MIL-STD-188-220C 기반 전술 무선 이동 Ad-Hoc 망에서 1-hop내 데이터 트래픽 감소 방법

1-hop Data Traffic Reduction Method in Tactical Wireless Mobile Ad-Hoc Network based on MIL-STD-188-220C

유 지 상*
You, Ji-Sang

ABSTRACT

The data delivery confirmation method of MIL-STD-188-220C, which is a tactical wireless mobile Ad-Hoc communication protocol, is that a source node requires the end-to-end ack from all destination nodes and the data-link ack from 1-hop neighboring destination nodes and relaying nodes, regardless of the hop distance from a source node to destination nodes. This method has the problem to degrade the whole communication network performance because of excessive data traffic due to the duplicate use of end-to-end ack and data-link ack, and the collision among end-to-end acks on the wireless network in the case of confirming a data delivery within an 1-hop distance.

In order to solve this problem, this paper has proposed the method to perform the data delivery confirmation with the improvement of communication network performance through the data traffic reduction by achieving the reliable data delivery confirmation requiring the only data-link ack within an 1-hop distance. The effects of the proposed method are analyzed in the two aspects of the data delivery confirmation delay time and the data delivery confirmation success ratio.

주요기술용어(주제어) : MIL-STD-188-220C Protocol(MIL-STD-188-220C 프로토콜), End-to-End ACK(종단간 전달확인), Data-Link ACK(데이터 링크 간 전달확인), 데이터 전달확인 지연 시간(Data Delivery Confirmation Delay Time), 데이터 전달확인 성공률(Data Delivery Confirmation Success Ratio)

1. 서 론

MIL-STD-188-220C 표준은 지상 전장에서 전투차량이 임의적으로 기동하는 상황에서 음성 및 데이터 정보를 원활하게 송수신 해주는 전술 무선 이동 Ad-Hoc 프로토콜이다. MIL-STD-188-220C 표준이 취급하는 계층에는 네트워크 계층, 데이터 링크 계층 그리고 물리 계층 등의 세 개의 계층들이 있으며 네트워크 계층 이상의 계층들에 대해서는 기존 상용 프로토콜을 적용하도록 하고 있다[1]. 네트워크 계층은

† 2007년 10월 30일 접수~2007년 12월 14일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
주저자 이메일 : jsyou@add.re.kr

동일망에 존재하는 통신 노드들 간의 연결성 정보인 토폴로지 정보를 유지하고, 토폴로지 변화가 발생하면 토폴로지 갱신을 통해 최적의 데이터 송신 경로를 획득하는 기능을 가지고 있다. 또한, 망 관리자와 망에 가입하고자 하는 노드 간 망 가입 절차를 제어하는 기능을 가지고 있다. 그리고 각 노드들 간에 직접적인 데이터 송수신이 어려운 경우, 가장 최근에 갱신된 토폴로지 정보를 이용하여 중계를 통한 데이터 송수신을 가능하게 해 주는 기능이 있다. 또한, 망에서 사용하는 통신 파라미터가 변동되었을 때 파라미터 갱신 또는 파라미터 갱신 요구 메시지를 사용하여 동일망에 있는 모든 노드들이 같은 통신 파라미터를 사용할 수 있도록 한다[2,3]. 데이터 링크 계층은 크게 두 가지 기능들을 수행한다. 하나는 상위 계층으로부터 전달된 데이터의 중요도 및 목적에 따라 전송형태를 결정하여 데이터의 전송을 최대한 보장하는 역할을 수행하는 논리적 연결제어(Logical Link Control) 기능이고, 다른 하나는 망의 상태를 감시하여 적절한 시기에 데이터를 전송하는 역할을 수행하는 매체 접근 제어(Media Access Control) 기능이다[4]. 물리 계층은 상위 계층으로부터 내려온 데이터를 무선 채널 상으로 송신하는 역할을 수행하며, 동기를 맞추는 역할 및 통신망의 사용 여부를 인식하여 망의 busy 상태를 상위 계층에 전달하고, 수신한 데이터를 상위 계층으로 전달하는 역할을 수행한다.

수시로 무선통신 노드들이 임의적으로 이동하는 Ad-Hoc 망에서 전달확인을 요구하는 데이터가 송신된 경우, 송신 노드 입장에서 그 데이터가 목적지 노드에게 잘 전달되었는지를 확인하기 위해서는 목적지 노드는 송신 노드에게 자기가 데이터를 수신한 사실을 알려주어야 한다. MIL-STD-188-220C 표준에서는 송신된 데이터에 대해 전달확인을 하기 위해서 송신 노드는 목적지 노드까지의 hop 수에 관계없이 목적지 노드로부터 인트라넷 계층에서 생성되는 종단간 전달확인(End-to-End ACK)을 요구하고, 1-hop 이웃한 목적지 노드 및 중계 노드로부터 데이터 링크 계층에서 생성되는 데이터 링크 간의 전달확인(Data-Link ACK)을 요구한다[1]. 이러한 전달확인 요구는 2-hop 이상의 통신 환경에서는 높은 신뢰성을 보장하지만, 1-hop 간 데이터 통신이 많은 통신망에서는 End-to-End ACK와 Data-Link ACK의 중복 사용으로 인하여 과다한 트래픽을 발생시키고, 더 나아가 송신 노드로부터 1-hop 이웃한 목적지 노드의 수가 증가할수록 다수의 목적지 노드들로부터 송신된 End-to-End ACK들이 무선망에서 충돌할 수 있는 가능성이 증가하여 데이터 전달확인을 하는데 많은 트래픽을 유발시켜 통신망 성능을 저하시키는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 MIL-STD-188-220C 데이터 전달확인 방식의 취약점을 극복하기 위해 송신 노드와 목적지 노드들의 관계가 1-hop 이웃한 경우, 송신 노드는 데이터 전달확인을 하기 위해서 목적지 노드에게 End-to-End ACK를 요구하지 않고, Data-Link ACK만을 요구하여 End-to-End ACK를 Data-Link ACK로 대체함으로써 높은 신뢰성을 유지하면서 트래픽 감소를 통한 통신망 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIL-STD-188-220C 표준에서의 데이터 전달확인 방식과 본 논문에서 제안하는 데이터 전달확인 방식에 대해서 비교 기술한다. 3장에서는 OPNET 시뮬레이터를 사용하여 2장에서 설명된 내용을 모의 시험한 결과에 대해 비교 분석한다. 4장에서는 주요 결과의 요약과 본 논문의 결론을 기술한다.

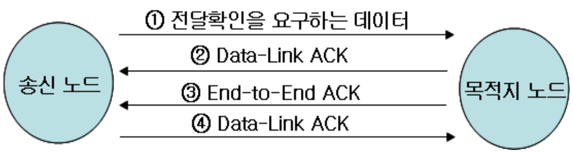
2. 데이터 전달확인 방식

가. MIL-STD-188-220C 표준의 경우

MIL-STD-188-220C 표준에서는 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터를 송신할 때 전달확인을 하기 위해서 송신 노드와 목적지 노드 간의 hop 수를 고려하지 않고, 목적지 노드로부터 인트라넷 계층의 End-to-End ACK와 1-hop 이웃한 목적지 노드 및 중계 노드로부터 데이터 링크 계층의 Data-Link ACK를 수신하여야 한다. 그림 1은 서로 1-hop 관계에 있는 송신 노드와 목적지 노드가 1 대 1 통신을 할 때 데이터 전달확인 과정을 나타낸 것이다.

우선, 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터를 송신하게 되면 목적지 노드는 Response Hold Delay

(RHD)에 따라 Data-Link ACK를 송신하게 되고, 인트라넷 계층에서 End-to-End ACK를 생성하여 그것을 데이터 링크 계층에서 Network Access Delay (NAD) 방식을 준수하면서 송신하게 된다. 목적지 노드로부터 End-to-End ACK를 수신한 송신 노드는 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하고 송신 노드의 인트라넷 계층은 End-to-End ACK를 수신한 사실을 가지고 자기가 송신한 데이터에 대해 전달확인을 하게 된다[1]. 이러한 1-hop 내 데이터 전달확인 방식은 데이터 통신이 많은 환경에서는 End-to-End ACK와 Data-Link ACK의 중복 사용으로 인해 과다한 트래픽 발생으로 통신망 성능을 저하시킨다.



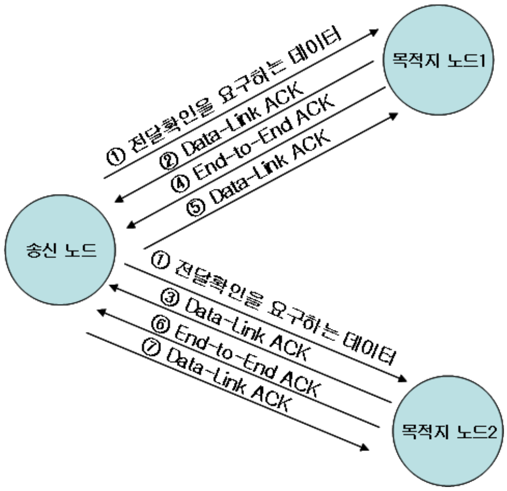
[그림 1] MIL-STD-188-220C 표준에서의 데이터 전달확인 과정(1-hop 내 1 대 1 통신)

이러한 MIL-STD-188-220C 표준의 데이터 전달확인 방식을 서로 1-hop 관계를 가지는 송신 노드와 목적지 노드 간의 1 대 2 통신으로 확장시켜 보면 또 다른 문제점이 발생하게 된다. 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터를 2개의 목적지 노드들에게 송신하게 되면 각각의 목적지 노드는 자기에게 부여된 Data-Link ACK 송신 순서를 참고하여 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신한다. 그 후, 2개의 목적지 노드들 각각은 인트라넷 계층에서 End-to-End ACK를 생성하여 그것을 데이터 링크 계층에서 NAD 방식을 준수하면서 송신하게 되는데, 예를 들어 Random NAD(R-NAD)를 사용하는 경우 2개의 목적지 노드들이 동일한 NAD 슬롯 번호를 우연히 선택하게 되면 무선망에서 End-to-End ACK 간에 충돌이 발생하게 된다. End-to-End ACK는 Data-Link ACK를 요구하기 때문에 2개의 목적지 노드들 각각은 End-to-End ACK를 데이터 링크 계층에서 R-NAD 방식에 따라 재전송하게 된다. 각각의 목적지 노드가 End-to-End ACK를 재전송할 때 다시 동일한 NAD 슬롯 번호를 선택하게 되면 무선망에서 충돌이 발생하게 되어 다시 End-to-End ACK 재전송이 발생할 것이다. 만일 정해진 데이터 링크 계층에서의 재전송 횟수까지 End-to-End ACK의 재전송을 시도하여도 계속 충돌이 발생하게 되면, 목적지 노드는 End-to-End ACK 재전송을 포기하게 된다. 송신 노드는 인트라넷 계층의 End-to-End ACK Timer가 만료된 후, 동일한 전달확인을 요구하는 데이터를 인트라넷 계층에서 재전송하게 된다. 송신 노드의 인트라넷 계층에서 재전송된 전달확인을 요구하는 데이터는 데이터 링크 계층에서 R-NAD 방식에 따라 2개의 목적지 노드들에게 송신되고, 각각의 목적지 노드는 자기에게 부여된 Data-Link ACK 송신 순서를 참고하여 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신한다. 그 후 2개의 목적지 노드들 각각은 인트라넷 계층에서 End-to-End ACK를 생성하여 데이터 링크 계층으로 내려 보내는데 2개의 목적지 노드가 각기 다른 NAD 슬롯 번호를 선택하게 되면 더 작은 슬롯 번호를 선택한 목적지 노드가 먼저 End-to-End ACK를 송신하게 된다. End-to-End ACK를 수신한 송신 노드는 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하게 되고 송신 노드의 인트라넷 계층은 End-to-End ACK의 수신 사실을 가지고 End-to-End ACK를 송신한 목적지 노드에 대해 데이터 전달확인을 하게 된다. 그 후, 더 큰 슬롯 번호를 선택한 나머지 목적지 노드는 Timeout Period(TP)가 완료된 후 다음 NAD 주기에 다시 슬롯 번호를 선정하여 End-to-End ACK를 송신하게 된다. End-to-End ACK를 수신한 송신 노드는 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하게 되고 송신 노드의 인트라넷 계층은 End-to-End ACK를 수신한 사실을 가지고 나머지 목적지 노드에 대해 데이터 전달확인을 하게 된다[1,2,4].

그림 2는 지금까지 위에서 설명된 서로 1-hop 관계에 있는 송신 노드와 목적지 노드가 1 대 2 통신을 할 때 목적지 노드 간 End-to-End ACK가 무선망에서 충돌하지 않고, 2개의 목적지 노드들로부터 정상적으로 데이터 전달확인이 되는 과정을 나타낸다.

이렇게 송신 노드가 데이터 전달확인을 하기 위해 목적지 노드까지의 hop 수를 고려하지 않고, 모든 목적지 노드들로부터 End-to-End ACK를 요구하는 MIL-STD-188-220C 표준에서는 동일망 내에 1-hop

이웃한 목적지 노드의 수가 증가할수록 End-to-End ACK와 Data-Link ACK의 중복 사용 및 무선망에서 End-to-End ACK의 충돌로 인해 과다한 데이터 트래픽을 유발하게 만들어 데이터 전달확인을 하는데 상당히 긴 시간이 소요되고, 데이터 전달확인 성공률이 감소하는 등 전체적인 통신망 성능을 저하시킬 수 있는 가능성이 있다.

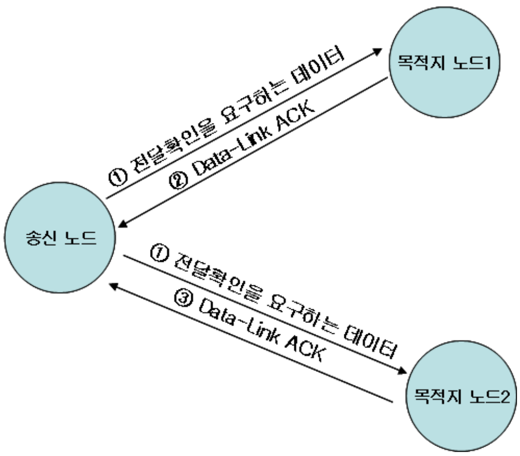


[그림 2] MIL-STD-188-220C 표준에서의 데이터 전달확인 과정(1-hop 내 1 대 2 통신)

나. 제안된 방식의 경우

MIL-STD-188-220C 표준 데이터 전달확인 방식의 문제점을 해결하는 방안으로서 1-hop 이웃한 관계를 가지는 송신 노드와 다수의 목적지 노드의 통신 환경에서 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터를 송신할 때 목적지 노드들에게는 End-to-End ACK를 요구하지 않고, 오직 Data-Link ACK만을 요구한다.

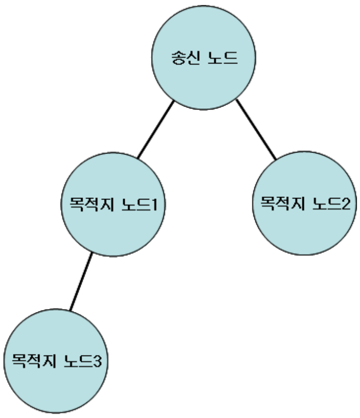
우선, 1-hop 이웃한 관계를 가지는 1개의 송신 노드와 2개의 목적지 노드가 1 대 2 통신하는 상황을 고려해 본다. 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터를 2개의 목적지 노드들에게 송신할 때 자신의 토폴로지 테이블을 참고하여 1-hop 이웃한 2개의 목적지 노드들에게는 End-to-End ACK를 요구하지 않는다. 송신 노드가 전달확인을 요구하는 데이터의 인트라넷 헤더를 구성할 때 1-hop 이웃한 2개의 목적지 노드 주소에 대한 ACK 비트를 0으로 설정한다. 그리고 데이터 링크 계층에서 제어 영역의 P비트를 1로 설정한 데이터 링크 프레임을 구성하여 목적지 노드로부터 Data-Link ACK를 요구하는 타입 3 방식으로 데이터를 송신한다. 전달확인을 요구하는 데이터를 수신한 2개의 목적지 노드들은 자신의 Data-Link ACK 응답 순서를 고려하여 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신한다. 각각의 목적지 노드는 수신한 데이터의 인트라넷 헤더에 포함된 자기 주소에 대한 ACK 비트가 0으로 설정되어 있기 때문에 End-to-End ACK를 생성하지 않는다. 2개의 목적지 노드들로부터 Data-Link ACK를 수신한 송신 노드의 데이터 링크 계층은 인트라넷 계층에게 모든 Data-Link ACK 수신 성공 사실과 Data-Link ACK를 송신한 목적지 주소들에 대한 정보를 통보한다. 인트라넷 계층은 모든 1-hop 이웃한 목적지 노드들로부터의 Data-Link ACK 수신 사실을 가지고 1-hop 이웃한 모든 목적지 노드들에 대해서 데이터 전달확인을 한다. 여기서 송신 노드는 2개의 목적지 노드들로부터 RHD에 따라 TP 동안에 Data-Link ACK를 순차적으로 수신하기 때문에 커다란 이상이 없는 한 데이터 충돌 없이 신뢰성 있게 데이터 전달확인을 한다. 그림 3은 지금까지 설명된 1-hop 내 1 대 2 통신에서 데이터 트래픽 감소를 통해 데이터 전달확인이 되는 과정을 나타낸다.



[그림 3] 데이터 트래픽 감소를 통한 데이터 전달확인 과정(1-hop 내 1 대 2 통신)

이렇게 송신 노드와 목적지 노드 간의 관계가 1-hop 이웃한 경우 데이터 전달확인을 Data-Link ACK로 처리함으로써 높은 신뢰성을 유지하면서 빠른 시간 내에 데이터 전달확인을 할 수 있다. 또한, 1-hop 이웃한 목적지 노드 수가 증가할수록 모든 목적지 노드들에 대해 데이터 전달확인을 위해 필요한 트래픽량이 MIL-STD-188-220C 표준에서 제시하는 방법과 비교해 볼 때 절반 이상 감소하게 되어 전체적인 통신망 성능 향상이 가능하다.

지금부터는 이렇게 제안된 1-hop 내 데이터 전달확인 방식을 그림 4와 같은 송신 노드로부터 1-hop 이웃한 목적지 노드와 2-hop 떨어진 목적지 노드가 존재하는 토폴로지 상황에 적용하여 데이터 전달확인이 이루어지는 과정에 대해 기술한다.



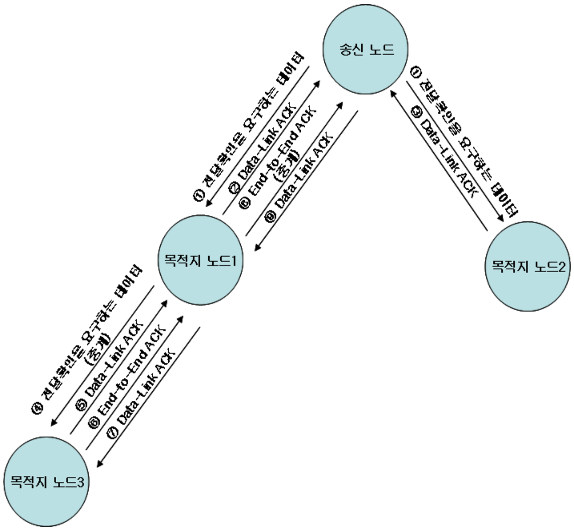
[그림 4] 송신 노드와 1-hop 이웃한 목적지 노드 및 2-hop 떨어진 목적지 노드가 존재하는 토폴로지

그림 4에서 보여주는 송신 노드의 데이터 링크 주소는 2이고, 목적지 노드 1, 2, 3의 데이터 링크 주소는 각각 4, 5, 6이라고 가정한다. 송신 노드는 전달확인을 요구하는 데이터를 만들 때 그림 5와 같은 인트라넷 헤더를 구성한다. 목적지 노드 1과 2는 송신 노드로부터 1-hop 이웃하기 때문에 End-to-End ACK를 요구받지 않는다. 따라서 그림 5의 인트라넷 헤더에서 데이터 링크 주소 4와 5번에 대한 DESTINATION/RELAY STATUS BYTE의 ACK 비트는 0으로 설정된다. 목적지 노드 3은 송신 노드로부터 2-hop 떨어져 있기 때문에 End-to-End ACK를 요구받게 되어 데이터 링크 주소 6번에 대한 DESTINATION/RELAY STATUS BYTE의 ACK 비트는 1로 설정된다. 이렇게 인트라넷 헤더가 구성되고 데이터 링크 계층에서 제어 영역의 P비트를 1로 설정한 데이터 링크 프레임을 만들어 목적지 노드 1, 2, 3에게 데이터를 송신한다. 목적지 노드 1과 2는 자신의 Data-Link ACK 응답 순서를 고려하여 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하게 되고 수신한 데이터의 인트라넷 헤더를 검색한다. 목적지 노드 1과 2는 자기 주소에 해당하는 DESTINATION/RELAY STATUS BYTE의 ACK 비트가 0으로 설정되어 있기 때문에 End-to-End ACK를 생성하지 않는다.

7 MSB	6	5	4	3	2	1	0 LSB
MESSAGE TYPE				VERSION NUMBER			
0	1	0	0	0	0	0	0
INTRANET HEADER LENGTH							
0	0	0	0	1	1	0	0
TYPE OF SERVICE							
0	0	0	0	0	0	0	0
MESSAGE IDENTIFICATION NUMBER							
0	0	0	0	0	0	0	1
SPARE				MAX HOP COUNT			
0	0	0	0	0	0	1	0
ORIGINATOR ADDRESS							
0	0	0	0	0	1	0	0
DESTINATION/RELAY STATUS BYTE 1							
0(ACK)	1	0	0	0	0	0	1
DESTINATION/RELAY ADDRESS 1							
0	0	0	0	1	0	1	0
DESTINATION/RELAY STATUS BYTE 2							
0(ACK)	1	0	0	1	0	0	1
DESTINATION/RELAY ADDRESS 2							
0	0	0	0	1	0	0	0
DESTINATION/RELAY STATUS BYTE 3							
1(ACK)	1	0	0	0	0	1	0
DESTINATION/RELAY ADDRESS 3							
0	0	0	0	1	1	0	1

[그림 5] 그림 4의 송신 노드가 구성하는 인트라넷 헤더

목적지 노드 1은 Source Directed Relay(SDR) 방식에 의해 데이터를 목적지 노드 3에게 중계 송신하고 목적지 노드 3은 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하고 수신한 데이터의 인트라넷 헤더를 검색한다. 목적지 노드 3은 자기 주소에 해당하는 DESTINATION/RELAY STATUS BYTE의 ACK 비트가 1로 설정되어 있기 때문에 End-to-End ACK를 생성하여 그것을 데이터 링크 계층에서 R-NAD 방식을 준수하여 송신한다. End-to-End ACK를 수신한 목적지 노드 1은 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신하고 End-to-End ACK를 송신 노드에게 중계 송신한다. End-to-End ACK를 수신한 송신 노드는 RHD에 따라 Data-Link ACK를 송신한다. 이러한 과정을 통하여 결국 송신 노드는 1-hop 이웃한 목적지 노드 1과 2로부터 Data-Link ACK를 수신하였고 2-hop 떨어진 목적지 노드 3으로부터 End-to-End ACK를 수신하였기 때문에 자기가 송신한 데이터에 대해 모든 목적지 노드들로부터 전달확인을 한다. 그림 6은 그림 4의 토폴로지에서 지금까지 위에서 설명된 송신 노드가 모든 목적지 노드들로부터 데이터 전달확인을 하는 과정을 나타낸다.



[그림 6] 그림 4의 토폴로지에서 데이터 전달확인 과정

표 1은 본 논문에서 제안하는 1-hop 내 데이터 전달확인 방식과 MIL-STD-188-220C 표준의 1-hop 내 데이터 전달확인 방식에서 1-hop 내 목적지 노드 개수의 증가에 따른 모든 목적지 노드들로부터 데이터 전달확인을 위해 요구되는 트래픽 개수를 비교 정리한 것이다. 여기서는 전달확인을 하는 과정에서 데이터 충돌이 없는 이상적인 경우를 고려하였다.

[표 1] 제안된 방식과 MIL-STD-188-220C 표준 방식에서의 1-hop 내 목적지 노드의 개수에 따른 데이터 전달확인을 위해 요구되는 트래픽 개수 비교

1-hop 내 목적지 노드의 개수	제안된 방식의 트래픽 개수	MIL-STD-188-220C 표준 방식의 트래픽 개수
1	2	4
2	3	7
3	4	10
4	5	13
5	6	16

표 1을 보면, 제안된 방식에서 1-hop 내 모든 목적지 노드들로부터 데이터 전달확인을 하는데 요구되는 트래픽 개수가 MIL-STD-188-220C 표준 방식에 비해 절반 이하로 감소되고 1-hop 내 목적지 노드의 개수가 증가할수록 그 차이는 점점 더 커진다는 사실을 알 수가 있다.

3. 모의시험 결과

이번 장에서는 OPNET 시뮬레이터를 사용하여 2장에서 기술된 두 가지의 데이터 전달확인 방식들을 데이터 전달확인 지연시간과 데이터 전달확인 성공률 측면에서 비교 분석해 본다.

데이터 전송속도는 무전기의 전송속도를 고려하여 9600bps로 설정하였고, 데이터 링크 계층과 인트라넷 계층에서의 데이터 재전송 횟수는 각각 2회와 3회로 하였다. Medium Access Control(MAC) 파라미터는 표 2와 같이 설정하였다.

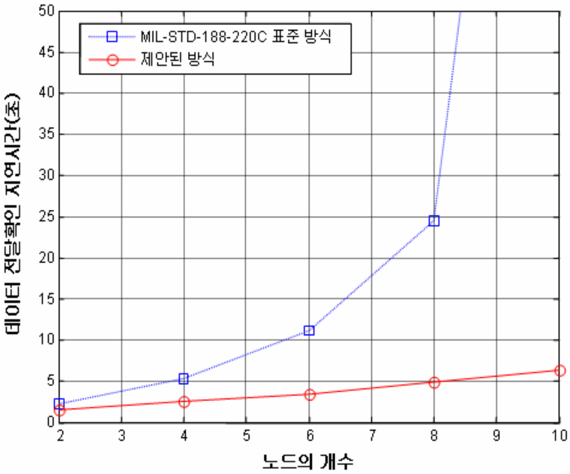
[표 2] 설정된 MAC 파라미터 값

MAC 파라미터 종류	값(msec)
Equipment Preamble Time(EPRE)	100
Phasing Transmission Time (PHASING)	24
Equipment Lag Time(ELAG)	100
Turnaround Time(TURN)	100
DTE ACK Preparation Time (DTEACK)	100
DTE Processing Time(DTEPROC)	100
DTE Turnaround Time(DTETURN)	100
Tolerance Time(TOL)	50
Network Busy Detect Time(NBDT)	100
Coupled Acknowledgment Transmission Time(S)	64

가. 데이터 전달확인 지연시간

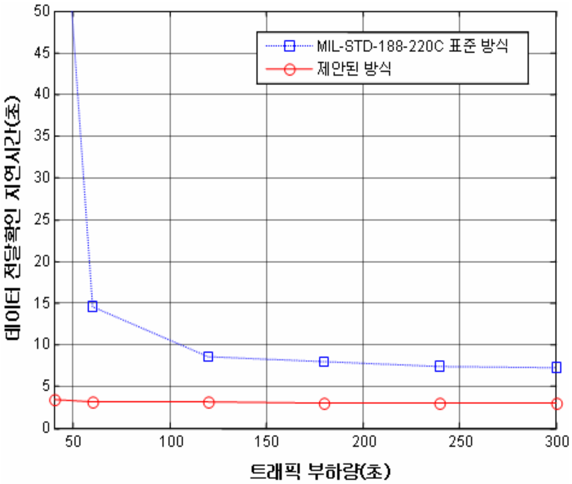
그림 7은 노드의 개수 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간을 나타낸다. 여기서 노드 개수의 의미는 동일망에서 서로 1-hop 이웃한 관계를 갖는 노드들의 총 개수이다. 각 노드들은 자신을 제외한 1-hop 이웃한 나머지 노드들을 목적지 노드로 지정하여 전달확인을 요구하는 데이터를 송신한다. 여기서 각 노드들이 발생시키는 데이터 트래픽 부하정도는 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 180초로 하였다. 또한, Additive White Gaussian Noise(AWGN)이 적용된 10^{-5}의 채널 BER 상태를 고려하였다.

그림 7을 살펴보면 본 논문에서 제안된 방식이 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 더 짧은 지연시간으로 데이터 전달확인을 한다는 사실을 알 수 있고, 노드의 개수가 늘어날수록 두 방식들 간의 데이터 전달확인 지연시간 차이는 급격히 증가한다는 것을 알 수 있다. 노드의 개수가 10개인 경우, 제안된 방식은 데이터 전달확인 지연시간이 약 7초 이내이고 MIL-STD-188-220C 표준 방식에서는 데이터 전달확인 지연시간이 약 140초 정도이다.



[그림 7] 노드의 개수 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간

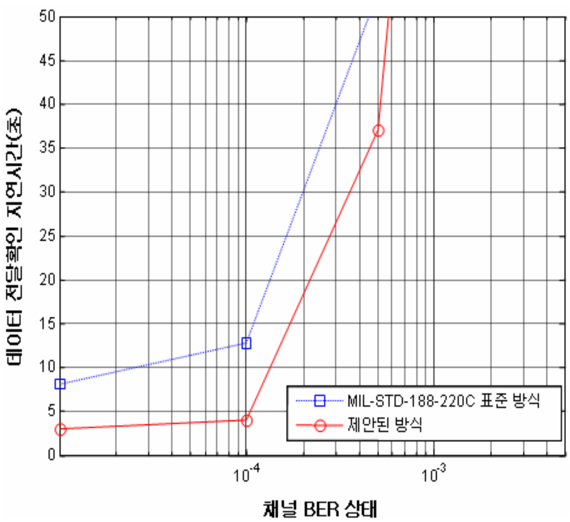
그림 8은 각 노드에서 발생하는 데이터 트래픽 부하량 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간을 나타낸다. 각 노드들이 발생시키는 데이터 트래픽 부하량은 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 40초, 60초, 120초, 180초, 240초, 300초로 하였다. 노드의 총 개수는 5개이고, AWGN이 적용된 10^{-5}의 채널 BER 상태가 고려되었다.



[그림 8] 트래픽 부하량 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간

그림 8을 살펴보면 데이터 트래픽 부하량이 많아질수록 MIL-STD-188-220C 표준 방식에서는 데이터 전달확인 지연시간이 증가하게 되어 트래픽 부하량이 40초인 경우에는 약 80초의 긴 지연시간임을 알 수 있다. 반면에 제안된 방식에서는 트래픽 부하량이 40초부터 300초 사이에서 거의 변화가 없는 약 3초 내외의 상당히 짧은 데이터 전달확인 지연시간임을 알 수 있다.

그림 9는 채널 BER 상태 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간을 나타낸다. AWGN이 적용된 채널 BER이 고려되었으며 노드의 총 개수는 5개로 설정되었다. 또한, 각 노드들이 발생시키는 데이터 트래픽 부하량은 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 180초로 하였다.

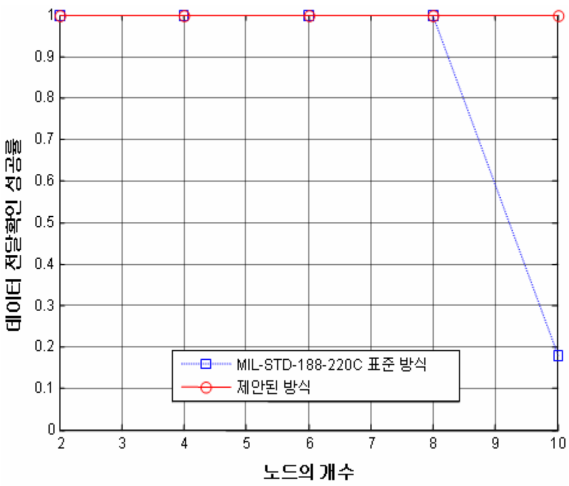


[그림 9] 채널 BER 상태 변화에 따른 데이터 전달확인 지연시간

그림 9는 전체적으로 채널 BER 상태가 나빠질수록 제안된 방식과 MIL-STD-188-220C 표준 방식 둘 다 데이터 전달확인 지연시간이 증가하는 현상을 나타낸다. 그러나 데이터 전달확인을 하는데 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 적은 데이터 트래픽을 요구하는 제안된 방식이 데이터 전달확인을 하는데 더 적은 지연시간이 소요됨을 알 수가 있다. 또한, 10^{-2} 정도의 채널 BER 상태에서는 대부분의 데이터가 정확하게 수신되지 못하여 두 가지 방식 모두 데이터 전달확인이 불가능하였다.

그림 7, 8, 9를 종합하여 살펴보면 1-hop 내에서 데이터 전달확인을 하는데 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 적은 트래픽 개수를 요구하는 제안된 방식이 1-hop 이웃한 목적지 노드의 개수가 증가할수록 그리고 각 노드에서 발생시키는 트래픽 부하 정도가 많아질수록 데이터 전달확인 지연시간에서 뛰어난 성능을 나타내었다. 또한, 변화하는 채널 BER 환경에서 제안된 데이터 전달확인 방식이 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 더 향상된 데이터 전달확인 지연시간을 나타내었다.

나. 데이터 전달확인 성공률

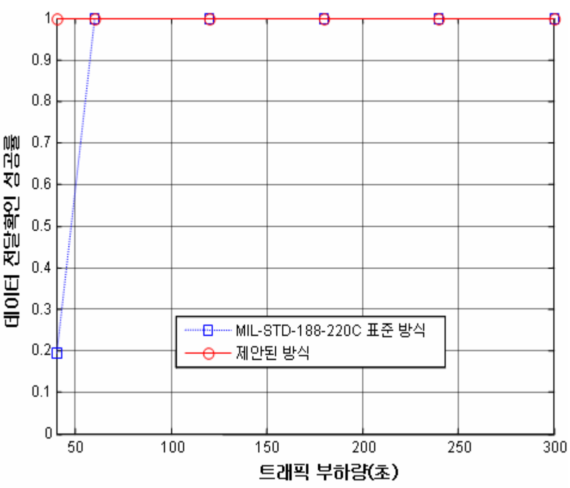


[그림 10] 노드의 개수 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률

그림 10은 노드의 개수 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률을 나타낸다. 여기서 노드 개수의 의미는 앞에서 기술된 내용과 동일하다. 각 노드들이 발생하는 데이터 트래픽 부하정도는 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 180초로 하였다. 또한, AWGN이 적용된 10^{-5}의 채널 BER 상태를 고려하였다.

그림 10을 살펴보면 노드의 개수가 2개부터 8개까지의 경우 제안된 방식과 MIL-STD-188-220C 표준

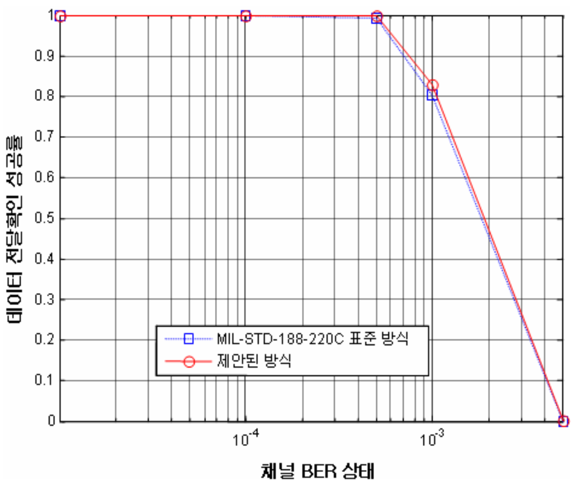
방식 모두 100%의 데이터 전달확인 성공률을 보이다가 노드의 개수가 10개인 경우에는 제안된 방식은 100%의 데이터 전달확인 성공률을 유지하지만 MIL-STD-188-220C 표준 방식에서는 20% 미만으로 데이터 전달확인 성공률이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 세부적으로, 노드의 개수가 8개 정도인 경우에는 두 가지 데이터 전달확인 방식들은 무선 채널 상에서 데이터들 간 충돌이 발생하더라도 인트라넷 계층 및 데이터 링크 계층에서 정해진 횟수 이내에 데이터 재전송을 실시하여 데이터 전달확인을 성공적으로 수행한다. 그러나 노드의 개수가 10개로 증가하게 되면 제안된 방식은 100%의 데이터 전달확인 성공률을 유지하지만 MIL-STD-188-220C 표준 방식의 경우에는 무선 채널 상에서 데이터 간 충돌 빈도가 높아져서 인트라넷 계층 및 데이터 링크 계층에서 정해진 횟수까지 데이터 재전송을 실시하여도 데이터 전달확인을 실패하는 비율이 상당히 높다는 것을 유추할 수 있다.



[그림 11] 트래픽 부하량 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률

그림 11은 각 노드에서 발생하는 데이터 트래픽 부하량 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률을 나타낸다. 각 노드들이 발생시키는 데이터 트래픽 부하량은 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 40초, 60초, 120초, 180초, 240초, 300초로 하였다. 노드의 총 개수는 5개이고, AWGN이 적용된 10^{-5}의 채널 BER 상태가 고려되었다.

그림 11을 살펴보면 트래픽 부하량이 60초 이하인 경우에는 제안된 방식과 MIL-STD-188-220C 표준 방식 모두 데이터 전달확인 성공률이 100%를 나타내었다. 트래픽 부하량이 증가한 40초인 경우에는 제안된 방식은 100%의 데이터 전달확인 성공률을 유지하였지만 MIL-STD-188-220C 표준 방식에서는 데이터 전달확인 성공률이 약 20%정도로 급격하게 감소되는 결과를 얻었다.



[그림 12] 채널 BER 상태 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률

그림 12는 채널 BER 상태 변화에 따른 데이터 전달확인 성공률을 나타낸다. AWGN이 적용된 채널 BER이 고려되었으며 노드의 총 개수는 5개로 설정하였다. 또한, 각 노드들이 발생시키는 데이터 트래픽 부하량은 데이터 송신 시간 간격이 Exponential 분포에 따르도록 하고 그 평균값을 180초로 하였다.

그림 12를 살펴보면 채널 BER 상태가 10^{-5}로부터 5×10^{-4}까지의 범위에서는 MIL-STD-188-220C 표준 방식과 제안된 방식 두 가지 모두 100%에 가까운 데이터 전달확인 성공률을 보였지만, 채널 BER 상태가 10^{-3}인 경우에는 두 가지 방식 모두 데이터 전달확인 성공률이 80%정도로 감소하였다. 채널 BER 상태가

악화되어 5×10^{-3}인 경우에는 두 가지 방식 모두 거의 0%의 데이터 전달확인 성공률로서 데이터 전달확인이 불가능함을 알 수 있다.

그림 10, 11, 12를 종합하여 살펴보면 노드의 개수, 트래픽 부하량 및 채널 BER 상태의 일정 범위에서는 제안된 데이터 전달확인 방식과 MIL-STD-188-220C 데이터 전달확인 방식 두 가지 모두 100%의 데이터 전달확인 성공률을 나타내지만 노드의 개수가 10개인 경우, 트래픽 부하량이 40초인 경우와 같이 상대적으로 통신망 환경이 busy한 상황에서는 제안된 방식이 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 훨씬 우수한 데이터 전달확인 성공률 성능을 나타내었다. 그리고 채널 BER 상태가 점점 악화되는 경우에는 제안된 방식과 MIL-STD-188-220C 표준 방식이 비슷한 데이터 전달확인 성공률 성능을 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 전술 무선 이동 Ad-Hoc 통신망에서 1-hop 이웃한 노드들 간에 데이터 전달확인용 End-to-End ACK 및 Data-Link ACK의 중복 사용에 따라 과다한 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-hop 내 데이터 전달확인 방식에 관련한 문제점을 개선하는 방안을 제안하였다.

1-hop 이웃한 노드들 간에 데이터 전달확인을 하기 위한 MIL-STD-188-220C 표준 방식과 본 논문에서 제안하는 방식의 성능 분석 비교를 위해 데이터 전달확인 지연시간과 데이터 전달확인 성공률의 두 가지 파라미터를 사용하였다. 데이터 전달 확인 지연시간 측면에서 살펴보면 노드의 개수, 데이터 트래픽 부하 정도 및 채널 BER 상태 등이 변화하는 상황에서 본 논문에서 제안하는 방식이 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 상당히 적은 지연시간으로 데이터 전달확인을 할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 데이터 전달확인 성공률 측면에서 살펴보면 노드의 개수, 데이터 트래픽 부하 정도 및 채널 BER 상태 등이 변화하는 상황에서 본 논문에서 제안하는 방식이 MIL-STD-188-220C 표준 방식보다 우수하거나 유사한 데이터 전달확인 성공률을 나타내었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 방식을 적용함으로써 1-hop 이웃한 노드들 간에 데이터 전달확인을 하는데 있어 높은 신뢰성을 유지하면서 트래픽 감소 효과를 얻게 되어 전체적으로 통신망 성능이 향상됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] MIL-STD-188-220C, Digital Message Transfer Device Subsystems, DoD, USA, 22 May 2002.

[2] MIL-STD-188-220B, Intranet Layer Estelle Specification, USA, 1998.

[3] 유지상, 백인철, “Ad-Hoc 전술 무선 통신망에서 데이터 통신 및 토폴로지 갱신 기능 향상을 위한 TEST 프레임 적용 기법”, 한국군사과학기술학회지, 제10권, 제1호, pp. 44~54, 2007. 3.

[4] MIL-STD-188-220B, Data Link Layer Class A(Type 1) Estelle Specification, USA, 1998.