

# Link-16에서 이미지 전송을 위한 신뢰성 기반의 동적 TDMA 기법과 새로운 패킹 방법

백 호기\*, 임재성°, 구자열\*, 진정환\*, 전필성\*\*, 오일혁\*\*

## Reliable Dynamic TDMA Scheme with new Packing method for Image Transmission over Link-16

Hoki Baek\*, Jaesung Lim°, Jayeul Koo\*, Jeonghwan Jin\*\*, Philseong Chun\*\*, Ilhyuk Oh\*\*

### 요약

Link-16은 가장 널리 사용 중인 전술데이터링크로써 TDMA(Time Division Multiple Access)를 기반으로 동작한다. Link-16은 안정적이지만 전송 속도가 매우 낮아 전술 메시지, 음성 등 작은 사이즈의 데이터 전송을 지원한다. 그러나 최근 효과중심작전(EBO: Effect-Based Operation)에 대한 관심이 증가하면서, Link-16을 통해 이미지와 같은 상황 인식 정보를 전송하려는 동향이 있다. 이미지는 기존 메시지에 비해 크기가 매우 크기 때문에 Link-16의 Static TDMA가 아닌 별도의 TDMA 스케줄링이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 Link-16의 MAC을 진화시킨 Link-16K를 제안하였다. Link-16K는 Link-16과 호환성을 유지한다. 그리고 이미지 전송을 효과적으로 지원하기 위해 DTDMA(Dynamic TDMA), 새로운 재전송 방법, 새로운 패킹 방법을 포함한다. 제안하는 아이디어의 시뮬레이션 결과를 통해 이미지 전송 시간이 단축되었고, 채널 효율성이 높아졌음을 확인하였다.

**Key Words** : Link-16, Dynamic TDMA, Retransmission, Packing, Long propagation delay

### ABSTRACT

Link-16 is a widely used TDL (Tactical Data Link) which uses TDMA (Time Division Multiple Access). Link-16 is a very low rate system, so it supports small size of data like tactical message and voice. However, there are related works to transmit situation awareness information like image due to the increasing interest about EBO(Effect-Based Operation), recently. Special TDMA scheduling is needed not static TDMA of Link-16 for image transmission because image data has much larger size than the existing tactical data. In this paper, we proposed Link-16K which enhances the Link-16 MAC. The proposed Link-16K is compatible with Link-16, and includes dynamic TDMA, new packing method, and an efficient retransmission scheme for image transmission effectively. We can see that image transmission delay is reduced and channel utilization is increased through simulation results of proposed idea.

### I. 서론

과거의 전쟁은 막강한 화력을 기반으로 한 플랫폼 중심의 전쟁이었다. 그러나 현대에는 센서 체계,

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

♦ 주저자 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과, neloyou@ajou.ac.kr, 중신회원

° 교신저자 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과, jaslim@ajou.ac.kr, 정회원

\* 아주대학교 일반대학원 NCW학과, koo69234@ajou.ac.kr, 정회원

\*\* LIG 넥스원 통신연구센터, jeonghwan.jin@lignex1.com, 정회원, gregorio@lignex1.com, 정회원, ilhyuk.oh@lignex1.com, 정회원  
논문번호 : KICS2011-11-565, 접수일자 : 2011년 11월 30일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 14일

지휘통제 체계, 타격 체계 등 전장 환경의 모든 요소들이 연계되어 네트워크 정보화를 실현함으로써 적보다 더 나은 상황 인식을 통한 정보 우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 네트워크중심전(NCW: Network Centric Warfare)으로 빠르게 변화하고 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 NCW는 전술데이터링크(TDL: Tactical Data Link)를 통해 실현된다.

TDL의 궁극적인 목적은 작전의 효과성을 증대시키는 것이다. 작전을 수행하는 플랫폼 간 전술 정보를 교환하여 효과적인 작전 수행이 가능하도록 한다. TDL에서 전송하는 메시지는 전술메시지 또는 음성과 같이 크기가 작은 특징이 있다<sup>3)</sup>. 그러나 최근 EBO에 대한 관심이 높아지고 통신 기술이 발달하면서, 크기가 큰 이미지나 영상과 같은 데이터 전송을 지원하려는 동향이 있다<sup>4)</sup>. 기존에 음성과 전술 메시지에 의존하던 작전 수행 개념을 TDL을 통해 이미지를 바로 활용하여 작전의 효과성을 높이는 것이다. 대표적인 예가 Link-16과 그 진화 모델들이다. Link-16은 가장 널리 사용되고 있는 TDL이다. Link-16은 전송 속도가 매우 낮으나, 항재밍 능력을 보유하여 안정된 통신을 제공한다. Link-16은 작은 사이즈의 음성과 J-시리즈 전술 메시지 전송을 지원한다. 그리고 이미지 전송을 위해 Link-16을 진화한 모델로 LET(Link-16 Enhanced Throughput)<sup>4,5)</sup>와 FAST(Flexible Access Secure Transfer)<sup>6)</sup>가 있다. LET와 FAST는 Link-16의 웨이브폼을 개선하여 속도를 향상 시켰고, 네트워크 설계로 인한 Static TDMA를 동적으로 운용하여 성능을 향상시켰다. 그 밖에도 TTNT(Tactical Targeting Network Technology)<sup>7)</sup>는 영상 정보 전송까지 지원하는 고속의 TDL이다.

본 논문에서는 Link-16의 MAC을 개선하여 Link-16K를 제안하였다. Link-16K는 이미지 전송을 지원한다. 이미지는 기존 Link-16에서 지원하지 않던 데이터 타입이고, 전술 메시지에 비해 크기가 매우 크다. Link-16K는 Link-16과 호환되며, DTDMA로 동작하여 채널 효율성을 향상 시켰다. 그리고 Link-16과 다른 재전송 기법을 제안하여 빠르고 안전한 재전송이 가능하도록 하였다. 또한, 새로운 packing 방법을 사용하여 guard time의 낭비를 줄였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 Link-16을 소개하고, III장에서는 Link-16을 통한 이미지 전송의 한계, 제안하는 Link-16K의 새로운 packing 방법, DTDMA, 재전송 기법을 설명한다. 그리고 IV장에서는 시뮬레이션 환경을 설명한

다. Link-16이 이미지 전송을 한다는 가정 하에 Link-16과 Link-16K 시뮬레이션 환경을 정의한다. 그리고 V장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 Link-16K의 성능을 평가한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺고자 한다.

## II. Link-16

### 2.1. Time slot 할당과 재전송 기법

Link-16은 51개의 채널을 통해 주파수 도약을 한다. 하나의 주파수 도약 패턴을 net이라고 정의하고, 128개의 멀티넷(Multi-net)을 운용한다. 모든 노드는 다수의 net에 가입할 수 있다. 그러나 송수신을 동시에 할 수 없고, 한 번에 한 net을 통해서 데이터를 송신하거나 수신할 수 있다. 각 net은 12초 단위의 frame을 주기로 반복되며, 1 frame 당 time slot은 1,536개이다. Link-16은 수행할 작전에 따라 네트워크 설계를 통해 net과 time slot을 할당한다. 네트워크 설계는 사람에 의해 모든 절차가 진행된다. Link-16의 time slot 할당은 RRN(Recurrence Rate Number)이라는 개념을 사용한다. 1 frame 내에 동일한 간격으로 time slot을 할당하는데, RRN이 6이면 frame 당 1개의 time slot을 할당한다. 그리고 표 1과 같이 RRN이 하나씩 증가할 때마다 2배씩 늘어난다.

표 1. Link-16의 RRN  
Table 1. RRN of Link-16

RRN	Number of time slots per frame
15	512
14	256
13	128
12	64
11	32
10	16
9	8
8	4
7	2
6	1

Link-16의 재전송 기법은 time slot 단위로 이루어진다. Link-16은 재전송을 위해 donated slot을 사용한다. Donated slot이란 송신 노드가 ACK를 받기 위해 수신 노드에게 빌려주는 time slot이다. 자신의 time slot을 통해 데이터를 송신하고, 자신의 다음 time slot을 통해 ACK를 받는 것이다. RRN이 낮다면, ACK가 매우 늦게 도착하여 비효율적이다.

### 2.2. Link-16 packing 방법

Link-16에서 time slot에 데이터를 담는 방법을 packing 방법이라고 한다. Link-16은 그림 1과 같이 4가지의 packing 방법을 사용한다. STD-DP와 P2-SP는 가변의 jitter가 앞에 온다. 그리고 S(Synch), TR(Time Refinement), H(Header), 데이터(Data) 순으로 정보를 전송한다. 마지막은 충돌 방지를 위해 propagation을 고려하여 guard time을 둔다. P2-DP와 P4-SP는 jitter가 없고, 2.0405msec로 고정된 길이의 propagation을 guard time으로 사용한다. 1개의 time slot을 통해 STD-DP는 210 bits의 데이터를 2번, P2-SP는 420 bits의 데이터를 1번, P2-DP는 420 bits의 데이터를 2번, P4-SP는 840 bits의 데이터를 1번 전송한다. P4-SP는 Link-16에서 하나의 time slot에 가장 많은 데이터를 보낼 수 있는 packing 방법이다.

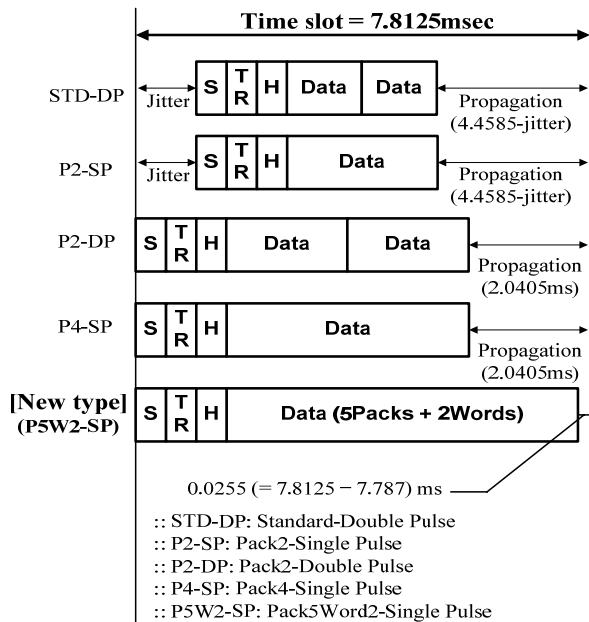


그림 1. Link-16 패킹 방법과 제안하는 패킹 방법  
Fig. 1. Packing method of Link-16 and the proposed scheme

## III. 제안하는 Link-16K

### 3.1. Link-16을 통한 이미지 전송의 한계

Link-16이 지원하는 전송 메시지와 음성은 크기가 매우 작아 대부분 1개의 time slot을 통해 전송이 가능하다. 그리고 대부분의 주기적으로 발생하여 네트워크 설계 시 미리 할당하여 사용이 가능하다. 그러나 이미지는 크기가 매우 커서 많은 수의 time slot이 필요하다. 예를 들어, 100KB의 이미지를 전송한다면, 데이터를 가장 많이 전송할 수 있는

P4-SP를 사용하여도 976개의 time slot이 필요하다. 또한, 일시적으로 발생하기 때문에 정적으로 할당하면 많은 수의 time slot을 낭비할 수 있다. 따라서 이미지 전송을 위해서는 기존 Link-16과 다르게 동적으로 time slot을 할당하는 방안이 필요하다. 두 번째로 Link-16의 재전송은 이미지 전송에 비효율적이다. Link-16에서는 time slot 단위로 donated slot을 통해 ACK를 하고 있다. 이미지의 크기가 커서 time slot을 많이 사용하기 때문에 donated slot이 많이 필요하다. 그리고 이미지 수신 노드가 늘어나면 donated slot의 수가 증가하여 더욱 많은 time slot을 ACK에 사용하게 된다. 따라서 Link-16의 재전송 방식은 대용량 데이터 전송에 비효율적이다. 마지막으로 Link-16의 packing 방법이 이미지 전송에 비효율적이다. Link-16에서 사용하는 4가지 packing 방법은 모두 maximum propagation delay를 guard time으로 설정한다. Link-16의 packing 방법인 STD-DP와 P2-SP는 최대 4.4585 msec, P2-DP와 P4-SP는 2.0405 msec를 guard time으로 사용한다. 각각 time slot의 약 57%와 26%를 guard time으로 낭비하는 것이다. 그러나 만일 한 노드가 time slot을 연속으로 사용한다면, time slot의 guard time 대신에 데이터를 더 보낼 수 있다.

### 3.2. IMG net 정의와 ATS 선정

Link-16K는 128개의 net 중에서 1 개를 이미지 전송을 위한 IMG(Image) net으로 사용한다. 그 외에는 Link-16과 호환성을 유지하였다. IMG net에서는 제안하는 DTDMA와 재전송 기법, 새로운 packing 방법을 사용한다. Link-16K는 이미지 전송이 필요한 시점에 time slot을 할당한다. 본 논문에서는 이러한 time slot의 집합을 ATS(Available Time Slots)라고 정의한다.

ATS 선정 방법은 다음과 같다. Net의 개수를  $m$ , 1 frame 당 time slot의 개수를  $n$ , 전체 노드들 중에서 IMG net에 가입한 노드의 수를  $K$ 라고 정의한다. Link-16과 Link-16K는  $m$ 이 128이고,  $n$ 이 1,536이다.  $t_{i,j}^k$  ( $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq K$ )는 IMG net에 가입한 노드 중  $k$  번째 노드가  $i$  번째 net의  $j$  번째 time slot을 사용하면 1, 아니면 0을 갖는다. IMG net에 가입한 노드들이 사용하는 net과 time slot 정보를  $t_{i,j}$ 라고 하면, 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

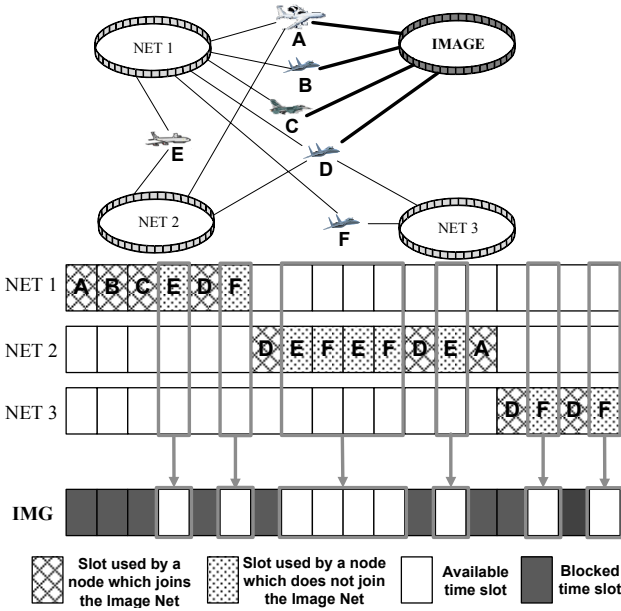


그림 2. IMG net과 ATS 선정 (예시)  
Fig. 2. IMG net and ATS selection (Example)

$$t_{i,j} = \bigvee_{k=1}^K t_{i,j}^k \quad \text{for all } i, j \quad (1)$$

그리고 식(1)을 모든 net에 대하여 계산하면 식(2)와 같이  $\rho_j$ 를 구할 수 있다.  $\rho_j$ 는 ATS를 표현하는 변수이다.  $\rho_j$ 가 0이면, IMG net의  $j$ 번째 time slot은 ATS에 포함된다.

$$\rho_j = \bigvee_{i=1}^m t_{i,j} \quad \text{for all } j \quad (2)$$

그림 2는 ATS 선정을 나타낸 예제이다. 4개의 net과 노드 6개가 있다. 그리고 6개의 노드는 네트워크 설계에 의해 Net 1, 2, 3과 IMG net에 가입되어 time slot을 사용 중이다. 이 중에서 IMG net에 가입한 4개의 노드(A, B, C, D)가 다른 net에서 사용하지 않는 time slot이 있다면, 해당 time slot은 ATS에 포함된다. 그림 2의 흰색 블록이 이미지 전송에 사용될 ATS이다. ATS 할당은 프레임 단위로 반복하여 사용한다.

### 3.3. 제안하는 DTDMA 프로토콜

Link-16에서는 네트워크를 제어하기 위해 Control net을 사용한다. Link-16K는 Control net의 time slot 중 1개를 사전에 네트워크 설계를 통해 할당한다. 그리고 이 time slot을 이미지 전송의 시

작을 알리고 ATS를 할당하는데 사용한다. 이 때 전송하는 메시지를 AN(Announcement) 메시지라고 한다. AN 메시지는 이미지 송신 노드가 전송한다. 여기에는 이미지 전송에 필요하여 선정된 ATS 정보, 이미지 전송에 필요한 time slot 수, 재전송을 위한 NACK 스케줄링 정보가 포함되어 있다. 다수의 이미지 수신 노드들은 NACK 스케줄링 정보를 통해 자신이 NACK를 송신해야 하는 time slot을 알 수 있다.

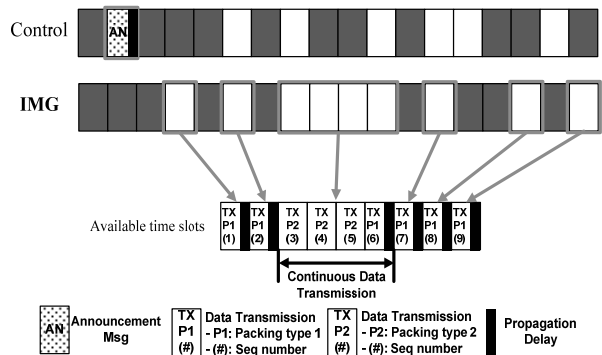


그림 3. DTDMA의 연속 데이터 전송 (예시)  
Fig. 3. Continuous data transmission of DTDMA (Example)

Control net을 통해 AN 메시지가 전송되면, 이미지 수신 노드들은 모두 AN 메시지를 통해 IMG net의 ATS 정보를 공유하고 이를 통해 이미지 데이터를 수신한다. ATS에서는 time slot이 연속적으로 할당되는 경우가 발생한다. 이 때, 새로운 packing 방법을 사용하여 더욱 많은 데이터를 전송하도록 한다. 그림 3을 보면, ATS의 처음 2개는 연속 time slot이 아니기 때문에 P4-SP로 전송한다. 그러나 3번째부터 7번째까지는 연속으로 할당된 time slot이기 때문에 연속으로 데이터를 전송할 수 있다. 이 때, 그림 1의 새로운 패킹 방법을 사용한다. 새로운 packing 방법은 하나의 time slot에 5 packs(1 pack = 210 bits)과 2 words(1 word = 70 bits)인 1,190 bits를 보낼 수 있다. 마지막 7번째 time slot은 다음 time slot과의 충돌을 고려하여 P4-SP로 전송한다. 그리고 전송하는 패킷은 순서대로 sequence number를 포함한다.

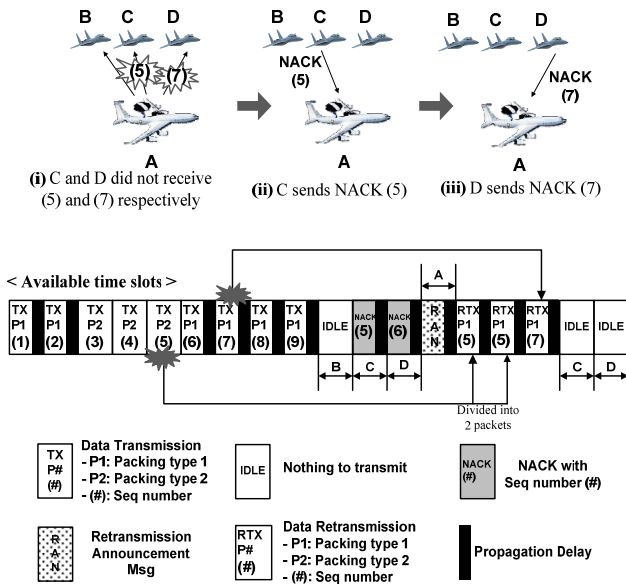


그림 4. DTDMA의 재전송 (예시)  
Fig. 4. Retransmission of DTDMA (Example)

Link-16K에서는 재전송을 위해 NACK 메시지를 사용한다. 자신이 수신하지 못한 sequence number를 NACK에 담아서 전송한다. 그림 4는 재전송이 동작하는 모습을 보여주는 그림이다. 노드 A는 노드 B, C, D에 이미지를 전송한다. (i)에서 볼 수 있듯이, 노드 C와 D는 각각 A가 전송한 이미지 데이터 중 sequence number 5와 7번 데이터를 수신하지 못했다. 이미지 데이터가 모두 전송된 후, NACK 구간에서 (ii)와 (iii)에 나타난 것처럼 C는 5번, D는 7번을 담아서 A에 전송한다. 그림 4의 하단을 보면 알 수 있듯이, B는 모든 데이터를 수신했기 때문에 NACK 구간에 어떤 데이터도 전송하지 않는 idle 상태로 머무른다. NACK 구간이 끝나면 A는 RAN(Retransmission ANnouncement) 메시지를 전송한다. RAN 메시지에는 ATS 정보, 재전송할 sequence numbers, 이미지 전송에 필요한 time slot 수, 재전송을 위한 새로운 NACK 스케줄링 정보가 포함된다. RAN 메시지를 통해 재전송을 위한 time slot이 3개임을 알리고, 그 뒤에 C와 D를 위한 NACK 스케줄링 정보를 전송한다. 5번 데이터는 제안하는 새로운 packing 방법을 사용하여 전송하였는데, 재전송하려는 time slot은 연속된 time slot이 아니라 제안하는 packing 방법을 사용할 수 없다. 따라서 propagation을 고려한 2개의 time slots을 통해 나눠서 전송한다. 그러나 7번 데이터는 동일하게 전송이 가능하다. 재전송이 끝나고 나면 NACK를 수신한다. 그림 4에서 재전송은 모

두 성공하여 C와 D는 아무런 데이터도 전송하지 않고 idle 상태에 머무른다. 만약에 이미지 송신 노드가 NACK가 수신하였다면, 다시 RAN 메시지를 전송하여 재전송 과정을 반복한다. 재전송은 NACK가 없는 상황, 즉, 모든 데이터가 수신될 때까지 반복된다.

#### IV. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에서 Link-16의 4가지 packing 방법과 Link-16K를 비교한다. Link-16K의 경우, ATS의 개수와 연속 전송이 가능한 time slot의 개수는 예측이 불가능하다. 따라서 ATS는 RRN과 동일한 수로 설정하여 시뮬레이션 결과를 얻었다. ATS는 RRN보다 적을 수 없기 때문에, 본 논문에서 시뮬레이션 결과로 얻는 Link-16K 성능은 worst case에 대한 성능이다. 그리고 ATS 중에서 연속 전송이 가능한 time slot 수의 비율을 20, 40, 60, 80%로 다양하게 하여 성능을 평가하였다. 그리고 재전송 성능을 평가하기 위해 다양한 MER(Message error rate)을 사용하였다. MER은 time slot 단위로 측정된 것이다. 예를 들어, MER이 0.1이라면 time slot 10개 중 1개는 데이터 수신에 실패하는 것이다. 그리고 이미지의 크기와 이미지 수신 노드 수( $N_{RECV}$ )를 다양하게 하여 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 파라미터를 정리하면 다음과 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Link-16 Packing	STD-DP, P2-SP, P2-DP, P4-SP
Link-16K Packing	Hybrid (New packing + P4-SP)
New packing ratio	20, 40, 60, 80%
Link-16 RRN	12, 15
Link-16K ATS	64, 512
Image size (KB)	200, 400, 600, 800, 1000
MER	0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3
$N_{RECV}$	3, 6, 9, 12, 15

#### V. 시뮬레이션 결과

성능 평가에 사용하는 측정값은  $T_{IMG}$ 와  $T_{IMG\_Retx}$ 이다.  $T_{IMG}$ 는 재전송을 포함하여 이미지를 성공적으로 전송하는데 걸린 시간이고,  $T_{IMG\_Retx}$ 는 그 중에서 재전송에 사용한 시간이다.

5.1. 이미지 크기에 따른 성능

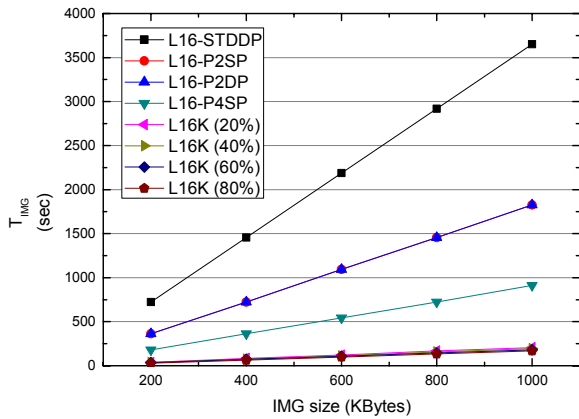


그림 5. 이미지 크기에 따른  $T_{IMG}$   
Fig. 5.  $T_{IMG}$  according to image size

그림 5는 이미지 크기에 따라  $T_{IMG}$ 를 비교한 것이다. RRN은 15, ATS는 512, MER은 0,  $N_{RECV}$ 는 3으로 고정하고 이미지의 크기를 200KB부터 1000KB까지 다양하게 하였다. P2-SP와 P2-DP는 하나의 time slot에 전송할 수 있는 데이터 양이 같기 때문에 성능이 동일하다. Link-16K의 Link-16에 비해  $T_{IMG}$ 는 매우 작다. 그리고 이미지 크기가 늘어남에 따라  $T_{IMG}$ 는 선형적으로 증가하는데, Link-16K의 증가폭은 Link-16에 비해 현저히 작음을 확인할 수 있다.

5.2. MER에 따른 성능

그림 6은 RRN과 ATS를 각각 12와 64로 고정하여  $T_{IMG}$ 를 측정한 그림이고, 그림 7은 각각 15와 512로 고정하여  $T_{IMG}$ 를 측정한 그림이다. 그림 6과 7에서 MER이 증가함에 따라 재전송에 취약한 Link-16의  $T_{IMG}$ 가 더욱 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 7은 그림 6보다 time slot을 더욱 많이 할당하였기 때문에 모든 패킹 방법에서  $T_{IMG}$ 값이 작다. 그림 6과 7에서 Link-16K도 MER이 증가하면서 성능이 저하되지만, 효율적인 재전송 기법으로 인해  $T_{IMG}$ 의 변화폭이 크지 않아 거의 변화가 없는 것처럼 보인다.

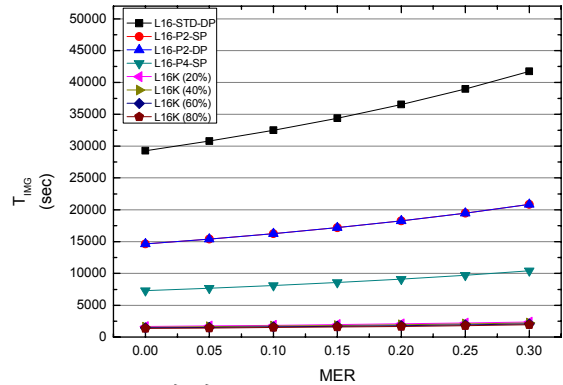


그림 6. MER에 따른  $T_{IMG}$   
(RRN=12, ATS=64,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)  
Fig. 6.  $T_{IMG}$  according to MER  
(RRN=12, ATS=64,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)

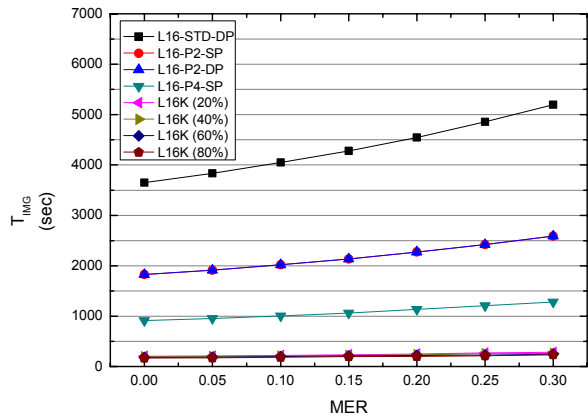


그림 7. MER에 따른  $T_{IMG}$   
(RRN=15, ATS=512,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)  
Fig. 7.  $T_{IMG}$  according to MER  
(RRN=15, ATS=512,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)

그림 8과 9는 이미지 재전송에 중점을 두고 성능을 평가한 것이다. 그림 8은 RRN과 ATS를 각각 12와 64로 설정하였고, 그림 9는 각각 15와 512로 설정하였다. MER이 0일 때에는 재전송이 일어나지 않기 때문에  $T_{IMG\_Retx}$ 은 모두 0이 된다. MER이 증가하면서, Link-16의 4가지 패킹은 현저하게 성능이 저하된다. 반면에, Link-16K는 재전송으로 인한 영향을 크게 받지 않는다. 그림 6, 7, 8, 9를 통해 Link-16K의 재전송 기법의 효과를 확인할 수 있다.

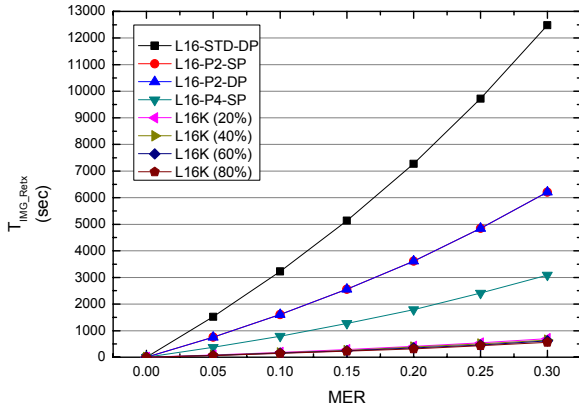


그림 8. MER에 따른  $T_{IMG\_Retx}$  (RRN=12, ATS=64,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)  
 Fig. 8.  $T_{IMG\_Retx}$  according to MER (RRN=12, ATS=64,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)

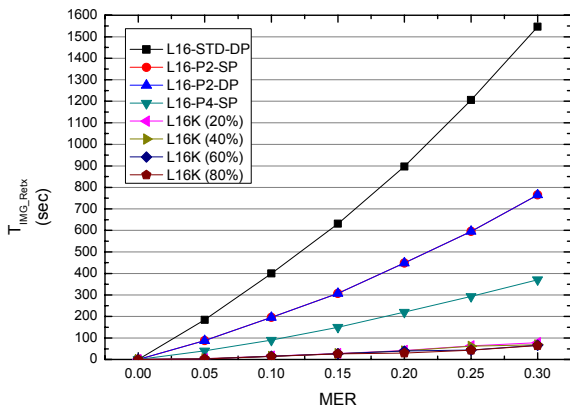


그림 9. MER에 따른  $T_{IMG\_Retx}$  (RRN=15, ATS=512,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)  
 Fig. 9.  $T_{IMG\_Retx}$  according to MER (RRN=15, ATS=512,  $N_{RECV}$ =3, Image=1000KB)

표 3. 이미지 전송이 없을 때 낭비하는 time slot  
 Table 3. Number of time slots wasted while image is not transmitted

Scheme	Number of wasted time slots in a frame
Link-16 RRN=12	64 (4.2% of frame)
Link-16 RRN=13	128 (8.3% of frame)
Link-16 RRN=14	256 (16.7% of frame)
Link-16 RRN=15	512 (33.3% of frame)
Link-16K	1 (0.00065% of frame)

앞 서 그림 6, 7, 8, 9를 통해 Link-16의 RRN이 높으면  $T_{IMG}$ 와  $T_{IMG\_Retx}$ 이 작게 나오는 것을 확인하였다. 그러나 RRN을 높인다고 무조건 해결 되는 것이 아니다. 이미지 전송은 많은 time slot이 필요하지만 일반적으로는 이미지를 전송하지 않고

있기 때문이다. 표 3은 이미지 전송이 없을 때 낭비하는 time slot의 개수를 나타낸 표이다. Link-16은 RRN이 증가함에 따라 낭비하는 time slot의 개수가 늘어난다. 반면에, Link-16K는 낭비하는 time slot이 1개 밖에 되지 않는다. 낭비되는 1개의 time slot은 Control net을 통해 AN 메시지를 전송하는 time slot이다.

### 5.3. 이미지 수신 노드 수에 따른 성능

이미지 수신 노드 수가 늘어나면 재전송을 위한 overhead가 발생한다. Link-16의 경우에는 각 이미지 수신 노드마다 donated slot을 추가로 할당해야 한다. Link-16K도 노드 수에 맞춰 NACK 전송을 위한 time slot을 할당해야 한다. 따라서  $N_{RECV}$ 가 늘어나면 이미지를 재전송하는 시간이 증가한다. 그림 10은  $N_{RECV}$ 에 따른  $T_{IMG}$ 의 성능을 나타낸 것이다.  $N_{RECV}$ 이 늘어남에 따라 Link-16K에 비해 Link-16의  $T_{IMG}$ 이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. Link-16은 이미지 데이터를 전송할 때 time slot마다  $N_{RECV}$ 만큼 donated slot을 할당해야 하는데, Link-16K는 이미지 전송이 모두 끝나고  $N_{RECV}$ 만큼 NACK 송신을 위한 time slot을 할당 해주면 된다. 따라서  $N_{RECV}$ 이 늘어나도 Link-16에 비해 영향을 적게 받는 것이다.

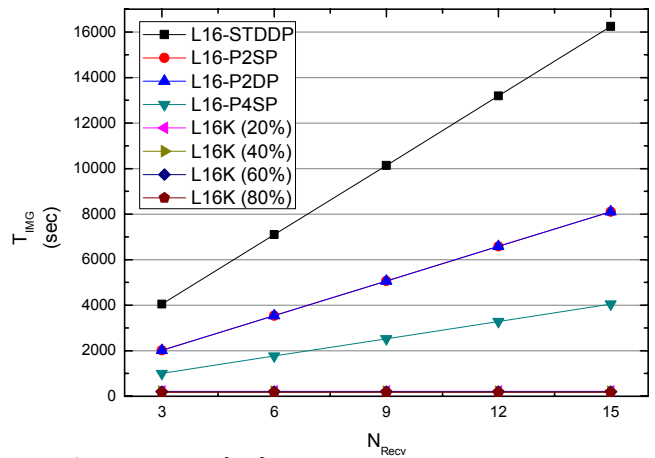


그림 10.  $N_{Recv}$ 에 따른  $T_{IMG}$  (RRN=15, ATS=512, MER=0.1, Image=1000KB)  
 Fig. 10.  $T_{IMG}$  according to  $N_{Recv}$  (RRN=15, ATS=512, MER=0.1, Image=1000KB)

## VI. 결 론

본 논문에서는 Link-16의 정적 TDMA를 진화하

여 이미지와 같은 대용량 데이터 전송을 위한 Link-16K를 제안하였다. Link-16K의 새로운 packing 방법과 DTDMA 프로토콜을 통해 Link-16을 진화시켰다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 Link-16K를 통해 이미지 전송과 재전송 시간이 현저히 단축되고 낭비되는 time slot의 수를 최소화하였음을 확인할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Baek, S. Jung, and J. Lim, "Technical Trends of Tactical Data Link for Network Centric Warfare", *Communications of KIISE*, vol. 28, no. 7, pp. 59-69, 2010. 7.

[2] US DoD, "Network Centric Warfare report to congress", 2001. 7.

[3] Northrop Grumman Corporation Information Technology Communication & Information Systems Division, "Understanding Link-16: A Guidebook for New Users", *NCTSI, San Diego, CA*, pp. 5.47-5.49, 2001. 9.

[4] M. Martinez-Ruiz, A. Artes-Rodriguez, J.A. Diaz-Rico, and J. B. Fuentes, "New Initiatives for Imagery Transmission over a Tactical Data Link. A Case Study: JPEG2000 Compressed Images Transmitted in a Link-16 Network. method and Results.", *IEEE MILCOM*, pp. 2185-2190, 2010. 10.

[5] J. Asenstorfer, T. Cox, and D. Wilksch, "Tactical Data Link Systems and the Australian Defence Force (ADF) - Technology Developments and Interoperability Issues", 2004.

[6] R. Ghanadan, P. Tufano, J. Hsu, J. gu, and C. Connelly, "Flexible Access Secure Transer (FAST) Tactical Communications Waveform for Airborne Networking", *IEEE MILCOM*, pp. 1167-1173, 2005. 10.

[7] P. T. Highnam, "Tactical Targeting Network Technologies (TTNT)", *DARPA Tech 2002 Symposium*, 2002.  
Available:[http://archive.darpa.mil/DARPATech2002/presentations/ixo\\_pdf/slides/HighnamIXO\\_v4.pdf](http://archive.darpa.mil/DARPATech2002/presentations/ixo_pdf/slides/HighnamIXO_v4.pdf)

[8] H. Park, H. Noh, and J. Lim, "Technical Analysis of Link-16 MAC/PHY for Implementing Korea Joint Tactical Data Link System", *Information and Communications Magazine*, vol. 26, no. 3, pp. 60-68, 2009. 2.

### 백 호 기 (Hoki Baek)



2006년 2월 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 학사  
2008년 2월 아주대학교 정보통신공학과 석사  
2009년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> 기술데이터링크, 다중 접속, 시간동기, 위치인식

### 임 재 성 (Jaesung Lim)



1983년 2월 아주대학교 전자공학과 학사  
1985년 2월 KAIST 영상통신 석사  
1994년 8월 KAIST 디지털통신 박사  
1998년 3월~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수  
2006년 8월~현재 아주대학교 국방기술네트워크 연구센터장  
<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방기술통신

### 구 자 열 (Jayeul Koo)



1984년 3월 공군사관학교 전자공학과 학사  
1993년 12월 국방대학교 전산학 석사  
2009년 3월~현재 아주대학교 NCW학과 박사과정  
<관심분야> 항공통신, 이동통신, 국방기술통신



진 정 환 (Jeonghwan Jin)



1988년 2월 충남대학교 전기  
공학과 학사

1995년 2월 충남대학교 전력  
전자 석사

1997년 3월~현재 LIG넥스원  
통신연구센터 (수석연구원)

<관심분야>   전술데이터링크,

무선네트워크

전 필 성 (Philseong Chun)

1986년 2월 한양대학교 전자통신학과 학사



2005년 5월 University of  
New Mexico 전기공학과 석  
사

2008년~현재 LIG넥스원 통신  
연구센터 (수석 연구원)

<관심분야>   군통신, 이동통신,  
통신신호처리, 무선네트워크

오 일 혁 (Ilhyuk Oh)



1996년 단국대학교 전자공학과  
공학석사

1996년~2008년 LIG넥스원 군  
위성통신단말 탐색/체계 개  
발

2008년~현재 JTDLS 위성 모  
뎀 개발, 차기위성 다대역

단말 개발, LIG넥스원 통신연구센터 (수석연구원)

<관심분야>   군 위성통신 시스템, 전술데이터링크  
모뎀, 초고속 모뎀, 디지털신호처리