

전투 무선망에서 다중 홉 전송을 위한 향상된 DAP-NAD 기법

정 종 관*, 김 종 연*, 노 병 희^o

An Enhanced DAP-NAD Scheme for Multi-Hop Transmission in Combat Net Radio Networks

Jong-kwan Jung*, Jong-yeon Kim*, Byeong-hee Roh^o

요 약

최근 많은 국가들이 NCW (Network Centric Warfare)를 구현하는데 기반이 되는 전술 애드 hoc 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 통신 프로토콜 개발을 활발히 진행하고 있다. 전투 무선망 (CNR, Combat Net Radio)은 육군의 보병과 같은 지상군에 있어 가장 중요한 통신 기반망이다. 미군은 전투 무선망에서 음성 및 데이터 통신을 위해 MIL-STD-188-220D를 개발하여 운용 중에 있다. 한국군의 차기 무전기인 전술 다대역, 다기능 무전기 (TMMR)의 MAC 프로토콜의 후보인 MIL-STD-188-220D은 여러 제한사항이 존재한다. MIL-STD-188-220D에 정의된 DAP-NAD는 충돌회피를 위해 시간 동기를 필요로 하지만, 1홉을 벗어난 다중 홉의 환경에서는 시간 동기를 맞추기 어렵다. 다중 홉 환경에서 충돌을 방지하여 지연을 방지하는 향상된 DAP-NAD를 제안하였으며, 모의실험을 통하여 다중 홉 전투 무선망 환경에서 제안기법의 성능이 향상되는 것을 보였다.

Key Words : Combat Net Radio(CNR), MIL-STD-188-220, TMMR, DAP-NAD, Multi-hop, 전투무선망

ABSTRACT

Recently, many countries have been developing new protocols to improve the performance of tactical ad hoc networks for implementing NCW (Network Centric Warfare). Combat net radio (CNR) networks are the most important communication infra for the ground forces such as infantry of Army. U.S. Army had developed MIL-STD-188-220D that is the Interoperability Standard for DMTDs (Digital Messages Transfer Device Subsystems) for voice and data communication in CNR. MIL-STD-188-220D is a candidate for MAC protocol of TMMR which is next radio and has a few constraints to used in TMMR. NAD (Network Access Delay) defined in MIL-STD-188-220D needs time synchronization to avoid collision. However, it is difficult for time synchronization to fit in multi-hop environment. We suggest the enhanced DAP (Deterministic Adaptable Priority)-NAD to prevent conflicts and decrease delays in multi-hop CNR. Simulation results show that the proposed scheme improves the performance in multi-hop CNR networks.

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

◆ 주저자: 육군 교육사령부, 53jjk@daum.net, 정회원

○ 교신저자:이주대학교 소프트웨어융합학과, bhroh@ajou.ac.kr, 종신회원

* 이주대학교 일반대학원 NCW학과, kmakjy@ajou.ac.kr, 준회원

논문번호: KICS2012-08-386, 접수일자: 2012년 8월 29일, 최종논문접수일자: 2012년 10월 11일

I. 서 론

이전의 전투부대의 통신은 무전기를 이용한 음성통신이 주였으나, 많은 정보를 공유하기 위하여 데이터 정보전송에 대한 필요성이 인식되기 시작했다. 이에 군 통신 장비의 효율적인 데이터 통신을 위해 1997년에 미 국방부에서는 무선 애드 혹 망의 데이터 통신을 위한 MIL-STD-188-220A 표준을 정하였고, MIL-STD-188-220Dw/change1까지 버전업되었다^[1]. 이 표준은 전투 무선망에서 데이터 통신을 지원하기 위한 프로토콜로서 음성과 데이터가 혼재된 상황에서 데이터 통신의 신뢰성을 보장 할 수 있도록 데이터 통신망 프로토콜을 규정한 것이다. 군의 FM 무전기는 반이중 방식으로 동작하기 때문에, 음성과 데이터 통신을 동시에 사용할 수 없다. 따라서 통신 단말기는 망에 음성 정보가 존재 하지 않을 때를 감지하여 음성이 존재하지 않는 시간에만 서로 데이터 통신을 하도록 표준은 규정하고 있으며, 음성통신을 우선순위가 데이터 통신보다 높게 하여 데이터 전송도중 음성통신이 시작되면 음성통신을 위하여 데이터 통신을 중지하고 음성 통신이 끝난 후 재전송 등과 같은 방법을 통해 데이터 통신의 신뢰도를 보장한다.

MIL-STD-188-220에서는 같은 망을 사용하는 단말기들이 동시 전송에 따른 충돌 상황을 방지하고 원활한 통신을 위해 데이터 전송 시 단말기 간의 충돌을 사전에 방지하는 네트워크 접속제어 (NAC, Network Access Control)을 규정하고 있다. NAC는 네트워크 사용 탐지시간 (NBS, Network Busy Sensing), 응답 대기시간 (RHD, Response Hold Delay), 전송완료시간 (TP, Timeout Period), 네트워크 접속대기 (NAD, Network Access Delay) 등 4가지의 기능을 정의하고 있다. 어떤 노드가 네트워크가 사용 중인지 탐지 후 아무도 사용하고 있지 않으면 자신의 전송기회에 전송하는 것이다. 이 표준에서는 6개의 NAD를 제공하고 있으며 R (Random)-NAD와 DAP (Deterministic Adaptable Priority)-NAD의 구현은 의무사항이며 DAP-NAD가 가장 좋은 성능을 보여주고 있다^[2]. DAP-NAD는 네트워크 액세스 권한을 모든 노드에게 동등하게 부여하여 충돌을 사전에 피하는 방법으로 모든 노드들은 고유한 네트워크 액세스 슬롯번호를 가지며, 네트워크 액세스 슬롯번호가 라운드로빈 방식으로 순환되는데 전송할 데이터가 있으면 자신의 슬롯번호에서 전송한다. 어떤 노드가 전송하면 시간동기를 맞추고, 다시 네트워크 액세스 슬롯번호가 순차적으로 돌아간다. 이때 네트워크 액세스 슬롯번호 하나

의 주기에서 먼저 전송할 노드를 FSN (First Station Number)라 하며 데이터 전송노드는 FSN을 1을 증가시켜 다음 FSN으로 지정한다. 매번 네트워크 액세스 슬롯번호 전송주기에서 FSN의 노드가 전송하면 유향한 액세스 슬롯이 없기에 효율성이 증가한다. 그러나 네트워크가 1홉이 아닌 2홉 이상 되면 1홉 이외의 노드는 시간 동기화가 어렵기 때문에 FSN의 정보가 담긴 데이터를 받지 못하고 TP (Time Period)를 계산할 수 없다. 즉, 정확한 자신의 접속기회를 계산할 수 없어 데이터를 전송할 수 없게 되는 제한사항이 있다. 한국군에서 사용중인 PRC-999K 무전기의 경우 중 출력(5W)으로 긴 안테나를 사용하면 전송거리가 8Km이므로 모든 단말들이 서로 1홉 내에 있을 수 있으나 한국지형 특성으로 LOS(Line of Sight)가 보장 되지 않아 2홉으로 네트워크가 구성될 수 있다. 이러한 상황에서 MIL-STD-188-220의 DAP-NAD는 원활한 통신보장이 어렵다.

II. 관련 연구

현재까지의 MIL-STD-188-220의 연구는 주로 1홉 내에서 유향 슬롯수를 줄여 전송효율을 증가시키는데 초점이 맞춰졌다^[2-5]. 다중 홉의 전투무선망에서 연구를 살펴보면 [6]에서는 MIL-STD-188-220을 광대역 전송 Ad-hoc Network에 적용할 때 DAP-NAD와 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)를 기반으로 하는 IEEE 802.11와 비교하였다. 기본적으로 CSMA는 우선순위에 대한 QoS (Quality-of-Service)를 보장하지 않기 때문에 이 논문에서는 트래픽의 우선순위에 대한 고려를 통해 DAP-NAD의 광대역 전송망에 적용방안을 모색하였다. 또한, [7]에서는 MIL-STD-188-220 기반의 전투 무선망 (CNR, Combat Net Radio)에서 데이터 트래픽을 감소하기 위한 방법이 제안 되었다. 1-hop 이웃한 노드들 간에 데이터 전달확인을 End-to-End ACK 및 데이터링크 ACK의 중복 사용에 따라 과도한 트래픽이 발생되고, 또한 목적지 노드들이 송신하는 End-to-End ACK들이 무선망에서 충돌하는 경우가 발생하여 데이터 전달을 확인하는데 많은 트래픽이 발생됨으로서 전체적으로 통신망 성능이 저하될 수 있는 MIL-STD-188-220C의 1-hop내 데이터 전달 확인 방식에 관련한 문제점을 개선하는 방법을 제안한 것이다. Howard D. Smith[8]는 Tactical Multi-hop Radio Networks를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. MIL-STD-188-220을 사용하는 환경에서 MAC 계층

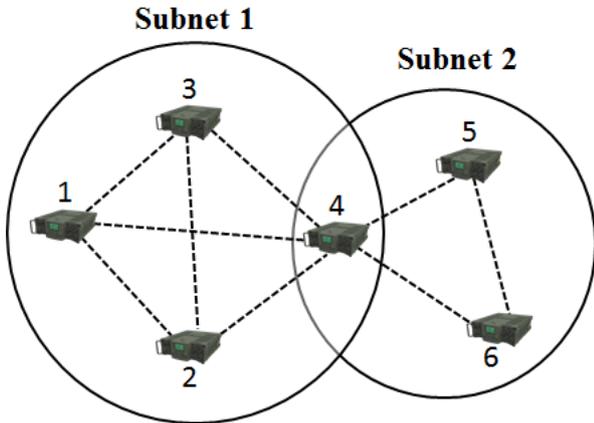


그림 1. 2-hop의 CNR 구성의 예
Fig. 1. An example of 2-hop topology in CNR

에서의 Cooperative Diversity-based Radio (CDR)에 대한 분석으로 모든 무전기들이 1-hop내에서 운용될 때는 최적의 성능을 보이지만, 다중의 홉에서 운용될 시 라우팅 및 포워딩 정의가 잘 이루어지지 않으면 심각한 성능 저하를 가져옴을 보였다. [9]에서는 2-hop으로 구성된 DAP-NAD 네트워크에서 중계노드에게 먼저 우선권을 주는 기법을 제안했다. 하지만, 구체적인 MAC에 대한 알고리즘이 제시되지 않았고, 이로 유발되는 비동기에 의한 충돌은 고려하지 않았다. MIL-STD-188-220 기반의 전투무선망에서는 충돌을 회피하기 위해 시간 동기화를 통한 자신이 네트워크에 접근할 수 있는 시간을 계산한다. 만약 동기된 시간이 다르다면 충돌이 발생하고 시간동기를 맞추지 못하면 네트워크 접근 기회시간을 계산할 수 없다. 예로 6개의 노드로 구성되는 전투무선망이 노드의 이동성 및 지형 등의 이유로 그림 1과 같이 2홉으로 구성될 때, DAP-NAD가 적용하여 데이터 통신시 나타나는 문제점은 그림 2처럼 시간동기 불일치에 따른 충돌이 발생하게 된다. 4번 노드가 우선 메시지(PM, Priority Message)를 전송하게 되면 6개 노드는 동기를 맞추고 각자 네트워크 접속할 수 있는 NAD를 계산하게 된다. 3번 노드가 우선메시지가 발생하여 전송하면 서브넷 1에 속하는 노드는 이 메시지를 수신하고 동기를 이루고 다시 NAD를 계산하게 된다. 그러나 서브넷 2에 속하는 5번 노드와 6번 노드는 3번 노드가 전송한 메시지를 수신하지 못하기 때문에 이전에 4번 노드가 전송한 메시지를 바탕으로 NAD를 계산하게 된다. 따라서 서브넷 1에 속하는 노드와 서브넷 2에 속하는 노드가 서로 다른 FSN의 정보와 시간 동기는 메시지 충돌을 발생하게 한다. 이러한 충돌로 인해 Type 1의 데이터는 손실되고, Type3의 경우에는 충돌로 인한

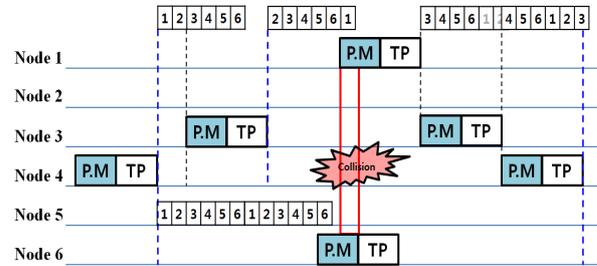


그림 2. 2-hop의 CNR에서 메시지 충돌의 예
Fig. 2. An example of collisions over 2-hop CNR

ACK의 추가 대기시간 발생으로 네트워크 유희시간이 증가한다. MIL-STD-188-220을 사용하는 전투 무선망에서 1홉의 네트워크에서 다중 홉의 네트워크로 토폴로지가 변경될 때에는 전체 노드 간 시간동기를 맞추는 것이 제한되기 때문에 반복해서 중간노드에서 데이터 충돌은 일어나게 되어 MIL-STD-188-220의 DAP-NAD가 효과적으로 운용되는 것은 제한된다. 따라서 이러한 제한사항을 극복하기 위하여 다중 홉에서 운용될 수 있는 향상된 DAP-NAD를 제안한다.

III. 제안 방법

제안하는 향상된 DAP-NAD는 기존의 DAP-NAD처럼 모든 노드에게 동일한 네트워크 접속 기회를 부여하는 방법으로 2홉 또는 3홉으로 구성될 때 각 서브넷에 속한 노드는 그림 1처럼 서로 완전 연결되어 있다고 가정한다. RN (Relay Node)의 노드번호는 서브넷 1에서는 가장 크고 서브넷 2에서는 가장 작은 값을 갖도록 NCS (Network Control Station)가 부여한다. NCS는 클러스터 헤더의 기능을 수행한다. 네트워크 접속을 제공하는 메커니즘은 각 NAP (Network Access Period)에서 다른 노드에게 첫 번째 접속 기회를 제공하고 순서대로 다른 모든 노드로 접근할 수 있는 기회를 제공하는 것이다. 각 노드들에게 노드 번호가 부여되며 이 번호는 우선순위를 고려하여 NCS가 지정한다. 첫 번째 NAP동안 노드번호 1에게 첫 번째 접근 기회가 부여되며, 노드번호 2는 두 번째 접근 기회, 노드번호 3은 세 번째 접근기회가 부여된다. 마지막 노드에게 전송기회가 부여된 후, 기존 DAP-NAD와는 다르게 역순으로 접근기회가 부여된다. 이것은 어떤 노드가 전송할 때까지 계속된다. 어느 한 노드가 자신의 전송기회에서 메시지를 전송하면 전송 시 다음 FSN 정보를 데이터링크 프레임 내 전송헤더에 포함시킨다.

표 1. FSN 지정 예제
Table. 1. An example of the assignment of FSN

Proposed NAD	Access	1	2	3	4	B	5	B	6	7	8	B	9	10				
	Station #	1	2	3	Tx by 4	A	Tx by 5	A	6	5	Tx by 4	A	3	2				
	FSN	1	1	1	1	5	5	6	6	6	6	3	3	3				
	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P				
DAP-NAD	Access	1	2	3	4	5	B	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Station #	1	2	3	4	Tx by 5	A	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	FSN	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	R	R	R	R	R

이때 FSN은 네트워크 접속 슬롯번호가 증가하고 있을 때면 자신의 노드번호+1이 FSN으로 되고 네트워크 접속 슬롯번호가 감소하고 있을 때면 자신의 노드번호에서 1을 감소시킨 값이 FSN으로 지정된다.

동일한 주파수를 사용하는 전투 무선망에서 각 노드는 이동 또는 지형 등의 이유로 인하여 그림 1과 같이 2개의 서브넷으로 구성된 다중 홉의 네트워크 구조를 가질 수 있다. 각 점선원은 서브넷 내에서 연결을 나타내는 것으로, 서브넷 1에 속하는 노드 1, 2, 3, 4번 노드는 모두 1홉 전송범위 내에 있는 것을 의미하고, 서브넷 2에 속하는 노드 4, 5, 6번 노드는 1홉 전송범위 내에 있는 것을 의미한다. 두 서브넷을 연결시켜주는, 즉 중계 역할을 수행하는 노드를 RN이라 한다. 그림 1에서는 4번 노드가 RN이다. 그림 1에서 각 노드의 번호는 네트워크 구성시 노드의 우선순위에 의거 NCS에 의해 부여된 것으로 네트워크 접속 슬롯번호로 사용된다.

3.1. FSN 지정방법

네트워크 접속 슬롯번호가 순차적 (예 1, 2, 3, 4, 5, ...)으로 증가하고 있을 때 메시지를 전송한 노드는 자신의 노드번호에 1을 증가시킨 값을 FSN으로 지정하고 네트워크 접속기회가 역순 (예 5, 4, 3, 2, 1 순)으로 되어 있을 때면 자신의 노드번호에서 1을 감소시킨 값을 FSN으로 지정한다. 만약 FSN이 NS (Number of Station)+1과 같게 되면 FSN을 노드번호에 1을 감소시킨 값을 FSN으로 지정한다. 그림 3은 FSN을 지정하는 순서도를 나타낸 것이다. 메시지가 발생하면 네트워크 접속 슬롯번호가 증가하고 있었는지, 감소하고 있는지 확인하기 위해 먼저 자신의 노드번호와 이전 FSN을 비교한다. 자신의 노드번호가 크고 자신의 노드번호에 1을 더한 값이 NS보다 작으면 네트워크 접속 슬롯번호가 순차적으로 증가하고 있을 때이므로 FSN은 자신의 노드번호에 1을 더한 값이

된다. 만약, 노드번호가 이전 FSN보다 작거나 이전 전송노드의 번호가 자신의 노드번호보다 크다면 네트워크 접속 슬롯번호가 역순으로 감소하고 있을 때이므로 FSN은 자신의 노드번호에 1을 감소시킨 값이 된다. 표 1은 그림 1과 같은 네트워크에서 최초 FSN이 1이고 네트워크 우선순위가 우선인 상황에서 5번 노드가 우선 메시지를 전송할 때의 FSN 및 네트워크 접속 슬롯번호를 부여하는 것을 제안하는 방법과 기존 DAP-NAD를 비교 설명하기 위해 예를 보여준 것이다. 기존 DAP-NAD에서 네트워크 접속 슬롯번호는 1부터 시작하여 6까지 순차적으로 증가 후 다시 1부터 6까지 접속순서를 반복하고 있으나 제안하는 방법에서는 1부터 시작하여 6까지 1씩 증가된 후 다시 1까지 역순으로 나열하고 있다. 기존 DAP-NAD에서는 5번 노드가 데이터를 전송 후 FSN은 이전 FSN 값인 1에서 1을 더하여 2가 된다. 하지만, 제안하는 방법에서는 서브넷을 연결하는 RN인 4번 노드가 우선적으로 전송한다. 이는 NAD의 서브넷 1과 2의 동기화를 위함이다. 4번 노드가 제어 메시지를 전송할 때, FSN은 접속 슬롯번호가 순차적으로 증가하고 있었기

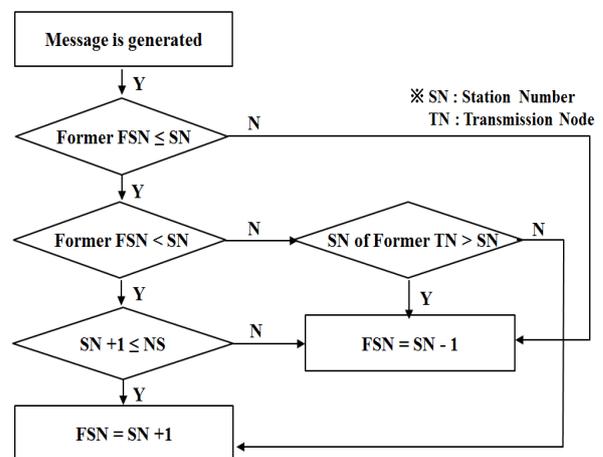


그림 3. FSN 지정 순서도
Fig. 3. Flowchart of assignment of FSN

때문에 자신의 노드번호(4)에 1을 더한 값인 5가 된다. 이후 5번 노드가 데이터를 전송 후 FSN은 역시 접속 슬롯번호가 순차적으로 증가하고 있었기 때문에 자신의 노드번호(5)에 1을 더한 6이 된다. 이후 역순 접속순서로 다시 접속슬롯번호가 4가 되면 중계하는 4번 노드는 접속슬롯번호가 역순으로 감소하고 있기 때문에 자신의 노드번호(4)에 1을 뺀 3을 FSN으로 지정하여 제어 메시지를 전송한다.

3.2. 네트워크 우선순위

네트워크 우선순위는 DAP-NAD에 적용된 것과 같다. 네트워크 우선순위 (NP, Network Precedence)가 긴급 (Urgent)이면 각 노드는 긴급메시지만을 전송할 수 있고 우선 (Priority), 일반 (Routine) 메시지는 NP가 우선, 일반적으로 하향 조정된 후 자신의 네트워크 접속 순서에서 전송할 수 있다. NP가 우선이면 우선 메시지뿐만 아니라 긴급 메시지도 전송 가능하며 일반 메시지는 NP가 일반적으로 조정된 후 전송가능하다. 네트워크 우선순위 변경은 RN에 의해서 수행된다.

3.3. RN(Relay Node)의 역할

RN은 NCS에 의해 지정된다. NCS는 라우팅 트리를 구성하면서 부모노드와 자식노드를 가진 노드를 RN으로 선택한다. RN은 크게 두 개의 기능을 수행한다.

첫 번째는 RN은 전송할 메시지 유무에 관계없이 자신의 네트워크 접속기회가 오면 네트워크 접속기회를 인접 서브넷으로 넘겨주는 제어 메시지를 전송한다. 즉, 그림 1에서 네트워크 접속기회가 노드번호 1부터 시작한다고 할 때 만약 2번 노드가 메시지를 전송하면서 FSN을 3으로 하면 서브넷 2에 있는 5, 6번 노드는 이 메시지를 수신 할 수 없다. 이를 보완하기 위해 RN은 자신의 네트워크 접속순서가 되면 FSN을 5로 변경하여 전송기회를 서브넷 2에 있는 노드들에게 부여한다. 동시에 서브넷 1에 있는 노드는 이 메시지를 받은 후 자신의 네트워크 접속기회 시간을 계산하지만 시간 값을 음수로 계산하게 하여 충돌을 방지하고 RN에 의해 네트워크 접근 제어메시지가 서브넷 1로 전송될 때까지 대기 한다. 네트워크 접속기회 시간계산은 3.4의 NAD 계산을 참고한다. RN은 네트워크 우선순위를 지정하는 기능을 갖는다. DAP-NAD에서는 네트워크 우선순위는 네트워크 접속기회가 모든 노드에게 한 번씩 부여되는 시간이 지나면 긴급은 우선으로, 우선은 일반적으로 하향 조정된다. 제안하는 NAD에서는 RN이 네트워크 우선순위를 지정한다. RN이 연속해서 3번 네트워크 접근 제어 메시지를 전

송할 때 네트워크 우선순위를 하향 조정하는 것이다.

3.4. NAD 역할

각 노드는 자신의 네트워크 접속기회를 나타내는 슬롯번호를 알기위해 메시지를 수신 후 FSN, RSN, SN과 같은 정보 등을 이용하여 NAD를 계산해야 한다. 계산식은 아래와 같다. DAP-NAD에서 계산되는 NAD와 다른 점은 n의 값이 무한대가 아닌 2까지이며 수식 (1), (2)는 동일하고 알고리즘 1과 2가 다르다. 여기서 NS은 네트워크에 참가하는 노드 수이고, SN (Station Number)은 NCS로부터 받은 노드번호이고, RSN (Relay Station Number)은 RN의 노드번호이며, LSN (Last Station Number)은 직전에 데이터를 전송한 노드번호이다.

수식 (1)은 NAD의 계산식으로 어느 노드의 데이터 송신이후에 새로운 데이터 프레임을 보내기 위해 기다려야하는 시간이다. 즉, Fn은 각각의 무전기가 데이터를 전송하기 전에 기다려야 하는 NAD 슬롯의 개수이며, Net_Busy_Detect_Time은 망이 사용중임을 감지하는 최소한의 시간이다. DTETURN은 장비가 수신대기에서 송신상태로 변환하는데 걸리는 시간이다.

$$NADn = Fn \times Net_Busy_Detect_Time + Max(0, Fn-1) \times DTETURN \text{ for } n=1 \text{ to } 2 \tag{1}$$

알고리즘 1은 Fn를 계산하기 위해 함수 F()을 호출하는 것으로 서로 다른 서브넷에 속하는 노드들에 의한 Hidden node problem을 해결하기 위해 Fmin값이 0보다 작으면 전체 노드 수만큼 TP를 계산하여 충돌을 회피토록 하였다.

$$Fn = F() \quad \text{for } n=1 \text{ to } 2$$

$$\text{if } Fmin \leq 0 \text{ then}$$

$$Fmin = NS \times TP$$

$$\text{else } Fmin = Fmin$$

그림 4. 알고리즘 1
Fig. 4. Algorithm 1

알고리즘 2는 함수 F()에 대한 내용으로 충돌을 회피하기 위해 대기해야 하는 최소한의 Fmin값을 구하는 식이다. 먼저 RSN과 FSN 비교를 통해 RN보다 노드번호가 작은 서브넷에서 데이터가 전송되었는지 아

```

F()
if RSN ≥ FSN
    //어느 서브넷에서 전송되었는지 체크//
    if FSN > LSN
        //노드번호가 증가하는 순향이면//
        if SN > RSN then Fmin = -1
        else if SN > FSN then
            Fmin = (SN - FSN) + (n-1) * null
                    + I + P × NS
        else Fmin = -1
    else if SN ≤ RSN
        //노드번호가 감소하는 역방향이면//
        Fmin = FSN - SN + (n-1) * {2(SN-1)}
                + I + P × NS
    else Fmin = -1
else if LSN < FSN
    //RN번호보다 큰 서브넷에서 순방향이면//
    else if SN < RSN then Fmin = -1
    else Fmin = (SN - FSN) + (n-1)
                * {2(NS - SN)} + I + P × NS
else if LSN > FSN
    //RN번호보다 큰 서브넷에서 역방향이면//
    else if SN < RSN
        then Fmin = -1
        else Fmin = (FSN - SN)
                + I + P × NS
else Fmin = -1
Return Fmin
    
```

그림 5. 알고리즘 2
Fig. 5. Algorithm 2

니면 큰 서브넷에서 전송되었는지 판단한다. 이후 네트워크 접속슬롯번호가 순차적으로 증가할 때 전송되었는지 아니면 감소할 때 전송되었는지 확인하여 Fmin값을 구한다.

수식 (2)의 P는 메시지 우선순위와 네트워크 우선순위를 비교하기 위한 것이며, MP는 전송을 기다리고 있는 메시지 우선순위로, 긴급메시지가 있으면 0, 우선메시지가 있으면 1, 긴급·우선 메시지가 없으면 2이다. NP는 지난 전송메시지에 포함된 메시지의 우선순위를 나타내는 네트워크 우선순위로 긴급일 때는 0, 우선일 때는 1, 일반일 때는 2이다.

$$P = MP - NP \text{ if } MP > NP, \text{ else } P = 0 \text{ (2)}$$

3.5. 노드 이동에 따른 토폴로지 변경

노드의 이동이나 새로운 노드의 네트워크 참여에 따라 토폴로지가 변경되면 NCS는 각 노드에게 새로운 노드번호를 부여한다. 토폴로지가 변경되면 각 노드는 토폴로지 업데이트 메시지를 보내고 변경된 사항에 따라 NCS가 새로이 각 노드에게 새로운 노드번호를 부여하게 되는 것이다. 이 때 새로운 노드번호가 부여될 시 서브넷에서 가장 큰 번호 또는 작은 번호는 RN에게 부여되도록 한다.

3.6. RSN, LSN 정보 전파

LSN은 이전에 데이터를 전송한 노드의 노드번호를 의미하며, 이 정보는 데이터링크 프레임의 전송헤더를 그림 6은 데이터링크 프레임의 전송헤더를 보여준다. MIL-STD-188-220에서는 T11 필드는 공란으로 되어 있다. 따라서, 이 스페어 필드를 이용하여 LSN 정보를 삽입할 수 있도록 하였다. ‘Station Number’가 NAD를 계산할 때 LSN의 값이 된다. RSN은 NCS에 의해 노드 번호로 부여되며, 네트워크 관리를 위한 XNP (eXchange Network Parameter) 메시지 전송시 데이터 블록에 포함되어 전송된다.

IV. 성능 평가

4.1. 실험 환경

성능평가를 위해서 그림 7(a)와 같이 6개의 노드로 구성된 전투 무선망을 구성하였고 1, 2, 3, 4번 노드들은 모두 전송범위 내에 있어 서로 연결되어 있고, 5과 6번 노드에게 전송을 하려면 4번 노드를 경유해야 한다. 노드 수는 그림 7(b)와 같은 네트워크 구성에서 3개씩 증가할 때 서브넷 1에는 2개씩, 서브넷 2에서는 1개씩 증가시켰다. 생성되는 메시지의 크기 및 주기는 포아송 분포로 생성되며 평균값은 표 2과 같다. 메시지는 긴급과 우선메시지가 생성되며 일반메시지는 제외하였다.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	Transmission Queue Subfield Ignored							
0	1	Queue Prec.	Queue Prec.				Spare		
1	0	Data Link Prec.	First Station Number						
1	1	Station Number							

그림 6. 수정된 데이터 링크의 전송헤더
Fig. 6. Modified transmission header in datalink

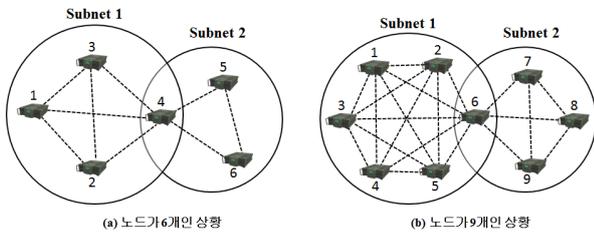


그림 7. 네트워크 구성의 예
 (a) 6개 노드로 구성, (b) 9개 노드로 구성
 Fig. 7. Examples of networks models with
 (a) 6 nodes, (b) 9 nodes

표 2. 노드가 전송하는 데이터 값
 Table. 2. Transmission data size

Message Type	Message Rate(msg/hr)	Size
Priority	200	200byte
Urgent (C2_message)	2	1Kbyte

표 3. 설정된 MAC 파라미터 값 [7, 10]
 Table. 3. Parameter values

Parameter	Value	Parameter	Value
EPRE	40msec	TOL	50msec
ELAG	278msec	B	32msec
DTEACK	25msec	NBDT	400msec
PASHING	2msec	DATA Rate	4800bps
TURN	395msec	Number of Nodes	6, 9, 12

실험환경은 C로 구현하였으며 사용된 MAC 파라미터 값은 MIL-STD 188-220과 여러 논문[7,10]을 기초한 것으로 무전기의 데이터 전송속도는 4,800bps이며, 서브넷에 있는 단말의 링크는 1홉 내에서 서로 연결되어 있다고 가정하며 기타 세부내용은 표 3과 같다. 표 3의 파라미터 값들은 무전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 EPRE (장비 프리앰블 시간)은 PTT (무전기의 Push-To-Talk 스위치)를 잡고 최초의 데이터가 DTE (MIL-STD-188-220 프로토콜을 수행하는 부분)에서 DCE (DTE의 통신채널)로 나오는데 필요한 클럭을 제공하는데 걸리는 시간이다. PHASING (DTE와 DCE의 동기를 위한 시간)은 EPRE 직후에 바로 시작된다. ELAG (장비 지연 시간)은 데이터의 마지막 비트가 송신 DTE를 떠난 순간부터 수신 DTE로 모두 전송되는데 까지 걸리는 시간이다. TURN (Turnaround time)은 송신과 수신모드로 전환하는데 필요한 시간이다. DTEACK (DTE ACK preparation

time)은 Coupled Type1 Acknowledgment Frame의 경우로 ELAG가 끝난 후부터 수신 DTE가 응답을 송신하려고 하는데 까지 걸리는 시간이다. DTEPROC (DTE PROCessing time)은 Not Coupled, Type 1 acknowledgment의 경우로 ELAG가 끝난 후부터 수신 DTE가 다음 전송을 DCE로 할 수 있기까지의 시간이다. DTETURN (DTE turnaround time)은 DTE가 데이터 수신 또는 수신 대기 중에 수신을 멈추고 송신을 시작하기까지의 시간이다. TOL (Tolerance Time)은 송신 DTE에서 수신 DTE로 데이터 전송시 실제로 나타난 시간변수들을 보충하는 값이다. NBDT (Network Busy Dectect Time)는 다른 노드로부터 전송되는 데이터신호를 감지하는데 필요한 시간이다. 성능비교를 위해 RN에서 충돌로 인한 메시지 손실과 전송지연시간을 측정하였다.

4.2. 실험 결과

실험의 시나리오는 2가지로 첫 번째는 노드의 이동성과 지형의 영향 등으로 인한 링크의 단절로 2홉으로 구성된 전투무선망에서 노드 수를 3개씩 증가시키며 6시간 동안 실험했을 때 메시지 손실과 전송지연시간을 측정하였다. 두 번째는 전투무선망이 1홉 내에서 운영될 때, 기존 DAP-NAD를 사용할 때와 제안방법을 사용할 때의 우선메시지 전송시간을 측정하였다. 먼저, RN에서 측정할 메시지 손실 수는 그림 8과 같다. 긴급메시지는 시간당 2개, 우선메시지는 200개를 발생시키고 전투무선망 운용시간은 6시간, 실험횟수는 30번을 실시하여 평균을 나타낸 것이다. 여기서 측정할 메시지 손실 수는 목적지를 RN으로 지정하여 송신된 메시지를 기준으로 수신된 메시지 수를 뺀 값이다. 그림 9는 RN에서 측정할 메시지 손실률을 나타낸 것이다. 송신한 전체 메시지에 대한 수신된 메시지의 수를 체크하여 메시지 손실률을 구하였다. 긴급메시지를 시간당 2개일 때는 긴급메시지 수가 적어서 손실률이 변화가 없으나 10개로 증가시키면 손실률도 증가함을 볼 수 있다. 그림 10은 우선메시지 전송지연시간을 나타낸 것이다. 여기서 전송지연시간은 메시지가 발생하여 전송하기 전까지 큐에서 대기하는 시간을 측정할 값이다. 노드 수가 6개일 때는 비슷한 성능을 보이지만 노드수가 증가하면서 기존 DAP-NAD보다 제안된 방법의 전송지연시간이 작게 측정되었다. 기존 DAP-NAD은 2홉으로 구성된 네트워크에서 NAD의 동기화가 이루어지지 않아 충돌로 인한 손실이 많이 발생하는 반면, 제한하는 방법은 NAD의 동기화로 인하여 충돌 발생률이 감소하였기 때문이다. 시나리오

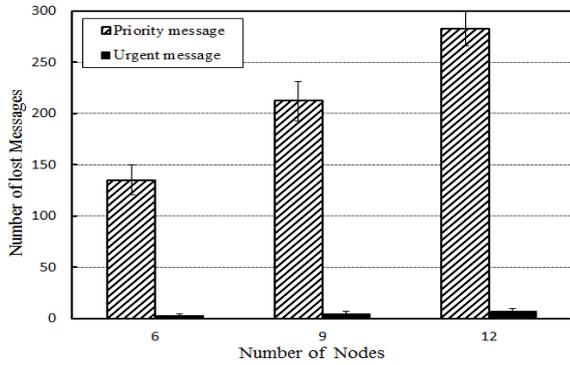


그림 8. 손실된 메시지 수
Fig. 8. Number of lost messages

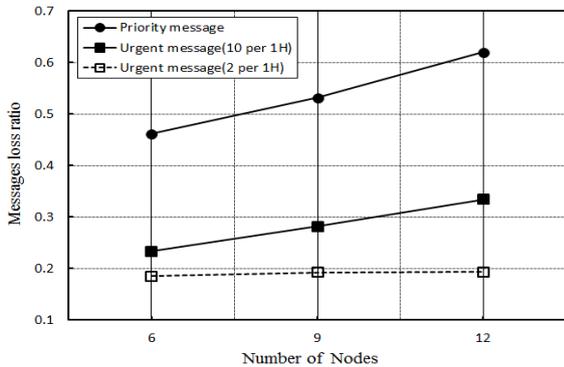


그림 9. 메시지 손실률
Fig. 9. Message loss ratio

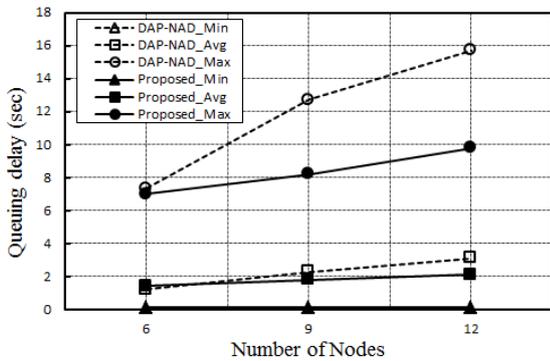


그림 10. 전투무선망이 2-hop일 때 우선 메시지 전송 지연시간
Fig. 10. Queuing delay of priority messages underlying 2-hop topology

두 번째에 대한 결과를 나타낸 것이 그림 11이다. 즉, 1-hop 내에 모든 노드들이 있을 때 기존 DAP-NAD와 제안방법을 적용하여 전투 무선망을 6시간 운영하였을 때의 전송될 때까지 큐에서 대기하는 우선메시지의 전송지연시간을 나타낸 것이다. 기존 DAP-NAD보다 제안된 방법의 전송지연이 약간 길게 나타나고 있다. 이것은 제안하는 방법에서 RN에게 추가적인 네트

워크 접속기회가 주어지기 때문이다. 따라서 1-hop에서는 기존 DAP-NAD 방식을 따르고, 2-hop이상의 다중 홉의 네트워크로 변경시에는 제안하는 NAD를 적용하면 보다 효과적인 전투 무선망 운용이 될 수 있다는 것을 보여준다.

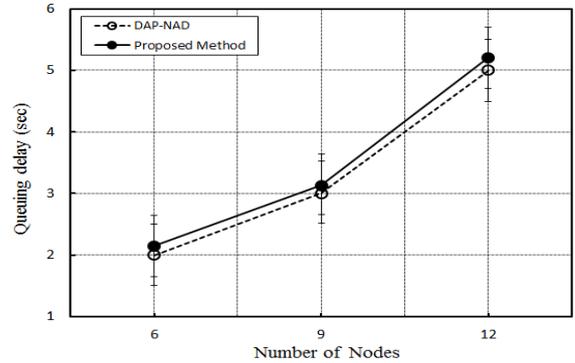


그림 11. 전투무선망이 1-hop일 때 우선 메시지 전송지연 시간
Fig. 11. Queuing delay of priority messages underlying 1-hop topology

V. 결 론

본 논문에서는 노드의 이동, 지형 등의 영향으로 인한 링크의 단절로 발생하는 다중 홉의 CNR에서 충돌 없이 전송지연을 방지하는 향상된 DAP-NAD를 제안하였다. MIL-STD-188-220은 1홉이 아닌 그 이상의 홉에서 운용될 때에는 Hidden node problem과 같은 문제가 발생하고, 유효한 FSN 정보 부재로 NAD 계산이 어렵게 된다. 시뮬레이션을 통해서 노드 수가 증가하고 다중 홉 환경에서는 제안한 방법이 전송지연 시간을 줄여주며, 전송지연시간 편차의 폭을 감소시키는 것을 보였다. 하지만, 1-hop의 네트워크에서는 기존 DAP-NAD가 좋은 성능을 보이고 있으므로, 네트워크 환경에 따라 선택적으로 제안 기법이 적용되어야 한다.

차후 연구에서는 중계역할을 하는 RN이 통합적으로 전체 네트워크를 통제하기 때문에 Exposed node problem이 발생한다. 이로 인한 전체 네트워크 성능 저하에 대한 사항도 고려되어야 하며, 또한 네트워크 구성이 2-hop으로만 고려되어 2-hop을 초과하는 다양한 환경에서의 성능평가도 추후연구에서는 다루어져야 할 것이다.

References

[1] MIL-STD-188-220D w/change1, Interoperability Standard for Digital Message Device Subsystem, *U.S. Department of Defense Interface Standard*, pp. 1-543, 23 June 2008.

[2] David J. Thuente, "Efficient data and voice media access control algorithm for MIL-STD 188-220B," *IEEE MILCOM 2000*, vol. 1, pp. 115-121, Los Angeles, USA, Oct. 2000.

[3] David J. Thuente, "Modified CSMA /implicit token passing algorithm for MIL-STD 188-220B," *IEEE MILCOM 2001*, vol. 2, pp. 838-844, McLean Virginia, USA, Oct. 2001.

[4] David J. Thuente, "Improving quality of service for MIL-STD 188-220C," *IEEE MILCOM 2002*, vol. 2, pp. 1194-1200, Anaheim, USA, Oct. 2002.

[5] Jie Yang, Yantao Liu, "An improved implicit token passing algorithm for DAP-NAD in MIL-STD 188-220C", *International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile computing 2006*, pp. 1-4, Wuhan, China, Sep. 2006.

[6] Sewen Han, Byung-Seo Kim and Hong-Young Ahn, "Reaserch on the Feasibility of DAP-NAD for Wideband Tactical Ad-hoc Network", *Journal of Advanced Smart Convergence (JASC)*, vol. 11, no. 1, pp. 199-204, Feb. 2011.

[7] Jisang You, Incheol Baek, Hongku Kang, and Joonsung Choi, "Effective traffic control for military tactical wireless mobile Ad-hoc network". *IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications 2010*, pp. 1-8, Chengdu, China, Oct. 2010.

[8] Howard D. Smith, "Simulation-based analysis and evaluation of tactical multi-hop radio networks", *Naval Postgraduate School, Master's Thesis*, pp. 1-104, Mar. 2009.

[9] Shin Hyun Keun, Jung Jun Woo, Choi Jeong In and Lim Jae Sung, "A relay scheme for reducing multi-hop delay in MIL-STD-188-220D Network", in Proc. *KICS ICC 2011*, Yongpyeong, Korea, Dec. 2011.

[10] S.S. Cho, C. W. Lyu, B. C. Jung, D K. Sung, "Effective exchange of real-time location information packets in an integrated voice/data ad-hoc network based on the MIL-STD 188-220C standard," *IEEE MILCOM 2007*, vol. 1, pp. 1-5, Orland, USA, Oct. 2007.

정 종 관 (Jong-Kwan Jung)



1997년 3월 육군사관학교 정보공학과 졸업(학사)
 2004년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
 2012. 2월 아주대학교 NCW 공학과 졸업(박사)
 <관심분야> 국방전술네트워크, QoS, 전투무선망

김 종 연 (Jong-yeon Kim)



2003년 3월 육군사관학교 기계공학과 졸업(학사)
 2011년 3월~현재 아주대학교 NCW공학과 석사과정 (군위탁 교육)
 <관심분야> 인지무선통신, 전투무선망, QoS

노 병 희 (Byeong-hee Roh)



1987년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1989년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사)
 1998년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사)
 1989년 3월~1994년 2월 한국

통신통신망 연구소
 1998년 2월~2000년 3월 삼성전자
 2000. 3월~현재 아주대학교 정보컴퓨터공학과/소프트웨어융합학과 교수
 <관심분야> 국방전술네트워크, 유/무선 인터넷 멀티미디어 통신 및 응용, 트래픽 제어, 인지무선통신, 미래인터넷, QoS