
항공통신정찰링크(CDL)에서 영상정보 전송을 위한 통신방안 연구

박영미* · 윤장홍* · 김성조* · 손영호* · 윤이중*

Imagery Intelligence Transmission Analysis of Common Data Link (CDL) on Aeronautical Wireless Channel

Young-mi Park* · Jang-hong Yoon* · Sung-jo Kim* · Young-ho Son* · E-joong Yoon*

요 약

정보감시정찰(ISR)체계는 감시와 정찰의 임무 수행을 통해 획득된 자료를 분석하여 필요로 하는 부대에 전파함으로써, 관심지역의 빠른 상황파악과 지휘관의 지휘능력을 향상시키는 데 주요한 역할을 하는 체계이다. ISR 체계를 통해 획득된 정보는 대표적인 통신체계인 CDL(common data link)과 TADIL(tactical digital information link) 등을 통해 전파된다. 정찰체계에서 운용되는 대표적인 통신체계인 CDL은 점대점(point to point) 통신방식으로 고속 대용량의 영상정보(imagery intelligence)를 포함한 다중정보 전송을 지원하고, ISR 센서 및 센서 플랫폼간의 통신을 제공하며, 수집자산과 지상단말간의 호환성 및 상호 운용성을 제공하는 표준 데이터 링크이다.

본 논문에서는 ISR 임무를 수행하는 항공기에서 획득한 영상정보를 전송하기 위하여 CDL 통신체계를 고려한다. 이때, 영상정보는 MPEG-2 transport stream의 패킷들로 모델링되어 CDL의 하향링크를 통해 전송된다. 항공통신 링크 상에서 CDL을 통하여 실시간으로 음성정보와 영상정보를 송수신 시에 통신성능을 분석하고, 콘볼루션 부호화를 통하여 채널 오류 보정 시에 CDL의 통신성능의 효율성을 시뮬레이션을 통하여 비교, 분석한다. 또한, 무선채널 환경이 항공기의 속도에 의해 페이딩이 발생하는 경우에 대해서 모의 실험을 수행하고 그 결과를 AWGN 채널에서의 성능과 비교, 분석한다.

ABSTRACT

In this paper, we consider the ISR(Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) system which collects the imagery intelligence from an airplane and CDL(common data link) communication system which transports the information obtained by the ISR system. The IMINT(imagery intelligence) consists of MPEG-2 transport stream packets and they transmit through CDL. We have some simulations for communication performances of CDL and show performance improvements using convolutional coding. We have compared BER performances under AWGN channel and fading channel which is caused by the velocity of an airplane.

키워드

정보감시정찰체계, Common Data Link, IMINT, MPEG-2 Transport Stream

I. 서 론

현대전에서 승리를 위해서는 적과 아군에 대한 정보가 차지하는 비중이 급속하게 높아지고 있다. 적대 세력보다 우위의 정보를 획득하기 위해서는 정확성과 적시성의 작전능력을 보유한 정보획득 체계의 구축이 필요하다. 이에 선진국에서는 정보능력을 활성화 시키고, 계획 및 정책결정을 지원하는 정보감시정찰체계(ISR: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance)를 구비하고 있다[1]. 정보감시정찰체계는 임무 수행을 통해 획득된 자료를 분석하여 필요로 하는 부대에 전파함으로써, 아군이 전투에서 승리할 수 있도록 이끄는 데 주도적인 역할을 하는 현대 군의 눈과 귀와 같은 체계이다.

ISR 자산을 통해 획득된 정보는 대표적인 통신체계인 CDL(common data link)과 TADIL(tactical digital information link) 등을 통해 전파된다[1]. 정찰체계에서 운용되는 CDL은 점대점(point to point) 통신방식으로 ISR센서, 센서 플랫폼, 지상 단말간 전이중, 안티재밍, 디지털 마이크로 웨이브 통신을 제공하며, 수집 플랫폼과 지상 단말간에 호환성 및 상호운용성이 식별된 데이터링크 표준을 설정하고 있다. CDL 프로그램은 1979년에 IDL(interoperable data link) 프로그램으로 USAF /ASD 및 NSA에 의해 추진되어 왔다. 또한, 1988년에 추진된 OASD/C3I의 표준 통신 구조로, 모든 DoD서비스에 제공 가능한 공통표준으로 자리잡았다. CDL의 특성에 관한 자세한 내용은 본문에서 다시 살펴본다.

ISR 체계에서 운용되는 또다른 통신체계인 TADIL은 각 체계간에 상호운용성을 제공하고, 실시간 정보를 교환하기 위한 전송 디지털 정보 링크로서, 단위부대, 전투부대, 지휘통제부간의 고도로 긴밀한 통신을 보장하기 위해 개발되었다. 이러한 TADIL은 정보를 고속으로 전송하고, 방해전파를 막을 수 있으며, 안전한 디지털 통신을 수행할 수 있도록 고안되었다. 현재까지 운용되고 있는 TADIL의 유형에는 TADIL A, B, C, J가 있으며, 특히 TADIL J는 기존 링크들의 결점을 보완하여 기술적인 면과 운용적인 면에서 많은 향상을 보이고 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 ISR 획득체계와 CDL 통신체계에 대하여 본론의 1절과 2절에서

각각 다루도록 한다. 3절에서는 CDL를 통한 음성 및 영상정보의 전송을 위하여 MPEG -2(Moving Picture Experts Group) 전송열(TS: transport stream) 트래픽 모델에 대하여 살펴본 후, 4절에서 CDL의 성능을 분석하기 위하여 BER(bit error rate) 특성과 채널 요구조건에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 CDL의 하향링크를 통한 음성정보와 영상정보의 실시간 전송 능력을 분석하고, 컨볼루션 부호화를 통하여 채널 오류 보정 시에 CDL의 통신성능의 효율성을 모의 실험을 통하여 비교, 분석한다. 마지막으로 제 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 정보, 감시, 정찰 체계 (ISR)

1.1 정보, 감시, 정찰의 정의

ISR 체계는 정보, 감시, 정찰의 3가지 개념이 결합되어 현대전에서의 그 중요성이 증대되고 있다. 각각의 정의는 다음과 같다.

1) 정보

자국 이외의 국가나 지역에 관련된 유용한 자료를 수집, 처리, 통합, 분석, 평가 및 해석을 통해 획득한 결과물로서 관찰, 조사, 분석 및 식별을 통해 획득된 적에 관한 정보 및 지식이다.

2) 감시

시각적, 청각적, 전자적 혹은 광학적인 방법 등을 통해 지상, 지하, 장소, 사람, 사실에 대한 체계적인 관찰이다.

3) 정찰

적이나 잠재적인 적의 활동, 자원에 대한 정보를 시각적인 관측 또는 다른 검출 방식을 사용하여 획득하거나, 특정지역의 기상학적, 수리학적, 지형학적인 특성에 관한 데이터를 획득하기 위해 수행되는 임무이다.

1.2 ISR 체계의 수집 정보

ISR 체계에서 획득한 정보는 출처에 따라서 7가지 종류가 있다[1]. 표 1에 정보의 출처에 따른 정보의 종류를 나타내었다. 본 논문에서 고려될 영상정보(IMINT: imagery intelligence)는 레이다, 광학 또는 전자광학 센서에 의해 얻어지며, 전장 또는 관심지역에서 지휘관이 빠른 상황 판단을 할 수 있게 도와주므로 지

회관의 지휘능력을 향상시킨다. 또한 영상정보는 전장에서 정보준비, 공격목표, 지형 그리고 환경, 피격율 등 중요한 요인을 영상화할 수 있으며, 주로 물리적인 피격율을 파악하는 아주 중요한 정보로 활용된다. 영상정보는 대부분의 영상이 지상에서의 처리와 분석을 요구하기 때문에 시간에 민감한 정보에는 적합하지 않으며, 영상 수집은 날씨에 민감하여 기상조건에 취약하다는 제한사항을 갖는다.

표 1. 정보의 출처에 따른 정보의 종류
Table 1. Source classified information types

종류	
영상정보 (IMINT)	Imagery intelligence
인간정보 (HUMINT)	Human intelligence
신호정보 (SIGINT)	Signal Intelligence
측정과 특성정보 (MASINT)	Measurement and signature intelligence
공개출처정보 (OSINT)	Open-source intelligence
기술정보 (TECHINT)	Technical intelligence
역정보 (CI)	Counter intelligence

2. CDL 통신체계

CDL 통신체계는 고속 대용량의 영상자료를 포함한 다중정보 전송을 지원하고, ISR 센서 및 센서 플랫폼 간의 통신을 제공하며, 수집자산과 지상단말간의 호환성 및 상호운용성을 제공하는 표준데이터 링크이다. CDL의 목표는 데이터링크 상호운용성 측면에서의 설계와 군이나 정부에 의해 운용되는 다중 정보감시정찰 수집 시스템에 문제없이 통신할 수 있는 체계를 제공하는 것이다[2].

CDL은 상향(순방향) 링크와 하향(역방향) 링크 각각에 대하여 다양한 전송속도를 지원하고 있다. 상향링크는 200Kbps 에서부터 45Mbps 까지 전송속도를 제공하고, 하향링크는 10.71/45/137/274 Mbps의 전송속도를 제공하고 있으며, 향후 548/ 1096Mbps를 지원할 예정이다.

CDL family는 다음의 5개 클래스로 구성된다.

- Class I : 지상-항공 플랫폼에 운용되며, 속도는 마하 2.3, 고도는 8만 피트까지 지원한다.
- Class II : 속도는 마하 5, 고도는 15만 피트까지 지원한다.
- Class III : 속도는 마하 5, 고도는 50만 피트까지 지원한다.
- Class IV : 위성궤도 단말이며, 750nm 지점까지 지원한다.
- Class V : 위성중계 단말이며, 750nm 이상 고도에서 운용된다.

3. 트래픽 모델

본 논문에서는 2절에서 살펴본 CDL 통신체계의 하향링크를 통해 전송되는 MPEG-2로 인코딩된 영상 및 음성 데이터 스트림을 고려한다. 패킷 크기가 작을수록 채널 상에서 손실되거나 훼손된 데이터의 양을 줄일 수 있기 때문에 채널오류가 많은 환경에서의 MPEG-2 TS 패킷은 188byte의 작은 크기를 갖는다[3]. 전송열(TS)은 시간-다중화된 패킷들로 이루어져 있으며 각각의 전송 패킷들은 그림 1에서 보는 바와 같이 헤더, OAF (optional adaptation field), payload로 구성된다.

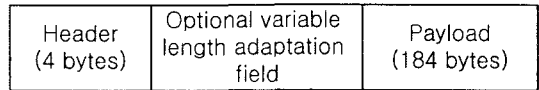


그림 1. MPEG-2 TS 패킷 구조
Fig 1. MPEG-2 TS packet

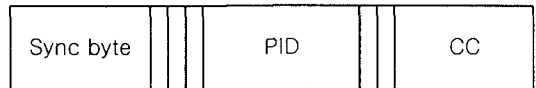


그림 2. TS 패킷 헤더 구조
Fig 2. TS packet header

전송 패킷의 헤더는 그림 2에 도시한 바와 같이 동기 바이트, PID, CC로 구성되어 있다. 동기 바이트는 각각의 패킷들이 전송열(TS)로 랜덤하게 접속할 수 있도록 패킷 경계를 만든다. 패킷 ID(PID)는 패킷들이 속하는 데이터열을 알려줌으로써 동일한 데이터열에 속하는 모든 패킷들은 동일한 PID를 가진다. 즉, 동일한 PID를 가지는 패킷들은 하나의 PID열로 고려된다. 예

를 들어, 전송열 내에서 오디오를 포함하는 패킷들은 동일한 PID를 가지고, 비디오로 구성된 패킷들은 비디오 데이터열임을 나타내는 PID 값을 통해서 확인된다. 이 외에도 전송 패킷 헤더들은 CC(continuity counter) 필드를 포함한다. CC 필드는 하나의 PID 열에서 손실된 패킷들을 탐지하는 기능을 갖는다.

패킷 헤더 다음에 존재하는 OAF는 오디오와 비디오 동기화 기능을 갖는 PCR(program clock reference)을 포함하고 있다[3]. Payload는 헤더 바로 다음에 나오거나 OAF 다음에 나올 수 있으며 오디오 데이터, 비디오 데이터, 서비스 제공자에 의해 정의되는 비밀(private) 데이터를 포함한다.

MPEG-2 포맷을 갖는 음성(audio)과 영상(video) 신호는 그림 3에서 보는 바와 같이 다중화기를 통하여 전송 패킷으로 생성된다. 아래 4절에서 이렇게 생성된 TS 패킷들이 CDL의 하향링크를 통해 전송되는 경우에 대하여 통신체계의 BER 특성을 분석한다.

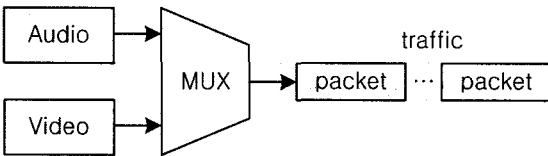


그림 3. TS 패킷 생성
Fig 3. TS packet generation

4. CDL 링크의 특성

MPEG-2 TS 패킷들로 구성된 트래픽은 무선채널 상에서 발생하는 오류를 보정하기 위하여 부호화기를 거친 다음 변조되어 채널로 전송된다. CDL의 상향과 하향링크에서는 각각 BPSK, OQPSK(Offset QPSK) 변조 방식을 사용하며 콘볼루션 부호화기를 이용하여 채널 오류를 보정한다. 상향링크와는 달리 하향링크에서는 항공기에서 수집한 많은 양의 영상정보(IMINT)를 전송하기 위하여 OQPSK 변조방식을 이용한다. 채널은 분산이 $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음의 특성을 가지며 항공기의 이동성에 의해 발생하는 도플러 편이 현상과 다중경로에 의한 페이딩 환경이 고려될 수 있다. 특히, 본 논문에서는 slow flat fading 채널 하에서 CDL의 성능을 분석하고자 한다.

4.1 BER 특성

통신 시스템에서 가장 중요한 성능 지표 중의 하나가 전체 전송된 비트와 손실된 비트의 비로 정의 되는 BER이다. 본 논문에서는 영상정보를 전송하는 하향링크만을 고려하므로 표 2의 채널 요구조건에 따라 BER 특성을 분석하고자 한다.

먼저, 데이터가 OQPSK 방식으로 변조되므로 AWGN(additive white gaussian noise) 채널에서 BER은 다음 식으로부터 얻을 수 있다[4].

$$BER_{OQPSK-AWGN} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) \quad (1)$$

여기서 E_b/N_0 는 신호대 잡음비(SNR)를 나타낸다. 부호화를 사용하지 않는 시스템의 BER이 식 (1)과 같이 주어질 때, 콘볼루션 코드로 부호화된 신호에서 error event가 발생할 확률은 다음 식과 같이 주어진다.

$$P_e \leq T(D)|_{D=\sqrt{4p(1-p)}} \quad (2)$$

여기서, p는 심볼 에러 확률로서 변조방식에 의해 결정되며, T는 transfer 함수로 아래 식과 같다.

$$T(D) = \sum_{d=d_{free}}^{\infty} a_d \cdot D^d \quad (3)$$

이때, a_d 는 거리 d의 path의 수를 나타내며, d_{free} 는 최소 해밍거리이다.

식 (2)~(3)으로부터 페이딩 채널에서의 BER은 다음과 같이 구해진다[4],[5].

$$BER_{OQPSK-Fading} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+1/E_b/N_0}} \right] \quad (4)$$

4.2 채널 요구조건

CDL 통신체계에서는 지상처리시설에서 항공기의 제어를 위한 명령이나 제어신호 등을 상향링크를 통해서 전송한다. 반면에 하향링크에서는 경찰기에서 수집한 대용량의 영상을 포함한 다중정보를 지상국으로 송신하기 때문에 상향링크보다 더 큰 전송속도를 요구하며 188byte의 MPEG-2 전송열 패킷들이 전송된다.

MPEG-2로 인코딩된 데이터 스트림에서의 비트 오류는 공간적, 시간적으로 다른 시퀀스에 전파되기 때문에 비트 오류에 의해 화질이 떨어질 확률이 높다. 이에 콘볼루션 부호화 방식을 이용하여 비트 오류율을 줄이고자 한다.

표 2에 하향링크에서 필요한 채널 요구조건들을 나타내었다.

표 2. 채널 파라미터
Table 2. Channel parameters

파라미터	하향 링크
전송속도	10.71 Mbps
부호화 방식	콘볼루션 부호화 방식 (rate=1/2, K=7)
변조방식	Offset QPSK
패킷크기	188 bytes
RF 전송	X 또는 Ku 대역

III. 모의 실험 및 결과 분석

본 장에서는 하향링크에서의 영상정보를 전송할 때 CDL의 통신 성능을 분석하기 위하여 제 2장의 3절과 4절에서 제시한 트랙픽 모델과 채널 파라미터를 이용하여 몇 가지 모의실험을 수행하였다. 먼저, 전송하고자 하는 정보를 음성과 영상으로 구분하여 각각 랜덤하게 이진 값을 갖도록 생성하였다. 188byte의 크기를 갖는 패킷에 4byte의 헤더부분을 만들고, 184byte의 payload에 미리 생성해 놓은 음성정보와 영상정보를 각각 실었다. 채널은 분산이 $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음의 특성을 갖는 AWGN 채널과 항공기의 속도에 기인하는 slow flat fading 채널에 대하여 각각 모의 실험을 수행하였다.

Fading channel: 항공기의 속도, v 를 약 시속 560km라 하고, carrier frequency, f_c 를 10GHz라고 가정하자. 이때, 다중경로에 의한 시간지연에 의해서 flat fading이, 항공기의 움직임에 의해 도플러 현상이 일어난다 [6]. 이러한 가정 하에서 채널 특성이 slow flat fading이 됨을 식 (5)~(7)과 그림 4를 통해 알 수 있다.

doppler spread, f_{max} 는 식 (5)에 의해 구할 수 있다. 이때, c 는 빛의 속도이다.

$$f_{max} = \frac{vf_c}{c} \tag{5}$$

위에서 가정한 항공기 속도, carrier frequency, 빛의 속도에 의해 doppler spread는 5.2kHz 값을 갖는다. f_{max} 가 하향링크의 전송속도 10.71Mbps보다 작은 값을 가지므로 주파수 변화가 느린 slow fading 특성을 가짐을 알 수 있다.

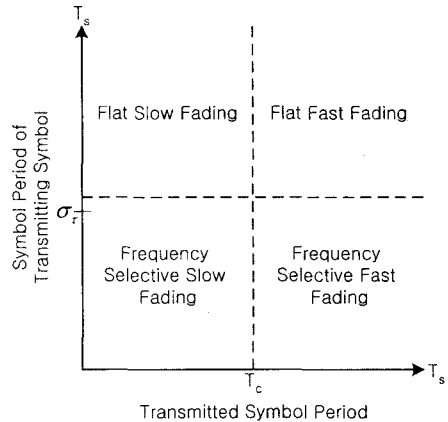


그림 4. 페이딩 타입
Fig 4. Types of small-scale fading

그림 4에 시간 도메인에서의 페이딩 타입을 도시하였다. slow fading과 fast fading 특성은 coherence time,

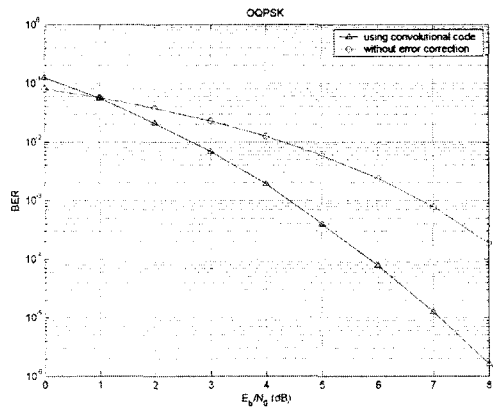


그림 5. AWGN 채널에서의 BER 특성
Fig 5. BER curve in AWGN channel

T_c 와 symbol period, T_s 를 비교하여 결정된다. T_c 는 식 (6)에 의하여 $34.5\mu s$ 가 되며, T_s 는 식 (7)에 의하여 $0.2\mu s$ 가 된다. T_c 가 T_s 보다 크므로 그림 4를 통해 slow fading임을 알 수 있다.

$$T_c = \frac{9}{16\pi f_{max}} \quad (6)$$

$$T_s = \frac{2}{10.71 Mbps} \quad (7)$$

AWGN 채널과 slow flat fading 채널 하에서 E_b/N_0 값을 변해 가면서 영상정보를 전송하는 하향링크에서의 BER 특성을 살펴보았다.

그림 5는 하향링크에서의 변조방식이 OQPSK일 때 BER 특성을 통해 AWGN 채널에서의 통신 성능을 보여주고 있다. 그림 6은 하향링크에서 채널 특성이 slow flat fading일 때 BER 특성을 나타내었다. 영상정보 전송에서 한 비트의 오류는 화질 저하의 큰 요인이 되므로 오류정정 부호화를 통한 보정 결과를 부호화를 사용하지 않은 시스템과 함께 나타내었다. 그림 5, 6에서 보는 바와 같이 콘볼루션 부호화를 통하여 채널오류를 보정함으로써 CDL의 통신성능의 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한 fading을 겪는 채널에서는 AWGN 채널보다 20~30dB 정도의 큰 송신 전력을 가져야 동일한 비트오류율을 가짐을 그림 5, 6을 통해 알 수 있다[4].

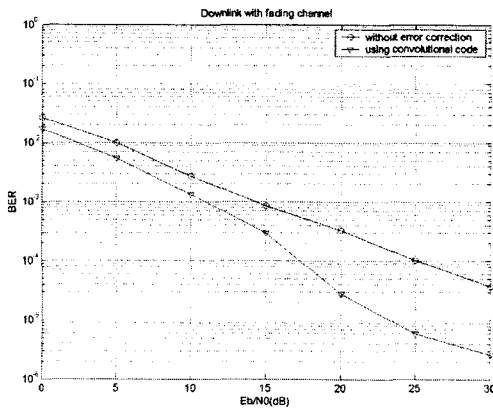


그림 6. slow flat fading 채널에서의 BER 특성
Fig 6. BER curve in slow flat fading channel

IV. 결론

본 논문에서는 정찰체계에서 획득한 고속 대용량의 다중정보 전송을 지원하는 CDL 통신체계를 고려했다. 특히 하향링크에서는 수집한 정보를 MPEG-2 포맷으로 코딩하기 때문에 MPEG-2 전송열(TS) 형태의 트래픽 모델에 대해서 살펴보았다. 항공통신 링크 상에서 CDL를 통하여 실시간으로 다중 정보를 전송할 때 통신 시스템의 성능을 분석하기 위하여 하향링크에서의 실험을 수행하였다. 또한, 오류정정 부호화를 통하여 채널오류 보정 시에 성능 향상이 있음을 보였으며 항공기의 빠른 속도에 기인하는 도플러 효과를 고려한 페이딩 채널 환경에서 CDL 통신체계의 성능을 분석하였다.

참고문헌

- [1] http://www.add.re.kr/month/journal/j_dti/0207/j0207c06.htm
- [2] www.globalsecurity.org/intell/systems/cdl.htm
- [3] R.E. Anderson, E.M. Foster, "Design of an MPEG-2 Transport Demultiplexor Core", IBM, 1999.
- [4] John G. Proakis, Digital Communications, McGrawHill, pp. 231-319, 2001.
- [5] H. Harada, R. Prasad, Simulation and Software Radio for Mobile Communications, Artech House, pp. 50-138, 2002.
- [6] Krzysztof Wesolowski, Mobile Communication Systems, Wiley, February, 2002.

저자소개



박영미(Young-mi Park)

2001년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2003년 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사

현재 한국전자통신연구원 부설연구소 연구원

※관심분야 : 검파 및 추정, 신호처리, 무선통신

윤장홍(Jang-hong Yoon)

현재 한국전자통신연구원 부설연구소 책임연구원

김성조(Sung-jo Kim)

현재 한국전자통신연구원 부설연구소 책임연구원

손영호(Young-ho Son)

현재 한국전자통신연구원 부설연구소 선임연구원

윤이중(E-joong Yoon)

현재 한국전자통신연구원 부설연구소 책임연구원