

무선통신망에서 전술정보 전송을 위한 동적 시분할 다중접속 프로토콜

준회원 박창운*, 정회원 김태곤*, 임만엽**, 이윤정**, 김호***

Dynamic TDMA Protocol for Transmission of Tactical Information in Wireless Network

Changun Park* Associate Member, Taekon Kim*, Man-Yeob Lim**,
Younjeong Lee**, Ho Kim*** Regular Members

요약

최근 전장의 환경이 네트워크 중심전으로 빠르게 변화함에 따라 다양한 전술정보를 신속하고 정확하게 전송할 수 있는 전술데이터링크가 요구되고 있다. 현재 한국군은 효율적인 합동전술 작전을 지원하기 위해 한국형 합동전술데이터링크(KJTDL: Korea Joint Tactical Data Link System) 체계 개발을 기본형과 완성형 2단계로 나누어 추진하고 있다. 하지만 한국형 합동전술데이터링크 체계(기본형)는 미군의 대표적인 전술데이터링크인 Link-16과 비교하여 통신 대역폭의 제한과 낮은 전송효율 때문에 Link-16의 TDMA 프로토콜을 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 본 논문에서는 한국군의 전술 작전환경을 고려하여 Dynamic TDMA 기술 기반의 프로토콜의 구조를 제안 하였고, 제안된 전술데이터링크 프로토콜을 검증하기 위해 시뮬레이션을 구현 및 성능을 분석하였다.

Key Words : Tactical Data Link, Link-K, Link-16, Media Access Control, TDMA, Dynamic TDMA, Random Access, Round Robin

ABSTRACT

To prepare for the network centric warfare, Korea Joint Tactical Data Link System(KJTDL) has been developed by the South Korean military recently and its development is divided into two phases: basic and complete ones. Due to the limited bandwidth and low transmission efficiency of the developing KJTDL(basic), lots of problems could be occurred when the TDMA protocol in Link-16 is applied. In this paper, a new dynamic TDMA frame structure for KJTDL(basic) is proposed and the performance of the proposed is evaluated through the implementation of simulation.

I. 서론

전장의 환경이 빠르게 급변함에 따라 작전 수행 개념이 화력과 기동력 중심의 플랫폼 중심전(PCW: Platform Centric Warfare)에서 센서체계, 지휘체계

및 타격체계간의 정확한 전술상황을 공유하여 정밀한 의사결정과 전술작전을 수행하는 정보우위의 네트워크 중심전(NCW: Network Centric Warfare)으로 변화하고 있다^[1]. 이러한 네트워크 중심전을 실현시키기 위해서는 다양한 전술정보를 신속하고 정

* 고려대학교 전자정보공학과 (pcuzone@korea.ac.kr, taekonkim@korea.ac.kr)

** 국방과학연구소 전술데이터링크 PMO (manyeob@hanmail.net, youn@add.re.kr)

*** 삼성탈레스 통신연구소 (kimho.kim@samsung.com)

논문번호 : KICS2010-07-365, 접수일자 : 2010년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 11일

확하게 전송할 수 있는 전술데이터링크(TDL: Tactical Data Link)가 요구된다.

현재 한국군은 각 군별 개별적으로 전술데이터링크를 도입하여 운용하고 있으나 타군과의 연결체계가 부족하며, 미군의 표준 전술데이터링크에 의존하고 있어 한국군의 독자적인 전술데이터링크 운용이 불가능하다²⁾. 한국군은 합참을 중심으로 효율적인 합동작전 지원, 독자적인 전력운영, 핵심기술의 해외의존 탈피 및 경제성 제고를 위해 한국형 합동전술데이터링크 체계(KJTDL: Korea Joint Tactical Data Link System) 개발을 기본형과 완성형 2단계로 나누어 추진하고 있으며, 한국군 전술작전에 적합한 전술데이터링크 연구가 진행되고 있다.

Link-11과 Link-16은 대표적인 미군의 전술데이터링크이다. Link-11은 공중, 지상, 함정에서 전술정보를 교환하기 위한 전술데이터링크로서 Roll-Call 방식을 적용하여 작전에 참여한 유닛에게 순환적으로 전술정보 전송기회를 제공하고 있으며³⁾, Link-16은 합동 전술작전을 지원하는 현존하는 최신의 전술데이터링크로 시분할 다중접속(TDMA: Time Division Multiple Access) 기술 기반으로 작전에 참여하는 유닛에게 자원을 고정 할당하여 전술정보 전송기회를 제공하고 있다⁴⁾. Link-11과 Link-16은 전술정보를 전송하기 위한 충분한 통신 대역폭을 확보하고 있으며, 데이터 전용 단말을 이용하여 전술정보를 전송하고 있다. 하지만 한국형 전술데이터링크(Link-K) 기본형은 기존에 사용하고 있는 음성통신 무전기를 그대로 활용할 예정이어서 통신 대역폭 제한과 PTT (Push-to-Talk) Time으로 무선자원의 효율성 저하가 문제시 되고 있다.

본 논문에서는 현행 운용 중인 기존의 전술데이터링크를 분석하고, 한국군의 다양한 전술환경을 고려하여 독자적인 합동전술이 가능한 효율적인 전술데이터링크 프로토콜의 구조를 제안하고자 한다. 제안하는 프로토콜은 전술정보 전송 신뢰성과 음성통신 무전기의 특성을 고려하여 Minislot 구조의 동적 시분할 다중접속기술(DTDMA: Dynamic Time Division Multiple Access) 개념을 도입하였다. 한 Frame을 Uplink 구간과 Downlink 구간으로 나누고 있으며, 통신 대역폭의 제한으로 인한 가입자 수 제한을 최소화하기 위한 방법으로 Dynamic Time Slot 구간을 제안하고 있다. Dynamic Time Slot 구간은 경쟁방식의 반송과 감지 다중접속방식과 비경쟁방식의 라운드로빈 방식 등의 다양한 방법이 적용될 수 있다. 제안하는 프로토콜 검증을 위하여 C++

기반의 전술데이터링크 시뮬레이션을 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Link-16 전술데이터링크의 관련기술을 살펴보고 3장에서는 한국군의 작전개념을 고려하여 본 논문에서 제안하는 전술데이터링크의 프로토콜에 대하여 기술하며, 4장에서는 제안한 프로토콜 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. Link-16 전술데이터링크

Link-16은 다양한 전술정보를 지휘통제체계와 무기체계간의 실시간 전술정보 교환을 목적으로 하는 시분할 다중접속(TDMA: Time Division Multiple Access) 기술로, 고속 통신 및 항재밍 통신이 가능한 다중접속 기능을 제공한다⁴⁾. 본 장에서는 Link-16 관련기술에 대하여 설명한다.

2.1 Link-16 TDMA 시스템

TDMA 기반의 Link-16 시스템의 기본통신 단위는 Net 이며, 하나의 Net 은 데이터 전송단위인 Slot으로 구성되어 있다. 유닛은 작전상황 및 주어진 역할에 따라 PG(Participation Group)을 형성하여 데이터 전송시 특정 Net 중 하나의 Net에 참여하여 데이터를 전송한다. Link-16의 가장 큰 시간 단위는 Epoch로써 1 Epoch는 12.8분을 나타낸다. 이보다 작은 Link-16의 기본 순환 단위는 Frame이며, 그 길이는 12초이다. 하나의 Frame은 1,536개의 Time Slot으로 구성되어 있으며, Frame은 12초씩 반복하여 동작한다. 하나의 Slot은 7.8125ms 단위로 구성된다. 이와 같이 Link-16은 독자적인 자원 단위를 가지고 있으며, 이를 표 1에 나타내었다. 그림 1은 Link-16 TDMA의 프레임 구조이다.

Link-16은 작전에 참여하는 유닛에게 고정자원 할당을 위해서 RRN(Recurrence Rate Number)를 사용하고 있다. RRN은 몇 개의 Slot이 하나의 Block(하나의 유닛이 한 번에 할당 받는 자원의 단

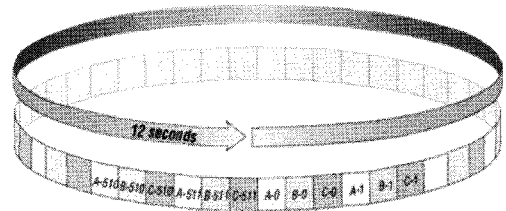


그림 1. Link-16 TDMA 프레임 구조

표 1. Link-16 TDMA 자원단위

1 Day	24 hours
	112.5 Epoch
1 Epoch	64 Frames
	12.8 minutes
	98,304 Time Slot
	32,768 Time Slots/Set
1 Frame	12 seconds
	1,536 Time Slots
	512 Time Slots/Set
1 Slot	7.8125 ms

위에 정의되어 있고, 얼마나 자주 반복되는지를 정의한 것이다. Set A의 Slot 은 32,768 개이며, 이는 연속된 Slot에서 3번에 한 번씩 분포되어있으며, A-0-15로 표기할 수 있다. 여기서 A는 Set 을 표현하고 0은 연속된 슬롯의 Index 번호이다. 15는 RRN을 표현하며 자원할당 분포이다. Link-16 시스템을 사용하는 유닛은 이러한 주소체계를 복수 개 할당 받을 수 있다. 이는 Link-16이 Multiple Net 구조이기 때문이며, 최대 128개의 Net을 정의 할 수 있으며, 동일지역에서 동시에 운용하는 것은 통신의 품질 저하를 가져올 수 있기 때문에 최대 20 개까지 구성하여 운용하고 있다.

2.2 Link-16 TDMA 시스템 Time Slot

Link-16의 기존 전송단위인 Slot은 그림 2와 같이 Jitter, Sync, TR(Time Refine), Message, Propagation Delay로 구성되어 있다. Jitter는 송-수신단 사이에서 난수 파형을 발생시켜 항재밍 효과를 제공한다. Sync와 TR은 미리 결정된 펄스 기호 패킷으로 구성되어 있으며, 수신자가 신호를 인지하고 동기화하기 위하여 사용된다. 다음으로 Message(Header + Data)와 Propagation Delay가 따라온다.

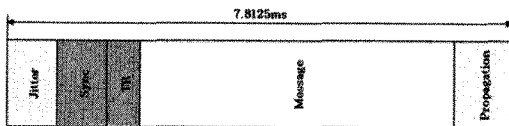


그림 2. Link-16 Time Slot 구조

III. 제안하는 전술데이터링크 프로토콜

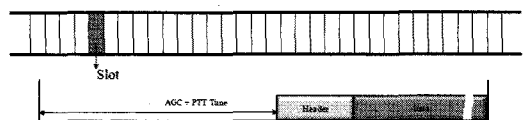
본 장에서는 1장에서 서술한 Link-K 기본형(음성통신 무전기 활용)에 Link-16의 TDMA 기술 적용 시 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 한국군의 전

술 작전환경을 분석하고, Link-K에 적합한 Dynamic TDMA 프로토콜을 제안한다.

3.1 한국군의 전술작전 환경

한국형 합동전술데이터링크 체계는 지상/해상 근접항공지원(CAS: Close Air Support) 작전, 방공작전, 합동공중공격 작전 등 주요 합동작전을 지원할 수 있어야 하며, 작전에 참여하는 유닛은 역할에 따라 CU(Center Unit), C2U(Command and Control Unit), JU(Joint Unit)으로 간략히 분류 된다. CU는 합동연동 통제소로 전술정보의 종합적인 관리와 분배를 담당한다. CU는 센서로 획득한 트랙정보, 트랙관리 메시지 등의 전술정보를 작전에 참여하는 모든 유닛에게 주기적으로 전송하며, 전체 트래픽에서 가장 높은 비율을 차지한다. 작전에 필요한 핵심적인 전술정보로서 이를 충분히 전송할 수 있도록 보장되어야 한다. C2U(공중/지상/해상)는 작전에 참여하는 모든 유닛에게 직접적인 작전수행 명령을 하달하는 역할을 담당한다. 전술정보는 미션할당, 유닛 컨트롤 메시지 등 명령 메시지와 자함정보(노드 위치 정보) 등이 있으며, 주기적 또는 상황에 따라서 전송한다. 우선순위가 높은 전술정보로서 근실 시간 전송과 정보의 신뢰도가 보장되어야 한다. JU는 작전에 참여하는 무기체제로 전술정보를 송수신하며, 임무를 수행하는 유닛과 임무대기 중인 유닛 등이 포함된다. JU는 명령에 대한 응답 및 보고 메시지, 자함정보, 연료 및 무장상태를 알리는 자노드 세부 정보 등의 전술정보를 전송한다. 각각의 전술정보는 작전상황에 따라 서로 다른 우선순위를 가지고 있으며, 일부 전술정보는 주기적으로 전송해야 하는 특성을 가지고 있다.

Link-K 기본형은 기존의 음성통신 무전기를 활용할 예정이며, 통신 대역폭측면에서 Link-16의 1/10 이하 수준으로 8~16Kbps 전송속도를 지원한다. 또한 음성통신 무전기 활용에 따라 전술정보 송신시 PTT(Push-to-Talk) Time이 필요하다. 이는 무전기



- AGC - PTT Time
 - Propagation Delay를 포함
 - 수신 : AGC (Automatic Gain Control)
 - 송신 : PTT (Push to Talk)
- Header
 - Sync
 - Time Refinement
 - Header
- Data
 - 1 word = 72 bit
 - 1 ~ 5 word

그림 4. 음성통신 무전기의 특성

의 기본 통화 방식으로, 상대방과 음성통신을 할 때 통화가 가능하도록 버튼조작을 하는 것이다. 이 경우 데이터 전용 단말기로 전송하는 속도와 비교하여 상대적으로 많은 무선자원을 낭비하게 된다. 그림 4는 음성통신 무전기의 특성을 나타낸 것이다.

3.2 제안하는 DTDMA 의 자원할당 프로토콜

본 논문에서는 Link-16 수준의 사용자 정보를 제공하며, 제한된 통신 대역폭에 따른 가입자 수 제한을 최소화 할 수 있는 동적 시분할 다중접속기술(DTDMA: Dynamic Time Division Multiple Access) 프로토콜의 구조를 제안한다.

Link-16 TDMA는 하나의 Frame을 1,536개의 Time Slot으로 나누고 전송정보를 전송하고 있다. 하지만 음성통신 무전기를 활용하는 Link-K 기본형은 전송정보를 전송하기위해 무선자원에 접근시 매번 PTT Time의 Overhead를 필요로 한다. 이는 8word(1word=72bit)의 전송정보 전송시 전체 통신 시간의 약 80%에 해당하며, 무선자원의 낭비로 이어진다. 이러한 낭비를 방지하기 위해 한 번의 전송 기회를 얻었을 때 최대한 많은 전송정보를 전송함으로써 자원의 손실을 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Link-16의 구조와는 다른 Downlink 구간과 Uplink 구간을 나눈 새로운 구조를 제안한다.

그림 5는 제안하는 동적 시분할 다중접속 프로토콜의 Frame 구조를 나타낸 것이다. Downlink 구간은 전체 트래픽에서 가장 높은 비율의 전송정보를 전송하는 CU에게 Overhead를 최소화하며, Link-16 수준의 사용자 정보를 제공하기 위한 것이다. Uplink 구간은 C2U 또는 JU에게 고정 자원을 할당해주어 주기적으로 전송하는 자함정보와 작전의 상황에 따라 간헐적으로 전송하는 전송정보 전송을 보장해 주기 위한 것이다. Uplink 구간의 Dynamic Time Slot은 제한된 통신대역폭으로 인하여 가입자 수 제한을 최소화하기 위한 것으로 고정 Time Slot을 할당 받지 못한 유닛에게 전송정보 전송 기회를 제공하기 위한 것이다. Dynamic Time Slot의 할당과 무선자원 접근방법은 무선통신망의 효율과 직접적인 관련이 있다. 고정 Time Slot을 할당 받지 못한 유닛이 없을 경우 Dynamic Time Slot은 무선자원의 효율을 감소시키며, 고정 Time Slot을 할당 받지 못한 유닛이 많을 경우 Dynamic Time Slot이 작으면, 무선망 접근 제한이 커지게

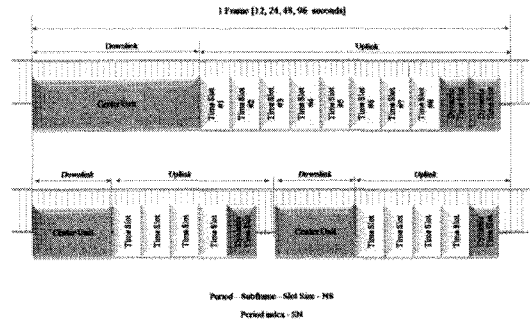


그림 5. Proposed Dynamic TDMA Frame 구조

되어 유닛의 전송기회가 감소하는 문제점이 있다. Downlink 구간과 Uplink 구간을 가지는 Frame은 전송작전에 참여하는 유닛이 요구하는 최소한의 전송주기에 따라서 한 개의 Period를 여러 개의 Subperiod로 나누는 구조를 가질 수 있다. 이는 공중 유닛의 경우 12초, 지상 유닛의 경우 24초, 해상 유닛의 경우 48초 주기로 자함정보를 전송할 수 있도록 보장하기 위한 것이다.

그림 6은 동적 시분할 다중접속 프로토콜의 Slot Size를 나타낸 것이다. Slot Size는 Downlink 구간과 Uplink 구간이 다르게 정의하고 있으며, 하나의 Slot은 복수개의 더 작은 Minislot으로 구성되어있다. Link-16 TDMA 프로토콜은 하나의 Slot에 한 개의 전송정보만을 전송하는 반면에 제안하는 프로토콜은 할당받은 자원이 수용할 수 있는 범위에서 복수개의 전송정보를 전송할 수 있도록 하고 있다. 이는 각 유닛이 전송정보를 전송하기위해 발생하는 Overhead를 최소화하기 위해 전송기회를 제한하였기 때문이다. 따라서 Downlink 구간과 Uplink 구간의 Slot Size는 각 유닛이 생성하는 트래픽 양을 고려하여 한번 전송 기회를 가졌을 때 가능한 많은 전송정보를 전송할 수 있도록 보장해야 한다.

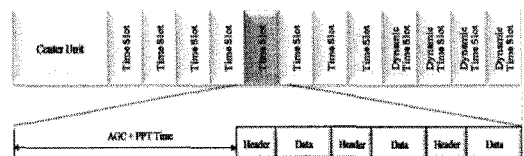


그림 6. Slot Size

3.3 Dynamic Time Slot 활용방안

Dynamic Time Slot의 매체접근제어(MAC: Media Access Control) 방식은 자원할당의(Resource Allocation) 문제로 관련 연구가 상당히 오랜 기간

1) 유닛의 숫자가 적어 고정할당을 하고 남은 Uplink 구간의 Slot이 있다면 CU가 Downlink로 활용할 수 있다.

진행되어왔다. 본 논문에서는 대표적인 방법으로 경쟁방식의 Random Access와 비경쟁방식의 Round Robin을 적용하여 실험하였으며, 두 가지 방법 모두 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛이 전송정보를 전송할 수 있도록 보장하고 있다.

그림 7은 Random Access 방식일 때 Dynamic Time Slot 접근을 나타내고 있다. 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛들이 전송할 전송정보를 가지고 있을 경우 복수 개의 Dynamic Time Slot 중에서 임의로 하나의 Dynamic Time Slot을 선택하여 전송하는 방식이다. 이는 전송하고자 하는 유닛이 많을 경우 충돌 발생이 높아질 수 있으며, 전송 신뢰성이 낮아지는 문제점을 가지고 있다. 반면 전송작전의 환경에 따라 새롭게 추가되는 유닛이 쉽게 무선자원을 활용하여 전송정보를 전송할 수 있다. Random Access 방식은 전송할 전송정보가 거의 없으며, 산발적으로 발생할 때 적합하다.

그림 8은 Round Robin 방식일 때 Dynamic Time Slot 접근을 나타내고 있다. 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛들이 CU로부터 Dynamic Time Slot을 임시적으로 할당 받아 전송정보를 전송하는 방식이다. 이는 CU가 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛을 따로 관리해야 하며, Downlink 구간에서 어떠한 유닛이 Dynamic Time Slot을 사용할지를 결정한 후 Control Message를 전송해야 한다. Dynamic Time Slot을 할당 받은 유닛이 전송할 전송정보가 없을 경우 자원을 낭비하게 된다. 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛이 많을 경우 근실시간 전송이 힘들며, 새로운 유닛이 쉽게 무선자원을 활용하기에는

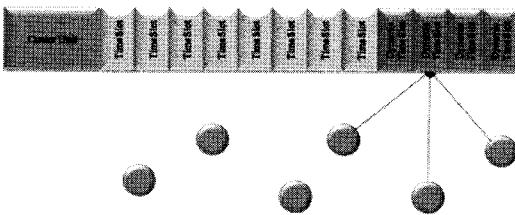


그림 7. Random Access 방식

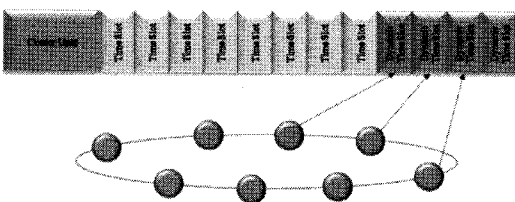


그림 8. Round Robin 방식

다소 복잡한 절차가 필요하다. 반면 전송정보 전송 시 충돌이 발생하지 않으며, 전송 신뢰성이 높은 장점이 있다.

IV. 실험 및 성능 평가

본 장에서는 제안된 동적 시분할 다중접속 프로토콜 구조의 전송데이터링크 시뮬레이션을 구성하고 성능을 분석한다.

4.1 DTDMA 시뮬레이션 환경설정

시뮬레이션 Topology는 하나의 Single Network 환경에서 한 개의 CU에 복수개의 유닛이 존재하는 Star Topology를 구성하였다. 한국군의 주요 합동작전을 고려하여 작전에 참여하는 유닛의 종류(공중 12초, 지상 24초, 해상 48초 주기로 자함정보 전송)와 수에 따라 3가지의 기본 시나리오를 작성하였다. 시나리오 1은 대다수의 지상 유닛으로 구성하였으며, 시나리오 2는 공중, 지상, 해상 유닛으로 구성하였으며, 시나리오 3은 대다수의 공중 유닛으로 구성하였다. 모든 시나리오에는 하나의 CU가 포함되어 12초 주기로 전송정보를 전송하며, 지상 유닛의 수를 증가시키며 실험하였다. 표 2는 각 시나리오의 참여 유닛을 정의한 것이다.

시뮬레이션에 적용된 음성통신 무전기 파라미터는 MIL-STD-188-220 표준을 따르고 있으며^{[5][6]}, 전송정보의 우선순위는 Urgent, Priority, Routine 3가지로 정의했으며, 전송정보 전송은 Broadcast를 기본으로 한다. Link-K 전송정보는 1~8word (1word=72bit), 헤더는 1word의 크기로 하였으며, PTT+AGC Time(Propagation Delay 포함)은 8word의 전송정보 전송에 있어 약 80%로 가정하였다. 각 유닛의 전송정보 생성주기와 길이는 표 3과 같이 정의하였다. CU는 12초주기(Constant Bit Rate)로 3word의 전송정보를 생성하며, C2U와 JU는 전송정보의 우선순위에 따라 자함정보, 명령/응답, 제어 등의 전송정보를 생성하였다. Urgent/ Priority Message에 해당하는 명령/응답, 제어, 관리 등의 전송정보는 Poisson 분포에 따라 생성하였으며, 메시

표 2. 시나리오

	시나리오1	시나리오2	시나리오3
공중유닛	2	4	8
지상유닛	8	4	2
해상유닛	0	2	0

표 3. 시뮬레이터 전송정보 생성 길이 및 발생주기

	CU	C2U, JU		
	Routine Message	Urgent Message	Priority Message	Routine Message
Message Size	3 word	4~8 word	1~3 word	3 word
Average Period	12 sec	500 sec	100 sec	12/24/48 sec

지 길이는 Random하게 생성하였다. Routine Message에 해당하는 자함정보는 유닛의 종류에 따라 각 다른 주기로 발생하였으며, 메시지길이는 3word로 정의하였다. Link-K 기본형은 DBPSK 1/2FEC, DQPSK 1/2FEC, DQPSK 3/4FEC, D8PSK 2/3FEC 등을 고려하고 있으며, Symbol Rate(모델출력 전송률) 8~16Kbps를 가진다. 본 논문에서는 DQPSK 3/4FEC를 가정하였으며, 12초 Frame 동안에 2,000개의 Minislot (6ms= 48symbol) 구조를 구성하였다. 본 시뮬레이션에서는 Bit Error와 Hidden Node Problem은 고려하지 않았다.

4.2 DTDMA 시뮬레이션 성능평가

본 시뮬레이션의 성능을 평가하기 위한 척도를 아래와 같이 정의하였다.

Average Delay는 하나의 전송정보가 생성되어 성공적으로 전송할 때까지의 평균 지연시간으로 Queueing Delay, Transmission Delay, Propagation Delay를 포함한다.

$$AD = \frac{\sum(T_{ST} - T_C)}{N_{ST}} \quad (1)$$

Success Probability는 시뮬레이션 시간동안 모든 유닛이 생성한 전송정보에서 성공적으로 전송한 전송정보의 비율이다.

$$SP = \frac{N_{ST}}{N_{TotalC}} \quad (2)$$

Throughput 1은 시뮬레이션 시간동안 전송정보 전송 시간의 비율이다.

$$Throughput1 = \frac{\sum T_{MI}}{T_{TST}} \quad (3)$$

Throughput 2는 시뮬레이션 시간동안 CU의 표

적정보를 제외한 전송정보 전송 시간의 비율이다.

$$Throughput2 = \frac{\sum T_{ME}}{T_{TST}} \quad (4)$$

그림 9는 Uplink 구간의 Slot Size를 정의하기 위해서 복수개의 Minislot을 하나의 Slot으로 가정할 때 Success Probability를 도시한 것으로 무선통신망에서 CU를 제외한 시나리오 1을 실험 한 것이다. 하나의 Slot Size는 무선통신망에 접근하기 위한 PTT+AGC Time과 각 유닛에서 발생하는 트래픽 양을 고려해야하며, 식 5와 같다.

$$SS_{up} = MS_{PTT} + n * (MS_{Header} + MS_{DATA}) \quad (5)$$

본 시뮬레이션에서는 DQPSK 3/4FEC를 가정하였기 때문에 4개의 Minislot을 하나의 Block으로 정의하여 4개의 Minislot씩 증가 시키며 실험하였으며, PTT+AGC Time으로 낭비되는 Minislot은 최대 크기의 전송정보 8word를 전송하는데 있어 약 80%에 해당하는 75개의 Minislot으로 가정하였다. 82, 86개의 Minislot이 하나의 Slot으로 정의될 때 각 유닛에 생성된 전송정보는 약 88%만 전송이 가능하며, 이는 생성된 전송정보에 비하여 할당받은 무선자원이 부족하기 때문이다. 90개 이상의 Minislot이 하나의 Slot으로 정의될 때 각 유닛에 생성된 전송정보는 100% 처리할 수 있다. 98개의 Minislot이

표 4. 표기와 그 의미

표 기	의 미
T _{ST}	전송정보가 성공적으로 전송 완료한 시간
T _C	전송정보 생성 시간
N _{ST}	성공적으로 전송된 전송정보의 수
N _{TotalC}	시뮬레이션 시간동안 생성된 전송정보의 수
T _{MI}	표적정보를 포함한 전송정보 전송시간
T _{ME}	표적정보를 제외한 전송정보 전송시간
T _{TST}	시뮬레이션 시간
MS _{Period}	하나의 Period의 Minislot
MS _{PTT}	PTT+AGC Time으로 낭비되는 Minislot
MS _{Header}	Header를 전송하기 위해 필요한 Minislot
MS _{DATA}	Data를 전송하기 위해 필요한 Minislot
NP _{sub}	Subperiod 수
SCU	Downlink 구간의 Slot 수
S _{up}	Uplink 구간의 고정할당 Time Slot 수
S _{Dynamic}	Uplink 구간의 Dynamic Time Slot 수
SS _{up}	Uplink 구간의 Slot Size
SS _{CU}	Downlink 구간의 Slot Size

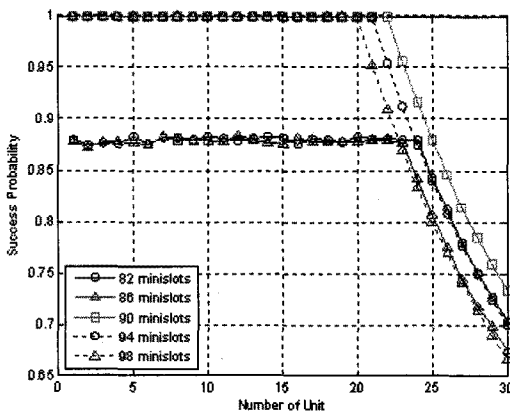


그림 9. Slot Size 비교

하나의 Slot으로 정의될 때 20개의 유닛에서 82개의 Minislot이 하나의 Slot으로 정의될 때 24개의 유닛에서 Success Probability가 급격히 감소하는 것은 유닛에게 더 이상 할당해줄 수 있는 자원이 부족하기 때문이다. 따라서 위 예에서는 각 유닛에 생성되는 전송정보를 고려하였을 때 90개의 Minislot이 하나의 Slot으로 정의하는 것이 가장 효율적이다. 하나의 Period는 Downlink 구간에서 CU의 전송정보 전송을 보장하기 위한 Slot과 Uplink 구간에서 C2U 또는 JU에게 고정자원을 할당하기 위한 Time Slot, 고정자원을 할당받지 못한 유닛에게 전송기회를 제공하기 위한 Dynamic Time Slot으로 구성되며, 식 6과 같다.

$$MS_{Period} = NP_{sub} * [(SCU * SS_{CU}) + SS_{up} * (S_{up} + S_{Dynamic})] \quad (6)$$

$NP_{sub}=1$, $S_{up}=0$, $S_{Dynamic}=0$ 일 때 하나의 Period에서 CU가 최대 전송 가능한 전송정보 수는 480개이며, 작전에 참여하는 유닛의 수가 많을수록 CU가 전송 가능한 전송정보 수는 줄어들게 된다. 한국군의 주요합동 작전을 고려할 때 작전에 참여하는 유닛이 최소한 10개가 보장되어야 하며, Link-16 수준의 사용자 정보를 제공하기 위해서 12초에 250개 이상의 표적정보를 전송해야 한다면, Downlink 구간이 가질 수 있는 최대 Minislot은 1,100개이다. CU가 한 번의 전송기회를 가지고 250개의 전송정보를 연속해서 전송한다면, 48개의 표적정보에 하나의 Header를 붙일 수 있으며, 식 7과 같다.

$$SS_{CU} = MS_{FIT} + (n * MS_{Header}) + (m * MS_{DATA}) \quad (7)$$

위의 실험을 통해 Link-16 수준의 사용자 정보를

제공하며, 작전에 참여하는 유닛의 전송정보 전송을 보장하기 위한 Downlink 구간과 Uplink 구간 그리고 Slot Size에 대하여 알아보았다. 이어서 본 실험에서는 제한된 통신대역폭으로 인하여 가입자 수 제한을 최소화하기 위해 Dynamic Time Slot을 Random Access 방식과 Round Robin 방식으로 운용하며 실험하였다.

그림 10, 11, 12, 13은 Dynamic Time Slot 구간을 경쟁방식의 Random Access를 적용하여 Dynamic Time Slot 수를 2개와 4개, 그리고 지상유닛의 수를 증가시키면서 실험한 것이다. Random Access 방식은 경쟁에 참여하는 유닛들이 Dynamic Time Slot 수 중 한 개를 생성하여 매체에 접근하는 방식을 적용했다²⁾. 그림 10은 Average Delay를 측정

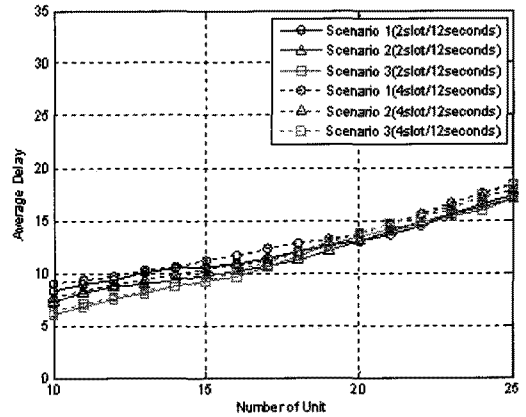


그림 10. Dynamic Slot Time 을 Random Access 활용시 Average Delay

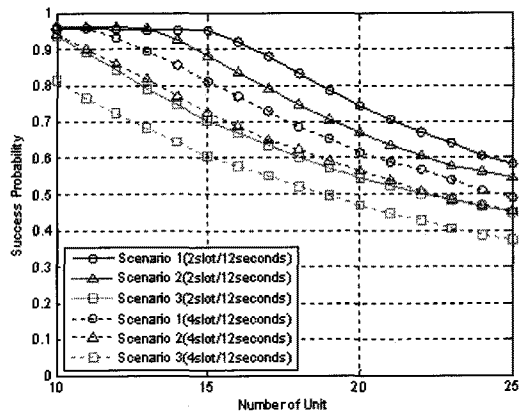


그림 11. Dynamic Slot Time을 Random Access 활용시 Success Probability

2) 간단한 방법 중 하나를 적용했으며 이 외에 다양한 경쟁접근 방식이 가능하다.

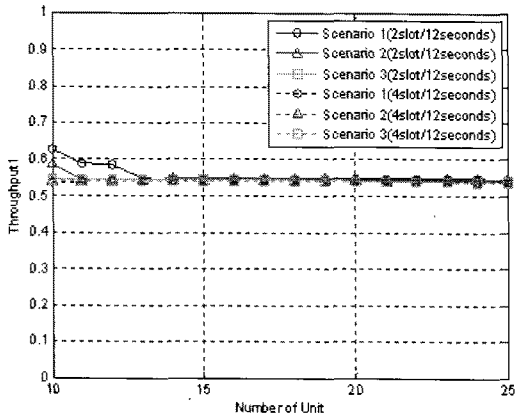


그림 12. Slot Time을 Random Access 활용시 Throughput 1

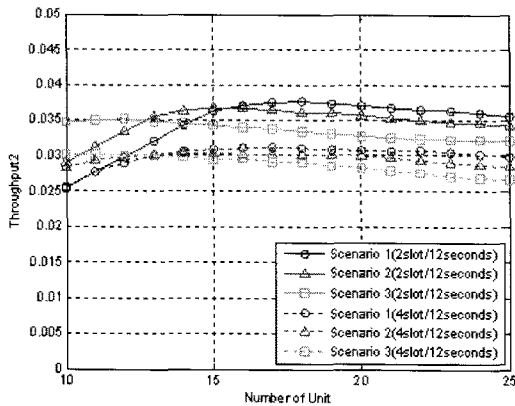


그림 13. Dynamic Slot Time을 Random Access 활용시 Throughput 2

것이다. 작전에 참여한 유닛의 수가 10개일 때 시나리오 3이 가장 낮은 Average Delay 값을 가지고 있으며 시나리오 1이 가장 높은 Average Delay를 가지고 있다. 이는 시나리오 3에서 12초에 한 번씩 자합정보를 전송하는 공중 유닛이 많이 존재하기 때문이다. 작전에 참여하는 유닛이 많아질수록 시나리오 1, 2, 3 모두 Average Delay가 증가한다. 이는 Dynamic Slot 구간에서 경쟁하는 유닛이 많아지기 때문이다. 그림 11은 시분할 시간 동안 모든 유닛이 생성한 전송정보를 전송한 비율을 표현한 Success Probability이다. 유닛수가 증가함에 따라 고정할당을 받지 못한 유닛이 Dynamic Time Slot 구간에서 경쟁을 하기 때문에 성공률이 감소한다. 또한 Dynamic Time Slot 구간이 12초에 4개가 존재할 때는 고정할당 Slot이 더욱 부족해지게 되며, 더 적은 유닛이 참여 했을 때부터 전송성공확률이 떨어지게 된다. 그림 12는 무선통신망의 성능을 표

현한 것이다. 전체 전송정보의 약 80% 이상을 생성하는 CU의 전송정보 전송은 무선 통신망의 전체 성능에 많은 영향을 미친다. 그림 13은 CU의 전송정보를 제외한 유닛의 전송정보의 성능을 측정 한 것이다. 시나리오 1, 2, 3 모두 작전에 참여하는 유닛에게 고정 Slot의 할당이 가능한 범위까지 성능이 증가하며, 이후 고정슬롯을 할당 받지 못한 유닛은 Dynamic Time Slot 구간에 경쟁을 통해 전송해야 하므로 성능이 떨어지게 된다.

그림 14, 15, 16, 17은 Dynamic Time Slot 구간을 비경쟁방식의 Round Robin을 적용하여 Dynamic Time Slot 수를 2개와 4개, 그리고 지상유닛의 수를 증가시키면서 실험한 것이다. Round Robin은 CU가 Downlink 구간에 전송정보를 전송시 Dynamic Time Slot을 어느 유닛이 이용할 지를 결정하는 Control Message를 통해 유닛에게 알리게 된다. 즉,

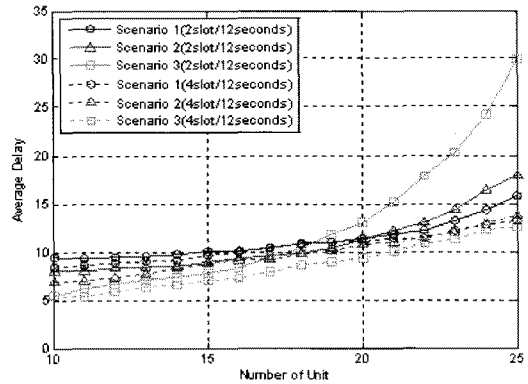


그림 14. Dynamic Slot Time을 Round Robin 활용시 Average Delay

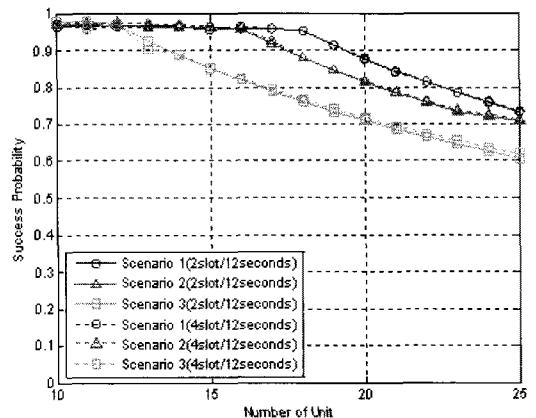


그림 15. Dynamic Slot Time을 Round Robin 활용시 Success Probability

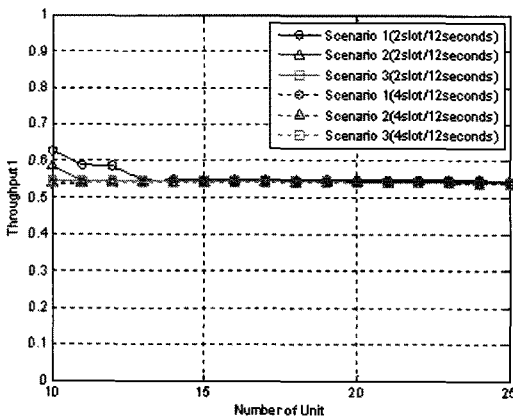


그림 16. Dynamic Slot Time을 Round Robin 활용시 Throughput 1

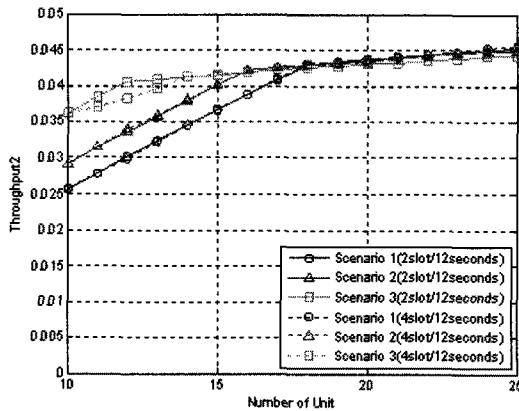


그림 17. Dynamic Slot Time을 Round Robin 활용시 Throughput 2

Round Robin 방식으로 CU가 유닛에게 할당한다³⁾. 그림 14는 Average Delay를 측정할 것이다. Dynamic Time Slot 구간을 Random Access 방식으로 접근하는 것과 같이 작전에 참여한 유닛의 수가 10개일 때 시나리오 3이 가장 낮은 Average Delay 값을 가지고 있으며, 시나리오 1이 가장 높은 Average Delay를 가지고 있다. 이는 Random Access 방식과 같은 이유이다. Dynamic Time Slot을 12초에 2개를 가지고 있는 시나리오 3의 경우 다른 시나리오와 다르게 아주 빠른 속도로 Average Delay가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 Dynamic Time Slot 구간을 이용하는 유닛이 가장 많은 반면에 Round Robin 방식으로 자신에게 돌아오는 전송 기회가 천천히 오기 때문이다. Dynamic Time Slot이

12초에 4개가 존재하는 시나리오 3은 고정 Slot을 할당 받지 못한 유닛들에게 전송 기회가 Dynamic Time Slot이 2개가 존재할 때보다 빠른 속도로 주어지기 때문에 Average Delay가 상대적으로 낮다. 그림 15는 시뮬레이션 시간 동안 모든 유닛이 생성한 전송정보를 전송한 비율을 표현한 Success Probability이다. 12초에 Dynamic Time Slot 이 2개가 존재할 때 시나리오 1은 유닛 수 18, 시나리오 2는 유닛 수 16, 시나리오 3은 유닛 수 12에서부터 빠른 속도로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 유닛이 전송정보 전송에 있어 필요로 하는 자원보다 전송기회가 천천히 돌아오기 때문이다. Random Access 방식보다 더 많은 유닛 수까지 높은 전송 성공률을 보장하는 것은 전송정보 전송시 충돌이 발생하지 않기 때문이다. Dynamic Time Slot이 12초에 2개와 4개일 때 같은 전송 성공률을 보이는 것은 12초에 2개의 Dynamic Time Slot을 가지고 있을 때는 더 많은 유닛에게 고정 slot을 할당해 줄 수 있으며, 12초에 4개의 Dynamic Time Slot을 가지고 있을 때는 Round Robin 방식으로 전송기회를 고정 Slot할당과 같은 수준으로 제공하고 있기 때문이다. 그림 16은 무선통신망의 성능을 표현한 것이다. 경쟁방식의 Random Access와 같이 전체 전송정보의 약 80% 이상을 생성하는 CU의 전송정보 전송은 무선 통신망의 전체 성능에 많은 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 그림 17는 CU의 표적정보를 제외한 유닛의 전송정보의 성능을 측정할 것이다. 시나리오 1, 2, 3 모두 고정 슬롯을 할당해 줄 수 있는 유닛 수까지 전송 성능이 향상하며, 이후 고정슬롯을 할당 받지 못한 유닛은 Dynamic Time Slot 구간에 Round Robin 방식으로 전송기회를 할당 받아 전송함으로써 전송성능의 향상속도가 다소 떨어진다. 이후 다소 천천히 전송속도가 증가한 것은 전송기회가 돌아오는 속도가 느리기 때문에 한번 전송기회를 얻었을 때 주어진 Slot Size에 최대한 많은 전송정보를 전송하기 때문이다. 이는 Average Delay 측면에서는 전송 Delay가 커지는 것과 같은 맥락이며, 전체의 성능에는 미치는 영향은 미미한 수준이다. Dynamic Time Slot 구간을 Round Robin 방식으로 이용하는 것이 Random Access 방식 보다 다소 높은 성능을 가지는 것은 충돌이 발생하지 않기 때문이다.

3) 비경쟁 방식의 할당은 본 논문에서 고려한 Round Robin 방식 외에 상당히 다양한 방법이 있을 수 있다.

V. 결 론

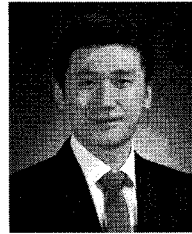
본 논문에서는 네트워크 중심전의 핵심기술인 전술데이터링크에 대한 전반적인 개념과 기술에 대해 살펴보았으며, 한국군의 전술작전환경 분석과 한국군 합동작전에 적합한 동적 시분할 다중접속 프로토콜 프레임 구조를 제안하였다. 제안한 프로토콜의 성능을 분석하기 위해 한국군 합동작전을 고려하여 시나리오를 작성하였으며, 실제 전송정보 트래픽 상황과 유사하게 우선순위를 나누어 전송정보를 모델링 하였다. 제한된 동적 시분할 다중접속 프로토콜은 Downlink구간과 Uplink구간을 나누어 CU에게 충분한 무선자원을 할당해 줌으로써 Link-16 수준의 사용자 정보를 제공할 수 있음을 확인했으며, 제한된 통신 대역폭으로 인한 가입자 수 제한을 최소화하기 위하여 Dynamic Time Slot을 두어 무선통신망에 새로운 유닛이 쉽게 접근할 수 있음을 보였다. 추후 연구 방향으로는 한국형 전술데이터링크 체계 완성형(데이터통신 전용 모뎀)에 적합한 전술데이터링크 프로토콜 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 박형원, 노홍준, 임재성, “한국형 합동전술데이터링크 구축을 위한 Link-16 PHY/MAC 기술 분석”, 한국통신학회지, Vol.26, No.3, pp.60-68, 2009.
- [2] 김한동, 최태봉, “전술데이터링크 기술 표준화 동향”, 한국통신학회지, Vol.24, No.1, pp.7-14, 2007.
- [3] 김종성, 김상준, 임만엽, “전술데이터링크 기술 소개 및 개발 동향”, 정보과학회지, 제25권 제9호, August. 2007.
- [4] Understanding Link-16: A Guidebook for New User, Northrop, Grumman Corporation, San Diego, CA, September. 2001.
- [5] MIL-STD-188-220D “Interoperability Standard for Digital Message Device Transfer Subsystems,” 29 September 2005.
- [6] MIL-STD-188-220C Protocol Parameters and Values.
- [7] MIL-STD-188-220C Media Access Configuration Parameters and Parameter Values.

박 창 운 (Changun Park)

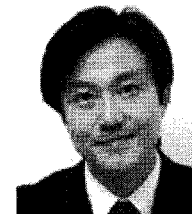
준회원



2008년 고려대학교 전자및정보공학과 학사
 2010년 고려대학교 전자정보공학과 공학석사
 2010년~현재 한국전기연구원 연구원
 <관심분야> 무선네트워크, 센서네트워크, 전송통신, 유헬스

김 태 곤 (Taekon Kim)

정회원



2001년 Pennsylvania 주립대학 전자공학 공학박사
 2001년~2002년 인텔연구소
 2003년~2004년 삼성 디지털 미디어 연구소
 2005년~현재 고려대학교 전자및정보공학과 부교수
 <관심분야> 영상 및 통신 신호처리, 통신네트워크, 전송통신, 유헬스

임 만 엽 (Man-Yeob Lim)

정회원



1980년 연세대학교 전자공학과 학사
 1999년 충남대학교 전자공학과 공학석사
 1979년~현재 국방과학연구소 합동전술데이터링크체계단 실장
 <관심분야> 전술데이터링크, Link-K, Link-16

이 윤 정 (Younjeong Lee)

정회원



2001년 숭실대학교 정보통신전
자공학부 학사

2003년 숭실대학교 정보통신전
자공학 공학석사

2006년 숭실대학교 정보통신전
자공학 공학박사

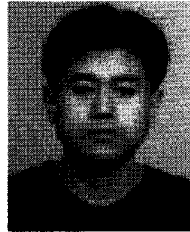
2006년~현재 국방과학연구소

합동전술데이터링크체계단 선임연구원

<관심분야> 전술데이터링크, Link-K, Link-16, Data
forwarding, 음성신호처리

김 호 (Ho Kim)

정회원



1993년 연세대학교 전자공학
공학석사

2000년 삼성전자 선임연구원

2001년~현재 삼성탈레스 통신
연구소 수석연구원

<관심분야> 전술데이터링크,
모뎀기술