

Ad-Hoc 전술 무선 통신망에서 데이터 통신 및 토폴로지 갱신 기능 향상을 위한 TEST 프레임 적용 기법

A TEST Frame Application Technique for Improving Data Communication and Topology Update Function in Ad-Hoc Tactical Wireless Networks

유지상* 백인철*
You, Ji-Sang Baek, In-Cheol

ABSTRACT

In the military field, according to the MIL-STD-188-220, which is an Ad-Hoc communication protocol used for sending out or receiving data and voice smoothly among nodes in the situation that wireless communication nodes move arbitrarily, data communication is cut off because nodes can not know topology changes perpetually in the link disconnection state due to node movement in the case that transmitters do not confirm whether data is delivered to receivers or not, and transmit only the data having routine precedence continuously.

In order to solve this problem, we have proposed the technique that makes efficient data communication possible by achieving a rapid topology change detection and link information update using TEST frame. We have analyzed TEST frame application effects in the two aspects of the topology update delay time and the data transmission success ratio.

주요기술용어(주제어) : MIL-STD-188-220 Protocol(MIL-STD-188-220 프로토콜), Ad-Hoc Networks(Ad-Hoc 통신망), TEST Frame(TEST 프레임), Topology Update(토폴로지 갱신), Topology Update Delay Time(토폴로지 갱신 지연시간), Data Transmission Success Ratio(데이터 전달 성공률)

1. 서론

현대 및 미래전에 있어서 지상 기동 무기체계의 지휘통제 전술정보 및 전술정보망 분야에서 전투 기동 차량 간 전문과 자차 상태, 피아 위치 등의 데이터 정보의 송수신을 통한 상황 인식 및 전장 관리는 작

전운용에 상당한 비중을 차지하게 된다. 지금까지는 지상에서 작전을 수행할 때 무전기를 이용한 음성통신이 주요한 부분을 차지해 왔다. 하지만 음성만으로는 정교한 작전 수행이 어렵기 때문에 디지털화된 데이터 정보의 중요성이 강조되고 있다. 이에 따라 음성 및 데이터 정보를 동일한 망에서 원활히 송수신 하도록 제어하고 운영하는 통신 프로토콜에 대한 연구가 계속 진행되어 왔다. 대표적인 프로토콜로서 MIL-STD-188-220이 있는데 이 표준은 전장에서 무선 통신노드가 임의적으로 이동하는 상황에서 다자간

† 2007년 1월 4일 접수~2007년 3월 2일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
주저자 이메일 : jsyoun@add.re.kr

데이터의 성공적인 전송을 보장하면서 데이터의 전송을 효율적으로 관리하는 프로토콜을 제시하고 있으며, 수시로 변화하는 토폴로지 상태를 갱신하여 디지털 데이터 송수신을 효율적으로 개선시키며, 전파 가시성 미확보로 인한 직접적인 통신이 어려울 때 중계 기능을 이용하여 데이터 송수신을 하도록 하는 방법을 규정한 Ad-Hoc 통신 프로토콜이다¹⁻³⁾.

Open Systems Interconnection(OSI) 7계층 중에서 MIL-STD-188-220 프로토콜이 규정하는 계층에는 물리 계층, 데이터 링크 계층, 네트워크 계층 등의 세 개의 계층이 있다. 네트워크 계층 이상의 계층들에 대해서는 기존 상용 프로토콜을 적용하도록 하고 있다. 이 세 개의 계층들 중에서 네트워크 계층은 망 내에 존재하는 노드들 간의 연결성 정보인 토폴로지 정보를 유지하고, 다른 노드의 이동 등으로 인해 토폴로지가 변화하게 되면 새로운 토폴로지 정보로 갱신하여 데이터 전송을 효율적으로 할 수 있게 한다. 또한, 어떤 하나의 통신망이 구성된 상태에서 새로운 노드가 망에 가입하고자 할 때 망 관리자의 네트워크 계층은 그 새로운 노드의 망 가입을 제어하는 기능을 가지고 있다. 그리고 망에서 사용하는 통신 파라미터가 변동되었을 때 파라미터 갱신 또는 파라미터 갱신 요구 메시지를 사용하여 망에 있는 모든 노드가 동일한 파라미터를 사용할 수 있도록 한다. 또한, 각 노드들 간에 전파 가시성 미확보로 인하여 직접적인 데이터 송수신이 어려운 경우, 네트워크 계층에 있는 Source Directed Relay(SDR) 모듈이 가장 최근에 갱신된 토폴로지 정보를 이용하여 중계를 통한 데이터 송수신을 가능하게 만들어 주는 기능도 가지고 있다^{1,4)}. 본 논문에서는 이러한 네트워크 계층의 여러 가지 기능들 중에서 토폴로지 갱신 기능에 초점을 맞추고자 한다.

전장에서 수시로 이동하는 무선통신 노드들 간에 원활하고 효율적인 데이터 송수신을 위해서는 각각의 노드가 실제 토폴로지 정보를 빠른 시간 내에 획득하여 반영하여야 한다. MIL-STD-188-220 프로토콜에서는 이를 위해 동일한 망에서 이동 중인 노드들 간에 원활하고 효율적인 데이터 송수신을 위해서 여러 가지 트리거 조건들에 의해 토폴로지 갱신 메시지 및 토폴로지 갱신 요구 메시지 등을 사용하여 최신 토폴

로지 정보로 갱신하고 반영하는 방법을 규정하고 있다¹⁾. 하지만, 송신 노드가 수신 노드들에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터만을 지속적으로 송신하게 되는 경우, 수신 노드로부터의 응답(Acknowledge)을 수신하지 않기 때문에 노드의 이동 또는 장애물로 인한 끊어진 링크를 감지하지 못하여 실제 상황의 토폴로지 정보를 유지하지 못하게 되므로 비효율적인 데이터 송신 혹은 통신 두절 상황이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 취약점을 극복하기 위해서 응답을 요구하는 링크 계층 TEST 프레임을 사용하여 토폴로지의 변화를 빠른 시간 내에 탐지함으로써 최신의 토폴로지 정보를 기반으로 원활하고 효율적인 데이터 송수신을 가능하게 하는 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 TEST 프레임을 이용하여 노드가 단시간 내에 최신 토폴로지 정보를 획득하여 반영하는 방법을 설명한다. 3장에서는 2장에서 설명된 내용을 시험하기 위한 방법에 대해서 기술하고, 4장에서는 시험결과에 대해서 분석한다. 5장에서는 주요한 결과를 요약하면서 본 논문의 결론을 내린다.

2. 기본 개념

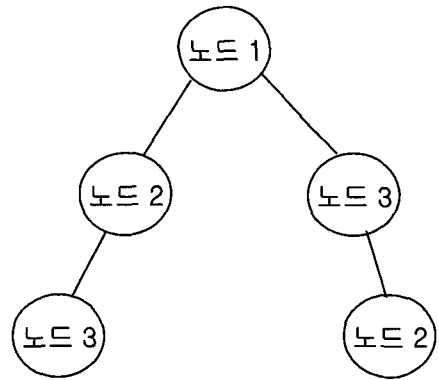
가. TEST 프레임을 사용하지 않는 경우

MIL-STD-188-220 프로토콜에 따르면 송신 노드가 수신 노드들에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터만을 송수신하는 상황에서는 노드의 이동으로 인한 실제적인 토폴로지 변화(링크의 끊어짐)를 인식할 수 없다. 그 이유는 이러한 상황에서는 노드가 이동하여 링크가 끊어지는 토폴로지 변화가 발생하더라도 송신 노드 입장에서는 수신 노드로부터의 응답을 수신하지 않으므로 송신한 데이터가 잘 전달되었는지의 여부가 확인되지 않기 때문이다. 반면에, 송신 노드가 수신 노드에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인해야 하는 데이터를 전송하는 경우에는 수신 노드로부터 응답을 수신하지 못하면 정해진 재전송 횟수까지 인터넷 계층 및 데이터 링크 계층에서 재전송을 실시

한다^[45]. 그 이후에도 수신 노드로부터 응답 수신에 실패하게 되면 전송 실패가 결정되고 그 수신 노드와의 링크 단절 상태를 인식할 수 있지만 인터넷 계층에서의 재전송 사이클이 길어 링크 단절 상태 인식까지는 상당한 시간이 소요된다^[4]. 또한, 송신 노드가 수신 노드로부터의 수신 여부를 확인하기 위한 응답을 요구하는 데이터를 언제 송신할지는 예측 불가이다.

우선, 3개의 노드가 서로 1-hop 전파 통달 범위 내에 위치한다고 가정한다. 그러면 그림 1과 같은 토폴로지가 형성되고 노드 1에서는 표 1과 같은 토폴로지 테이블이 존재하게 된다.

표 1에 나타나 있는 노드 1, 노드 2, 노드 3이라는 심벌들은 그 노드에 대한 실제적인 링크 계층 주소를 의미한다. 표 1을 살펴보면, 노드 1이 노드 2에게 데이터를 전송하는 경로에는 두 가지가 있다. 하나는 노드 1에서 노드 2로 곧바로 데이터를 전송하는 1-hop 경로이고 또 다른 하나는 노드 1에서 노드 3을 거쳐 노드 2로 데이터를 전송하는 2-hop 중계 경로이다. 마찬가지로 노드 1이 노드 3에게 데이터를 전송하는 경로에도 1-hop 경로와 2-hop 중계 경로가

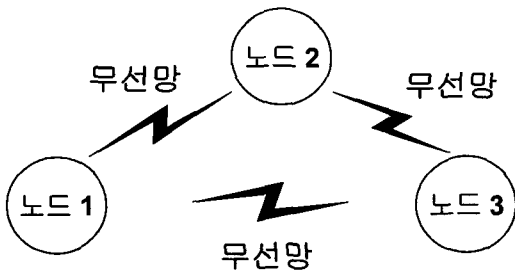


[그림 2] 노드 1에 대한 Routing Tree

있다. 노드 2와 노드 3도 각각 이웃 인접한 노드에게 데이터를 전송하는 경로로서 1-hop 경로와 2-hop 중계 경로 등 두 가지의 경로를 가지고 있다. 그림 2는 노드 1에 존재하는 토폴로지 테이블을 나타내는 표 1을 Routing Tree로 표현한 것이다.

이러한 토폴로지 상황에서 각 노드들이 수신 노드들에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터만을 주기적으로 송수신하고 있는 경우에 대해서 살펴본다. 노드 1이 노드 2와 노드 3에게 데이터를 전송하는 경로를 선택할 때에는 hop 수가 적은 경로를 우선적으로 선택하게 되므로 2-hop 중계 경로보다는 1-hop 경로를 선택하게 된다. 노드 2와 노드 3의 경우에도 동일한 경로 선택 방법이 적용된다.

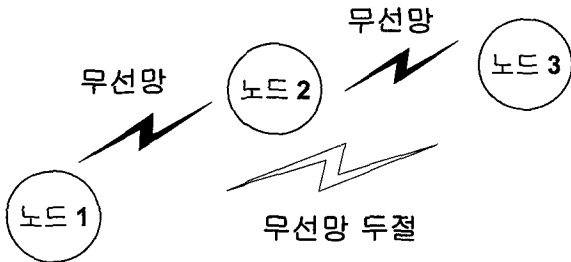
이러한 상황에서 노드 3이 이동 혹은 기타 여러 가지 요인으로 인해 노드 1과 노드 3 사이에 전파 가시선이 확보되지 못하면 노드 1과 노드 3 사이에는 1-hop의 직접적인 데이터 통신은 불가능하게 된다. 그림 3은 노드 3의 이동으로 인하여 변화된 토폴로지를 나타내고 있다. 이와 같은 토폴로지 변화가 발생하게 되면 3개의 노드 모두 토폴로지가 변화되었다는 사실을 인식하지 못하고 토폴로지 갱신 트리거 조건에도 부합되지 않기 때문에 토폴로지 갱신 메시지는 발생하지 않는다. 토폴로지 변화를 인식하지 못한 노드 1과 노드 3은 지속적으로 1-hop 경로를 이용하여 서로에게 데이터 전송을 시도하지만 실패로 끝나게 된다. 하지만, 2개의 노드 모두 데이터 전송 실패를 인지하지 못한다.



[그림 1] 서로 1-hop 전파 통달 범위 내에 있는 노드들에 대한 토폴로지

[표 1] 노드 1에 존재하는 토폴로지 테이블

Node Address	Node Predecessor	Hops	Cost	NR	Quiet
노드 2	노드 1	1	1	0	0
노드 3	노드 1	1	1	0	0
노드 3	노드 2	2	1	0	0
노드 2	노드 3	2	1	0	0



[그림 3] 노드 3의 이동으로 인하여 변화된 토폴로지

이렇게 되면 노드 1과 노드 3은 노드 2를 중계자로 하여 상호 간에 데이터 송수신이 가능함에도 불구하고 비효율적인 데이터 송신 및 통신 대역폭을 낭비하는 등의 바람직하지 못한 결과를 초래하는 문제점이 있다.

나. TEST 프레임을 사용하는 경우

이러한 문제점을 해결하는 방안으로서 3개의 각 노드는 자신으로부터 1-hop 이웃한 각각의 노드들로부터의 가장 최근의 링크 프레임 수신 시각을 기록하여 저장하고 있다가 일정 기간(MIN_UPDATE_PERIOD) 이상 경과된 이후에 링크 프레임 수신에 없는 노드에 대해 링크 존재 여부를 점검하기 위하여 TEST 응답을 요구하는 TEST 프레임을 전송한다. 여기서 TEST 프레임을 전송할 때에는 데이터 링크 프레임에 있는 제어 필드의 P 비트를 1로 설정하고 목적지 주소를 링크 프레임 수신에 없는 노드의 링크 주소로 지정한다. MIN_UPDATE_PERIOD 정의는 Topology Update Timer 모듈의 타이머가 시작하여 만료되는 시간적인 간격을 의미하는 것으로서 이전 토폴로지 갱신 메시지를 전송하고 나서 다음 토폴로지 갱신 메시지를 전송할 수 있기까지의 최소 시간 간격이다. 이러한 방법으로 링크 프레임 수신에 없는 노드에게 TEST 프레임을 전송하여 TEST 응답을 수신하지 못하게 되면 데이터 링크 계층에서만 TEST 프레임의 재전송을 실시한다. 데이터 링크 계층에서 정해진 재전송 횟수까지 TEST 프레임을 재전송하여도 TEST 응답 수신에 실패하게 되면 자신의 토폴로지 테이블에서 링크 프레임 수신에 없는 노드에 대한 1-hop 링크 정보를 삭제한다.

그림 3을 참고하면 노드 3의 이동으로 인하여 노드

1과 노드 3 사이에 무선망이 두절되어 직접적인 데이터 송수신이 불가능하게 되는 경우, 노드 1은 노드 3으로부터 모든 링크 프레임 수신하지 못하게 된다. 물론 노드 3이 이동하기 이전에 노드 1은 노드 3으로부터 수신한 가장 최근의 링크 프레임 수신 시각을 기록하여 저장한다. 그 가장 최근의 링크 프레임 수신시각 이후 MIN_UPDATE_PERIOD가 경과하게 되면 노드 3과의 링크 존재 여부를 점검하기 위한 TEST 프레임을 노드 3에게 송신하게 된다. 노드 1과 노드 3 사이에는 무선망이 두절되어 있기 때문에 노드 3은 노드 1이 송신한 TEST 프레임을 수신하지 못하게 되어 TEST 응답을 노드 1에게 송신하지 못한다. 노드 1의 입장에서는 TEST 응답을 수신하지 못하게 되어 데이터 링크 계층에서의 TEST 프레임을 재전송하게 되고 그 이후 정해진 횟수까지 TEST 프레임을 재전송하여도 TEST 응답을 수신하지 못하게 되면 노드 1은 자신의 토폴로지 테이블에서 1-hop 링크 관계로 되어 있는 노드 3을 삭제 시킨다. 1-hop 링크 관계의 노드 3을 삭제시킨 노드 1에서의 변화된 토폴로지 테이블이 표 2에 나타나 있다.

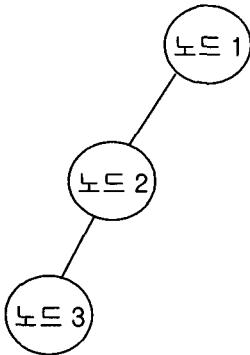
그림 4는 TEST 프레임을 이용한 후의 노드 1에서의 변화된 토폴로지 테이블을 나타내는 표 2를 Routing Tree로 표현한 것이다.

그림 4를 살펴보면 노드 1은 자신의 토폴로지 테이블에서 1-hop 링크 관계로 되어 있는 노드 3을 삭제한 후, 노드 3에게 데이터를 전송할 때에는 노드 2를 중계자로 하는 2-hop 중계 경로를 사용하게 된다. 그림 5는 노드 1이 노드 3에게 TEST 프레임을 송신하고 나서 TEST 응답이 없는 1-hop 링크 관계인 노드 3을 토폴로지 테이블에서 삭제한 후, 각 노드들 간의 전체적인 데이터 송수신 경로를 나타낸 것이다.

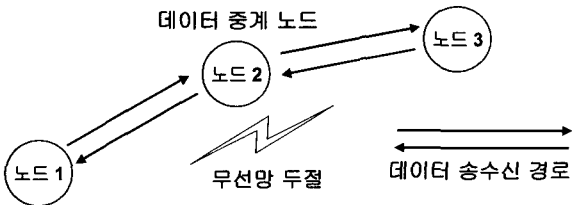
지금까지 설명된 내용을 종합해 보면 동일한 망에

[표 2] TEST 프레임을 이용한 후의 노드 1에서의 변화된 토폴로지 테이블

Node Address	Node Predecessor	Hops	Cost	NR	Quiet
노드 2	노드 1	1	1	0	0
노드 3	노드 2	2	1	0	0



[그림 4] TEST 프레임이 이용된 후의 노드 1에 대한 변화된 Routing Tree



[그림 5] TEST 프레임이 이용된 후의 전체적인 데이터 송수신 경로

서 각 노드들이 수신 노드들에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터만을 송수신하고 있는 경우, 노드의 이동으로 인해 링크가 끊어지는 토폴로지 변화가 발생하는 상황에서는 각 노드들이 토폴로지의 변화를 인지하지 못하여 비효율적인 데이터 송신 및 노드들 간에 데이터 송수신이 불가능하게 되는 경우가 발생하게 된다. 이러한 취약점을 극복하기 위해서 앞에서 설명된 TEST 프레임 적용 기법을 이용하게 되면 빠른 시간 내에 실제 토폴로지의 변화를 탐지하고 그 변화에 원활히 적용하게 되어 안정적이고 효율적인 데이터 전송이 가능하게 된다.

기존의 많은 Ad-Hoc 통신에서 노드들 간의 링크 연결 상태를 파악하기 위해서 Hello 메시지를 사용하는 방법에 대해 본 논문에서 제안하는 TEST 프레임 적용 기법이 가지는 차이점 및 장점에 대해서 기술하면 다음과 같다. 기존의 Hello 메시지를 사용하여 이웃 노드들과의 링크 연결 상태를 파악하는 방법은 이웃 노드로부터 일정 기간 이상 Hello 메시지가 수신

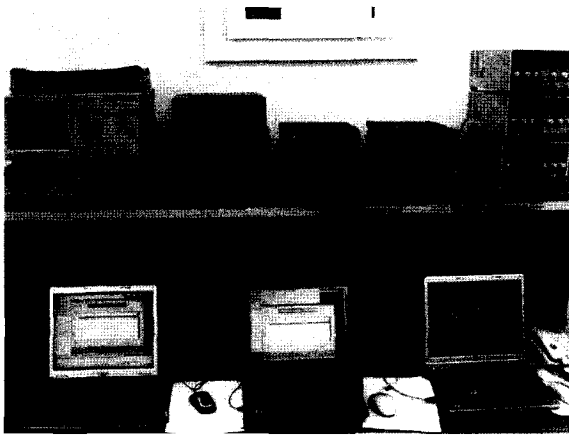
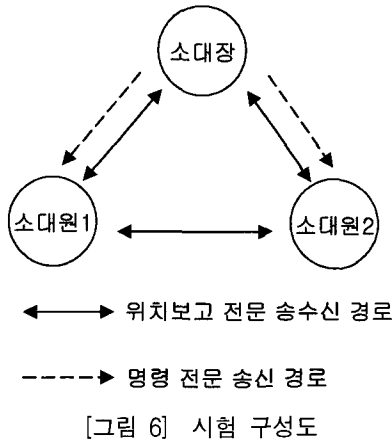
되지 않을 경우 해당 링크가 끊어진 것으로 간주하는데 이 Hello 메시지는 일반적으로 Broadcast로 주기적 송신이 되어 노드들 간에 Hello 메시지를 교환하여 링크 연결 상태를 파악하기 때문에 망에 지속적으로 불필요한 트래픽 유발을 초래할 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 TEST 프레임 적용 기법은 링크 계층 피드백뿐만 아니라 일반 데이터의 수신도 고려하여 일정기간 동안 링크 프레임 수신이 없을 경우 링크 상태 점검을 하기 때문에 TEST 프레임이 주기적으로 송신되지 않는다. 다시 말해, 자기로부터 1-hop 이윗한 특정 노드들 각각으로부터의 데이터 프레임 수신 시작들을 기록하는데 마지막으로 기록된 데이터 프레임 수신 시각으로부터 일정기간 이상 데이터 수신이 없는 특정 노드를 목적지 주소로 하여 TEST 프레임을 송신하기 때문에 TEST 프레임이 주기적으로 송신되는 것이 아니므로 망에서의 트래픽 증가가 기존의 Hello 메시지를 사용한 링크 연결 상태 점검 방법과 비교해 볼 때 미미하다고 볼 수 있다. 또한, 그 특정 노드 이외의 노드들도 TEST 프레임 수신으로 인해 TEST 프레임 송신 노드와의 링크 연결 상태를 재확인할 수 있다. 결국, 본 논문에서 제안하는 TEST 프레임 적용 기법은 기존의 Hello 메시지를 사용하는 방법과 비교해 볼 때 망 내에서의 트래픽 증가를 줄이면서 노드들 간의 링크 연결 상태를 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3. 시험 방법

이번 장에서는 2장에서 기술된 TEST 프레임 적용 효과를 시험하기 위한 시험 방법에 대해서 설명한다. 우선, 그림 6과 같이 소대장, 소대원 1, 그리고 소대원 2로 이루어진 시험 구성도를 고려한다. 각각의 노드는 통신보드, 무전기 및 통신 시뮬레이터로 구성되어 있고, 각 노드의 무전기 간의 연결은 시험 도중 2-hop 환경 설정을 수월하게 하기 위해서 유선 케이블로 처리한다. 그림 7은 실제 시험을 위한 세팅 장면을 나타낸 것이다.

차기 기동 무기체계의 지휘통제 전송정보 통신망 분야에서 위치보고 전문은 앞에서 언급한 송신 노드

가 수신 노드들에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터에 해당된다. 이 위치보고 전문은 실제 작전 시 항상 주기

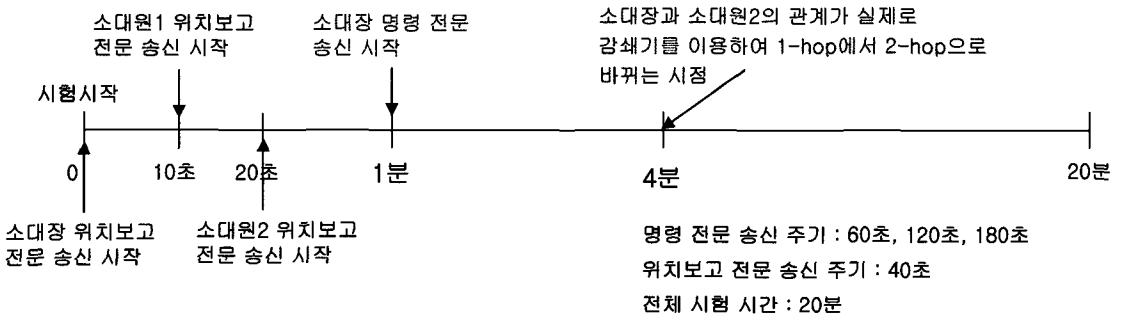


[그림 7] 실제 시험 세팅 장면

적으로 송신되는 데이터이다. 이러한 특성을 가지고 있는 위치보고 전문을 소대장, 소대원 1, 소대원 2 등 세 개의 노드가 모두 운용하고 자기 자신을 제외한 모든 나머지 노드들에게 송신한다. 그리고 그림 6에 나타나 있는 명령 전문은 수신 노드에게 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하기 위해서 링크 계층 응답을 요구하고 Priority 우선순위를 가진 데이터에 해당된다. 이러한 특성을 가지고 있는 명령 전문을 소대장만이 소대원 1과 소대원 2에게 송신한다.

그림 8은 전체적인 시험 타이밍도를 나타내고 있다. 전체 시험 시간은 20분이고 세 개의 노드가 위치보고 전문을 엇갈리게 송신한다. 다시 말해, 소대장은 시험시작과 동시에 위치보고 전문을 송신하고, 소대원 1은 시험시작 10초 후, 소대원 2는 시험시작 20초 후에 위치보고 전문을 송신한다. 모든 노드의 위치보고 전문 송신주기는 40초이다. 소대장의 명령 전문 송신은 시험시작 60초 후에 시작되고 소대원 1과 소대원 2에게 동시에 송신된다. 그 다음에는 정해진 송신주기(60초, 120초, 180초)에 따라서 명령 전문이 송신된다. 시험시작 4분 후에 1-hop 링크로 연결된 소대장과 소대원 2 간의 관계를 감쇄기를 이용하여 2-hop 관계로 변화시켜 소대원 2의 이동으로 인하여 소대장과 소대원 2 간의 링크가 끊어지는 상황을 만들 수 있도록 하였다.

TEST 프레임이 적용하는 상황에서는 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격을 60초, 120초, 180초로 구분하였다. 표 3은 지금까지 설명된 시험 방법을 바탕으로 시험 내용을 종합적으로 정리한 것이다.



[그림 8] 전체적인 시험 타이밍도

[표 3] 시험 내용 종합

순번	TEST 프레임 사용 여부	가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격(초)	명령 전문 송신주기 (초)
1	O	60	60
2		60	120
3		60	180
4		120	60
5		120	120
6		120	180
7		180	60
8		180	120
9		180	180
10	X	해당 사항 없음	60
11			120
12			180

표 3을 살펴보면, TEST 프레임의 사용 여부에 관계없이 소대장은 정해진 송신주기에 따라서 명령 전문을 송신하고 모든 노드들은 위치보고 전문 송신주기를 40초 한 가지로 운용한다.

4. 시험 결과 및 분석

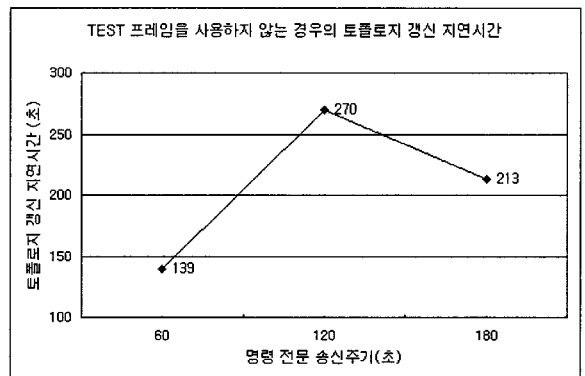
이번 장에서는 3장에서 설명된 시험 방법에 따라서 시험한 내용의 결과에 대해서 분석한다. 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 등의 두 가지 파라미터가 TEST 프레임을 적용하였을 경우와 적용하지 않을 경우에 성능 분석 비교를 위해 사용된다. 여기서 토폴로지 갱신 지연시간의 의미는 소대장과 소대원 2 간의 hop 수를 감쇄기를 이용하여 1-hop에서 2-hop으로 실제로 변화시킨 시점으로부터 소대장의 토폴로지 테이블이 변화된 토폴로지 상태를 반영하여 갱신되기까지의 지연시간이다. 데이터 전달 성공률의

의미는 소대장이 소대원 2에게 송신한 위치보고 전문의 전달 성공률이다. 즉, 토폴로지 갱신 지연시간 및 데이터 전달 성공률은 소대장 노드 입장에서 도출되는 파라미터들이다.

가. TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간

그림 9는 TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간을 보여준다. TEST 프레임을 사용하지 않고 송신 노드가 수신 노드로부터 수신 여부를 확인하기 위한 링크 계층 응답을 수신하지 못하는 상황에서 명령 전문 데이터 송신을 통한 토폴로지 갱신은 정해진 데이터 링크 및 인트라넷 재전송 횟수까지 재전송을 시도해야 발생하게 된다. 하지만 인트라넷 재전송 사이클이 길기 때문에 토폴로지가 갱신되기까지는 상당히 긴 시간이 소요된다.

그림 9를 살펴보면 명령 전문 송신주기가 제일 짧은 60초인 경우 토폴로지 갱신 지연시간이 제일 짧았고, 120초인 경우에 토폴로지 갱신 지연시간이 제일 길었다. 그 이유는 그림 8의 전체적인 시험 타이밍도를 고려해 본다면 명령 전문 송신주기가 60초와 180초인 경우에는 소대장과 소대원 2 간의 hop 수가 2가 되는 순간에 명령 전문이 송신되어 인트라넷 재전송 사이클에 들어가지만 명령 전문 송신주기가 120초인 경우에는 소대장과 소대원 2 간의 hop 수가 2가 되고 난 후 1분 뒤에 명령 전문이 송신되어 더 늦게 인트라넷 재전송 사이클에 들어가기 때문이다.



[그림 9] TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간

나. TEST 프레임 사용하는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간

그림 10은 TEST 프레임을 사용하는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간을 보여준다. 그림 10을 살펴보면 토폴로지 갱신 지연시간은 명령 전문 송신주기가 60초이고 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격이 180초인 경우를 제외하고 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격과 거의 비슷하다는 사실을 알 수가 있다. 명령 전문 송신주기가 60초이고 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격이 180초인 경우는 TEST 프레임에 의해서 토폴로지 갱신이 이루어진 것이 아니고 소대장 노드가 정해진 데이터 링크 및 인트라넷 재전송 횟수까지 명령 전문을 재전송하고 소대원 2로부터 링크 계층 응답 수신에 실패하였기 때문에 토폴로지 갱신이 이루어진 것이다. 즉, 명령 전문 송신주기가 상대적으로 짧고 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격이 상대적으로 긴 경우에는 TEST 프레임을 사용하더라도 TEST 프레임이 아닌 명령 전문의 데이터 링크 및 인트라넷 재전송 실패에 의해서 토폴로지 갱신이 이루어질 수 있다.

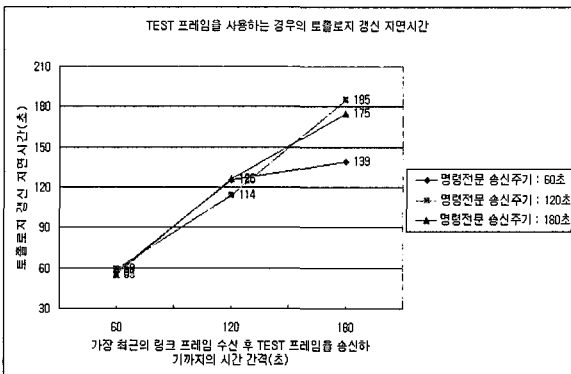
토폴로지 갱신 지연시간을 줄이기 위해서 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격을 너무 짧게 설정하면 과도한 통신 트래픽을 유발할 수도 있으므로 실제로 운영하는 통

신망 트래픽 환경에 맞는 적절한 TEST 프레임 송신 간격 설정이 요구된다.

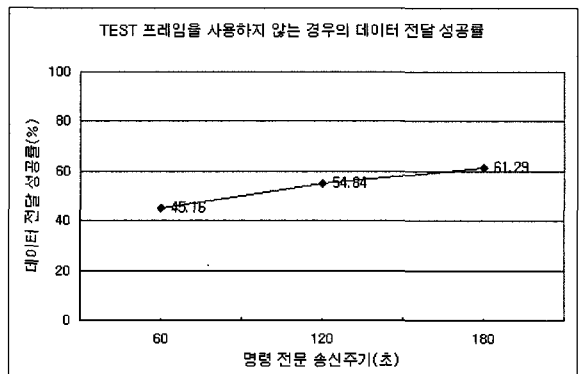
그림 9와 그림 10을 살펴보면 TEST 프레임을 사용하지 않고 명령 전문만 운용할 때와 명령 전문 및 TEST 프레임을 같이 운용할 때의 토폴로지 갱신 지연시간을 비교해 볼 수 있다. 명령 전문 송신주기를 일정한 값으로 고정한 상태에서 보면 TEST 프레임을 적용한 경우가 TEST 프레임을 적용하지 않는 경우보다 더 빠르게 변화된 토폴로지를 반영하여 갱신한다는 사실을 알 수 있다.

다. TEST 프레임 사용하지 않는 경우의 데이터 전달 성공률

그림 11은 TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 데이터 전달 성공률을 보여준다. 여기서 데이터 전달 성공률이란 소대장이 송신한 위치보고 전문이 소대원 2에게 전달되는 성공률을 의미한다. 위치보고 전문 데이터가 소대장으로부터 소대원 2에게 전달되는 과정을 살펴보면 시험 시작 후 4분 동안은 소대장과 소대원 2는 1-hop 링크로 연결되어 있기 때문에 소대장이 송신한 위치보고 전문 데이터는 소대원 2에게 잘 전달된다. 시험 시작 4분 후에 소대장과 소대원 2와의 관계는 2-hop이 되고 소대장의 토폴로지 테이블이 갱신되기 전까지는 위치보고 전문 데이터는 소대원 2에게 전달되지 못한다. 소대장의 토폴로지 테이블이 갱신되면 소대장의 위치보고 전문 데이터는 소대원 1을 중계 노드로 하여 소대원 2에게 전달된다.



[그림 10] TEST 프레임을 사용하는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간



[그림 11] TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 데이터 전달 성공률

그림 11을 살펴보면 명령 전문 송신주기가 증가할수록 데이터 전달 성공률은 향상된다는 것을 볼 수 있다. 그림 9의 TEST 프레임 사용하지 않는 경우의 토폴로지 갱신 지연시간을 참고하면, 토폴로지가 빨리 갱신된다고 할지라도 명령 전문 송신주기가 짧으면 데이터 전달 성공률은 저하된다. 그 이유는 소대장으로부터 송신된 위치보고 데이터와 명령 전문이 중계 노드인 소대원 1을 거쳐 소대원 2로 전달될 때 소대원 1 노드에서 명령 전문과 위치보고 데이터가 같이 송신되어야 하는 상황에서는 Routine 우선순위를 가진 위치보고 데이터보다 전송 우선순위가 높은 Priority 우선순위를 가진 명령 전문이 소대원 2로 먼저 송신되기 때문이다. 그러면 위치보고 데이터는 명령 전문 송신에 의해 송신이 지연되어 데이터 링크 버퍼에 남아있게 되어 그 사이 소대원 1의 위치보고 데이터 혹은 소대원 2로부터 송신되어 소대원 1을 거쳐 소대장으로 중계되는 위치보고 데이터에 의해 Overwrite 당하는 경우가 발생한다. 전술 정보망에서는 가장 최근의 자차 정보만이 유효하다는 위치보고 데이터 특성으로 인하여 예전의 위치보고 데이터가 여러 가지 이유들 때문에 데이터 링크 Routine 우선 순위 버퍼에 남아있을 경우 다음 주기에 전송되는 위치보고 데이터가 버퍼에 남아있는 예전의 위치보고 데이터를 Overwrite 한다. 가장 최근의 위치보고 데이터가 예전의 위치보고 데이터를 Overwrite 하는 경우는 위치보고 데이터 송신 주소가 동일한 경우이다. 하지만 앞에서 언급한 소대원 1 노드 데이터 링크 버퍼에서의 위치보고 데이터 Overwrite는 다른 송신 주소를 가진 위치보고 데이터들 간에 Overwrite 이므로 위치보고 데이터 전달 성공률 향상을 위해서 이에 대한 보완과 개선을 할 예정이다.

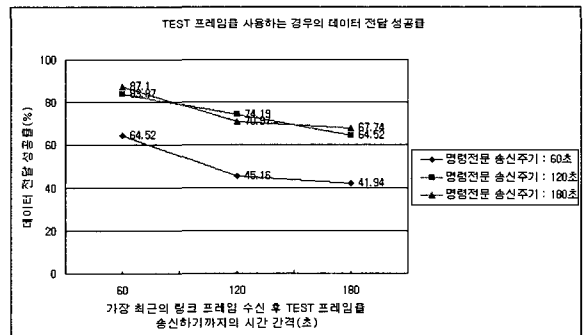
소대장의 명령 전문 송신주기가 짧아지면 소대원 1을 거쳐 소대원 2로 전달되는 소대장의 위치보고 데이터는 소대장의 명령 전문 송신 우선순위에 밀려 소대원 1의 데이터 링크 버퍼에서 다른 위치보고 데이터에 의해 자주 Overwrite 당하는 현상이 발생하게 되어 데이터 전달 성공률이 떨어지게 된다. 반면, 소대장의 명령 전문 송신주기가 길어지면 소대원 1의 데이터 링크 버퍼에서 소대원 1을 거쳐 소대원 2로 전달되는 소대장의 위치보고 데이터가 다른 위치보고

데이터에 의해 Overwrite 당하는 경우는 상대적으로 적게 발생하게 되어 데이터 전달 성공률은 좋아지게 된다. 따라서 데이터 전달 성공률은 소대장의 명령 전문 송신주기에 상당한 영향을 받는다고 할 수 있다.

라. TEST 프레임을 사용하는 경우의 데이터 전달 성공률

그림 12는 TEST 프레임을 사용하는 경우의 데이터 전달 성공률을 보여준다. 그림 12를 살펴보면 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격을 일정한 값으로 고정된 상태에서 명령 전문 송신주기를 증가시키면 대체적으로 데이터 전달 성공률은 향상되었다. 그림 10을 참고하면 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격이 일정한 값으로 고정된 상태에서의 토폴로지 갱신 지연시간이 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격이 180초이고 명령 전문 송신주기에 관계없이 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격과 거의 비슷하다는 것을 알 수가 있다. 따라서 TEST 프레임을 사용하지 않는 경우의 데이터 전달 성공률의 경우와 마찬가지로 데이터 전달 성공률이 명령 전문 송신주기에 많은 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

명령 전문 송신주기를 일정한 값으로 고정시킨 상태에서 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격을 증가시키면 데이



[그림 12] TEST 프레임을 사용하는 경우의 데이터 전달 성공률

터 전달 성공률은 저하된다. 그 이유는 그림 10을 참고하면 명령 전문 송신주기가 일정하게 고정된 상태에서 가장 최근의 링크 프레임 수신 후 TEST 프레임을 송신하기까지의 시간 간격을 증가시키면 토폴로지 갱신 지연시간이 증가하기 때문이다. 즉, 명령 전문 송신주기를 일정한 값으로 고정시킨 상태에서 토폴로지 갱신 지연시간이 증가하게 되면 데이터 전달 성공률은 나빠진다.

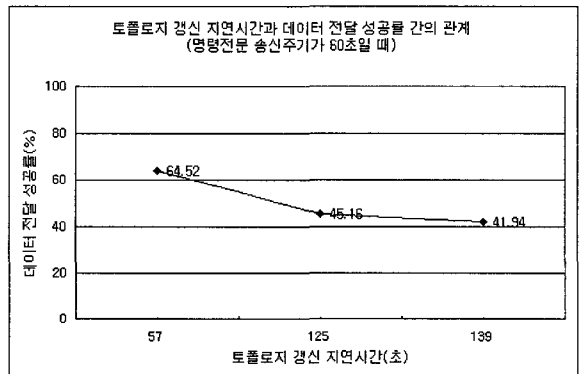
그림 11과 그림 12를 살펴보면 TEST 프레임을 사용하지 않고 명령 전문만 운용할 때와 명령 전문 및 TEST 프레임을 같이 운용할 때의 데이터 전달 성공률을 비교해 볼 수 있다. 명령 전문 송신주기를 일정한 값으로 고정한 상태에서 보면 대체적으로 TEST 프레임을 사용하는 경우가 TEST 프레임을 사용하지 않는 경우보다 더 향상된 데이터 전달 성공률을 보여준다는 사실을 알 수 있다.

마. 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 간의 관계

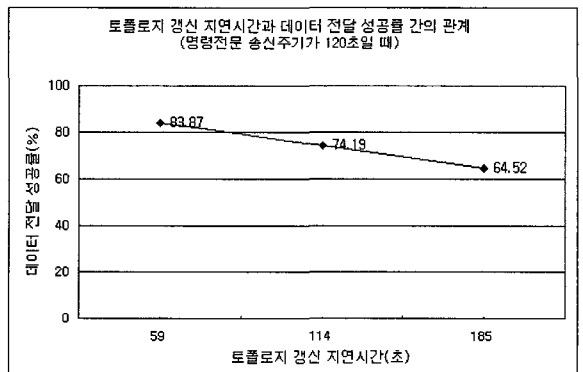
그림 13, 14, 15는 TEST 프레임을 적용할 때 명령 전문 송신주기가 각각 60초, 120초, 180초인 경우 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 간의 관계를 보여주고 있다. 명령 전문 송신주기가 일정할 때 토폴로지 갱신 지연시간이 증가할수록 데이터 전달 성공률은 감소한다는 사실을 알 수가 있다.

마지막으로, 시험에서 사용된 통신보드에는 노드의 이동으로 새로운 노드가 1-hop 내에 접근했을 때 그 새로운 노드를 기존의 노드들이 자신의 토폴로지 테이블에 추가시키고 새로운 노드가 기존의 노드들을 자신의 토폴로지 테이블에 추가시키기 위해서 다음과 같은 방법이 적용되어 있다. 크게 두 가지 경우를 생각해 볼 수 있는데 첫 번째 경우는 새로운 노드가 이미 통신망이 형성되어 있는 노드들의 1-hop 내에 접근하는 경우로서 이미 통신망이 형성되어 있는 노드들 간에는 서로의 토폴로지 정보를 인식하고 있어서 데이터 송수신이 이루어질 수 있고 데이터를 수신한 새로운 노드는 자기가 목적지 주소가 아니라도 데이터의 송신자 주소를 자기의 토폴로지 테이블에 등록하게 되고 이것은 MIL-STD-188-220 프로토콜의 토폴로지 갱신 트리거 조건을 만족하게 되므로 그 새로

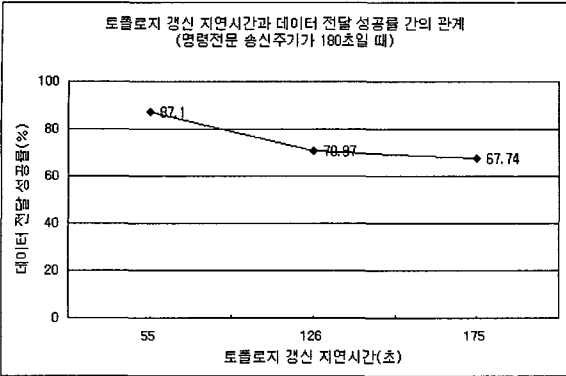
운 노드는 토폴로지 갱신 메시지를 Global Multicast 주소로 송신하게 된다. 새로운 노드의 토폴로지 갱신 메시지를 수신한 노드들은 그 새로운 노드를 자신의 토폴로지 테이블에 등록하게 되고 이것 또한 토폴로지 갱신 트리거 조건을 만족하므로 토폴로지 갱신 메시지를 Global Multicast 주소로 송신한다. 이러한 과정을 통하여 새롭게 1-hop 내에 접근한 노드와 기존의 노드들 간의 토폴로지 갱신이 가능하게 된다. 만일, 이미 통신망이 형성되어 있는 노드들 간에 어느 일정 기간 이상동안 데이터 혹은 음성 송수신이 없을 경우 1-hop 내에 접근한 새로운 노드와 토폴로지 갱신을 하기 위해서는 Global Multicast 주소를



[그림 13] 명령전문 송신주기가 60초일 때 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 간의 관계



[그림 14] 명령전문 송신주기가 120초일 때 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 간의 관계



[그림 15] 명령전문 송신주기가 180초일 때 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률 간의 관계

사용하여 TEST beacon을 송신한다. TEST beacon을 수신한 새로운 노드 또는 기존 노드는 TEST beacon의 송신자 주소를 자신의 토폴로지 테이블에 등록하고 토폴로지 갱신 트리거 조건에 해당되면 토폴로지 갱신 메시지를 Global Multicast 주소로 송신한다. 이러한 방법을 통해서 새롭게 1-hop 내에 접근한 노드와 기존의 노드들 간의 토폴로지 갱신이 가능하게 된다. 두 번째 경우는 동일한 망에서 모든 노드들 서로 간에 완전히 1-hop 링크가 끊어졌다가 다시 서로 간에 1-hop 관계로 되돌아온 경우이다. 이 경우에는 각 노드의 토폴로지 테이블에는 어떠한 노드도 등록되어 있지 않은 상태이므로 노드들 간 데이터 송수신은 불가능하게 된다. 하지만 위에서 설명된 TEST beacon 방법을 적용하게 되면 자동적으로 각 노드는 자신의 토폴로지 테이블에 다른 노드들을 등록하게 되어 토폴로지 갱신이 가능하게 된다. 하지만, 본 논문의 시험 방법 및 시나리오를 고려해 보면 이러한 새로운 노드 추가 방법이 시험 결과에는 영향을 미치지 않는다.

5. 결론

본 논문에서는 지상 기동 무기체계의 무선통신 노드들이 이동하는 지휘통제 전술정보 통신망에서 각 노드들 간에 데이터가 전달되었는지의 여부를 확인하

지 않고 Routine 우선순위를 가진 데이터만을 송수신하는 경우, 노드의 이동 혹은 장애물로 인한 끊어진 링크를 감지하지 못하여 최신의 토폴로지 정보를 유지하지 못하게 되므로 비효율적인 데이터 송신 또는 통신 두절 상황이 발생할 수 있는 MIL-STD-188-220 프로토콜의 취약점을 TEST 프레임을 이용하여 해결하는 방안을 제시하였다.

TEST 프레임을 적용하였을 경우와 적용하지 않을 경우에 성능 분석 비교를 위해 토폴로지 갱신 지연시간과 데이터 전달 성공률의 두 가지 파라미터가 사용되었다. 토폴로지 갱신 지연시간 측면에서 살펴보면 TEST 프레임을 적용하는 경우가 TEST 프레임을 적용하지 않는 경우보다 더 빠르게 변화된 토폴로지를 반영하여 토폴로지 테이블을 갱신한다. 데이터 전달 성공률 측면에서 살펴보면 TEST 프레임을 적용하는 경우가 TEST 프레임을 적용하지 않는 경우보다 더 향상된 데이터 전달 성공률을 보여준다. 결국, TEST 프레임을 적용함으로써 토폴로지의 변화를 신속하게 탐지하고 최신의 토폴로지 정보를 기반으로 데이터 통신두절 없이 원활한 데이터 송수신이 가능하게 된다. 본 논문의 결과를 토대로 고려해 본다면, 본 연구가 지상 기동 무기체계의 지휘통제 전술정보 통신망 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] MIL-STD-188-220C, Digital Message Transfer Device Subsystems, DoD, USA, 22 May 2002.
- [2] 유지상, 백인철, 조영우, "전술정보망통신기관 데이터 링크 계층 소프트웨어", GSDC-525-060005, 국방과학연구소, 2006. 1.
- [3] 유지상, 백인철, 강홍구, "무선통신보드 데이터 링크 계층 소프트웨어(흑표 체계개발)", GSDC-525-060817, 국방과학연구소, 2006. 8.
- [4] 유지상, 백인철, 선선구, "전술정보망통신기관 네트워크 계층 설계", GSDC-525-060440, 국방과학연구소, 2006. 3.
- [5] MIL-STD-188-220B, Data Link Layer Class A(Type 1) Estelle Specification, USA, 1998.