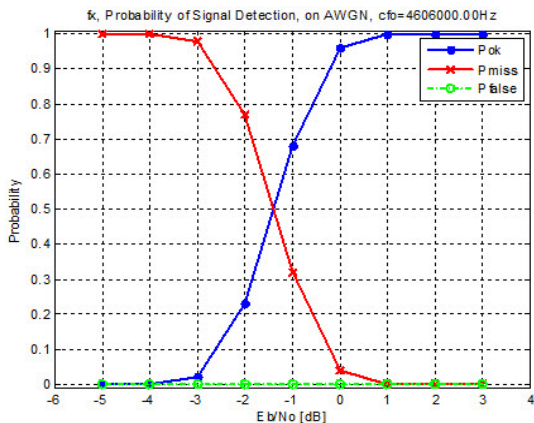


Fig. 7 Detection block performance(AWGN)

그림 8 CR 블록의 성능분석 결과이며, Symbol Rate 23MHz에 대한 Eb/No 8dB 환경에서의 s-curve에서, Symbol Rate 대비 +/-1.5% 범위에서 안정적으로 주파수 오프셋을 추정함을 확인할 수 있다.

그림 9는 Soft-Decision RS-CC(3/4)의 채널코딩 성능을 포함한 AWGN 잡음 환경에서 수신기의 복조 및 복호 성능을 분석한 결과이다. RS+CC 3/4 모드에 대하여 BER=1.0e-6의 성능을 도출하기 위하여 요구 Eb/No 8.2 dB가 필요함을 확인하였다. 해당 Eb/No에 대하여 RS+CC3/4 모드 웨이브폼에서의 SNR 환산 시 약 10.5dB가 요구된다.

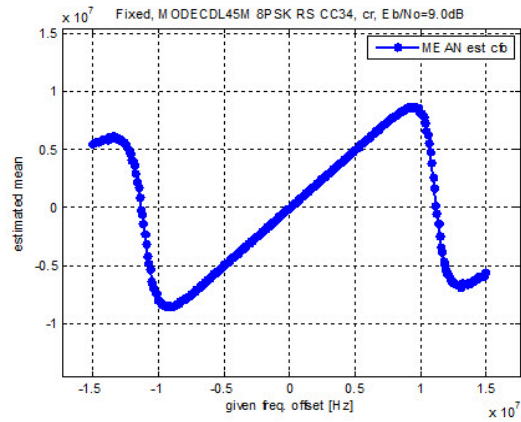


Fig. 8 Carrier recovery block Performance

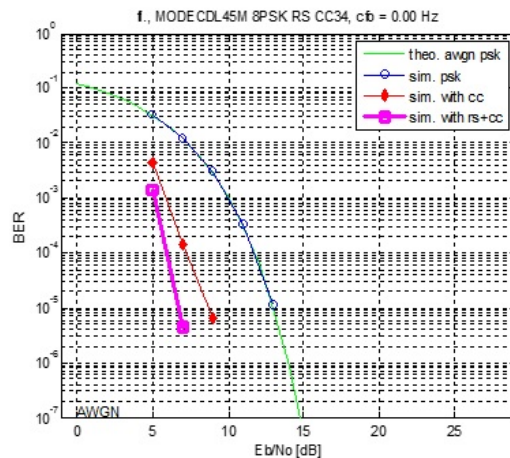


Fig. 9 Simulation for BER performance

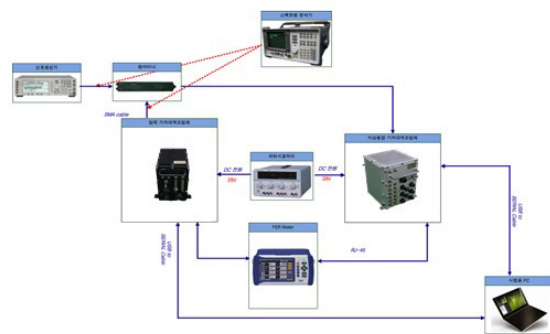


Fig. 10 Test configuration of BER measurement

구현된 모델을 이용한 BER 측정을 위하여 그림 10 과 같이 장비 및 계측기를 구성하여 BER 측정을 실시 하였다. 2개 모델의 송수신간에 인가한 AWGN 신호레 벨을 변경하여 SNR 별로 BER을 확인하였다.

BER 측정 시험 결과는 그림 11과 같다. BER=1.0e-6 에서의 요구 SNR 10.6dB로 분석결과와 근접함을 확인 할 수 있었으며, 해당 성능은 전체 링크버킷에서 요구 된 SNR규격을 충분히 만족함을 확인하였다.

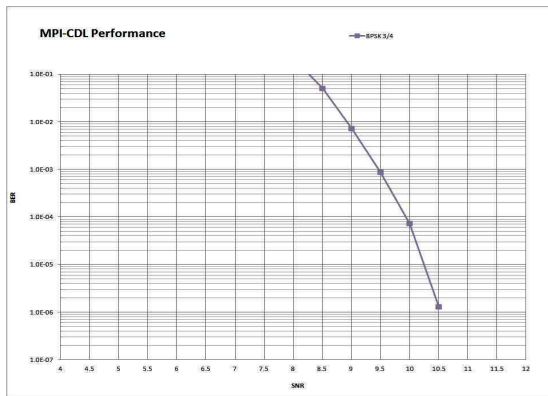


Fig. 11 Result of BER measurement

## V. 결 론

본 연구에서는 감시정찰용 무인기에서 필요한 공용 데이터링크체계 중 국내에서 구현된 00Mbps급 전송을 을 가지는 영상정보용 공용데이터링크에 적용된 모델 의 구조설계 및 주요 수신부 성능을 살펴보았다.

구현된00Mbps급 데이터링크용 모델은 Eb/No -1dB 이상에서 99% 검출 확률을 갖으며, 주파수 오프셋은 symbol rate대비 +/-1.5% 범위를 가진다. 채널 복호화 및 8-PSK모델의 비트오율 성능은 이론 치 대비0.5dB 이내로 분석되었다. 실제 구현된 모델을 통하여 성능특

측정결과 분석된 링크버킷의 요구 SNR을 만족함을 확 인하였으며, 이는 00Mbps의 전송속도와 200km의 통 신거리를 요구하는 국내 정찰용 무인기의 공용데이터 링크 시스템에 적용 가능함을 확인할 수 있었다. 연구 한 모델의 구조는 현재 국내 다양한 플랫폼의 감시정찰 무인기에 공용데이터링크의 개발에 활용되고 있다.

## REFERENCES

- [1] H. S. Hwang and Y. C. Jeong and Y. H. Jeong , “Technology Trends and Performance Evaluation for Unmanned Aircraft System Datalink,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 329-335, Aug. 2016.
- [2] H. W. Kim and T. C. Hong, “R&D Trends in Network-Based Control and Non-payload Communications for Unmanned Aircraft Systems,” 2017 Electronics and Telecommunications Trends(ETRI), 2017.
- [3] H. Y. Seok and L. S. Yong, “A Study of Datalink development Trend for Military Micro Aerial Vehicle,” *Journal of KICS 2015 autumn conference*, vol. 58, pp. 684-685, Nov. 2015.
- [4] W. P. Kang, “Analysis of Common Data Link Technology Trends for the Next Generation Korean Common Data Link Development,” *Information & Communications Magazine*, vol. 39, no. 3, pp. 209-211, Mar. 2014.
- [5] Y. M. Park and J. H. Yoon, “Imagery Intelligence Transmission Analysis of Common Data Link(CDL) on Aeronautical Wireless Channel,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 9, no. 7, pp. 1425-1431, Nov. 2005.
- [6] F. M. Gardner, “A BPSK/QPSK Timing-Error Detector for Sampled Receivers,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. Com-34, no. 5, pp. 423-429, May 1986.
- [7] B. Sklar, *Digital Communications, Fundamental and Applications*, 2nd ed, New Jersey, Prentice Hall, 2001.



정성진(Sungjin Jung)

조선대학교 전자공학과 졸업(산돌고딕, 7.5)  
 아주대학교 IT융합공학과 석사과정  
 현재 한화시스템 근무  
 ※관심분야 : 군통신, 데이터링크, 통신 신호처리



**김영길(Younggil Kim)**

E,N,S DES TELECOMMU 공학박사  
아주대학교 전자공학과 교수  
※관심분야 : 통신, 신호 시스템, 계측제어



**이대홍(Daehong Lee)**

성균관대학교 전자전기공학과 졸업  
성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사  
현재 한화시스템 근무  
※관심분야 : 군통신, 데이터링크, 통신 신호처리