한국통신학회논문지 '12-11 Vol.37C No.11
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2012.37C.11.1104

전파 지연이 긴 공중 전술 TDMA 네트워크에서 송신자 간 거리 기반 보호 시간 제어 기법

백 호 기◆, 임 재 성°, 구 자 열*, 오 일 혁**

Inter-Transmitter Distance-Based Guard Time Control Scheme in Airborne Tactical TDMA Networks with Long Propagation Delay

Hoki Baek◆, Jaesung Lim°, Jayeul Koo*, Ilhyuk Oh**

요 약

공중 전술 네트워크는 공대공 또는 공대지 작전에 사용되고 전파 지연이 크다는 특징이 있다. 모든 노드는 TDMA 기반의 브로드캐스팅을 사용하여 데이터를 공유한다. 공중 전술 네트워크에서는 긴 전파 지연으로 인한 충돌 때문에, 브로드캐스팅을 보장하기 위해서는 각 타임 슬롯마다 보호 시간이 필요하다. 그러나 보호 시간의 낭비로 인해 네트워크의 채널 이용률이 크게 저하될 수 있다. 본 논문에서는 송신자 간 거리 정보를 사용하여 보호 시간의 낭비를 줄여 채널 이용률을 향상시키면서 브로드캐스팅을 보장하는 Inter-Transmitter Distance-Based TDMA (ID-TDMA) 기법을 제안한다. 그리고 성능 평가를 통해 ID-TDMA의 효과성을 확인하였다.

Key Words : Airborne Network, TDMA, Broadcasting, Propagation delay, Tactical Data Link

ABSTRACT

Airborne tactical networks is used to air-to-air or air-to-ground operation and have a large propagation delay. All nodes share the data by using TDMA-based broadcasting. In airborne tactical networks, each time slot needs the guard time to ensure the broadcasting because the collisions occur due to the large propagation delay. However, the channel utilization of the networks can be greatly degraded due to the waste of guard time. In this paper, we propose Inter-Transmitter Distance-Based TDMA (ID-TDMA) scheme which ensures the broadcasting while improving the channel utilization by reducing the guard time with the inter-transmitter distance information. The proposed scheme shows the effectiveness through the performance evaluation.

Ⅰ. 서 론

현대 전쟁의 개념은 막강한 화력을 기반으로 했던 플랫폼중심전(PCW: Platform Centric Warfare)에서 네트워크중심전(NCW: Network Centric Warfare)으로 빠르게 변화하고 있다[1,2]. 네트워크중심전에서는 센서 체계, 지휘통제 체계, 타격 체계 등 전장 환경의 모든 요소들이 연계되어 네트워크 정보화를 실현하여 적보다 더 나은 상황 인식(SA: Situation Awareness)을 확보하고, 정보 우위를 점함으로써

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. NIPA-2012-(H0301-12-2003)
◆ 주저자 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과, neloyou,@ajou.ac.kr, 정회원
° 교신저자 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원
* 아주대학교 일반대학원 NCW학과, koo69234@ajou.ac.kr, 정회원
** LIG 넥스원 통신연구센터, ilhyuk.Oh@lignex1.com, 정회원
논문번호 : KICS2012-08-399, 접수일자 : 2012년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 5일

전쟁을 승리로 이끄는 것을 목표로 한다. 이러한 네트워크중심전을 실현한 것이 전술데이터링크(TDL: Tactical Data Link)이다.

전술 네트워크는 이러한 전술데이터링크가 운용되는 네트워크이다. 전술데이터링크는 다양한 종류가 있다[1]. 그 중에서도 현재 전 세계에서 가장 널리 사용되고 있는 것이 Link-16이다[3]. Link-16은 공중 전술 네트워크에서 동작하고 공대공 또는 공대지 작전을 지원한다. Radio Frequency(RF) 신호를 사용하고, 노드의 최대 전송 거리는 300 nm(nautical mile)로 작전의 범위가 광범위하여 전파 지연이 길다. 이와 유사하기 전파 지연이 긴 공중 네트워크 환경에서 동작하는 전술데이터링크로 LET(Link-16 Enhanced Throughput), FAST(Flexible Access Secure Transfer), 그리고 TTNT(Tactical Targeting Network Technology) 등이 있다[1]. 이러한 공중 전술 네트워크는 노드 간의 정보 공유가 매우 중요하다. 따라서 전술 네트워크는 브로드캐스팅을 전제로 하고, 이를 지원하기 용이한 TDMA를 사용한다.

TDMA는 노드 간 충돌을 피하기 위해 각 노드마다 타임 슬롯을 소유하고 자신의 타임 슬롯에 데이터를 전송하는 다중 접속 방식이다. 그러나 TDMA를 전파 지연이 긴 네트워크에서 운용할 경우에는 긴 전파 지연으로 인해 서로 다른 타임 슬롯에 전송된 패킷이 충돌하거나, 반대로 같은 타임 슬롯에 전송된 패킷이 충돌 없이 수신될 수 있다. 따라서 전파 지연이 긴 네트워크에서 TDMA를 운용하기 위해서는 보호 시간을 사용해야 한다. 그러나 보호 시간은 낭비되는 시간이기 때문에 네트워크의 성능을 저하시키는 요인이 된다.

전파 지연이 긴 TDMA 네트워크에서 보호 시간으로 인한 낭비를 줄이기 위한 연구들은 대부분 수중 무선 센서 네트워크(UWSN: Underwater Wireless Sensor Networks)에 중점을 두었다. UWSN은 음파를 사용하여 통신을 하기 때문에, 전파 지연이 길어지는 특징이 있다. 그리고 UWSN은 하나의 sink를 중심으로 다수의 수중 센서 노드들이 단일홉 혹은 다중홉으로 트리 구조 네트워크를 형성하고, 모든 노드는 sink로 데이터를 전달한다. TDMA/Tp[6]는 하나의 sink가 있는 단일홉 네트워크를 가정하였다. 다수의 수중 센서 노드들은 sink로부터의 전파 지연을 알고 있다고 가정하였다. 각 노드는 sink가 패킷을 수신하기 시작하는 시간이 타임 슬롯의 시작 시간이 되도록 시간을 앞당겨 전송하여 sink 입장에서 전파 지연에 대한 보호 시간이 없는 TDMA를 사용할 수 있도록 하였다. 그리고 STUMP[7]와 ST-MAC[5]은 다중홉 네트워크를 고려하였다. 두 기법 모두 노드 대 노드의 충돌 조건을 설정하고 선형 프로그래밍(Linear programming)을 사용하여 최적 스케줄링 방안을 찾는 기법이라 계산 복잡도가 매우 높고, 노드의 수가 늘어날수록 더욱 복잡해진다.

이러한 기법들은 브로드캐스팅을 보장하지 않는다. 단순하게 sink나 중간 노드에서 충돌이 발생하지 않도록 하면서 보호 시간을 줄였기 때문에, 실제로 다른 노드들은 전파 지연의 영향을 받아 충돌이 발생한다. 따라서 이 기법들은 브로드캐스팅을 전제로 하는 공중 전술 네트워크에 적용할 수 없다. 공중 전술 네트워크에서는 브로드캐스팅을 보장하면서 보호 시간의 낭비를 줄일 수 있는 TDMA에 대한 연구가 필요하다.

공중 전술 네트워크는 기본적으로 단일홉 네트워크이고, 통신 반경이 매우 길다. 그리고 RF(Radio Frequency) 신호를 사용하여 통신한다. 가장 널리 사용되고 있는 Link-16은 브로드캐스팅을 보장하기 위해서 고정 길이의 보호 시간을 사용한다[8]. 보호 시간은 최대 통신 반경인 300 nm 에 대한 최대 전파 지연을 고려하였다. 그러나 각 타임 슬롯의 송신 노드로부터 가장 멀리 있는 노드가 항상 최대 통신 반경만큼 떨어져 있는 것이 아니기 때문에, 보호 시간의 낭비가 발생하고, 채널 이용률이 저하될 수 있다. 이를 개선하기 위해서 적응적 보호 시간을 사용하는 AGT-TDMA가 제안되었다[9]. AGT-TDMA는 각 타임 슬롯의 송신자가 자신으로부터 가장 먼 노드까지의 전파 지연을 알고 있다고 가정하였다. 그리고 이를 보호 시간으로 설정함으로써 Link-16의 TDMA보다 성능을 향상시켰다. 구체적인 내용은 II장에서 소개하도록 하겠다.

본 논문에서는 브로드캐스팅을 보장하고 기존의 기법들보다 보호 시간의 낭비를 줄여 채널 이용률을 향상시킨 ID-TDMA을 제안한다. ID-TDMA는 송신자 간 거리 정보를 사용하여 적응적 보호 시간의 길이를 결정한다. 그리고 시간 동기나 전파 지연 측정에 대한 에러 모델을 적용하여 에러를 보정하기 위한 추가적인 보호 시간을 고려하였다. ID-TDMA는 간단한 타임 슬롯 스케줄링을 통해 기존의 기법들보다 높은 채널 이용률을 제공하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 공중 네트워크 환경에서 브로드캐스팅을 보장하기 위한 기

존의 연구 동향을 소개한다. 그리고 III장에서는 제안하는 ID-TDMA를 소개하고, VI장에서는 ID-TDMA의 성능을 평가한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구 동향

본 장에서는 전파 지연이 큰 공중 네트워크 환경에서 브로드캐스팅을 보장하기 위한 기존의 연구 동향을 구체적으로 소개한다.

첫 번째로 Link-16에서 사용하고 있는 기본적인 TDMA 기법이다. 고정된 길이의 보호 시간을 사용하고 최대 통신 반경에 대한 최대 전파 지연 길이로 설정한다. 그림 1은 노드가 4개이고, 타임 슬롯 할당 순서가 1→3→2→4일 때, TDMA의 프레임 구조를 나타낸 그림이다. 그리고 한 프레임에서 각 노드는 한 번씩 전송기회를 갖는다. 모든 타임 슬롯의 길이는 T_S로 동일하고 보호 시간의 길이도 마찬가지로 T_G로 동일하다. 그리고 각 타임 슬롯마다 가장 먼 노드까지 전송이 끝났음에도 고정적인 보호 시간만큼 기다려야 하기 때문에 낭비되는 시간이 있음을 확인할 수 있다. 따라서 타임 슬롯의 전송 노드로부터 가장 먼 노드까지의 거리가 최대 통신 반경에 비해 가까울수록 낭비되는 시간이 늘어나게 되는 단점이 있다.

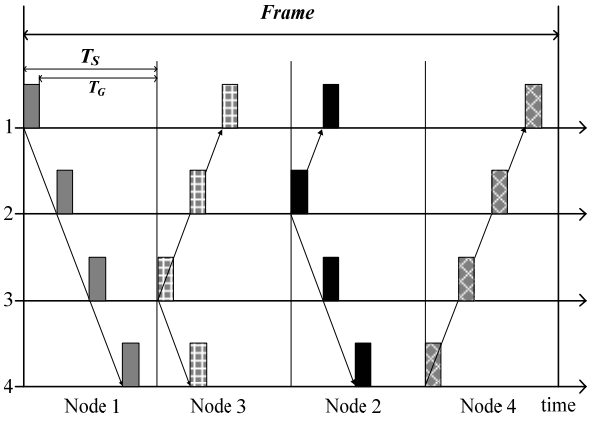

그림 1. TDMA 기법의 프레임 구조 예제
Fig. 1. Example frame structure of TDMA scheme

두 번째로 기본 TDMA를 개선한 AGT-TDMA 기법이다.

AGT-TDMA의 각 노드는 자신으로부터 가장 먼 노드까지의 거리를 알고 있다고 가정하였다. 각 타임 슬롯에서 보호 시간의 길이는 전송 노드로부터 가장 먼 노드까지의 전파 지연으로 설정하였다. 즉, 가장 먼 노드의 위치에 따라 보호 시간의 길이가 달라지는 적응적 보호 시간을 사용하였다. 따라서 기본 TDMA의 타임 슬롯에서 전송된 패킷이 가장 먼 노드까지 전송된 후에 낭비되던 시간을 줄일 수 있었다. 그림 2는 노드가 4개이고, 타임 슬롯 할당 순서가 1→3→2→4일 때, AGT-TDMA의 프레임 구조를 나타낸 그림이다. TDMA와 동일하게 한 프레임에 각 노드는 한 번씩 전송기회를 갖는다. 그림 1과 다르게 4개의 타임 슬롯의 보호 시간은 각각 $T_{G,1}$, $T_{G,2}$, $T_{G,3}$, 그리고 $T_{G,4}$로 모두 다르다. 그리고 각 타임 슬롯의 전송 노드로부터 가장 먼 노드가 데이터를 수신하고 나면 다음 타임 슬롯이 시작된다. 이렇게 각 타임 슬롯마다 적응적 보호 시간을 사용함으로써 기본 TDMA보다 낭비되는 구간을 줄여 채널 이용률을 줄일 수 있었다. 그러나 각 노드는 자신으로부터 가장 먼 노드가 누구이고, 거리가 얼마나 되는지 정보를 알고 유지해야 하는 부담이 있다.

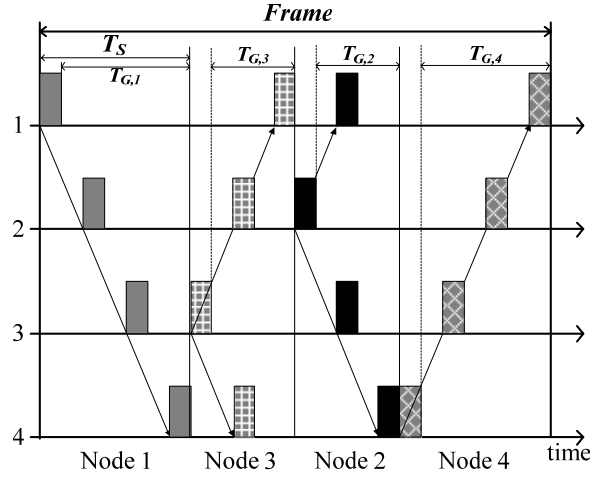

그림 2. AGT-TDMA 기법의 프레임 구조 예제
Fig. 2. Example frame structure of AGT-TDMA scheme

Ⅲ. 제안하는 ID-TDMA

본 장에서는 제안하는 ID-TDMA를 설명한다. 1절에서 가정 및 연구 범위를 설명하고, 2절에서 ID-TDMA의 보호 시간 설정 방법을 설명한다. 그리고 3절에서 ID-TDMA 프레임 구조를 설명한다.

3.1. 가정 및 연구 범위

본 논문의 전술 네트워크는 전파 지연이 긴 단일 홉 무선 애드 혹 네트워크를 가정하였다. 각 노드는 네트워크의 다른 모든 노드들과 한 번에 데이터를 주고받을 수 있다. 그리고 네트워크에는 하나의 코

디네이터가 있고, 모든 노드들은 시간 동기가 획득되어 있다고 가정하였다. 또한, 모든 노드들은 별도의 위치 인식 서비스에 의해 자신의 위치 정보를 계산하고, 다른 노드들과 주기적으로 공유하고 있다고 가정하였다. 따라서 각 노드는 다른 노드들과의 전파 지연을 계산할 수 있다고 가정하였다. 그리고 스케줄링의 경우에는 코디네이터가 다른 모든 노드들로부터 타임 슬롯 요청 정보를 수집하고, 타임 슬롯 스케줄링을 수행한다. 그리고 나서, 스케줄링된 정보를 비콘 메시지를 브로드캐스팅 한다. 그러나 본 논문에서는 이러한 요청 절차는 다루지 않았다.

본 논문의 연구 범위는 적응적 보호 시간을 설정하는 방법에만 초점을 두었다. 브로드캐스팅 방법, 위치 정보 기반의 전파 지연 계산 방법, 스케줄링과 관련된 내용은 관련 연구 동향에서 설명하였던 기존의 연구 논문들과 동일하다고 가정하였다.

3.2. ID-TDMA의 보호 시간 설정

ID-TDMA는 브로드캐스팅을 보장하며 채널 이용률을 향상시키기 위해 보호 시간의 길이를 다음과 같이 설정한다. 타임 슬롯의 송신자는 다음 타임 슬롯의 송신자까지의 전파 지연을 고려하여 보호 시간으로 설정한다. 기존 Link-16의 TDMA는 최대 전파 지연을 고정된 보호 시간으로 설정하였고, 이를 향상시킨 AGT-TDMA는 타임 슬롯의 송신자로부터 가장 먼 노드까지의 전파 지연을 보호 시간으로 설정하였다. ID-TDMA 타임 슬롯의 송신자로부터 다음 타임 슬롯의 송신자까지의 전파 지연을 보호 시간으로 설정하기 때문에, AGT-TDMA보다 긴 보호 시간을 가질 수 없다. 타임 슬롯의 송신자로부터 가장 먼 노드가 다음 타임 슬롯의 송신자인 경우가 ID-TDMA의 최악의 경우인데, 이 때의 보호 시간 길이가 AGT-TDMA와 동일하기 때문이다.

ID-TDMA의 보호 시간 설정은 충돌이 발생하지 않는다. 타임 슬롯의 송신자는 자신의 데이터를 전송하기 전에 이전 타임 슬롯 송신자의 데이터를 수신하기 때문이다. 수신한 데이터가 네트워크를 통해 퍼져나간 후, 자신의 데이터를 전송하기 때문에 충돌이 발생하지 않는다.

3.3. ID-TDMA의 프레임 구조

ID-TDMA의 각 프레임은 N개의 타임 슬롯으로 구성되어 있고, 프레임의 길이는 T_{frame}이라고 하자. T_{frame}은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{frame} = \sum_{k=1}^{N} T_{S,k} \tag{1}$$

여기에서 $T_{S,k}$는 k번째 타임 슬롯의 길이를 나타낸다. 각 타임 슬롯은 실수 단위의 시간 운용이 어렵기 때문에 다수의 미니 슬롯들(mini slots)으로 구성한다. 미니 슬롯 한 개의 길이는 T_{MS}라고 표현한다. $T_{S,k}$는 다음 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$T_{S,k} = S_k \times T_{MS},\ S_k = \left\lceil \frac{T_{D,k} + T_{G,k}}{T_{MS}} \right\rceil \tag{2}$$

여기에서 $\lceil x \rceil$ 는 x보다 크거나 같은 가장 작은 정수를 나타낸다. 그리고 $T_{D,k}$, $T_{G,k}$, 그리고 S_k는 각각 k번째 타임 슬롯의 데이터 길이, 보호 시간의 길이, 그리고 미니 슬롯의 개수를 나타낸다. 식(2)에서 알 수 있듯이, 각 타임 슬롯은 데이터 구간과 보호 시간 구간으로 나누어진다. 그리고 각 타임 슬롯은 미니 슬롯의 개수로 표현할 수 있다. 우리는 식(3)을 통해 $T_{G,k}$를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{G,k} &= p_{k,k+1} + e_{MAX} \quad \text{for } 1 \le k \le N-1 \\ T_{G,N} &= P_N + e_{MAX} \qquad \text{for } k = N \end{aligned} \tag{3}$$

여기에서 $p_{k,k+1}$는 k번째 타임 슬롯의 송신자에서 $k+1$번째 타임 슬롯의 송신자까지 전파 지연을 나타내고, P_N은 N번째 타임 슬롯 송신자로부터 그 노드의 가장 먼 노드까지의 전파 지연을 나타낸다. 그리고 e_{MAX}는 최대 오차를 보정하기 위한 추가 시간이고, $e_{MAX}=2(\pi+\sigma)$와 같이 표현한다. 여기에서 π는 단방향으로 전파 지연 측정 시 발생하는 최대 오차이고, σ는 표준 시간으로부터 최대 시간 동기 오차이다. 임의의 두 노드 사이에서 각 오차는 최대 2배의 차이가 있기 때문에, 각 오차는 e_{MAX}는 $\pi+\sigma$의 2배로 표현하였다.

변수 t_k를 k번째 타임 슬롯의 시작 시간이라고 하면, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$t_k = t_1 + \sum_{i=1}^{k-1} T_{S,i} \ . \tag{4}$$

여기에서 t_1은 첫 번째 타임 슬롯이 시작되는 시간이다. 코디네이터는 모든 k에 대한 t_k를 계산하고,

이 값들을 전송 순서와 함께 비콘 메시지에 담아서 브로드캐스팅 한다. 이를 수신한 각 노드는 각자의 전송 시작 시간을 알 수 있다.

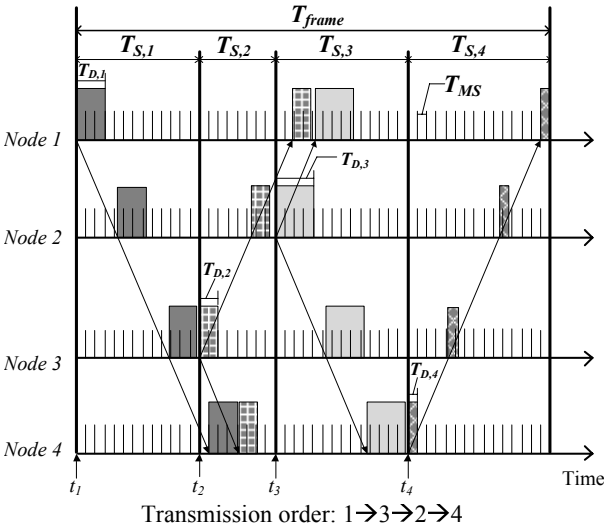

그림 3. ID-TDMA의 프레임 구조의 예
Fig. 3. Example of ID-TDMA frame structure

그림 3은 N이 4이고, e_{MAX}가 0 msec이며, 주어진 타임 슬롯 할당 순서는 1→3→2→4 일 때, ID-TDMA의 프레임 구조를 나타낸 그림이다. 각 노드는 코디네이터의 비콘 메시지에 의해 자신의 전송 시작 시간을 인지하고 있다. 노드 1은 t_1에 데이터 전송을 시작한다. 그리고 노드 3은 노드 1의 데이터를 수신한 후, 가장 가까운 미니 슬롯의 시작인 t_2에 데이터를 전송한다. 반복적으로, 노드 2와 노드 4는 각각 t_3와 t_4에 데이터를 전송한다. 그리고 각 타임 슬롯의 길이인 $T_{S,1}$, $T_{S,2}$, $T_{S,3}$, 그리고 $T_{S,4}$의 합은 T_{frame}이다.

Ⅳ. 성능 평가

본 논문에서 고려한 공중 전술 네트워크는 RF (Radio Frequency) 신호를 사용하여 통신한다. 신호의 전파 속도는 3×10^8 m/sec이고, 최대 통신 거리 R은 300 nm(nautical miles)이다. 따라서 최대 전파 지연은 1.852 msec이다. 실제로 이런 파라미터들은 Link-16[3]과 TTNT[4]같은 전술데이터링크에서 사용된다. 채널은 에러가 없는 단일 채널을 가정하였다. 그리고 시뮬레이션을 100번 수행한 후 평균을 냈다. 각 시뮬레이션에서, N개의 노드들은 반지름이 R/2인 구에 균등 분포를 가지고 임의로 배치된다. 각 노드는 한 프레임에 한 번씩 전송 기회를 갖고, 동일 길이의 데이터를 브로드캐스팅 한다고 가정한다. 이 때, 데이터 길이는 T_{Data}라고 하면, 식(2)의 $T_{D,k}$는 모든 k에 대해 $T_{D,k}=T_{Data}$가 된다.

4.1. 평가 항목

본 논문에서 제안하는 ID-TDMA의 성능을 평가하기 위해 그림 4의 두 가지 기법과 비교하였다. 첫 번째 방식은 그림 4의 (a)와 같이 고정 길이의 보호 시간을 사용하는 방식으로 Link-16에서 사용하고 있는 방식이다. 모든 타임 슬롯의 보호 시간을 $P_{MAX}+e_{MAX}$로 셋팅한다. 여기에서 P_{MAX}는 최대 통신 거리 R에 대한 최대 전파 지연이다. TDMA의 T_{frame}은 $N(T_{Data}+P_{MAX}+e_{MAX})$가 된다. 그리고 두 번째로 AGT-TDMA는 TDMA를 개선한 방법으로 각 타임 슬롯마다 보호 시간의 길이가 가변적이다. AGT-TDMA에서는 k번째 타임 슬롯의 보호 시간 길이를 P_k+e_{MAX}로 셋팅한다. 여기에서 P_k는 k번째 타임 슬롯 송신자로부터 그 노드의 가장 먼 노드까지의 전파 지연이다. 따라서 AGT-TDMA의 k번째 타임 슬롯의 길이는 $T_{Data}+P_k+e_{MAX}$이고, 모든 k에 대해서 N개의 타임 슬롯의 길이를 모두 더하면 AGT-TDMA의 T_{frame}이 된다.

성능 평가 시 비교할 평가 항목은 채널 이용률 (Channel Utilization) U이다. U의 정의는 한 프레임동안 N개 데이터의 전송 시간의 합을 T_{frame}으로 나눈 것으로 식(5)를 통해 계산할 수 있다.

$$U = \frac{N \times T_{Data}}{T_{frame}}. \tag{5}$$

본 논문에서는 한 프레임 당 N개의 데이터가 전송되고 데이터의 길이가 T_{Data}로 고정되어 있기 때문에 U는 T_{frame}에 따라 달라진다.

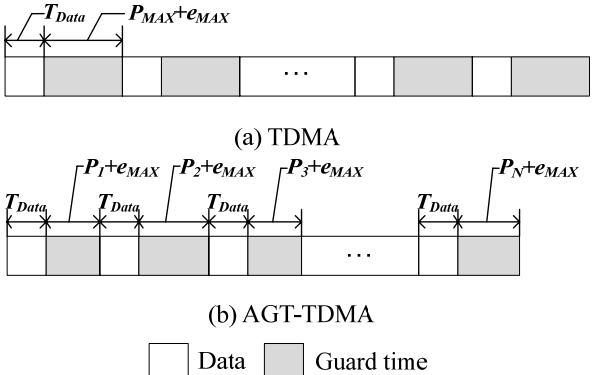

그림 4. 비교 기법들 (a) TDMA (b) AGT-TDMA
Fig. 4. Compared Schemes (a) TDMA (b) AGT-TDMA

4.2. 데이터 길이에 따른 성능

그림 5는 N이 200이고, e_{MAX}가 0일 때 데이터의 길이에 따른 U를 나타낸 그래프이다. 최대 전파 지연을 보호 시간으로 사용하는 TDMA가 T_{frmae}가 가장 길어 U가 낮은 것을 확인 할 수 있고, AGT-TDMA는 TDMA에 비해 조금 향상된 것을 확인할 수 있다. 그러나 AGT-TDMA는 각 전송 노드로부터 가장 먼 노드까지의 전송 지연을 보호 시간으로 사용하는 반면에, ID-TDMA는 현재 타임 슬롯의 송신자로부터 다음 타임 슬롯의 송신자까지의 전파 지연을 보호 시간으로 사용하기 때문에 U가 높다는 것을 확인할 수 있다. 모든 기법들은 T_{Data}가 증가할수록 U가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

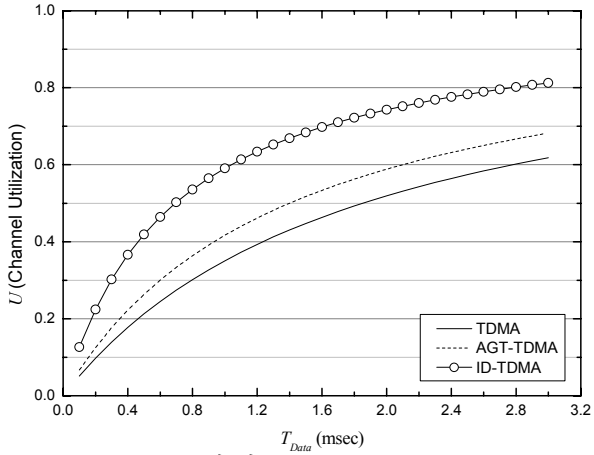

그림 5. T_{Data}에 따른 U (N=200, e_{MAX}=0 msec)
Fig. 5. U according to T_{Data} (N=200, e_{MAX}=0 msec)

4.3. 노드 수에 따른 성능

그림 6은 T_{Data}가 최대 전파 지연보다 매우 작은 0.1 msec이고, e_{MAX}가 0 msec일 때 N에 따른 U를 나타낸 그래프이다. ID-TDMA가 가장 높은 U를 제공하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 모든 기법들의 U는 N에 영향을 받지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 식(5)에서 N이 증가하면서, T_{frame}도 거의 동일한 비율로 증가하기 때문이다.

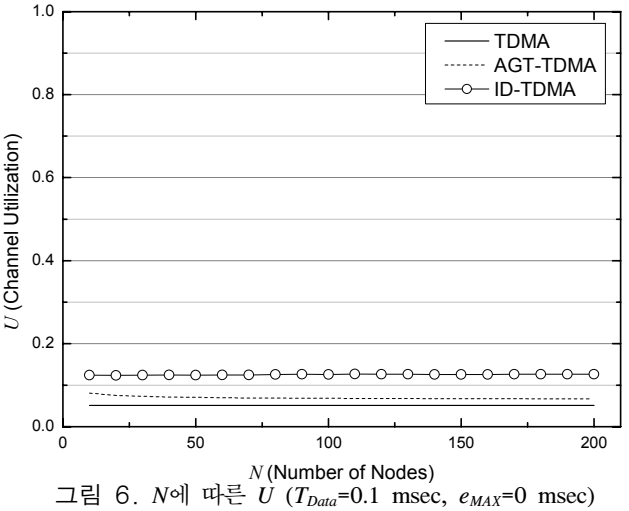

그림 6. N에 따른 U (T_{Data}=0.1 msec, e_{MAX}=0 msec)
Fig. 6. U according to N (T_{Data}=0.1 msec, e_{MAX}=0 msec)

그림 7은 T_{Data}가 최대 전파 지연보다 큰 3.0 msec이고, e_{MAX}가 0 msec일 때 N에 따른 U를 나타낸 그래프이다. 그림 6과 동일하게 ID-TDMA의 성능이 가장 우수하다. ID-TDMA와 TDMA의 U는 N에 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 ATG-TDMA의 경우에는 노드 수가 증가하면서 U가 조금씩 감소하다가 50개를 넘으면 일정 U를 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

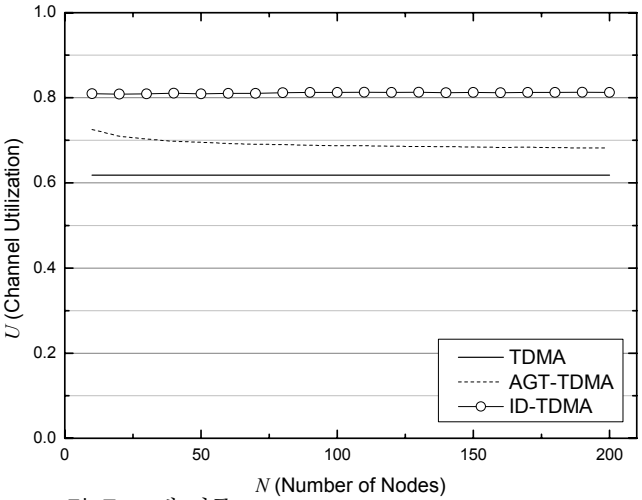

그림 7. N에 따른 U (T_{Data}=3.0 msec, e_{MAX}=0 msec)
Fig. 7. U according to N (T_{Data}=3.0 msec, e_{MAX}=0 msec)

4.4. 에러에 따른 성능

그림 8은 N이 200이고, T_{Data}가 최대 전파 지연보다 매우 작은 0.1 msec일 때, e_{MAX}에 따른 U를 나타낸 그래프이다. 모든 기법들은 e_{MAX}가 증가함에

따라 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. e_{MAX}는 고정값이고, 이를 줄일 수 있는 방안이 없기 때문에 성능이 저하될 수밖에 없다. 성능이 저하되어도 ID-TDMA가 가장 우수한 성능을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

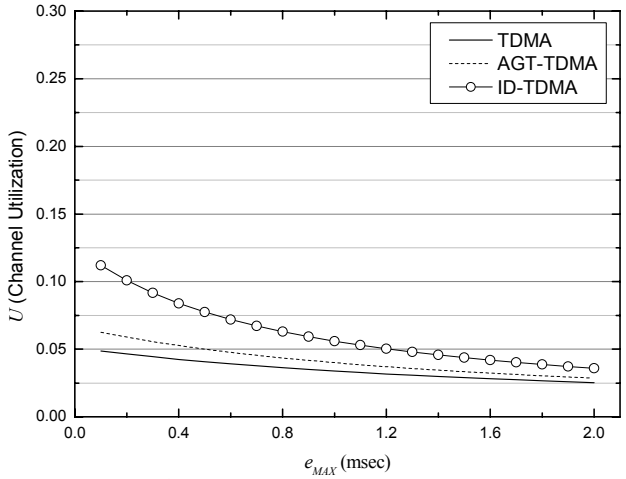

그림 8. e_{MAX}에 따른 U (N=200, T_{Data}=0.1 msec)
Fig. 8. U according to e_{MAX} (N=200, T_{Data}=0.1 msec)

그림 9는 N이 200이고, T_{Data}가 최대 전파 지연보다 큰 3.0 msec일 때, e_{MAX}에 따른 U를 나타낸 그래프이다. 그림 8에서와 마찬가지로 모든 기법들은 e_{MAX}가 증가함에 따라 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 성능이 저하되어도 ID-TDMA가 가장 우수한 성능을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

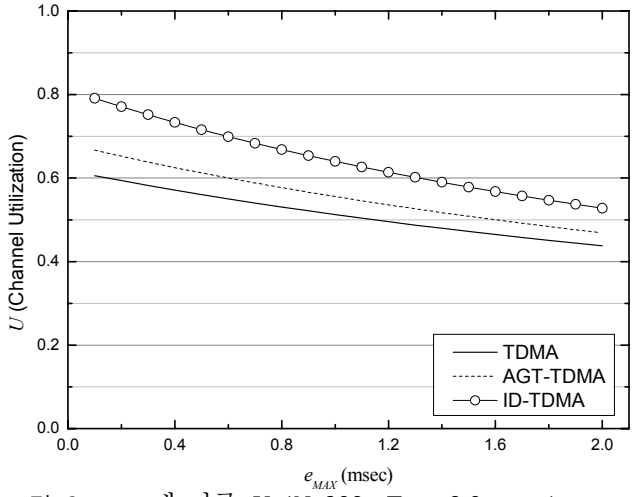

그림 9. e_{MAX}에 따른 U (N=200, T_{Data}=3.0 msec)
Fig. 9. U according to e_{MAX} (N=200, T_{Data}=3.0 msec)

V. 결 론

본 논문에서는 전파 지연이 큰 공중 전술 네트워크에서 브로드캐스팅을 보장하기 위한 ID-TDMA를 제안하였다. ID-TDMA는 브로드캐스팅을 보장하기 위한 보호 시간을 줄일 수 있는 간단한 타임 슬롯 스케줄링을 통해 높은 채널 이용률을 제공하였다. 또한, 시간 동기나 전파 지연 측정에 대한 에러를 고려하였다. ID-TDMA는 데이터의 길이, 노드 수, 에러의 양에 상관없이 비교 기법들보다 높은 채널 이용률을 제공하였음을 확인하였다.

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] P. T. Highnam, "Tactical Targeting Network Technologies (TTNT)", *DARPATech 2002 Symposium*, 2002. Available:http://archive.darpa.mil/DARPATech2002/presentations/ixo_pdf/slides/HighnamIXO_v4.pdf

[5] C-C. Hsu, K-F. Lai, C-F. Chou, and K. C-j. Lin, "ST-MAC: Spatial-Temporal MAC Scheduling for Underwater Sensor Networks," *IEEE INFOCOM*, pp. 1827-1835, 2009. 4.

[6] L. Hong, F. Hong, Z. Guo, and X. Yang, "A TDMA-Based MAC Protocol in Underwater Sensor Networks," *IEEE WiCOM*, pp. 1-4, 2008. 10.

[7] K. Kredo II, P. Djukic, and P. Mohapatra, "STUMP: Exploiting Position Diversity in the Staggered TDMA Underwater MAC Protocol," *IEEE INFOCOM*, pp. 2961-2965, 2009. 4.

[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.

[9] J. Cho, H. Baek, and J. Lim, “Adaptive Guard Time Control Scheme for Increasing Throughput in Wireless TDMA Networks with Large Propagation Delay”, *Korea Computer Congress 2012*, vol. 39 no. 1(D), pp. 470-472, 2012. 6.

백 호 기 (Hoki Baek)

2006년 2월 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 학사
2008년 2월 아주대학교 정보통신공학과 석사
2009년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 전술데이터링크, 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 국방전술네트워크 연구센터장
<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신

구 자 열 (Jayeul Koo)

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

오 일 혁 (Ilhyuk Oh)

1996년 단국대학교 전자공학과 공학석사
1996년~2008년 LIG넥스원 군 위성통신단말 탐색/체계 개발
2008년~현재 JTDLS 위성 모뎀 개발, 차기위성 다대역 단말 개발, LIG넥스원 통신연구센터 (수석연구원)
<관심분야> 군 위성통신 시스템, 전술데이터링크 모뎀, 초고속 모뎀, 디지털신호처리