Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 22 No. 11, pp. 39-47, November 2017
www.ksci.re.kr
https://doi.org/10.9708/jksci.2017.22.11.039

Software structure design for processing various tactical data

Jin Woo Kim*, Woo Sin Lee**, Seung Chan Lee***, Young Don Kim****, So Yeon Jin*****

Abstract

In this paper, we propose a message transmission processing structure for efficient use of radio resources. Existing tactical data links have more data and accumulate more data than the amount of tactical data planned according to the situation. This may result in delays in operations and additional problems. To prevent this, priority is assigned to the message and transmission is performed according to the priority on a single basis. And we design a processing structure that can update duplicate messages and delete old messages in order to prevent waste of radio resources. Experiments are conducted to verify that these structures can be implemented and applied to data links.

▸Keyword: Link-16, Link-K, TACTICAL DATA LINK

I. Introduction

네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare) 은 센서 체계, 지휘통제 체계, 타격 체계 등 전장 환경의 모든 요소들이 연계되어 네트워크 정보화를 실현함으로써 적보다 더 나은 상황인식(SA : Situation Awareness) 을 통한 정보 우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 현대의 전쟁 수행 개념이다[1-4]. 이러한 NCW를 효과적으로 수행을 하려면 네트워크를 통한 전력 및 무기체계 간 상호 데이터통신이 가능한 전술 데이터링크(TDL: Tactical Data Link)의 운용이 필수적이다. 전술 데이터링크는 감시체계, 타격체계 및 지휘통제체계와 연동하여 상황인식, 위협평가, 지휘결심, 교전통제 등과 같은 전술 작전을 수행하는데 필요한 전술자료를 실시간 및 근실시간 교환을 위해 사용되는 디지털화된 전술 네트워크 통신체계이다. 이러한 통신체계의 개발과 운용은 NCW가 현대전의 개념으로 인식됨에 따라 국가마다 필수적으로 진행되고 있다. NATO 국가들이 운용하는 데이터링크는 Link-1, Link-11, Link-16 등이며 Link-16은 JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System) 단말에 의해 운용되고 있고 JTIDS와 상호운용 가능한 Link-16 단말인 MIDS(Multifunction Information Distribution System) 를 미국과 공동 개발하였다[5]. 이 외에도 미 육군에서 개발한 가변메시지양식(VMF: Variable Message Format)은 Link-16 등의 전술 데이터링크 메시지 양식으로부터 독립되어 미 육군 표준으로 개발하여 전투부대에 단계적으로 적용시켜 오고 있다. 한국군에서는 전술데이터링크 Link-11, Link-16을 운용하고 있다. 그리고 한국군 독자적으로 가입 노드 번호 및 트랙 번호 관리가 가능한 Link-K 를 적용하는 한국형 합동전술데이터링크체계(JTDLS: Joint Tactical Data Link System) 와 미 육군에서 개발한 VMF를 한국군에 적합하도록 개조한 지상 전술데이터링크인 KVMF(Korean Variable Message Format) 체계를 운용한다[6]. 그리고 JTDLS의 항재밍 능력과 동적 시분할 다중 접속(DTDMA : Dynamic Time Division Multi Access) 등의 기능 등을 강화한 완성형 전술데이터링크 체계를 개발할 예정이다.

JTDLS 는 TDMA 형태의 한정된 무선 전송 자원 내에서 데이터를 송수신 처리해야 한다. 그러나 상황에 따라 계획된 전술데이터의 양보다 많은 추가적인 데이터가 발생하는 경우가 있다. 그리고 무선 네트워크의 상태로 인한 전송 실패와 그로 인

• First Author: Jin woo Kim, Corresponding Author: Jin woo Kim
*Jin woo Kim (stcjinu.kim@hanwha.com), Hanwha Systems
**Woo Sin Lee (woosin.lee@hanwha.com), Hanwha Systems
***Seung chan Lee (chanyi@add.re.kr), Agency for Defence Development
****Young Don Kim (doney.kim@hanwha.com), Hanwha Systems
*****So Yeon Jin (soyeon.jin@hanwha.com), Hanwha Systems
• Received: 2017. 10. 16, Revised: 2017. 10. 23, Accepted: 2017. 11. 01.

한 네트워크 동기 절차 과정의 반복 등으로 전술 데이터의 적체가 예상된다. 이로 인하여 작전 수행의 지연이 생기고 수행의 지연으로 인한 추가적인 문제까지도 발생할 수 있다. 따라서 전술 데이터링크는 이러한 문제점을 방지하기 위해 무선 자원의 효율적 사용을 위한 메시지 송신 처리 구조가 필요하다.

메시지의 사용 목적 등에 따른 중요도를 고려하여 우선순위를 부여하고 이를 기반으로 우선순위에 따른 송신이 가능해야 한다. 또한 무선 자원의 낭비를 방지하고 노후화된 정보로 인한 작전 수행의 오류를 방지하기 위하여 중복 메시지 갱신 및 노후화된 메시지 삭제가 가능한 처리 구조를 설계한다. 이와 같은 구조를 설계 및 개발하는 것을 본 논문에서 제안한다.

위와 같이 기존의 데이터링크 체계의 단점을 보완하여 설계한 메시지 처리 구조를 검증하기 위해 데이터링크 모뎀과 연동할 네트워크 관리 소프트웨어 시뮬레이터와 메시지 처리기 소프트웨어 시뮬레이터를 제작하였다. 네트워크 관리 소프트웨어 시뮬레이터는 전술 데이터링크 단말 간 통신을 위한 네트워크 설정을 하기 위한 용도이다. 메시지 처리기 소프트웨어 시뮬레이터로는 Link-K 메시지를 생성하고, 메시지 송신/수신 내역을 도시하여 그 결과를 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 개발 중인 전술 데이터링크의 기반이 되는 Link-K 의 주요 메시지들과 TDMA 기반의 통신 구조, 전술 데이터링크의 구성에 대해 살펴보며 3장에서는 설계한 메시지 송신 처리 구조에 대해서 설명을 진행하고 4장에서는 구현과 실험을 통하여 3장에서 설명한 구조를 적용할 수 있는지 분석한다. 마지막으로, 5장에서는 결론 및 향후 계획을 논의한다.

II. Preliminaries

1. Related works

Link-K 메시지는 Link-16 메시지를 포함한다. 그리하여 그 특성과 정보에 따라 분류한 Link-16 메시지의 타입 역시 Link-K 메시지에 적용된다. 본문에서 전술 데이터링크의 메시지 처리 구조에 대해 설명하기 전에 전술 데이터링크의 프로토콜인 Link-16 의 전반적인 내용에 대하여 연구하였다. 또 전술 데이터링크의 메시지 처리 구조에 대한 이해를 돕기 위해 데이터링크 단말을 중심으로 한 체계 구성을 연구하였다.

1.1 Outline of Link-16

한국군이 운용하는 Link-K는 미군이 운용하는 Link-16의 운용개념과 메시지 프로토콜을 기반하여 상호 운용 가능하도록 개발한 표준이다. 미군이 운용하는 Link-16은 운용개념 정립, 단말기 개발, 체계통합(SI) 수행의 3가지 요소를 통합하여 구현된 표준이다. 운용개념의 관점에서 미군과 NATO의 전투기 간에 상호운용이 가능한 데이터통신의 필요성이 오랫동안 제기되었다. 이러한 필요성에 의해 나온 개념이 TADIL(Tactical Digital Information Link)인 Link-16이다. Link-16은 특히 상황인식(SA)과 지휘통제(C2)에 관련된 전술 데이터를 실시간으로 교환해야 하는 방공작전에서 긴요하게 운용되고 있다. 미군에서는 현재 전술 데이터링크를 통해 다수의 지휘통제 및 무기체계를 연동하고 있으며, 각 군단 간 표준화된 메시지를 사용하여 합동작전에서도 상호간에 전술 데이터를 공유 및 교환할 수 있도록 정의하고 있다[7].

1.1.1 Link-16 Messages

Link-K는 Link-16 가입 노드와 합동 작전이 가능한 프로토콜이기 때문에 Link-16의 메시지를 포함한다. Link-16 메시지의 포맷은 특정화되어 있다. 이러한 메시지는 필드들의 집합으로 구성되고 각각의 필드들은 미리 정의된 비트로 구성되어 Link-16을 통해 J-series 메시지로 정의된다. J-series 메시지는 5비트의 크기를 가진 32개의 label 과, label의 하부 구조로 3비트 크기를 가진 8개의 sublabel 의 조합으로 총 256개의 메시지를 정의할 수 있다. 이러한 방법으로 정의된 메시지들은 각각의 작전에 따라 세분화하여 메시지를 분류해서 구분할 수 있다. 그리하여 메시지의 구성은 전술적 운영으로 크게 13가지의 임무로 구분할 수 있고 그 중 주요 전술 메시지는 PPLI(Precise Participant Location and Identification), 감시 메시지, 무기 관리, 그리고 제어 메시지가 있다.

Table 1. Major J-Series Messages

J-Series type	J Message
PPLI	J2.2 AIR PPLI
	J2.3 Surface PPLI
	J2.4 Subsurface PPLI
	J2.5 LAND POINT PPLI
	J2.6 LAND TRACK PPLI
Surveillance	J3.1 Emergency Point
	J3.2 Air Track
	J3.5 Land Point/Track
Weapons coordination and management	J9.0 Command
	J9.1 Engagement Coordination
	J10.2 Engagement Status
Control	J12.0 Mission Assignment
	J12.4 Controlling Unit Change
	J12.6 Target Sorting

표 1에 Link-16의 주요 메시지들을 타입 별로 분류하였다. PPLI 정보는 전술 데이터링크의 가입 노드의 위치, 위치의 정확도, 경로, 속도, 적아 식별, 플랫폼 및 시스템 상태 등의 정보를 포함한다. 감시(Surveillance) 정보는 가입 노드가 센서로 탐지하거나 운용자가 수동으로 생성할 수 있으며, 트랙 번호, 범주, 위치, 경로, 속도, 플랫폼 종류 등을 포함한다. 무기 관리(Weapons coordination and management) 와 제어(Control) 메시지는 데이터링크가 송신 직후 MR(Machine Receipt) 을 수신하여야 한다. MR 이란 무기 관리/제어 메시지에 대한 Ack 메시지의 첫 단계이다. 일정 시간이 지나도 MR 을 수신하지 못한 노드는 대기하고 있던 해당 메시지를 재전송한다. 표 1의 메

시지들은 데이터 특성에 따른 처리들이 필요하여 4장에서 실험 시 사용할 메시지들이다.

1.1.2 TDMA Frame structure

전술 데이터링크는 시분할 다중 접속(TDMA)를 사용하고 1 타임슬롯은 최대 12 word(1 word = 9 byte) 크기의 패킷을 송수신할 수 있어 자원의 효율성이 요구된다. 그림 1의 TDMA 프레임과 타임슬롯을 보면 Link-K 타임슬롯 할당은 매 12초마다 반복되는 프레임으로 구성되어 있다. 1 프레임은 1536 타임슬롯을 포함하고 1 타임슬롯은 7.8125 msec 의 시간을 사용한다. 타임슬롯은 TSB (TimeSlot Block)로 그룹화 되고 TSB는 “세트 - 시작 타임슬롯 넘버 - RRN(Recurrence Rate Number) ” 으로 정의된다. 1536 개의 타임슬롯은 각 512 타임슬롯의 3개의 세트(A, B, C)로 되어 있다. 1 프레임 내에 동일한 간격으로 타임슬롯을 할당하는데, RRN 이 6이면 프레임 당 1개의 타임슬롯을 할당하고 RRN 이 1씩 증가할 때마다 타임슬롯은 2배씩 늘어난다[8].

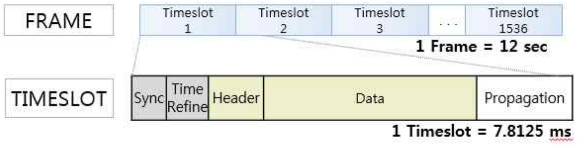


Fig. 1. TDMA Frame structure

이러한 타임슬롯은 종류가 있는데 Dedicated 타임슬롯, Contention 타임슬롯, Relay 타임슬롯이 있다. Dedicated 타임슬롯은 표 1과 같은 J-Series 메시지들을 송수신한다. 한편 Contention 타임슬롯은 노드 간의 동기화를 위해 프레임 당 1 회의 RTT 메시지와 동적 TDMA를 위한 타임슬롯 요구, 할당, 반납 등의 메시지들을 송수신한다. 그리고 relay 타임슬롯은 중계 노드로 설정된 가입 노드에게만 할당되고 중계 노드는 타 노드로 부터 수신한 메시지들을 relay 타임슬롯을 사용하여 중계 송신한다. 4장에서 실험 시 TSB 를 각 단말에 중복되지 않게 할당하여 네트워크 설정을 한다.

1.2 Constitutuin of Tactical Data link Terminal

그림 2는 전술데이터링크 단말의 메시지 연동 구성을 나타내었다. 단말 내부의 주요 구성품은 모뎀, 단일 기판 컴퓨터(SBC: Single Board Computer), 암호모듈 (Encryption module)이 있다. SBC에는 메시지 처리기 소프트웨어(Message processing Software) 와 상태관리 소프트웨어(Status Manager Software) 가 탑재되어 있다. 메시지 처리기 소프트웨어는 Link-K 메시지의 생성 및 수신 후 처리를 하고, 상태관리 소프트웨어는 단말을 포함한 데이터링크 체계의 상태 관리를 한다. 단말의 외부에는 운용자 PC(Operator PC) 가 있어서 네트워크 관리 소프트웨어(Network Manager Software)를 운용한다.

네트워크 관리 소프트웨어는 데이터링크 체계의 네트워크 운용 정보 설정 및 네트워크 제어를 한다. 단말의 모뎀 소프트웨어는 메시지 처리기 소프트웨어와 Link-K 메시지를 연동하고, 네트워크 관리 소프트웨어의 네트워크 운용 정보와 네트워크 시작/종료를 수신하여 모뎀에 설정을 한다. 또한 상태관리 소프트웨어에게 주기적으로 단말의 상태를 전달하고, 데이터링크 체계의 타 CI 들에 대한 상태정보를 수신한다.

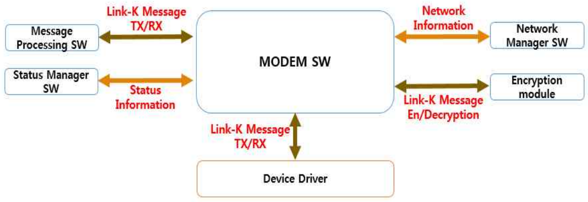


Fig. 2. Configuration of the message interface for Tactical Data Link Modem

III. The Proposed Scheme

본론에서는 서론에서 제기한 전술 데이터 처리에 필요한 기능들을 구현하기 위하여 관련연구에서 알아보았던 Link-K 메시지를 분류하고 관리하는 메시지 큐들을 설계하였다. 그리고 그러한 큐 간의 우선순위와 각각의 큐가 관리하는 메시지들의 특성에 적합한 처리를 설계하였다.

1. Classification of Link-K messages

Link-K 메시지의 각 특성에 맞는 처리를 위하여 메시지를 분류하여 관리하도록 메시지 큐를 설계하였다. 표 1의 메시지 종류 및 타임슬롯의 종류에 따른 큐를 두고 각각의 큐가 관리할 메시지들에 대하여 표 2와 같이 나타내었다.

Table 2. Queuing according to timeslot type

Timeslot Type	Processing Queue	Messages in Queue
Dedicated Timeslot	Retry queue	Weapons coordination and management type messages
	MR queue	MR type messages
	Priority queue	PPLI type messages
	Normal queue	Surveillance type messages and etc.
Contention Timeslot	TS queue	DTDMA messages
Relay Timeslot	Relay queue	Received messages

Dedicated 타임슬롯의 경우 4개의 큐를 처리하며, 각 큐 간의 우선순위를 정하였다. 재전송 큐가 관리하는 무기 관리/제어 메시지는 MR 을 수신하지 못하면 최대 3회의 송신을 해야 한다. 3회의 송신 이후에도 수신하지 못하면 이 메시지의 응답은 기대

할 수 없다. 따라서 가장 높은 우선순위를 두었다. 두 번째는 MR 큐이다. 전술 데이터링크 가입 노드가 무기 관리/제어 메시지를 수신하면 즉시 해당 MR 메시지를 생성해 내어 1 프레임 안에 송신을 해야 되기 때문이다. 그 다음은 PPLI 메시지를 관리하는 우선순위 큐이다. PPLI 는 자 노드의 위치, 속도, 경로 등의 정보가 있어서 노드 간의 위치, 경로 파악에 중요하다. 그래서 감시 메시지를 관리하는 일반 큐보다 우선순위가 높다.

TS 큐는 동적 TDMA 기능에 필요한 타임슬롯 요구, 타임슬롯 응답, 타임슬롯 반납 메시지들을 관리한다. 이들 메시지는 dedicated 타임슬롯이 아닌 contention 타임슬롯에 의해 송수신된다. 노드의 역할이 DTDMA 가입노드일 경우, 운용 초기 네트워크 관리 소프트웨어로부터 할당받는 dedicated 타임슬롯이 없기 때문에, 타임슬롯 요구 메시지를 contention 타임슬롯에 실어 송신한다. 또, 운용 중간 타임슬롯 추가 요구 메시지 역시 dedicated 타임슬롯이 부족하여 요구하는 것이기 때문에 contention 타임슬롯을 이용한다.

릴레이 큐는 중계 노드만이 운용하는데, 수신한 모든 메시지를 복호화한 상태로 삽입을 한다. 중계 노드로 지정되면 타임슬롯 중 relay 타임슬롯을 할당받고 이 relay 타임슬롯이 도래하면 릴레이 큐에서 메시지들을 추출하여 송신 처리한다. 이 때, 릴레이 큐 내에서는 메시지 간의 우선순위에 관계없이 시간 순서에 따라 메시지를 추출한다.

재전송 큐의 경우, MR 을 수신해야 하는 무기 관리/제어 메시지들을 관리한다. 한 번 큐에서 추출하여 송신을 한 메시지는 송신 직후 시간을 카운트하여 1 프레임(12초) 이내에 MR 을 수신하는 것이 일반적인 경우이다. 하지만 무선 네트워크의 상태나 기타의 이유로 MR 을 수신하지 못했을 경우, 같은 메시지를 재전송 큐에 다시 삽입을 한다. MR 을 계속 수신하지 못할 경우 이러한 방식으로 총 3번의 송신 처리를 진행한다.

MR 큐는, 무기관리/제어 메시지를 수신하였을 때, 그 메시지를 똑같이 복사하고 “Receipt/compliance” 필드에 MR 임을 표시한 뒤 MR 큐에 삽입한다. 그리고 dedicated 타임슬롯이 도래하였을 때, 큐에서 추출하여 송신처리를 한다. 통신 상태나 혹은 여타의 이유로 MR 이 상대 노드까지 전달이 안 되었다면 무기관리/제어 메시지를 송신하였던 노드는 동 메시지를 다시 송신할 것이다. 수신 노드는 이 메시지를 수신 시마다 MR 큐에 MR 메시지를 삽입하여 송신 처리를 한다.

우선순위 큐는 PPLI 메시지들을 관리한다. 표 1에 보면 PPLI 의 종류가 몇 가지 있는데 노드의 플랫폼 종류에 따라 메시지 처리기 소프트웨어에서 생성하는 PPLI 의 종류가 다르다.

일반 큐는 앞서 서술한 메시지들 외에 트랙 번호를 가진 트랙 메시지와 같은 표 1의 감시 메시지 등을 관리하고 중요도가 가장 낮다.

2. Usage of Message queues

표 3을 보면 PPLI 와 감시 메시지들이 주기적 송신을 하는 것을 알 수 있다. 해당 메시지들이 주기적 송신을 하는 이유는 운용병이 식별해야 하는 자 노드나 특정 트랙 번호의 위치, 경로 정보가 운용 중 계속하여 변경되면서 이러한 정보를 타 노드에게 알려야 하기 때문이다. 따라서 이러한 주기적 메시지들이 타임슬롯의 사용량이 큼에 따라 그것을 효율적으로 운용할 방안이 필요하다.

Table 3. Period of the messages for periodic transmission

J Message	Period(seconds)
LKJ2.2 AIR PPLI	12
LKJ2.3 Surface PPLI	12
LKJ2.4 Subsurface PPLI	12
LKJ2.5 LAND POINT PPLI	12
LKJ2.6 LAND TRACK PPLI	12
LKJ3.2 Air Track	12
LKJ3.3 Surface Track	12
LKJ3.7 Electronic Warfare Product Information	48

운용 중에 큐에서 대기 중인 메시지가 송신 주기를 초과할 가능성이 있다. 정해진 송신 주기의 3배의 시간이 지나면 이러한 메시지는 삭제하여 타임슬롯의 낭비를 막는다. 삭제가 되었지만 그 뒤로 같은 메시지가 새로운 정보를 포함하여 생성되기 때문에 관리할 필요가 없다. 그리고 새로 생성된 메시지를 큐에 삽입할 때 큐에서 대기하고 있는 메시지 중 동일한 label 과 sublabel, STN(Source Track Number)을 가진 메시지가 존재하면 데이터를 덮어씌우는 형식으로 갱신을 한다. 이러한 방식으로 항상 최신의 정보로 갱신을 해주어 타임슬롯이 도래하면 최신의 정보를 가진 메시지만이 존재하여 이를 송신 처리한다.

타임슬롯이 도래하면 우선적으로 타임슬롯의 종류를 식별한 후, 표 2와 같이 해당 타임슬롯에 매칭하는 메시지 큐에서 메시지를 꺼내어 송신 처리를 한다. 이 때, 한 번에 송신 가능한 메시지의 용량은 12 word 이므로 여러 개의 메시지가 대기 중일 경우 타임슬롯의 효율적 사용을 위해 12 word 이하로 메시지들을 조합하여 하나의 패키지를 만들어서 송신한다. 가령, 재전송 큐에 4 word 크기의 LKJ9.0 메시지, 우선순위 큐에 6 word 크기의 LKJ2.2메시지가 1개씩 대기 중이라 하면 dedicated 타임슬롯이 도래했을 때 재전송 큐에서 LKJ9.0을 추출하고, 이것과 우선순위 큐에 있는 LKJ2.2와의 크기 합이 12 word 이하이므로 우선순위 큐에 있는 LKJ2.2도 추출하여 두 메시지를 조합하여 송신 처리한다.

IV. Verification

본론에서 설계한 내용을 구현하여, 서론에서 제기한 기능들이 보완되었는지 확인하기 위해 테스트베드를 구축 후 실험 시나리오를 구성하여 이를 검증하였다.

1. Implementation

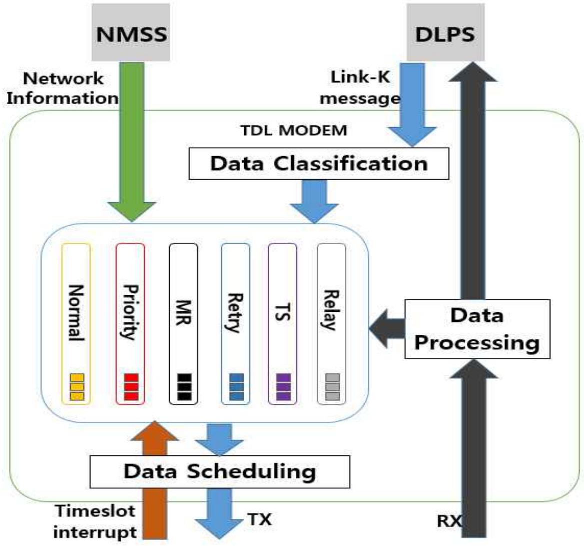


Fig. 3. Data processing structure

전술 데이터링크 단말 내부의 모뎀에 본론에서 설계한 데이터 처리 구조를 소프트웨어로 구현하였다. 단말이 할당받은 타임슬롯의 시간이 되면 하드웨어가 인터럽트를 발생시키고 그 때 소프트웨어의 데이터 송신처리가 시작된다. 메시지를 수신할 때 역시 모뎀 하드웨어가 무선 수신을 하여 인터럽트를 발생시키고 소프트웨어가 수신 처리를 한다.

전체적인 메시지 송수신 처리의 구조도를 그림 3에 나타내었다. 메시지 처리기 소프트웨어로부터 수신한 Link-K 메시지를 메시지 타입에 따라 해당하는 메시지 큐에 삽입한다. Link-K 메시지는 여러 개의 메시지가 조합하여 송신할 수 있어서 이를 파싱해야 한다.

그 뒤 메시지를 큐에 삽입을 할 때 대기 중인 메시지 중 송신주기의 3배를 초과한 것이 있다면 삭제를 하고, label, sublabel, STN 이 같은 메시지를 찾았다면 이 메시지를 새로 생성된 것으로 갱신한다. 감시 메시지의 경우 STN 이 같아도 메시지 내부에 있는 TN(트랙 번호)이 다르면 메시지를 갱신하지 않는다. 삭제나 혹은 갱신을 하지 않았다면 메시지 타입에 맞는 큐에 삽입을 한다. 이것은 표 4의 의사 코드로 요약하였다.

네트워크 관리 소프트웨어로부터 네트워크 운용정보를 수신하면 단말이 DTDMA 가입 노드 역할일 경우 타임슬롯 요구 메시지를 TS 큐에 삽입한다. DTDMA 가입 노드는 최초의 네트워크 운용정보에 타임슬롯이 할당되어 있지 않고 운용 중에 타임슬롯을 요청하고 할당 받아야 한다. 타임슬롯이 도래하면 타임슬롯의 종류에 따라 관련 큐에서 메시지를 추출하여 송신 처리한다. Dedicated 타임슬롯이라면 재전송 큐, MR 큐, 우선순위 큐, 일반 큐 순으로 메시지가 있는지 검색하여 타임슬롯이 운송할 수 있는 최대 12word 이내의 크기로 메시지를 조합하여 송신 처리를 한다. Contention 타임슬롯이라면 TS 큐를, relay 타임슬롯이라면 릴레이 큐를 검색하여 동일하게 처리한다.

타 노드로부터 수신한 메시지의 처리는 표 5의 의사 코드로 나타내었다. 타 노드로부터 수신한 메시지는 파싱을 하고 Link-K 메시지 형태로 구성한다. 이 메시지가 타임슬롯 할당 메시지라면 메시지 안에 포함된 TSB 정보로 모뎀을 설정한다. 메시지가 MR 이라면 대기하고 있던 재전송 메시지를 삭제한다. MR 메시지는 시스템에서 자동으로 보내는 ack 이기 때문에 메시지 처리기 소프트웨어로 송신하지 않는다. 메시지가 무기 관리/제어 메시지라면 MR 메시지를 구성하여 MR 큐에 삽입하고 MR 을 대기한다. 그리고 이 노드가 중계 노드라면 타 노드로부터 수신한 이 메시지를 릴레이 큐에 삽입한다.

Table 4. Pseudo code of Link-K message queuing

```
int Put_MessageQueue(new message){
    get type of new message; //find message type
    IF Update_Queue(new message)=true THEN
        return;
    ELSE
        put and store message into queue based on type;
}
int Update_Queue(new message){
    specify a message queue for it;
    WHILE(number of message in queue)
        IF stored time > expire time * 3 THEN
            delete message in queue;
        ELSE IF found same message THEN
            update message in queue with new message;
            return true;
    END WHILE
    return false;
}
```

Table 5. Pseudo code of processing received Link-K message

```
void parsing(new message){
    parsing and make up link_k message;
    IF new message = timeslot response THEN
        set TSB on modem;
    ELSE IF new message = MR THEN
        release waiting MR;
        return;
    ELSE IF new message = management or control THEN
        make up MR and put and store into MR queue;
        send new message to MsgProcessingSW;
    IF node role = relay node THEN
        put and store message into relay queue;
}
```

2. Test Environment

위에서 설계, 구현한 메시지 송수신 처리 구조를 그림 4와 같은 실험 환경을 구성하여 시뮬레이션을 하고 이를 통하여 적용 가능성을 확인하였다.

전술 데이터링크 단말은 각각 전원, 메시지 처리기 소프트웨어와 네트워크 관리 소프트웨어 시뮬레이터, 단말 상태 모니터용 PC, 유선 케이블을 연동하고 있다. 메시지 처리기 소프트웨어 시뮬레이터로 Link-K 메시지를 생성, 메시지 송수신 현황을 도시하고 네트워크 관리 소프트웨어 시뮬레이터로 네트워크 운용정보 파라미터를 단말에 설정한다. 단말(TDL Terminal) 1과

단말 2, 단말 2와 단말 3간에는 유선 케이블로 안테나가 연결되어 있다. 단말 2는 단말 1과 통신할 수 있고, 단말 3과도 가능하지만 단말 1과 단말 3은 직접적인 통신이 불가능하게 하여 단말 2의 중계 노드 역할을 모의하기 위함이다.

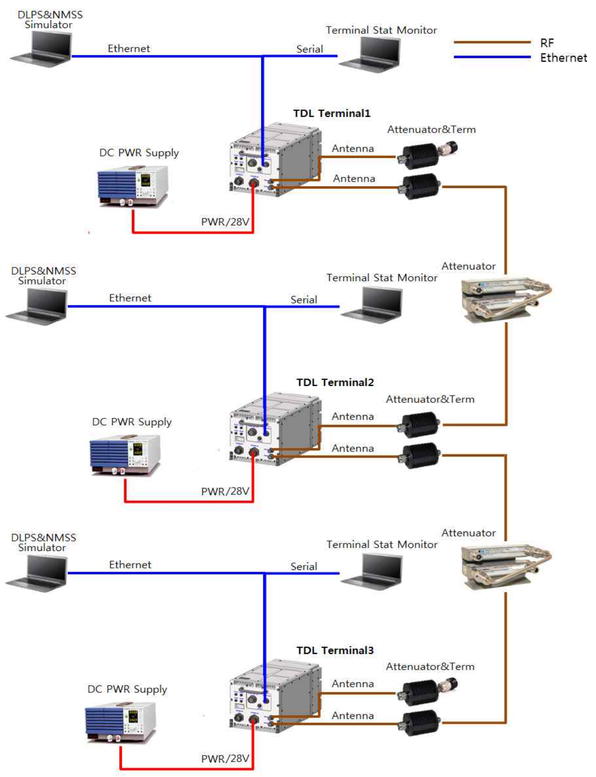


Fig. 4. Test Environment

표 6과 같이 네트워크 관리 소프트웨어 시뮬레이터로 각 단말의 네트워크 운용정보를 설정한다. 단말 1은 지상, 단말 2는 공중, 단말 3은 해상을 모의하고 단말 1은 중심국(NTR: Net Time Reference) 노드 역할, 단말 2와 3은 가입 노드이고 그 중 단말 2는 중계 역할을 한다. 중심국 역할을 하는 단말은 단말 간 네트워크 동기를 맞추기 위한 것으로, 이 단말의 시간을 기준으로 다른 단말들의 네트워크 동기화를 지원한다. STN 은 각 노드 별로 다르게 설정한다. Dedicated TSB 는 서로 중복되지 않게 설정하고 Contention TSB 는 RTT 메시지를 위해 모두 동일하게 설정한다. 그리고 Relay TSB 는 중계 역할을 하는 단말 2에 설정한다.

Table 6. Network operation Parameter

Operation parameters	TDL terminal 1	TDL terminal 2	TDL terminal 3
Node Role	NTR	TDMA Join Unit	TDMA Join Unit
STN	11111	22222	33333
Relay	No	Yes	No
Dedicated TSB	A-2-6	A-100-6	A-10-6
Contention TSB	B-0-8	B-0-8	B-0-8
Relay TSB	-	C-100-6	-

3. Test Scenario

Table 7. Information amount in scenario for simulation

	J-Message	Period(s)	Size(word)
Terminal 1	LKJ2.5	12	5
	LKJ3.2	12	7
		3	
	LKJ9.0	Event	4
Terminal 2	LKJ2.2	12	6
Terminal 3	LKJ3.2	12	7

3.1 Message handling per Time slot

타임슬롯의 종류에 따라 데이터를 처리하는 기능을 검증하는 시나리오이다. Dedicated 타임슬롯과 relay 타임슬롯에 따라 사용되는 메시지 큐가 다른지를 확인함으로써 타임슬롯의 종류에 따른 처리를 검증하였다. 이를 위해 relay 타임슬롯과 dedicated 타임슬롯의 단말 1과 연동하는 메시지 처리기 소프트웨어 시뮬레이터에서 표 7과 같이 LKJ2.5 Land point PPLI 와 LKJ3.2 Air track 메시지를 각각 12초 주기로 생성하였다. 단말 2에서는 LKJ2.2 Air PPLI, 단말 3은 LKJ3.2를 주기적으로 생성하였다. 단말 1이 단말 3이 송신한 LKJ3.2를 수신하는지 확인하고 단말 3이 단말 1이 송신한 LKJ2.5와 LKJ3.2를 수신하는지 확인하여 단말 2가 relay 타임슬롯을 사용하는지 검증하였다.

3.2 MR/Retransmission process

MR 메시지의 전달 여부에 따라 재전송 기능이 동작하는 지를 확인함으로써 MR/재전송 기능을 검증하는 시나리오이다. 이를 위해 단말 2가 정상 동작할 때와 silence mode 일 때의 동작을 비교하였다. Silence mode 로 설정한 단말은 모뎀의 신호 송출이 차단되어, 단말 2가 silence mode 가 되면 단말 1은 단말 2로부터 메시지를 수신하지 못하는 상황으로 설정되는 것이다.

단말 1은 LKJ9.0 Command 를 생성, 송신하고 단말 2가 수신하는지 확인하였다. 확인 후 단말 1이 MR 을 수신하지 못하도록 단말 2의 상태를 silence mode 로 설정하였다. 이 후, 단말 1은 LKJ9.0 을 생성하고 단말 2가 LKJ9.0을 3회 수신하는지 확인하였다.

3.3 Priority between messages and message combination

다른 종류의 메시지들을 생성하여 메시지 큐의 우선순위 순으로 메시지를 송신하는 기능과 타임슬롯 송신용량 이내로 메시지를 조합하여 송신하는지를 검증하는 시나리오이다. 단말 1에서 주기적으로 생성하는 LKJ3.2와 LKJ2.5를 동시에 송신하고 단말 2에서 이를 LKJ2.5, LKJ3.2 순으로 조합되어 있는지 확인하였다. 그 후 단말 1에서 LKJ9.0을 생성하여 LKJ2.5와 LKJ9.0을 동시에 송신하고 단말 2에서 이를 LKJ9.0, LKJ3.2 순으로 조합되어 있는지 확인하였다.

3.4 Message update/delete

주기적 송신을 하는 메시지의 정보 중 일부를 생성 시 계속해서 변경하여 메시지 큐에서 대기 중인 메시지를 갱신하는 기능을 검증하는 시나리오이다. 타임슬롯의 간격보다 메시지를 많이 생성시키기 위해 단말 1에서 LKJ3.2의 빈도수를 3초 주기로 생성하였다. 생성하는 메시지의 정보 중 “STRENGTH” 필드의 값을 계속하여 변경하였다. 단말 2에서 수신한 LKJ3.2의 필드가 가장 최신의 값을 갖고 있는지 확인하였다.

이 후, 주기적 송신을 하는 메시지가 모뎀에서 대기 중인 시간이 주기를 초과하였을 때 해당 메시지를 삭제하는 기능을 검증하였다. 이를 위해 단말 1의 LKJ3.2 생성을 중단하였다. LKJ2.5의 크기를 6 word 로 변경하여 메시지 큐에 대기 중인 LKJ3.2와 조합하지 않도록 하여 송신하였다. 1분 정도 뒤에 LKJ2.5의 생성을 중단하고 LKJ3.2의 트랙 번호를 변경하여 생성하였다. 단말 2에서 수신한 LKJ3.2의 트랙 번호가 이전과 다름을 확인하여 단말 1의 메시지 큐에서 대기 중이었던 LKJ3.2가 시간이 초과되어 삭제되었고, 새로 생성된 메시지는 큐에 삽입된 후 송신 처리되었음을 확인하였다.

4. Test and Result

4.1 Message handling per Time slot

Table 8. Received message for each terminal

	received message	STN
Terminal 1	LKJ2.2	22222
	LKJ3.2	33333
Terminal 2	LKJ2.5 LKJ3.2	11111
	LKJ3.2	33333
Terminal 3	LKJ2.2	22222
	LKJ2.5 LKJ3.2	11111

중계 노드인 단말 2는 단말 1과 단말 3에서 수신한 메시지들을 모두 릴레이 메시지 큐에 삽입하였다. Relay 타임슬롯이 도래하면 릴레이 큐에 있던 메시지들을 차례로 송신하였다. 표 8을 보면 단말 1은 단말 3에서 생성한 STN “33333” 인 메시지를 수신하였고, 단말 3은 단말 1에서 생성한 STN “11111” 인 메시지를 수신하였다. 동시에 단말 2가 생성한 STN “22222” 메시지를 단말 1과 단말 3에서 수신하였다. 이를 보고 단말 2가 dedicated 타임슬롯에는 자 노드에서 생성한 메시지를 송신하고, relay 타임슬롯에는 타 노드에서 수신한 메시지를 송신하는 것을 알 수 있었다.

4.2 MR/Retransmission process

Table 9. Number of LKJ9.0 received at terminal 2

Before silence mode	After silence mode
1	3

단말 1에서 표 7의 LKJ9.0을 생성하여 송신하였다. LKJ9.0 메시지는 표 1과 같이 무기 관리 메시지로 송신 후 MR 수신을 대기한다. 단말 2는 LKJ9.0을 수신하고 즉시 MR 을 생성하여 MR 큐에 삽입한다. Dedicated 타임슬롯이 도래하면 우선순위 큐에 있는 LKJ2.2 보다 우선하여 MR 큐의 메시지를 송신한다. 단말 1은 MR 을 수신하여 상대방이 메시지를 정상적으로 수신했음을 확인하였다. 표 9와 같이 단말 2가 LKJ9.0을 1회 수신한 것으로, MR 송신이 수행되어 동 메시지의 재전송이 이뤄지지 않았음을 확인하였다.

단말 2의 MR 메시지 송신을 차단하기 위해 단말을 silence mode 로 설정을 하였다. 단말 1에서 다시 LKJ9.0을 1회 생성하여 송신하였다. 단말 2는 동 메시지를 수신하고 MR 을 생성하여 송신 처리를 하였지만, RF 레벨에서 송신이 차단되었기 때문에 단말 1은 MR 을 수신하지 못한다. 단말 1은 MR 을 시간 내에 수신하지 못하였으므로 동 메시지를 재전송 큐에 삽입하여 dedicated 타임슬롯이 도래하면 다른 큐에 우선하여 재전송 큐의 메시지를 송신한다. 이러한 방식으로 표 9와 같이 단말 2는 동 메시지를 3회 수신함을 확인하였다.

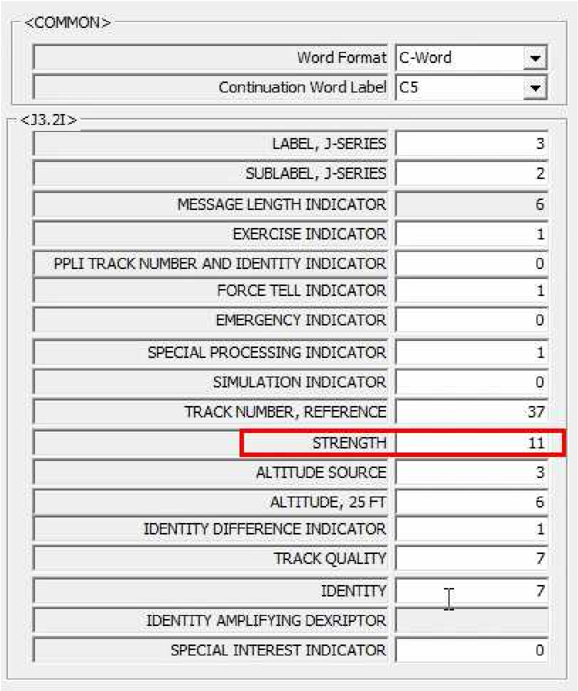
4.3 Priority between messages and message combination

단말 1에서 LKJ3.2와 LKJ2.5를 차례로 생성하여 각각 일반 큐와 우선순위 큐에 삽입을 하고 타임슬롯이 도래하면 우선순위 큐에 있는 LKJ2.5를 추출하고 일반 큐에 있는 LKJ3.2를 추출하여 두 메시지의 합이 12 word 이므로 두 메시지를 조합하여 송신을 한다. 그리하면 단말 2는 LKJ2.5와 LKJ3.2를 차례로 수신한다. 단말 2가 한 타임슬롯으로 받은 메시지를 복원하면서 메시지의 처음 부분에 있던 LKJ2.5를 메시지 처리 소프트웨어로 먼저 전달하고 나서 LKJ2.5의 뒷부분에 붙어있던 LKJ3.2 를 전달하여 근소한 시간차이가 있다. 이어서 단말 1에서 LKJ2.5와 LKJ9.0을 차례로 생성하여 송신할 때에도 재전송 큐에 있는 LKJ9.0과 우선순위 큐에 있는 LKJ2.5를 차례로 추출하여 두 메시지를 조합하여 9 word 의 메시지로 송신을 한다. 단말 2에서는 LKJ9.0과 LKJ2.5를 차례로 수신한 것을 확인하였다. 이것을 표 10에 정리하였다.

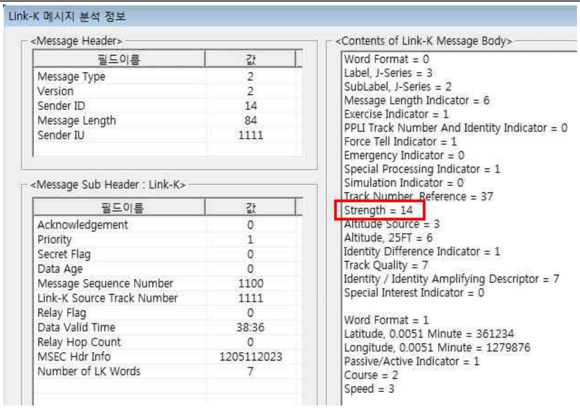
Table 10. Transmission according to priority among messages

	Order generated by terminal 1	Order received by terminal 2
1	LKJ3.2 LKJ2.5	LKJ2.5 LKJ3.2
2	LKJ2.5 LKJ9.0	LKJ9.0 LKJ2.5

4.4 Message update/delete



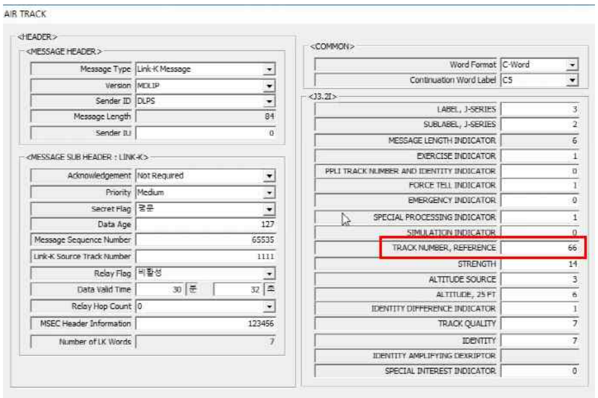
(a) LKJ3.2 message generation



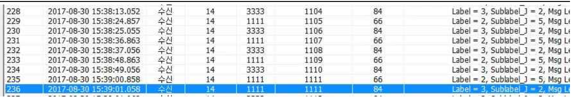
(b) Check message field

Fig. 5. Confirm message information update

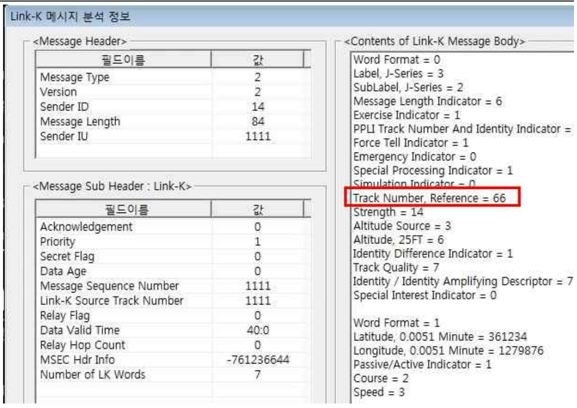
단말 1에서 12초 주기로 생성하던 LKJ3.2 메시지의 빈도수를 늘여서 3초 주기로 생성하였다. 생성하는 메시지의 정보 중 “STRENGTH” 필드를 그림 5(a)와 같이 생성할 때마다 1씩 증가하여 입력하였다. 메시지를 큐에 삽입할 때 메시지의 label과 sublabel 그리고 트랙 번호가 같은 메시지가 존재한다면 새로 생성한 메시지의 정보로 갱신을 하는 기능을 확인하였다. 단말 2에서 그림 5(b)와 같이 메시지 관리기 소프트웨어 시뮬레이터에서 수신한 LKJ3.2 메시지의 정보를 확인하였다. 메시지의 정보 중 “STRENGTH” 필드가 단말 1에서 입력한 가장 최신의 정보가 들어있음을 확인하였다.



(a) Changing LKJ3.2 Track Number of terminal 1



(b) LKJ3.2 receiving of terminal 2



(c) Received LKJ3.2 Track number of terminal2

Fig. 6. Confirm message deletion

그림 5(a) 를 보면 메시지의 트랙 번호 정보인 “Track Number, Reference” 는 “37”이다. 단말 1은 LKJ3.2의 생성을 멈추고 LKJ2.5만을 생성하였다. LKJ3.2 메시지의 송신 주기가 12초이고, 그 3배의 시간인 36초가 지나면 큐에서 삭제처리를 하는 것을 확인하기 위하여 그 뒤 그림 6(a)와 같이 LKJ3.2 메시지의 트랙 번호를 “66” 으로 변경하여 생성한다. 그림 6(b)에서 단말 2는 LKJ3.2 메시지를 수신하였고 그 메시지의 세부정보를 그림 6(c)에서 확인할 수 있다. 트랙 번호가 “66” 으로 되어 있는 것으로 보아 이전에 단말 1이 생성했던 트랙 번호 “37” 인 LKJ3.2는 시간이 초과되어 삭제되었고 새로 생성된 트랙 번호 “66” 메시지가 큐에 삽입되고, 타임슬롯에 의해 송신되었다는 것을 확인하였다.

V. Conclusions

본 논문에서 우리는 다양한 전술 데이터의 타입에 따른 메시지

송수신 처리 구조의 필요성을 서론과 관련연구에서 알아보았고 그러한 구조를 설계/구현하여 실험으로 검증하였다. 다중의 큐를 운용하여 실시간성과 중요도를 고려한 큐 간의 우선순위를 설정, 메시지 처리를 설계하고 타임슬롯의 종류에 따른 큐 운용과 데이터 특성에 맞는 처리를 하였다. 주기적인 메시지의 갱신과 삭제 처리를 하여 정보의 실시간성을 높였다. 이로 인하여 작전의 수행의 지연과 그에 따른 위험요인을 축소하였다. 현재 한국군은 Link-K 기반의 체계를 운용하고 계속 발전시켜 나갈 계획이다. 더욱 세부적인 전술 데이터의 분류와 그에 따른 기능 요구가 많아질 수 있다. 지속적으로 군의 운용을 통한 데이터를 쌓아 메시지의 빈도수와 경중 등을 경험적으로 분석하여 미래의 전술 데이터링크 운용에도 공통의 플랫폼으로 사용할 수 있는 소프트웨어 구조를 설계하기 위한 과정을 진행할 것이다.

REFERENCES

[1] Minhwan Cheon, Hoki Baek, Seungbae Jee, Sangjun Kim and Jaesung Lim, "Zone-Based Wireless Link-K Network Structure and Routing for Supporting Mission Group," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 42, No. 1, pp. 108-120, Jan, 2017.

[2] Kyochol Koo, Sangyoon Oh, "Multi-Tactical Data Link Processor System Architecture using XML Ontology", Journal of KIISE : Computing Practices and Letters, Vol. 19, No. 9, pp 469-473, Sept. 2013.

[3] Jong Sung Kim, Sang Jun Kim, Man Yeob Lim, "Overview of Tactical Data Link Technology", Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 25, No. 9, pp 18-28, Sept. 2007.

[4] Jang Won Jae, Lee Sang Yong, Jung Hyun Sook and Lee Yuon Jeong, "Development plan of Interoperability between R.O.K. Armed Forces Tactical Data Links," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, , pp. 423-424, Nov, 2013.

[5] Eui Soon Kim, "Korea Tactical Data Link and Software Technology", Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 24, No. 9, pp 65-69, Sept. 2006.

[6] Youn-jeong Lee, Sang-jun Kim, Man-yeob Lim, "Methodology of Interoperating Link-K Track Number in Multi TDLs", The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 38, No. 12, pp 1186-1195, Dec. 2013.

[7] Hongjun Noh, Jungbin Kim, Jaesung Lim, Jeong-ho Nam and Dhong-woon Jang, "Anti-jamming Performance Analysis of Link-16 Waveform," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 35, No. 12, pp. 1105-1112, Dec, 2010.

[8] Hoki Baek, Jaesung Lim, Jayeul Koo, Jeonghwan Jin, Philseong Chun and Ilhyuk Oh, "Reliable Dynamic TDMA Scheme with new Packing method for Image Transmission over Link-16," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 37, No. 11, pp. 1045-1053, Nov, 2012.

Authors

Jin woo Kim received the B.S. degrees in Computer Engineering from Kwangwoon University, Korea, in 2010. Jin woo Kim is currently a engineer in Hanwha systems. He is interested in tactical data links, Link-16, Link-K.

Woo sin Lee received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Kwangwoon University, Korea, in 2001, 2003 and 2007, respectively Dr. Lee is currently a chief engineer in Hanwha systems. He is interested in data links, tactical networks.

Seung chan Lee received the B.S., M.S. degrees in Computer Science from Yonsei University, Korea, in 2005 and 2007, respectively Seung chan Lee is currently a engineer in Agency for Defence Development. He is interested in operational concept of tactical data links, tactical data links time synchronization technique.

Young don Kim received the B.S., M.S. degrees in Electrical Engineering from Yonsei University, Korea, in 2001 and 2003, respectively Young don Kim is currently a senior engineer in Hanwha systems. He is interested in data links.

So yeon Jin received the B.S. degrees in Computer Engineering from Chonbuk University, Korea, in 2003.So yeon Jin is currently a senior engineer in Hanwha systems. She is interested in data links, machine learning, military communications, unmanned systems.