

이미지 항공작전을 위한 전술데이터링크 메시지 패킹 기법

정회원 김 영 구*, 종신회원 임 재 성**, 정회원 노 흥 준**, 이 규 만**

Tactical Data Link Message Packing Scheme for Imagery Air Operations

Young-goo Kim* *Regular Member*, Jae-sung Lim** *Lifelong Member*, Houn-jun Noh**,
Kyu-man Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 NCW 환경에서 Link-16 전술데이터링크를 통해 이미지 정보를 신속 정확하게 전송하여 작전 효율을 증대시키기 위한 메시지 패킹 기법을 제안한다. 제안하는 메시지 패킹구조는 기존의 Link-16 메시지와 호환성을 유지하면서 하나의 타임슬롯 내에서 데이터 전송율을 증가시킬 수 있도록 COC(Cyclic shifted Orthogonal Complementary) 웨이브폼의 가변 코드율을 적용하여 주파수 사용 효율을 향상시키고, 특히 동적 TDMA 환경에서 타임슬롯을 연속으로 전송 할 때, 시간 자원 이용률이 높은 패킹구조를 함께 사용하게 되면 동일한 타임슬롯 내에 더 많은 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 모의실험을 통해 제안한 방식의 성능 및 우수성을 비교하고 제안 방식의 타당성을 보인다.

Key Words : Link-16, 군사 이미지, 메시지 패킹구조, COC 코드, 항재밍 능력

ABSTRACT

In this paper, we propose an allocation scheme for variable message packings to increase efficiency of military operation using Link-16 which is well-known for tactical data link by delivering imagery information rapidly. We propose a variable message packing scheme using COC waveform to support variable data rate under some coverage limitation. Variety of message packing makes Link-16 vary transmission rate appropriately for tactical environment. We also propose a allocation scheme to assign message packing to time slot properly. Finally we verify the performance and superiority of proposed ideas by simulations.

I. 서 론

Link-16을 포함하여 기존의 전술 데이터링크 시스템들은 감시, 식별데이터, 전자전 파라메타, 항공기 통제 정보, 부호화된 음성 등과 같은 정보를 주로 문자메세지로 전달하도록 설계되어 있다. 그러나 현재의 전술데이터링크 시스템은 NCW(Network Centric Warfare) 작전에 보다 많이 기여할 수 있도

록 전장 환경에서 ISR(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 자산으로부터 획득되어지는 융합 정보와 유용한 전술이미지 자료가 전파될 수 있도록 고려되어야 한다.

항공작전을 수행함에 있어 이미지 정보가 요구되는 이유^[1]는 전투조종사가 Link-16을 통해 수신한 이미지를 통해 공격하고자 하는 목표물을 정확하게 식별할 수 있고, 식별된 목표물 공격 시 적절한 무

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-(H0301-12-2003))

* 아주대학교 장위국방연구소(ygkim0@ajou.ac.kr), ** 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학(jsalim, nonoboy, moo1717@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2012-02-048, 접수일자 : 2012년 2월 6일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 23일

기를 선택 및 사용 할 수 있으며, 목표물 공격 이후의 적의 파괴된 이미지를 송신하여, 작전 지휘본부에서 전투피해평가를 수행하여 목표물을 재공격해야 하는지 말아야 하는지를 결정할 때 등에 사용되기 때문이다. 현재 군사용으로 사용되고 있는 전술 이미지는 SAR(Synthetic Aperture Radar) 이미지, C2 플랫폼과 UAV(Unmanned Automated Vehicle)에 의해 획득된 공중사진, 적외선 사진(Infra Red Pictures) 및 FLIR(Forward Looking Infra Red) 이미지 등이 있다.

LINK-16의 장점은 메시지를 통해 PPLI(Precise Participant Location and Identification), SA(Situation Awareness), EW(Electronic Warfare), WC(Weapon Control) 등의 작전데이터를 신속하게 전송할 수 있고, 저피탐 및 항재밍 성능이 우수하다는 것이다. 그러나 Link-16를 통해 이미지를 전송하여 작전을 수행하기 위해서는 다음과 같은 자체의 제한사항^[2]을 가지고 있다.

첫째, Link-16 PHY 계층은 CCSK/MLS(Cyclic Code Shift Keying/Maximum Length Sequence) 코드를 사용하여 5 bits 데이터를 32 chips 으로 확산하여 전송하므로 낮은 주파수 대역 효율을 가지고 있다는 것이다. 이로 인해 Link-16은 이미지 영상 데이터 전송, 유도무기에 대한 제어, 낮은 데이터 전송 속도를 갖는 ISR 데이터 전송, 지휘통제 및 상황 인식 기능 등을 수행하는데 제한점이 생기게 된다.

둘째, Link-16 MAC 계층은 이미지와 같이 짧은 시간 내에 많은 양의 데이터 트래픽을 처리하기 위해, 타임슬롯(Time Slot)들을 신속하게 재할당하는 능력이 제한된다는 것이다. 이것은 정적 시분할다중방식(Static TDMA) 시스템 구조의 비효율성으로 인해 필요한 데이터를 실시간에 전송하는 것이 어렵다는 것을 의미한다.

따라서 본 논문에서는 현재 운영중인 Link-16을 통해 이미지를 전송하여 효과적인 군사작전 수행이 가능하도록 새로운 메시지 패킹 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 메시지 패킹 기법은 앞에서 언급한 Link-16의 제한사항을 극복하기 위하여 MAC과 PHY 계층에 동시에 적용될 수 있도록 고려하였다.

PHY 계층에서는 하나의 타임슬롯 내에서 전송되는 유효한 Data Bit 수량을 증가시키기 위해 기존의 CCSK/MLS 기법 대신 COC(Cyclic shifted Orthogonal Complementary) 코드를 활용한 병렬 CCSK(Parallel Cyclic Code Shift Keying) 기법^[3]

을 적용하여 Link-16이 항재밍 성능을 유지하면서도 시스템의 전송율을 향상시킬 수 있도록 하였다. MAC 계층에서는 동적 TDMA 환경에서 타임슬롯을 전송 할 때, 동일한 속성을 가진 패킹들을 연속으로 전송하여 Link-16의 데이터 전송율을 향상시킬 수 있도록 하기 위해서, 일부 타임슬롯의 Propagation 구간까지 데이터를 전송하게 할 수 있는 패킹구조를 제안하여 시간 자원 이용률을 향상시킬 수 있도록 하였다. 동적 TDMA 환경에서 타임 슬롯을 연속으로 할당할 때는 작전 수행을 위해 사용하고 있는 여러개의 네트워크 중에 사용하지 않는 Available한 타임슬롯을 선정하여 전송한다.

또한 항공작전별로 이미지를 전송해야 하는 작전 환경이 다양하게 존재하게 됨에 따라, 제안하는 패킹구조별로 데이터 전송능력, 데이터 전송 거리, 항재밍 능력 등의 특성을 분석하여 작전환경에 맞는 패킹구조를 선택하여 사용할 수 있는 기준을 제시함으로써 어떠한 작전 환경에서도 작전에 필요한 이미지 등 지휘통제 및 ISR 정보를 적시에 전송하여 작전효율을 증대시키는 방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Link-16에서 사용되고 있는 타임슬롯의 구조와 메시지 패킹 형식을 설명하고, 기존 Link-16을 통해 이미지를 전송할 때의 문제점을 패킹구조를 중심으로 분석한다. 3장에서는 이미지 항공작전이 수행되는 환경에 따른 다양한 형태의 작전 요구사항을 충족할 수 있는 새로운 전술 메시지 패킹 기법을 제안한다. 4장에서는 제안된 메시지 패킹 기법에 대한 시뮬레이션 환경을 설정하여 성능을 분석하고, 작전 환경에 따라 최적의 패킹구조가 선택될 수 있는 방법을 제시하며, 5장에서 결론을 맺는다.

II. Link-16 전술 메시지 패킹

2.1. 타임슬롯(Time Slot) 구조

Link-16에서 데이터가 전송되는 기본 단위인 타임슬롯의 기본구조는 그림 1과 같이 구성되어 있으며 각 부분별 역할은 다음과 같다^[5]. 지터(Jitter)는 펄스 전송을 시작하기 전에 송수신단 사이에서 랜덤하게 선택된 시간 지연으로 난수 파형을 발생시켜 항재밍 효과를 제공하는 역할을 하며, Link-16의 통신 모드와 종류와 메시지 구조에 따라 사용되지 않을 수 있다.

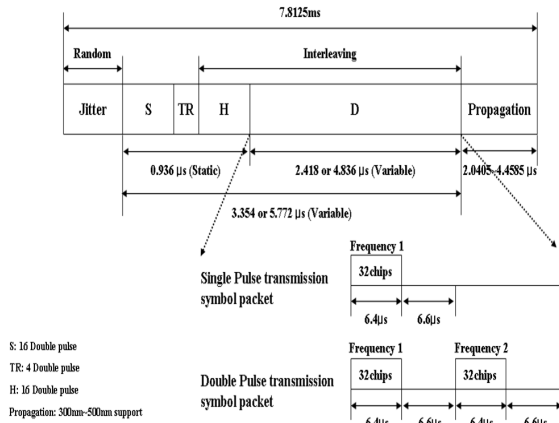


그림 1. Time Slot 구조
Fig. 1. Time Slot Structure

지터 뒤에는 동기화(Synchronization)와 시간 미세 조정(Time refinement)이라 불리는 두 세트의 미리 결정된 펄스열이 따라오며, 이 패턴들은 수신자가 신호를 인지하고 동기화하기 위하여 사용된다. 메시지 헤더(Header)에는 메시지 형식, 부호화 여부, 사용된 패키징 구조 형태 및 암호장비의 시리얼 넘버와 소스 단말기의 트랙 번호 등에 대한 정보가 담겨져 있다. S는 동기화를 위해 사용되는 16개의 DP(Double Pulse) 형태의 심볼이며, TR과 H는 각각 4, 16개의 DP 형태의 심볼로 구성되어 있다.

D(Data)는 데이터 심볼이 전송되는 구간이다. 각각의 심볼은 펄스 형태로 전송되며, 하나의 심볼을 나타내는 펄스의 반복전송 유·무에 따라 DP모드와 SP(Single pulse)모드로 구분된다. DP 형태의 심볼은 생성된 펄스가 반복되어 2번 전송되므로 전송 주기는 26μsec이며, 반복된 2개의 펄스는 서로 다른 주파수를 통해 전송된다. 이러한 구조를 통해 주파수 및 시간 축으로 다이버시티 이득을 얻기 때문에 페이딩이나 재밍에 보다 강한 특성을 제공해 줄 수 있다. 따라서 모든 메시지 구조에서 헤더는 DP 형태로 전송된다.

마지막으로, 타임슬롯의 끝에는 전파(Propagation) 보호 시간이 있는데 이 시간은 마지막 펄스가 대기 공간을 통해 전파할 수 있는 시간을 의미한다. 이러한 전파 보호 시간의 길이는 직접 연결이 가능한 최대 거리를 결정하게 되며, 정상(Normal) 거리모드는 300nm까지, 확장(Extended) 거리모드에서는 500nm까지 전파가 가능하다.

2.2. 전술 메시지 패키징 형식

Link-16에서 메시지 패키징(Packing)^[4]이란, 여러

개의 메시지를 하나의 타임슬롯으로 전송하는 것으로, 하나의 타임슬롯에서 전송되는 워드(Word/70bits)의 숫자, 데이터의 중복전송 여부 및 신호 전파 부분의 길이 등을 의미하게 된다.

따라서 메시지 패키징 형식에 의해 데이터 전송율(Data Rate), 항재밍 능력(Anti-Jamming Capability), 데이터 통달거리(Range) 등의 특성들이 결정되게 된다. 현재 Link-16 TDMA 네트워크에서 사용되는 메시지 패키징은 그림 2와 같이 4가지 형식으로 구분되어 사용되고 있다^[5].

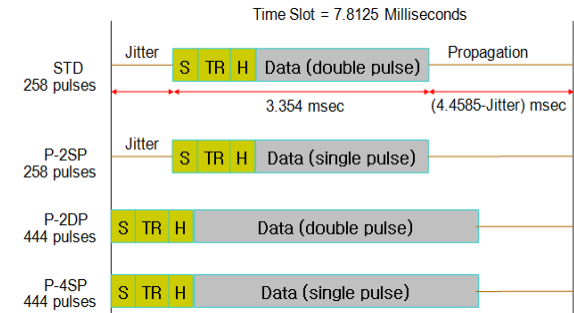


그림 2. Link-16 메시지 패키징 형식
Fig. 2. Link-16 Message Packing Format

STD(Standard Double Pulse) 구조에서는 3개의 심볼 블록이 DP 형태로 전송된다. 하나의 심볼 블록이 31개의 심볼로 구성되어 있고 DP 형태이기 때문에 2번 반복되므로, 결국 3개의 심볼 블록을 전송하는 STD 구조에서는 할당된 타임슬롯에서 데이터 전송을 위해 186(2×3×31)개의 펄스를 전송한다. 이와 함께 동기화(2×16)와 TR(2×4) 그리고 헤더(2×16) 전송을 위한 72개 펄스가 더해진 총 258개의 펄스가 전송된다. 따라서 이 패키징구조는 데이터를 서로 다른 확산 코드와 주파수를 사용하여 중복하여 전송하기 때문에 전송 정보를 가장 신뢰성 있게 전송할 수 있도록 해 준다.

P2SP(Packed-2 Single Pulse) 모드와 P2DP(Packed-2 Double Pulse)모드에서는 6개의 심볼 블록이 각각 SP와 DP 형태로 전송된다. P2SP 모드는 펄스가 반복되어 전송되지 않기 때문에 STD 모드와 동일하게 할당된 타임슬롯 내에서 258개의 펄스를 전송하지만, 2배의 데이터를 전송할 수 있다. 반면 SP형태의 펄스 전송은 재밍이나 페이딩에 보다 약한 구조이다. P2DP 구조는 STD 구조보다 2배의 심볼 블록을 동일한 DP형태로 펄스를 전송하기 때문에 타임슬롯 내에서 총 444개의 펄스가 전송된다. 이를 전송하기 위해 지터 구간을 삭제

하여 펄스 전송 시간을 확보한다.

P4SP(Packed-4 Single Pulse)구조에서는 12개의 심볼 블록이 전송된다. 펄스가 반복되어 전송되지 않기 때문에 타임슬롯 내에서 전송되는 펄스의 수는 P2DP구조와 동일한 444개이다. P4SP구조 역시 펄스를 전송하기 위한 시간 확보를 위해 P2DP구조와 마찬가지로 지터 구간이 없다. 이 구조는 4개의 패킹구조 중에 가장 많은 데이터 처리가 가능하나, 재밍 능력이 가장 약하고 장거리 전송 시 제한을 받는다.

이와 같은 4가지 메시지 구조의 유효 데이터 전송율(Effective Data Rate)은 다음 식(1)과 같다.

$$r = \frac{npacks}{slot} \cdot \frac{3blocks}{pack} \cdot \frac{70bits}{block} \cdot \frac{128slots}{sec} \cdot \frac{1}{L} \quad (1)$$

n은 패킹별 slot당 pack의 개수이며, L은 SP에서 “1”, DP에서는 “2”이다. 표 1은 Link 16에서 사용되는 메시지 패킹 형식에 따른 파라미터들을 보여주고 있다.

표 1. Link-16 패킹형식별 특징
Table 1. Packing type identifying characteristics of Link-16

Time Slot Structure	Data bits /Time Slot	Data Rate (Kbps)	Range Mode
STD	210	26.88	N/E
P2SP	420	53.76	N/E
P2DP	420	53.76	N
P4SP	840	107.52	N

2.3. 전송 메시지 패킹 형식 제한사항

위와 같이 현재의 Link-16은 낮은 주파수 대역 효율로 인해 고속데이터 전송 지원이 불가하며, 4개의 고정된 메시지 패킹 형식으로 인하여 가변 데이터 전송지원이 어려워 이미지 항공작전을 효과적으로 수행하는데 제한사항이 발생하게 됨을 알 수 있다.

데이터 처리율의 경우, 단일 타임슬롯에 몇 개의 데이터 워드를 패킹할 수 있느냐 하는 패킹밀도(3, 6 또는 12개)에 의해 결정되므로, 같은 타임슬롯 내에 3개의 데이터 워드를 패킹할 수 있는 STD가 가장 적은 데이터를 처리할 것이고, 12개의 데이터 워드를 패킹할 수 있는 P4SP가 가장 많은 데이터를 처리할 수 있을 것이다. 또한 현재 사용되고 있는 Link-16 데이터는 5비트의 각 심볼이 CCSK를 통해 코딩되어 32칩 길이의 펄스로 전송되는 동일

한 확산코드가 적용되고 있어 데이터 전송율이 낮은 단점이 있다.

미군은 이러한 문제점을 인식하여 LET(Link-16 Enhanced Throughput) 프로젝트를 통하여 기존의 Link-16이 Reed-Solomon 코드와 CCSK 확산 코드를 사용하는 대신에 새로운 Reed-Solomon/Convolution 연결 코딩 기법을 적용하는 패킹구조를 개발하여 데이터 전송률을 3~10배 향상시켰으나 상대적으로 Link-16 수준의 항재밍/저피탐 성능을 보장하지 못하는 문제점이 있다.

Link-16은 4개의 고정된 메시지 패킹구조를 사용하기 때문에 가변 데이터 전송지원이 어려워 이미지 항공작전을 효과적으로 수행하는데 제한사항이 발생하게 됨을 알 수 있다.

예를들어, 18Kbytes 정도 크기의 전송 이미지를 전송하기 위해서는, STD 패킹을 사용할 경우에는 703개, P2SP 패킹을 사용할 경우에는 352개, P4SP 패킹을 사용할 경우에는 176개의 타임슬롯을 사용해야 이미지를 전송할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 또한 Link-16의 MAC은 정적인 TDMA 구조이기 때문에 각 타임슬롯마다 송신자와 전달할 데이터의 타입이 사전에 결정되어 있어 지금 현재의 Link-16을 사용하여 작전에 필요한 이미지를 전송할 경우, 수 십초에서 수 백초까지 걸리기 때문에 작전의 실시간성을 보장하는데 어려움이 있다.

III. 제안하는 전송 메시지 패킹 기법

3.1. 메시지 패킹기법 제안 시 고려사항

그림 3에서 보는 바와 같이 이미지 항공작전을 수행할 수 있는 근접항공지원작전(Close Air Support), 대화력전(X-Attack), 항공차단작전(X-Interdiction)^[6] 등은 각자 공격 표적의 대상 및 성격이 서로 다르고, 작전을 수행하는 지역에서 적군에 의하여 수행되는 재밍 환경이 완전히 다르며, 이미지 데이터를 전송해 주어야 할 거리, 즉 C2(Command Control) 플랫폼과 Shooter인 전투기 간의 작전반경이 서로 다른 환경에 있게 된다.

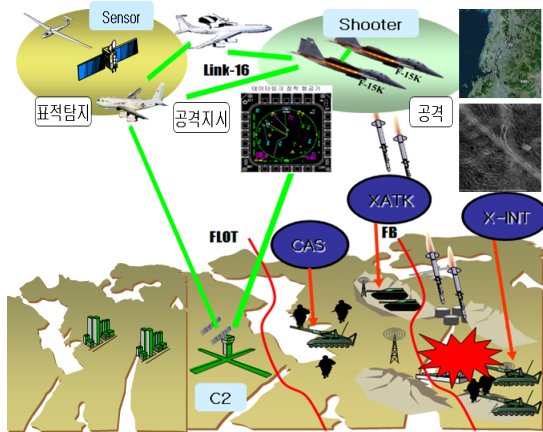


그림 3. LINK-16을 통한 이미지 항공작전
Fig. 3. Image Air Operations by the Link-16

위와 같은 다양한 형태의 작전을 문제점 없이 지원할 수 있는 새로운 패킹 기법을 제안하기 위해 고려되어야 할 사항은 아래와 같다.

첫째, 이미지 전송시간은 데이터링크 시스템을 작전적으로 응용하기 위해 제약되는 가장 중요한 제한사항 중에 하나이다. 작전에 필요한 이미지를 실시간이나 근실시간으로 전송할 수 있는 능력을 갖도록 하는 것이 전술환경에서 전술데이터링크에 필요로 하는 가장 큰 요구사항이기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위한 방법의 일환으로 하나의 타임슬롯 내에서 데이터 전송율을 향상시키기 위해 다양한 확산코드를 사용하고자 한다.

둘째, 동적 TDMA 환경에서 타임슬롯을 연속으로 할당받는 것을 고려하여야 한다. 타임슬롯을 연속으로 전송 할 때, 하나의 패킹구조만 사용하는 것보다 데이터 전송율을 증가시킬 수 있는 다양한 확산코드를 사용하는 방법과 시간 자원 이용률이 높은 패킹구조를 함께 사용하게 되면 같은 시간 내에 더 많은 데이터를 전송할 수 있게 되기 때문이다.

셋째, 다양한 작전의 요구도에 맞게 선택 사용이 가능한 메시지 패킹구조를 개발하는 것이 필요하다. 기존의 Link-16은 단지 4개의 패킹구조만을 사용하는 단순한 구조이다. STD는 75 bits의 Word 3개를 하나의 Pack으로 간주하여 두 번 반복하여 전송하는 구조이고, P2SP/DP는 두 개의 Pack을 한번 또는 두 번 전송하는 구조이며, P4SP는 4개의 Pack을 한번만 전송하는 구조이다. 따라서 새로운 메시지 패킹구조는 하나의 타임슬롯 내에서 데이터 전송시간, 가변 코드를 적용 및 펄스의 반복 전송 여부를 고려한 다양한 패킹구조 형태를 개발하여 작전상황별로 적합한 패킹구조를 선택하여 사용할 수

있는 융통성을 제공할 필요가 있다.

넷째, 데이터링크 시스템의 항재밍 능력은 매우 중요한 요소인데, 그 이유는 현재나 미래의 작전은 재머가 있는 환경에서 전개될 확률이 높기 때문이다. 항재밍이란 적군에 의한 전자기간섭 환경 하에서 운용할 수 있는 능력을 의미하며, Link-16의 항재밍 능력은 송신 복합성, 수신 복합성 및 플랫폼이 장착하고 있는 장비에 의존하는 단순한 방법 등을 통하여 달성된다. 특히, 새로운 메시지 패킹 기법을 제안 시 사용하는 항재밍 전략으로는 지터의 사용 여부, 코딩(확산코드비), DP 사용 여부 등을 적절히 고려 할 것이다.

다섯째, 한반도 전역에서 작전에 참여하는 모든 유닛(CU, C2U 및 JU 등)간에 발생할 수 있는 데이터 전송거리 관점에서 충분히 지원할 수 있는 능력을 구비할 수 있도록 고려하여야 한다. Link-16에서는 작전에 참여하는 역할에 따라 CU(Center Unit), C2U(Command and Control Unit) 및 JU(Joint Unit) 등으로 분류할 수 있다. CU는 센서로부터 획득한 트랙정보, 트랙 관리 메시지 등의 전송정보를 작전에 참여하는 모든 유닛에 전파하는 역할을 수행하며, C2U는 공중·지상·해상에서 작전에 참여하고 있는 모든 유닛에게 이미지 정보를 포함하여 직접적인 작전수행 명령을 하달하는 역할을 수행하고, JU는 명령에 대한 응답 및 보고 메시지, 자기 자신의 위치정보, 자기 자신의 연료 및 무장 등에 대한 상태정보를 전송한다. 따라서 한반도 작전 환경을 고려하여 CU 및 C2U와 JU 간 거리가 가까운 곳과 먼 곳까지 모두 통달할 수 있도록 고려하여야 한다.

3.2. 제안하는 전술 메시지 패킹 기법

위에서 나타난 Link-16의 이미지 전송 문제점을 해결하기 위해서는 같은 시간 내에 이미지의 품질을 보장하면서 많은 데이터를 전송하고, 작전 요구도에 따라 항재밍과 전송 통달거리를 보장할 수 있는 새로운 패킹구조가 필요하다. 이것을 만족시킬 수 있는 것이 아래의 네가지 기법을 적용하여 새로운 패킹구조를 생성해 내는 것이다.

새로 제안하는 패킹구조는 기존의 Link-16에서 사용하고 있는 메시지와 상호운용성을 보장하기 위해 75 bits 당 1 Word, 1 Pack 당 3 Words 구조를 유지하는 것으로 하였으며, 현재 Link-16이 사용하고 있는 4가지(STD, P2SP, P2DP, P4SP) 패킹구조를 동시에 사용할 수 있는 형태로 개발하였다.

PHY 레벨에서는 하나의 타임슬롯 내에서 전송되는 유효한 데이터 비트 수량을 증가시켜 시스템의 전송율을 향상시키는 “Bit Level의 패킹 개념”을 고려하였으며, COC 코드를 활용한 병렬 CCSK기법을 적용하여 전송률을 향상시키면서, 저피탐 성능을 유지하도록 하였다. 병렬 CCSK 기술은 기존 MLS(Maximum Length Sequence) 방식을 통해 생성되는 확산 코드 대신 COC 코드를 사용한다. COC 코드는 OC(Orthogonal Complementary) 코드 [3]에서 기인하며, MLS 방식에 비해 Correlation 특성이 우수하여 동기화된 사용자간 데이터를 복구하는 데 유리하다. 데이터 전송율을 가변적으로 할 수 있는 확산코드는 COC32, COC16, COC8, COC4 등 4가지 코드율을 적용하였다.

MAC 레벨에서는 동적 TDMA를 적용하여 동일한 속성을 가진 패킷들을 연속하여 집단적으로 전송하여 데이터 전송율을 향상시키는 “Time Slot Aggregation Level의 패킹 개념”을 고려하여 현재 사용되고 있는 패킹구조의 시간 자원 이용률을 향상시키고자 하였다. 시간 자원 이용률은 메시지 전송에 사용되는 모든 타임슬롯의 시간 길이 대비 헤더 데이터를 제외한 실제 메시지 데이터 전송에 사용되는 시간의 비율을 의미하게 되는데, 기존 타임슬롯의 Propagation 구간까지 데이터를 전송하게 됨을 말한다. 시간 자원 이용률을 증가시킨 하나의 패킹구조를 사용하여 작전 이미지를 전송하는 경우에도 데이터 전송율이 증가하나, 특히 동적 TDMA 환경에서 타임슬롯을 연속으로 전송 할 때, 하나의 패킹구조만 사용하는 것보다 시간 자원 이용률이 높은 패킹구조를 다양하게 조합하여 함께 사용하게 되면 같은 시간 내에 더 많은 데이터를 전송할 수 있게 된다.

시간 자원 이용률과 관련된 제안 패킹구조는 그림 4와 같다. 아래 그림에서 M1은 Link-16의 STD 패킹과 동일한 구조로서 메시지 헤더 앞 부분에 기존의 지터가 존재하며 동일한 길이의 Propagation Delay 구간이 존재한다. M2 패킹은 지터 구간을 제외하고 데이터 전송 구간의 시간을 늘린 구조로서 기존의 P4SP와 데이터 전송시간이 같다. M3 패킹은 기존 타임슬롯의 Propagation 구간까지 데이터를 전송하여 시간 자원 이용률을 극대화시킨 것으로, 하나의 타임슬롯 시간인 7.8125 msec 내에서 데이터 전송을 위해 사용되는 시간을 6.8765 msec 까지 이용할 수 있도록 하였다. 따라서 M3 패킹은 타임슬롯을 조합하여 연속으로 전송 할 경우 마지막 부분에 사용해서는 안된다.

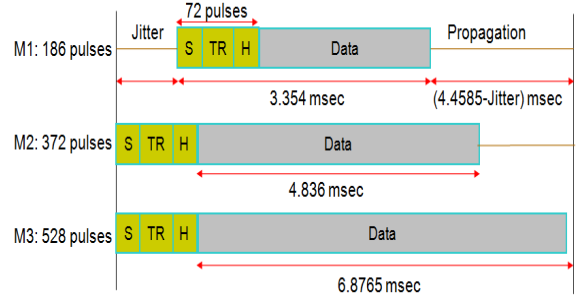


그림 4. 제안 패킹 구조의 시간자원 이용률
Fig. 4. Utilization of proposed packing structure

패킹을 통한 항재밍 능력 보유를 위해 지터의 사용 여부, 강한 코딩(확산코드비) 동시 사용, DP 사용 여부 등을 적절히 고려하였다. 지터는 M1 패킹에서 사용하였고, 재밍이 강할때는 데이터 전송율을 가변적으로 할 수 있는 확산코드는 4가지 중에 기존의 Link-16과 동일한 수준인 COC32을 사용할 수 있도록 하였다. 또한, 펄스의 반복전송은 M1, M2 및 M3 패킹구조별로 모두 가능토록 고려하였다.

이러한 내용을 종합해 Link-16에 적용하여 사용할 수 있는 패킹 구조의 종류를 보면, 데이터 전송율을 가변 할 수 있는 Code Rate 4가지(COC32, COC16, COC8, COC4)를 적용하며, 시간자원 이용률과 관련된 기본 패킹구조 3가지(M1, M2, M3)가 있고, 여기에 펄스의 반복 전송 여부 2가지(SP, DP) 사항을 고려하면 표 2와 같이 총 24(3×4×2)개의 패킹구조를 작전환경에 따라 선택적으로 사용할 수 있게 된다. 여기에서 STD는 M1_COC32_DP와 동일한 패킹구조이며, P2SP는 M1_COC32_SP, P2DP는 M2_COC32_DP, P4SP는 M2_COC32_SP와 동일한 패킹구조임을 알 수 있다.

표 2. 제안 패킹구조 종류
Table 2. The kind of proposed packing structure

		M1	M2	M3
COC32	SP	M1_COC32_SP (P2SP와 동일)	M2_COC32_SP (P4SP와 동일)	M3_COC32_SP
	DP	M1_COC32_DP (STDp와 동일)	M2_COC32_DP (P2DP와 동일)	M3_COC32_DP
COC16	SP	M1_COC16_SP	M2_COC16_SP	M3_COC16_SP
	DP	M1_COC16_DP	M2_COC16_DP	M3_COC16_DP
COC8	SP	M1_COC8_SP	M2_COC8_SP	M3_COC8_SP
	DP	M1_COC8_DP	M2_COC8_DP	M3_COC8_DP
COC4	SP	M1_COC4_SP	M2_COC4_SP	M3_COC4_SP
	DP	M1_COC4_DP	M2_COC4_DP	M3_COC4_DP

3.3. 데이터 전송을 성능평가

본 논문에서 제안하는 COC 웨이브폼의 가변 코드를 적용하는 패키징구조가 실제 Link-16과 비교하여 주파수 사용 효율을 얼마나 향상시키는지 확인하기 위하여 다음과 같은 성능 분석을 수행하였다.

데이터 전송율을 증가시켜 전송 이미지와 같은 고용량 데이터를 신속히 전파시키기 위해, 하나의 타임슬롯 내에서 펄스 수량을 증가시키고, 하나의 펄스 내에서는 비트 수량을 증가시키는 방법을 표 3과 같이 강구하였다.

표 3. Time Slot내의 Pulse 및 Bit 수
Table 3. Pulse and Bit numbers in a Time Slot

타임슬롯 당 pulse 개수	M1	186개
	M2	372개
	M3	528개
펄스 당 비트 수	COC4	16bits
	COC8	12bits
	COC16	8bits
	COC32	5bits

표 4에서 보듯이 더 낮은 확산코드 값일수록, 즉 심볼 당 데이터 비트 수가 낮아질수록 같은 펄스당 보낼 수 있는 심볼 수가 늘어나서 데이터 전송률이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

표 4. 메시지 패키징 종류별 특성
Table 4. Characteristic of type of message packing

확산 코드	data bits /symbol	symbols /pulse	symbols /pack	pulses /pack
COC4	2	8	233	29.125
COC8	3	4	155	38.75
COC16	4	2	117	58.5
COC32	5	1	93	93

확산코드에 따른 유효 데이터 전송률을 측정하여 얻어진 결과를 표 5에서 확인할 수 있다. 이 결과를 기존 Link-16의 패키징구조와 비교해 보면, 데이터 전송율을 최소 2배에서 최대 5배까지 증가시킬 수 있다. 따라서 하나의 타임슬롯 내에서 동시에 많은 데이터를 전송함으로써, 작전 요구도에 따라 이미지 데이터 전송시간을 그만큼 단축시키는

효과를 볼 수 있다는 것을 의미한다.

표 5. 확산코드에 따른 유효 데이터 전송률
Table 5. Effective data rate according to the spreading code

확산코드	M1	M2	M3
COC4	184.3 kbps	368.6 kbps	523.2 kbps
COC8	138.2 kbps	276.5 kbps	392.4 kbps
COC16	92.2 kbps	184.3 kbps	261.6 kbps
COC32	57.6 kbps	115.2 kbps	163.5 kbps

IV. 모의실험 및 성능평가

4.1. 모의실험 환경 설정

모의실험은 Link-16의 송수신 단말인 JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System)의 구조를 그대로 적용하였다. Link-16 메시지 비트 스트림은 5비트 씩 한 심볼로 구분되어 RS(Reed Solomon) 코드를 통해 채널 코딩되며, CCSK를 통해 32칩으로 확산된다. 확산된 칩은 MSK를 통해 변조되어 특정 패턴에 따라 주파수 도약을 하며 전송된다. 그림 5는 JTIDS의 송수신 구조를 나타낸다.

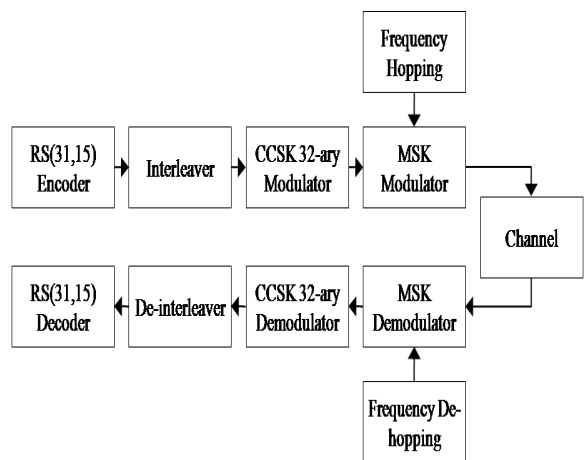


그림 5. JTIDS 송수신 구조
Fig. 5. The structure of the JTIDS transmission and receiving

모의실험에 활용된 채널 모델은 직선 신호와 지상 반사파를 고려한 Two-ray 모델을 가정하였다. 전투기간의 LOS(Line of sight) 신호는 공중 채널 환경을 고려하여 자유경로 손실모델을 통해 신호 세기를 감쇠시켰으며, 지상 반사파의 경우 경로손실 계수를 2.5로 하여 신호 세기가 상대적으로 더 감

쇠하도록 하였다. 신호 감쇠와 더불어 각각의 신호는 나카가미 페이딩을 거쳐 수신된다. 이 때 나카가미 페이딩의 Shape Factor(m)은 LOS 환경을 고려하여 2로 세팅하였다. 또한 지상 반사파는 LOS에 비해 긴 경로를 겪게 되므로 그에 따른 딜레이를 계산하여 중첩 수신되도록 하였다. 표 6은 모의실험 파라미터를 나타내고 있다.

표 6. 모의실험 파라미터
Table 6. Simulation Parameter

파라미터	설정 값
채널 대역폭	3MHz
전체 채널 수	51 개
주파수 도약율	약 77,000회/sec
모의실험 횟수	1,000,000 Pulse
송신 파워	200W
채널 코딩	Reed-Solomon(31, 15)
Detection 기법	Non-Coherent Detection
Net 환경	Single Network
Fading	Nakagami Fading(m=2)
채널 모델	Two-ray 모델
신호 감쇠	Free Space Path Loss 모델 공중($\alpha=2$), 지상($\alpha=2.5$)
Diversity 획득	SC(Selection Combining)
펄스 모드	Single Pulse, Double Pulse
재밍 채널 수	22개(40%)

모의실험에서 통신 가능 여부를 판단하기 위하여 MER(Message Error Rate)를 측정하였다. Link-16에서는 총 수신 메시지의 10% 이상이 에러로 판명된 경우, 즉, 메시지 성공률이 90%에 이르는 상황을 HER(High Error Rate)로 정의[7]하고 있다. 따라서 본 모의 실험에서는 이보다 높은 99%의 메시지 전송 신뢰도를 보이는 경우인 LER(Low Error Rate)를 통신이 가능한 것으로 판단하였다. 여기서 메시지란 Link-16에 정의된 한 팩(Pack)을 단위로 하였으며, 총 210비트로 구성된다.

4.2. 전송거리

그림 6의 시뮬레이션 결과를 분석해 보면, 데이터 전송율이 높은 확산코드와 SP를 사용하게 되면 데이터 전송거리가 짧아지고, 데이터 전송율이 낮은 확산코드와 DP를 사용하게 되면 상대적으로 먼 거리까지 데이터를 전송할 수 있음을 알 수 있다. 구체적으로 데이터 전송율이 높은 확산코드 4와 SP를 사용하였을 경우, 데이터를 약 200Km를 전송할 수 있으며, 확산코드 4와 DP를 사용하였을 경우에는

약 370Km까지 전송할 수 있음을 확인 할 수 있다. 또한 확산코드 32를 사용하게 되면 상대적으로 전송거리가 많이 확장되어 800(SP)~1,200(DP)Km까지 데이터를 전송할 수 있다.

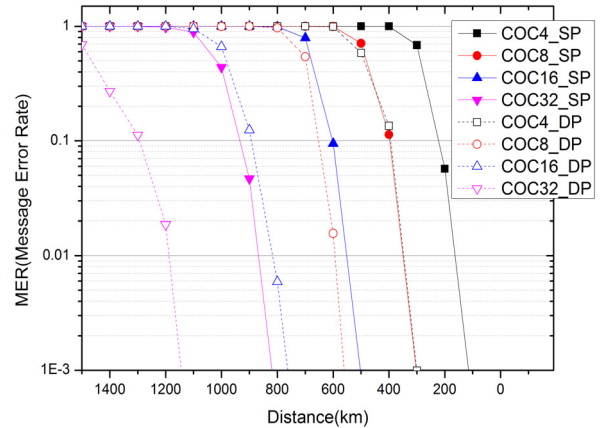


그림 6. 확산코드별 데이터 전송거리
Fig. 6. Data transmission distance of type the spreading code

4.3. 항재밍 능력

제안한 각 패키징구조의 항재밍 능력을 측정하기 위하여 재밍에 의한 노이즈 에너지와 수신된 칩 에너지를 재밍 조건(-10~12dB)별로 구분하고, 현재 Link-16에서 사용되고 있는 주파수 대역 중 40%에 대해 PBN(Partial Band Noise) 재밍을 수행하여, 각 확산코드별로 MER을 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 7의 실험결과를 재밍 정도에 따라 3단계로 나누어 분석하면, 재밍 노이즈가 수신신호의 세기보다 같거나 클 경우(-10~-3dB)를 재밍이 “강”한 것으로 구분하였으며, 이 경우에는 COC8_DP 이상으로 데이터 전송율이 낮은 확산코드를 사용할 경우 MER 1%와 항재밍 능력을 만족한다. 재밍 노이즈와 수신신호의 세기가 비슷할 경우(-3~3dB)를 재밍이 “중”으로 구분하였으며, 이때 MER 1%의 조건을 만족시키기 위해서는 COC8_SP 이상의 데이터 전송율이 낮은 확산코드를 갖는 패키징구조를 사용해야 하는 것으로 분석되었다. 재밍 노이즈보다 수신신호의 세기보다 클 경우(3~10dB)를 재밍이 “약”으로 구분하였으며, 재밍 노이즈가 약할 경우에도 최소한 COC8_SP 이상의 패키징구조를 사용해야 하며, 데이터 전송율이 가장 높은 COC4의 경우는 재밍이 없는 상황에서 제한적으로 사용 가능한 것으로 분석 되었다.

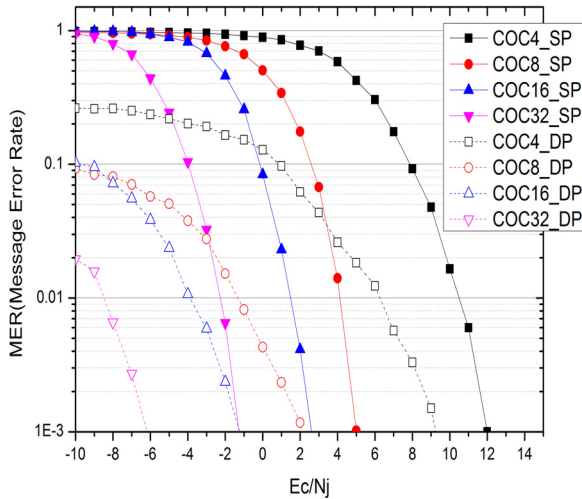


그림 7. Jamming 40%시 MER
Fig. 7. MER of Jamming 40%

4.4. 작전환경에 따른 패킹구조 선택

앞의 시뮬레이션 결과에 따르면 데이터 전송거리 및 항재밍 정도에 따라 사용할 수 있는 패킹구조가 다르게 되는데, C2U와 JU간 전송되어야 할 거리가 멀어 질수록 확산코드 값을 높게 하여 유효 데이터 전송률을 줄여야 하며, 재밍 강도가 강해질수록 확산코드 값을 높게 하여 유효 데이터 전송률을 줄여야 하는 Trade Off가 발생하게 된다. 표 7은 작전이 수행되는 환경에 따라 사용 가능한 패킹구조를 제시하고 있으며, 환경에 따라 사용 가능한 패킹구조가 여러 종류가 있을 수 있으나, 제시된 패킹구조는 여러 가지 패킹구조 중 데이터 전송율이 가장 높은 패킹구조를 선택하여 제시하였다.

표 7. 작전환경별 사용가능 패킹구조
Table 7. Packing structure used by the operations environment

재밍 강도	전송 거리	기존사용 패킹구조	제안 패킹구조	비고
강	900km	STD	COC32_DP	M1, M2, M3를 조합하여 전송
	700km		COC16_DP	
중	700km	P2SP	COC32_SP	
	500km		COC8_DP	
중	500km	P2DP	COC16_SP	
	300km		COC8_SP	
약	300km	P4SP	COC4_DP	
	100km		COC4_SP	

표 7을 참고하여 C2U와 JU 간 거리가 300 Km이내이고, 재밍강도가 “중”인 상황에서 18Kbytes 크기의 전술 이미지를 전송할 경우, 기존 Link-16은 P2DP 패킹을 이용하여 320개의 타임슬롯을 사용해야만 이미지를 전송할 수 있었으나, 본 논문에서 제안하는 패킹기법을 사용하여 M3_COC8_SP로 전송하고 데이터의 마지막 부분은 M2_COC8_SP로 전송할 경우, 67개의 타임슬롯만을 사용하여 전술이미지를 보다 실시간에 효과적으로 전송할 수 있게 된다. 이때, 타임슬롯의 개수는 JU가 이미지 전송을 위해 충분한 개수의 연속된 타임슬롯을 할당 받은 경우를 가정한 것이다.

V. 결 론

최근의 군사작전은 NCW 환경에서 전투 진행 상황에 대한 영상정보 교환을 통해 정보우위를 확보한 상태에서 작전을 수행하는 것이 기본 모델화 되고 있으며, 미국 및 NATO에서는 Link-16을 통해 전술 이미지를 전송하고자 하는 노력이 계속되고 있다.

본 논문에서는 Link-16을 통해 이미지 항공작전에 필요한 고용량 이미지 데이터를 전송하여 작전 효율을 증대시키기 위해 다양한 작전 환경에서 가변 고속 데이터를 실시간 전송 가능케 하는 패킹기법과 작전 환경에 따라 사용 가능한 패킹구조를 선택하기 위한 기준을 제시하고 그 성능을 컴퓨터 모의실험을 통해 타당성을 입증하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 패킹기법이 항재밍 속성을 유지하면서 데이터 전송율을 많이 향상시키는 등 기존 Link-16보다 월등한 성능을 보임을 증명하였으며, 재밍 강도 및 데이터 전송거리에 따라 유효 데이터 전송률을 가변시켜야 하는 Trade Off가 발생하게 됨을 알 수 있었다. 또한 고속 데이터를 실시간 전송 가능케 하는 다양한 패킹구조를 작전환경에 따라 선택 사용할 수 있도록 하는 연구 결과를 통하여, 이미지 항공작전에 필요한 고용량 이미지 데이터를 전송 가능케 하는 방법을 제시하였다.

본 논문과 연계하여 향후 Link-16에서 동적 TDMA와 새로운 패킹방법을 적용하여 타임슬롯을 연속적으로 전송함으로써, 작전에서 요구하는 고용량 이미지 데이터가 적기에 사용될 수 있도록 전송 효율을 높이기 위한 알고리즘 등에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Air Force Operational Interoperability Group, *Air force Concept of Link Employment Version 2*, Apr. 2001. pp.68-123
- [2] Network Centric Warfare Fundamentals, *Defence TODAY*, 2006
- [3] H. W. Park and J. S. Lim, "Cyclic Shifted Orthogonal Complementary Codes for Multicarrier CDMA Systems", *IEEE Communications Letters*, June 2006.
- [4] U.S Air Force, *Understanding Link 16 A guidebook for USAF Operators*, Dec. 2002.
- [5] H. W. Park, H. J. Noh and J. S. Lim, "Analysis of Link-16 PHY/MAC for Korea JTIDS construction", *KICS Vol.26 No.12*, Feb. 2009. pp.60-68,
- [6] H. H Lee, H. J Jang, Y. G Kim and J. S. Lim, "Establishment for Efficiency Air-To-Ground Air Operation Model in Link-16", *KIMST Vol.13 No.5*, October 2010. pp.861-868,
- [7] U.S Air Force, *Link 16 Operations for the Air Force Wing and Unit Manager*, October 1999.

김 영 구 (Young-goo Kim)



정회원
 1982년 3월 공군사관학교 졸업
 1998년 6월 광운대학교 전파공학과 석사
 2007년 7월~현재 아주대학교 NCW학과 박사과정
 <관심분야> 전송데이터링크, 국방전술통신

임 재 성 (Jae-sung Lim)



정회원
 1983년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업
 1985년 2월 KAIST 영상통신 석사
 1994년 8월 KAIST 디지털통신 박사
 1998년 3월~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
 <관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신

노 흥 준 (Hong-jun Noh)



정회원
 2008년 2월 아주대학교 정보컴퓨터 공학과 졸업
 2008년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심분야> 전송데이터링크, 항재밍, 위성통신

이 규 만 (Kyu-man Lee)



정회원
 2011년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
 2011년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심분야> 전송데이터링크 웨이브폼, 위치인식 알고리즘