

Link-16 기반 전술 네트워크를 위한 요구통신용량 산출에 관한 연구

A Study on the Estimation of Required Communication Capacity for Link-16 Based Tactical Networks

김 영 범*

(Young-Beom Kim)

요 약

본 연구에서는 정보통신기술을 활용한 미래전 개념인 네트워크 중심전 수행에 있어서 가장 보편적으로 쓰이고 있는 Link-16의 기술적 요소들을 물리계층, 데이터링크 계층, 응용계층 (전술메시지교환) 측면에서 검토하고 작전운용 측면에서 Link-16 만의 장점과 한계점을 도출해 보기로 한다. 또한 Link-16의 타임슬롯 구조, NPG 개념, 멀티네팅 개념을 기반으로 주요 작전을 수행하는 데 있어서 Link-16이 갖는 통신용량이 과연 충분한지 정량적 분석을 수행한다. 이러한 연구 결과는 향후 Link-16의 국내도입에 있어서 타당성 검토를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, we investigate the most commonly adopted networking technology for Network Centric Warfar (NCW), namely Link-16 in the perspectives of physical, data link, and network layers (specifically, strategic message exchanges) and derive its merits with some constraints therein. Furthermore, we perform a quantitative evaluation on its communication capacity, focusing on whether Link-16 can indeed meet the capacity requirements for major operations, based on the time slot structure, NPG, and multi-netting concepts

Key words : Link-16, NCW, NPG, Time slot structure, Multi-netting

I. 서 론

미래의 전쟁은 각 무기체계의 플랫폼의 성능을 중요시했던 플랫폼 중심전에서 적보다 더 나은 상황인식 (SA: Situational Awareness)을 획득, 활용하여 정보우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 네트워크 중심전 (NCW: Network Centric Warfare)으로 작전수행 개념이 빠르게 변화하고 있다[1, 2].

이러한 NCW의 장점은 지리적으로 분산된 전투 요소들을 연결하여 데이터를 교환할 수 있게 함으로써 전투원들 사이에 공유하는 정보가 많아지고 전장상황에 대한 공통된 이해와 판단을 가지며 지휘관의 의도를 신속히 이해하고 가용한 무기체계들을 효과적으로 활용할 수 있어 작전템포를 빠르게 하고 결국은 최대의 전투력 효과를 발휘할 수 있도록 해준다. 이러한 네트워크 중심전의 핵심이 바로

† 본 연구는 '08년도 공군인사운영단 한국형 합동전술데이터링크체계 용역연구의 일환으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 건국대학교 전자공학부 정교수

† 논문접수일 : 2011년 7월 14일

† 논문심사일 : 2012년 2월 23일

† 게재확정일 : 2012년 2월 27일

전술데이터링크이며, 실시간으로 전술정보를 교환할 수 있는 기능을 제공함으로써 공동된 전장상황 인식을 통한 정보우위를 기반으로 전투력 상승 및 시너지 효과를 창출할 수 있게 된다[1, 2].

현재 미국은 전술데이터링크 중 가장 진보된 LINK-16을 비롯한 미 지상군 표준 전술데이터링크인 VMF (Variable Message Format)등을 운용하고 있으며 무기체계간 연동 및 상호운용성 확보를 위한 전술데이터링크가 구축되어 있다[3, 4]. 반면, 우리군은 지금까지 해군과 공군 무기체계를 중심으로 일부 미군의 표준 전술데이터링크를 도입하여 하고 있는 실정이다. 따라서 우리공군도 무기체계간 상호운용성을 통한 합동작전뿐만 아니라 미 공군과의 연합작전을 수행하기 위해 전투기 전술데이터링크체계의 운영을 고려해야 할 시점에 와 있다. 그렇다고 해서 기존의 미군장비를 도입하는 것은 보안유지곤란, 과도한 국방비 소요, 독자적 작전수행을 위한 수정요구 시 미군의 전술데이터링크체계 수정 곤란 및 기술적 측면의 영구 종속화 등 많은 문제점이 있다[5].

따라서 미국에 대한 기술적 종속화를 방지하고 외국으로의 국방비 지출 방지, 국내 내수산업 활성화를 도모하고, 공군 단독 작전 실시간/근실시간 수행능력을 위해 공군 작전 환경에 적합한 독자적 전술데이터링크체계 구축능력 구비는 자주적 국방 능력의 점진적 구현 및 확보를 위해 필요하다.

본 논문에서는 정보통신기술을 활용한 미래전 개념인 NCW 수행에 있어서 세계적으로 가장 널리 쓰이고 있는 Link-16의 기술적 요소들을 물리계층, 데이터링크 계층, 응용계층(전술메시지교환) 측면에서 검토하였다. 군용 전술 네트워크인 Link-16의 경우 통신 보안 및 견고성에 시스템 설계상의 주안점이 주어지므로 Link-16의 전송용량은 비교적 크지 않은 것으로 추정된다.

따라서 본 논문에서는 전선지역에서 아군 지상 부대와 교전 중인 적 지상부대에 대한 공격이나 아군의 진격로에 위치한 적군의 방어진지, 적 집결지 등과 적 전차, 지대지 미사일진지에 대한 공대지 공격 임무를 의미하는 CAS (Close Air Support) 작전 수행을 연구 고려대상으로 설정하였다. Link-16의

타임슬롯 구조, NPG (Network Participation Group) 개념 및 멀티네팅 (Multinetting) 개념을 기반으로 Link-16이 갖는 통신용량이 CAS 작전 수행에 있어서 과연 충분한지 정량적 분석을 수행한다.

이러한 연구결과는 향후 Link-16의 국내도입에 있어서 타당성 검토를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 기술연구

본 논문은 데이터 통신에 초점을 맞추어 link-16의 데이터 통신의 특징과 메시지 형태를 알아보았으며, 데이터 용량 분석을 위한 고려 사항을 고찰해보았다.

1. Link-16의 특징[3]

- Nodlessness
- Jam resistance
- Flexibility of communication operation
- Separate transmission and data security feature
- Increased numbers of participants
- Increased data capacity

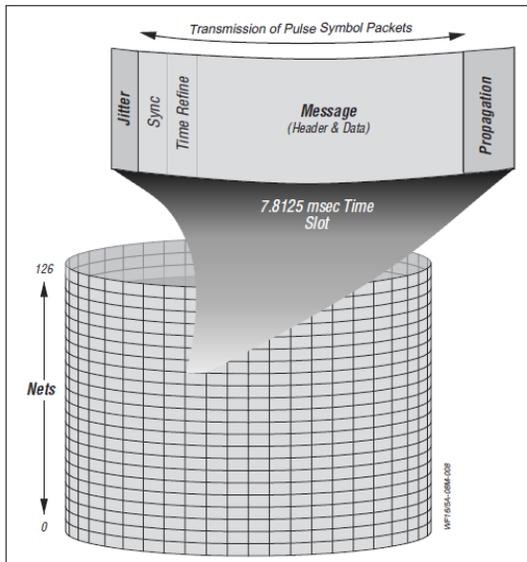
2. Link-16 Net Design

Link-16의 통신 요소는 Joint Tactical Information Distribution System (JTIDS), Multifunctional Information Distribution System (MIDS), 혹은 동등한 터미널로 사용한다. 그리고 Link-16 네트워크 참가 플랫폼은 JTIDS Unit (JU) 라 부른다.

Link-16은 JTIDS단말기의 자동 기능인 TDMA (Time Division Multiple Access)의 원리를 사용한다. TDMA 구조는 다중적이고 명확하게 동시적인 통신 네트를 제공하기 위하여 Time Interlacing을 사용한다. 모든 JU들은 자신들의 데이터를 송신하고 다른 Unit로부터 데이터를 수신할 타임슬롯의 세트를 미리 지정받는다. 각 타임슬롯은 1/128초 또는 7.8125msec 동안 지속된다.

Multi Net은 타임슬롯을 여분으로 사용할 수 있도록 허용함으로써 Net을 Stack화 시킬 수 있다.

데이터는 서로 다른 주파수 상의 각 네트에서 송신된다. JTIDS 송신을 위해서는 51개의 주파수를 사용할 수 있다. 주파수는 타임슬롯 동안에 일정하게 유지되지 않고 미리 정해진 Pseudo-random scheme에 따라 급속하게 변화한다. 이 테크닉은 Frequency Hopping이라 불리며 각 Net에는 특정 hopping patten을 지정하는 숫자가 부여된다. 128개의 가능한 번호가 있으며 127번은 Stack Net구성을 나타내기 위한 번호이다.



〈그림 1〉 Link-16 타임 슬롯 구조(3)
 〈Fig. 1〉 Link-16 time slot structure(3)

Link-16 타임 슬롯 할당은 매 12초 마다 반복되는 프레임으로 구성되어 있다. 한 프레임은 1536 타임 슬롯을 포함하고, 각 512 타임 슬롯의 3개의 셋트 (A,B,C)로 되어 있다. 프레임의 타임 슬롯은 TSB라 하는 타임 슬롯 블록으로 그룹지어 진다.

TSB 임무는 타임 슬롯 셋트, 시작 타임 슬롯번호, 그리고 Recurrence Rate Number (RRN)으로 정의되어 진다.

Link-16 네트워크 안에서 주어진 타임 슬롯 동안 JU는 특정 Net에서 송신과 수신이 이루어진다. 어

떠한 타임슬롯 동안에는 한 Unit은 가능한 127개의 네트 중 하나에서 송신이나 수신을 한다. 각 JU는 다른 참여 JU들이 이 타임 슬롯 동안 수신하기 위해 설정되어 있는 동안, 할당된 Net의 할당된 타임 슬롯 동안만 송신된다[6].

3. Message 형태

Link-16의 메시지 형태는 다음과 같이 3가지 종류로 구성되어 있다.

- 고정 포맷 : J-Series 메시지는 Stanag 5516에 정의되어 있다.
- 가변 포맷 : 사용자가 메시지 포맷 정의
- 프리텍스트: Link-16 2진화 음성 통신을 위해 포맷이 정의되지 않음
- RTT : 동기화를 위해 사용

4. 데이터 용량 계산 고려 사항

전송률을 높이기 위해 에러 검출 코드 포함 여부와 항 재밍 성능, 전파지연시간을 제한함으로써 데이터 패킹 옵션에 따라서 전송률이 달라진다. 얼마나 많은 데이터가 Link-16 네트워크로 전해지는지를 패킹하는 JTIDS 데이터 패킷 옵션은 그림 2와 같다[7].

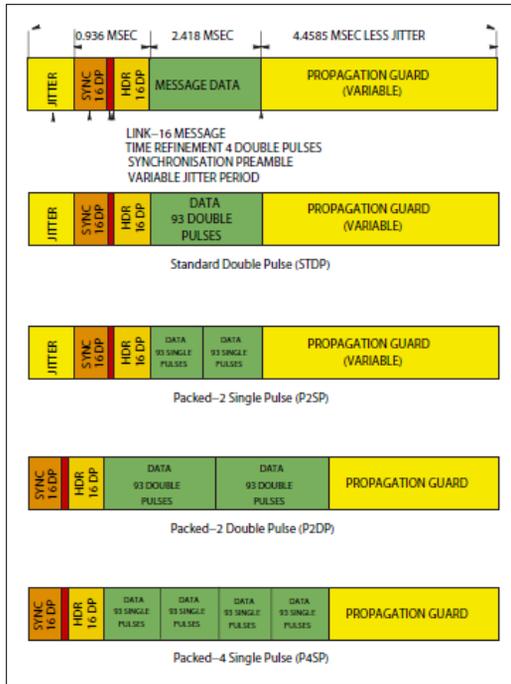
▪ Standard Double Pulse : 이 패킹 옵션은 최상의 항재밍과 최소의 처리량을 가지고 있다. 하나의 타임 슬롯에 각 워드당 70개의 비트로 구성된 3개의 워드로 한 슬롯당 210 Bit를 전송한다. 데이터는 여분에 대해서 2번 전송되어 진다.

▪ Packed-2 Single Pulse : 이 패킹 옵션은 하나의 타임 슬롯에 각 워드당 70비트로 구성된 6개의 워드로 한 슬롯당 420 Bit를 전송한다. 이 패킹 옵션에서 데이터는 한번만 전송되어지므로 Standard Double Pulse 패킹에 비해 두 배의 전송률을 가진다.

▪ Packed-2 Double Pulse : 이 패킹 옵션은 Packed-2 Single Pulse와 같은 량(420 Bits)의 데이터 전송률을 가진다. 다른 점은 데이터는 여분에 대해서 2번 전송되어 진다.

▪ Packed-4 Single Pulse : 이 패킹 옵션은 최상의

전송률을 가지며 반대로 최하의 항 재밍 성능을 가진다. 한 타임 슬롯 당 각 70개의 비트로 구성된 12개의 워드로 한 슬롯당 840 Bit 를 전송한다. 이 패킹 옵션에서는 데이터는 한번만 전송되어 진다.



〈그림 2〉 JTIDS 데이터 패킹 옵션
 〈Fig. 2〉 Four packing options for JTIDS data

Link-16의 효율적 전술데이터 속도는 26,880bps이 나 53,760bps 또는 107,520bps인데, 어떤 데이터 패킹 구조를 사용하는가에 따라 결정된다.

▶ 메시지 종류는 얼마나 많은 데이터를 네트워크를 통해서 전송하는지에 영향을 미친다. 예를 들어 고정 포맷 메시지의 하나의 워드는 총 75bits(Parity 4bits, Padding 1bit)로 구성된다.

▶ 길이의 경우 일반모드와 확장 모드 2가지를 가진다. 일반 길이 모드는 300nm의 전송 영역을 가질 수 있으며, 확장 길이 모드는 500nm의 전송 영역을 가질 수 있다. 이는 한 타임 슬롯에 포함된 전파지연시간의 길이에 따라서 전파의 전송영역이 달

라진다. 확장 길이 모드는 Packed2-Double Pulse와 Packed4-Single Pulse일 경우 사용할 수 없다. 따라서 작전 종류에 따라 적절한 패킹을 해야 한다. 참여자 수가 증가할수록 end-to-end delay, queuing delay가 증가하므로 네트워크 전송량에 영향을 미친다. 또한 Link-16네트워크는 LOS 통신이므로 가시거리 밖의 통신을 위해서는 Relay를 수행하여야 한다.

〈표 1〉 패킹구조에 따른 데이터 속도
 〈Table 1〉 Transmission speed for data packing structure

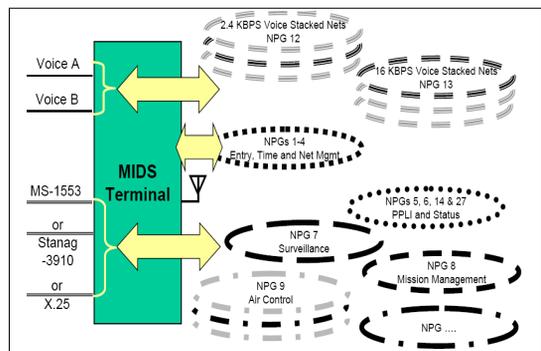
데이터 패킹구조	데이터속도(kbps)		
	전술적	패리티포함	EDAC포함
표준	26.88	28.8	59.520
Packed-2	53.76	57.6	119.040
Packed-4	107.52	115.2	238.080

III. 제시 모델

CAS 작전 수행 중 가장 기본이 되는 시나리오를 가정하여 메시지 송수신 과정에서 얼마만큼의 용량이 오가는 가를 계산해 보았다. 용량 산출에 필요한 내용 제시를 먼저 하였다.

1. NPG

Link-16 참여 그룹은 네트워크의 기능적인 구성 영역이다. 초기 엔트리와 RTT를 비롯한, 네트워크의 운용을 지원하는 기능 그룹들도 있다. 각 NPG에서의 송신은 그 특정 기능을 지원하는 메시지로 구성된다.



〈그림 3〉 NPG의 개념
 〈Fig. 3〉 The concept of NPG

2. Stacked Net

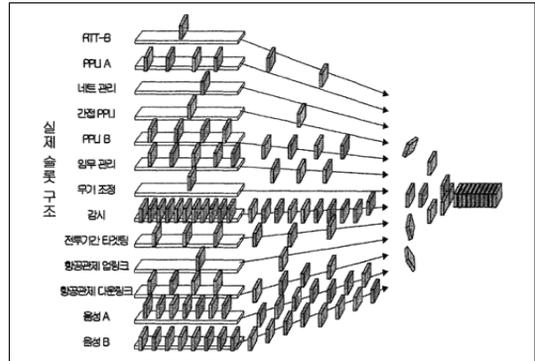
Link-16에서는 총 127개의 네트워크를 Stacked Net 으로 구성하여 이용할 수 있다. 서로 다른 주파수 도 약 패턴을 각각의 네트워크에 부여함으로써 한 개 이상의 네트를 사용할 수 있도록 한다. 도약 패턴은 TSEC 암호 변수와 Net 번호에 의해 결정된다. 동일한 TSEC과 MSEC 암호 변수를 가지고 있지만 네트 번호는 다른 네트들을 Stacked Net으로 구성된다.

3. 메시지 용량 계산

NPG에 할당되는 네트워크 용량은 참여자의 수와 형태, 참여자의 NPG 접속 빈도, 데이터의 예상량, 정보의 업데이트 속도 및 중계 요건을 비롯한 통신 우선순위에 달려 있으며, NPG 내에서 각 참여자에게 할당되어야 하는 타임슬롯수는 부대형태와 타임슬롯에 액세스 하는 방식에 달려있다.

- 참여자 수 : 6
- Stacked Net 개수 : 1
- 단말기 당 1초의 최대 타임 슬롯할당 개수 : 128

- (1) 패킹 옵션 : STD-DP (210bits)
 - Frame당 사용되는 time slot : $128 * 6 = 768$
 - Maximum data rate : $768 * 210 \text{ bits} = 161,280 \text{ bits per frame}$ (13,440 bps)
- (2) 패킹 옵션 : P2SP (450 bits)
 - Maximum data rate : $768 * 450 \text{ bits} = 345,600 \text{ bits per frame}$ (28,800 bps)
- (3) 패킹 옵션 : P2DP (450 bits)
 - Maximum data rate : $768 * 450 \text{ bits} = (28,800 \text{ bps})$
- (4) 패킹 옵션 : P4SP (900 bits)
 - Maximum data rate : $768 * 900 \text{ bits} = 691,200 \text{ bits per frame}$ (57,600 bps)

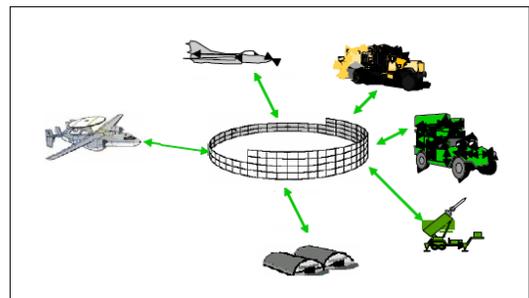


〈그림 4〉 전술 메시지 다중화 개념
(Fig. 4) Multiplexing concept for carrying strategic messages

4. CAS 시나리오

전술통제소와 항공통제소에 CAS 운용의 가상 모식도를 넣고 위에 CAS 전투기와 중계기체를 넣어 가상 시나리오를 작성 하였다.

근접 항공 지원 임무는 공군에서 파견 나온 공군 연락장교(Air liaison officer : ALO)가 지상군의 요청에 따라 표적에 대한 정보를 제공하고, 이를 통해 전선항공통제기는 해당 표적에 대해 연막탄이나 로켓 등을 이용, 지원기들을 유도하여 표적에 대한 지원기들의 중복과 아군에 대한 오인 사격을 방지하기 위한 전장에서의 통제역할을 수행한다.



〈그림 5〉 근접 항공 지원 개념도
(Fig. 5) The conceptual diagram for CAS operation

이와 같이 육군의 지상부대와 함께 행동하는 공군 연락장교는 지상부대의 요구를 신속히 항공용어로 바꾸어 전선 항공 통제기로 전송하게 되고, 이 정보

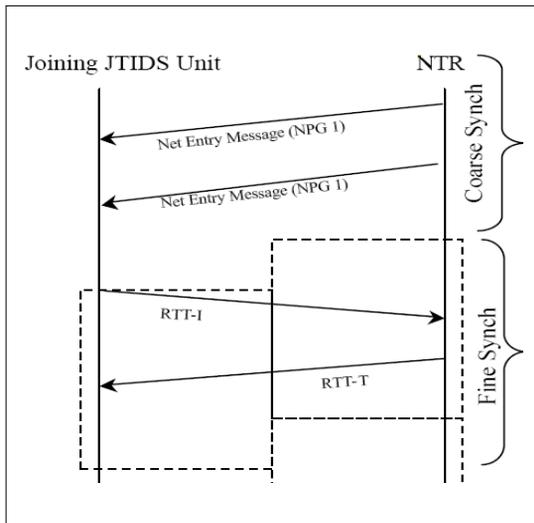
를 바탕으로 전선 항공 통제기는 살상구역내에서 활동 가능한 항공기들에게 적절한 행동을 취하도록 명령하게 된다. 이때 제공되는 정보는 아래와 같다.

- ① 공격 개시 목표점(IP)
- ② IP에서의 자침방위각
- ③ IP와 목표와의 거리
- ④ 목표지역의 표고
- ⑤ 목표에 관한 설명
- ⑥ 목표의 지도 좌표
- ⑦ 우군의 위치
- ⑧ 공격 중 피탄시 목표지역 이탈에 관한 지시
- ⑨ 그 밖의 필요사항

5. CAS 작전 개요와 수행 과정

CAS 임무에서 9 가지를 설정하여 각 임무당 어떤 J-Series Message가 쓰이는지 할당하고, 각 임무의 시간을 정하였다.

하나의 메시지를 전송하기 위한 구성을 보면 [IE+RTT+메시지] 이다. 하지만 하나의 단말기에서 통신을 할 때, 시작에서만 IE (Initial Entry)와 동기를 맞추기 위한 RTT를 주고 받게 되고, 계속된 통신이 이루어질 때는 메시지 교환만 이루어지게 된다.



〈그림 6〉 RTT 메시지 교환 과정
(Fig. 6) The RTT message exchange procedure

<그림 6>과 같이 RTT 메시지 교환을 보게 되면 NTR (Network Time Reference)은 주로 AWACS가 담당하게 된다. 기존 참가 플랫폼이 AWACS와의 동기화를 위해 RTT메시지를 주고 받는 상황이 작전 초기에 이루어진다. 그리고 미세동기화는 타임슬롯안의 TR이 담당한다.

본 논문에서는 단말기가 초기 Link-16에 접속하는 과정의 메시지인 IE와 RTT를 제외하고 CAS전술 정보 메시지교환을 중점적으로 확인하고자 한다.

〈표 2〉 모의 CAS 시나리오 정보량
(Table 2) Information amount in CAS scenario for simulation

J-Message Catalog	CAS 명령	J 메시지	크기 (bits)	빈도 (s)	초당 Bit
PPLI	7	J2.2 공중 PPLI	350	1	350
	7	J2.5 지상 포인트 PPLI	350	2	175
	7	J2.6 지상 항적 PPLI	350	2	175
감시	1	J3.0 참조 포인트	350	5	70
	1	J3.1 긴급 포인트	350	5	70
	1	J3.2 공중 항적	350	5	70
	1	J3.5 지상지점 또는 항적	350	5	70
	9	J3.7 전자전 결과 정보	350	10	35
	2	J7.0 항적 관리	350	5	70
정보 관리	9	J7.1 데이터 업데이트 요청	350	10	35
	9	J7.2 조정(Correlation)	350	10	35
	3	J7.3 포인터	350	5	70
	2	J7.4 항적 식별자	350	5	70
	9	J8.0 Unit 지정자	350	10	35
	9	J8.1 임무 조정자 변경	350	10	35
무기 관리	5	J9.0 명령	350	5	70
	5	J9.1 전구유도탄방어 교전명령	350	10	35
	8	J10.2 교전 상태	350	2	175
	9	J10.5 통제 Unit 보고	350	10	35
제어	5	J12.0 임무 할당	350	5	70
	4	J12.2 정밀 항공기 방향	350	2	175
	4	J12.3 비행 경로	350	5	70
	9	J12.4 통제 Unit 변경	350	5	70
	6	J12.5 표적/항적 상관 관계	350	10	35
	6	J12.6 표적 분류	350	10	35
	6	J12.7 표적 방위각	350	5	70
플랫폼 시스템 상태	9	J13.0 비행장 상태 메시지	350	20	18
	9	J13.2 공중 플랫폼과 시스템 상태	350	5	70
	9	J13.5 지상 플랫폼과 시스템 상태	350	10	35
전자전	9	J14.0 파라미터 정보	350	10	35
	9	J14.2 전자전 제어/조정	350	5	70
위협 경고	9	J16.0 영상 정보	350	5	70
	9	J17.0 표적 기상	350	20	18

<표 2>에서 알 수 있듯이 한 단말기 당 필요한 전송률은 해당 단말의 거의 동시에 표 2의 기능들을 수행해야 하는 최악의 경우를 고려하여 계산해보면 이는 표 2 6열 전송률의 합이므로 2,520bps이 나오며 6개의 참가 플랫폼이 CAS 작전에 투입된다고 가정하면 15,120bps이다. 이 전송률을 앞서 제시한 패킹 옵션당 초당 전송률과 비교해 보면 STD-DP (13,440bps) 패킹 옵션에서는 작전에 필요한 전체정보를 전송하기에는 불가능함을 알 수 있고 P2SP (28,800bps)에서는 충분한 정보교환이 가능함을 알 수 있다.

IV. 결 론

NCW 수행에 있어서 가장 널리 쓰이고 있는 군용 전술 네트워크인 Link-16에서 전송용량은 비교적 크지 않은 것으로 추정된다.

본 논문에서는 근접 항공 지원(CAS)의 작전 상에서 Link-16 네트워크에서 작전에 충분한 데이터 용량을 제공하는지를 모의 시나리오 상에서 NPG를 구성하고, 정보 교환에 필요한 데이터와 데이터 용량을 추론하였다.

항공기 간의 정보교환에 필요한 J-Message의 양은 MIL-STD-6016의 J3.0을 기준으로 하여 350bits로 설정하였지만 일반적으로 군 작전 정보를 충분히 포함할 수 있을 것으로 본다. 본 논문의 연구를 통하여 전술데이터 네트워크에서 작성에 필요한 적정 통신 전송률을 가지는지 분석하였고 참여자 수와 작전 시간, 거리 등 작전에 필요한 요소들로 전체 필요한 전송속도를 산정하고 Link-16의 통신에서 적절한 Packing 옵션을 선택할 수 있는 방안을 제시하였다.

향후 관련 연구 진행을 통해 구체화된 작전 정보

와 메시지 내용 및 크기를 적용하여, 차세대 전술 네트워크인 Link-22 네트워크에서 Link-16과 동일한 작전을 수행할 경우 기존 전술데이터링크에 비해 얼마만큼의 데이터 전송량 개선을 할 수 있는지 밝히고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김한동, 최태봉, “전술데이터링크 기술 표준화 동향,” 한국통신학회지 (정보와통신), 제24권 제 10호, pp.1-99, Oct. 2007.
- [2] 황정섭, 백해현, “네트워크 중심전을 위한 군 정보 통신 장비 기술/발전 동향,” 한국전자과학회지, 第19卷 第4號, pp.1-111, Jul. 2008.
- [3] Communication and Information Systems Division, “Understanding LINK-16,” Northrop Grumman Corporation, Information Technology, April 1994.
- [4] Charlie I. Cruz, MSgt USAF, “Netwars Based Study of a Joint Stars Link-16 Network,” Thesis for Master’s Degree, Air Force Institute of Technology Air University, Department of the Air Force, U.S.A.
- [5] Air Land Sea Application Center, “Introduction to Tactical Digital Information Link J and Quick Reference Guide,” June 2000.
- [6] Air Land Sea Application Center, “Multi-Service Tactics, Techniques, and Procedures for Tactical Employment of Nonlethal Weapons,” October 2007.
- [7] USAF, “Air Force Concept of Link Employment,” version 2, April 2001.

저자소개



김 영 범 (Kim, Young-Beom)

1984년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사

1986년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 석사

1986년 3월 ~ 1988년 3월 : 한국통신 전임연구원

1996년 : 미국 매릴랜드 주립대 전자공학 박사

1997년 9월 ~ 현재 : 건국대학교 정보통신대학 전자공학부 교수

2003년 9월 ~ 2004년 8월 : Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada, Visiting Prof.