

초협대역 영상전송 전투무선망을 위한 Mobile Ad-hoc Network 프로토콜 연구

서명환^{*,1)} · 김기훈¹⁾ · 고윤수²⁾ · 김경우³⁾ · 김동현³⁾ · 최증원³⁾

¹⁾ 한화시스템(주) 지휘통제·통신연구소

²⁾ 한화시스템(주) 지상연구센터

³⁾ 국방과학연구소 제2기술연구본부

A Study of Mobile Ad-hoc Network Protocols for Ultra Narrowband Video Streaming over Tactical Combat Radio Networks

Myunghwan Seo^{*,1)} · Kihun Kim¹⁾ · Yun-Soo Ko²⁾ · Kyungwoo Kim³⁾ · Donghyun Kim³⁾ · Jeung Won Choi³⁾

¹⁾ C2-Communication R&D Center, Hanwha Systems, Korea

²⁾ Land R&D Center, Hanwha Systems, Korea

³⁾ The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 2 June 2020 / Revised 13 July 2020 / Accepted 24 July 2020)

Abstract

Video is principal information that facilitates commander's immediate command decision. Due to fading characteristics of radio link, however, it is difficult to stably transmit video in a multi-hop wireless environment. In this paper, we propose a MANET structure composed of a link adaptive routing protocol and a TDMA MAC protocol to stably transmit video traffic in a ultra-narrowband video streaming network. The routing protocol can adapt to link state change and select a stable route. The TDMA protocol enables collision-free video transmission to a destination using multi-hop dynamic resource allocation. As a result of simulation, the proposed MANET structure shows better video transmission performance than proposed MANET structure without link quality adaption, AODV with CSMA/CA, and OLSR with CSMA/CA structures.

Key Words : Mobile Ad-hoc Network(모바일 애드혹 네트워크), Routing Protocol(라우팅 프로토콜), TDMA MAC Protocol(시분할다중접속 매체접근제어 프로토콜), Video Streaming(비디오 스트리밍)

1. 서론

영상 정보는 지휘관의 즉각적인 지휘 결심을 용이하게 하는 주요한 정보이기 때문에 영상 정보의 전송 기능은 다양한 군 통신 과제에서 요구사항으로 포함되어 왔다. 영상 정보 중 영상 스트리밍은 실시간 서

* Corresponding author, E-mail: myunghwan.seo@hanwha.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

비스이기 때문에 신뢰성이 매우 높은 전송품질이 뒷받침되어야 한다. 상용 서비스의 경우 영상 스트리밍을 위해 최대 3 % 미만의 패킷 손실을 요구하고 있다²⁾.

본 논문에서는 초협대역 영상전송 전투무선망(UNVS-CRN; Ultra Narrowband Video Streaming Combat Radio Network)에서 영상스트리밍을 하기 위한 MANET 프로토콜을 연구한다. UNVS-CRN은 열악한 야전환경에서 최소의 대역폭으로 영상을 전송하는 멀티 홉 무선 네트워크이다. 수백 kbps 정도의 물리계층 전송속도를 가지는 무전기가 소규모로 구성하는 네트워크로, 최저 수십 kbps 속도의 영상을 지휘관까지 최대 3홉으로 전송한다. UNVS-CRN은 제한된 이동성을 갖는다. 영상 소스 노드는 영상획득을 위해 도보 수준의 이동성을 갖지만, 중계 노드는 안정적인 영상전송을 위해 고정적으로 운영된다. Fig. 1은 초협대역 영상전송 전투무선망에서 영상 스트리밍을 통해 지휘통제가 이루어지는 과정을 보여준다. 지휘관이 무전기에 연결된 영상 단말을 이용하여 운용자에게 영상 전송을 요청하면, 운용자의 영상단말에서 촬영 영상을 압축하여 스트리밍으로 전송한다. 지휘관은 수신된 영상을 통해 상황을 판단하고 지휘통제를 수행한다.

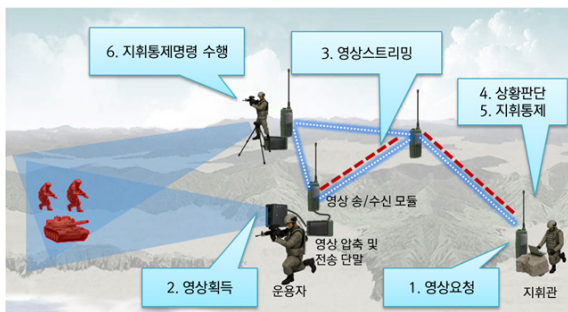


Fig. 1. Operation concept of ultra narrowband video streaming combat radio network

UNVS-CRN의 MANET(Mobile Ad-hoc Network) 기능은 작전 중 발생할 수 있는 음영지역을 해소하고 필요 시 통달 거리를 연장하여 노드 간 끊김없는 연결성을 제공하는 것이 가능하지만, 예측하기 어려운 노드 이동성, 멀티 홉 통신, 채널 접근 시 경쟁, 중앙 통제(Central Coordination)의 부재로 인해 높은 수준의 QoS를 제공하는 것이 어렵다²⁾. 이동통신환경의 무선 채널 특성은 UNVS-CRN에서 QoS 제공을 어렵게 하

는 또 다른 이유다. 송신기와 수신기 간의 무선채널에는 산란, 회절, 반사 등으로 수많은 전파 경로가 발생하여 수신 신호가 랜덤하게 등락(Fluctuation)하는 현상이 발생하며, 이를 페이딩이라 한다. 이로 인해 상태가 양호한 링크에서 수신 에러가 발생하거나 상태가 불량한 링크에서 패킷이 수신될 수 있다. 또한 링크를 형성하는 두 노드간의 수신 채널 차이로 링크 상태가 비대칭 링크가 형성될 수 있다. 즉, 한쪽 방향으로 수신 상태가 양호하지만 반대 방향으로 수신 상태가 불량할 수 있다. 이러한 무선 링크의 특성으로 인해 잘못된 경로가 생성되어 전송율, 전송지연 등의 성능이 저하될 수 있다.

이에 본 논문에서는 페이딩 환경하의 UNVS-CRN에서 영상을 안정적으로 전송하기 위해 링크 품질을 기반으로 안정적인 경로를 선정하는 라우팅 프로토콜과 멀티 홉 동적 자원할당을 통해 충돌없는 영상 전송이 가능한 TDMA MAC 프로토콜을 제안한다. 라우팅 프로토콜은 Hello 메시지 수신율을 세분화하여 링크 품질을 관리함으로써 페이딩 환경에서도 경로를 안정적으로 유지하고, 경로 설정에 관련된 패킷과 일반 Broadcast 패킷의 플러딩 방식을 달리하여 안정적인 링크를 기반으로 경로를 생성하고 복구한다. TDMA MAC 프로토콜은 UNVS-CRN의 운용개념을 기반으로 네트워크 계층의 경로 설정 및 복구 절차와 연계하여 3홉 전송에 필요한 데이터 슬롯을 한 번에 할당하며, 서브 프레임으로 구성되어있는 데이터 자원을 프레임 단위로 확장하여 사용함으로써 유연한 자원할당이 가능한 프레임 구조를 갖는다.

본 논문의 2장에서는 본 연구의 관련 연구를 설명하고, 3장에서는 UNVS-CRN을 위해 제안된 라우팅과 MAC 프로토콜을 설명한다. 4장에서 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 성능을 검증하고, 5장에서 결론을 맺도록 한다.

2. 관련 연구

MANET에서 영상 스트리밍을 전송하기 위한 연구가 계층교차적 설계, Routing, MAC 분야에서 다양하게 수행되어왔다. G. Adam³⁾은 AODV 라우팅 프로토콜과 IEEE 802.11e/g MAC을 사용하며, 응용 계층에서 QoS 요구사항을 제공하고, MAC에서 제공하는 SNR 측정 정보를 라우팅 경로 설정과 Rate Control 시 활

용하여 영상 전송 성능을 향상시켰다. S. Mishra^[4]도 실시간 영상 전송을 위해 참고문헌 [3]과 유사한 계층 교차적 구조를 제시하였다. Routing과 MAC으로 각각 AODV와 IEEE 802.11e/g를 사용하며, 응용 계층에서 QoS 요구사항을 MAC으로 전달하고, 네트워크 계층에서는 수신된 SNR이 임계값보다 작은 경우 새로운 경로를 탐색한다. 또한 응용 계층에서는 수신 노드의 피드백을 받아 흐름 제어를 수행한다.

참고문헌 [3,5]은 Reactive 방식인 AODV, DSR과, Proactive 방식인 OLSR 라우팅 프로토콜의 영상 트래픽 전송 성능을 비교하여, Reactive 방식인 AODV와 DSR의 전달률, 지연 등의 성능이 OLSR보다 더 좋을 것을 보였다. G. Adam^[3]은 성능 비교 결과를 바탕으로 AODV를 계층교차적 설계 구조에 적용하였다.

L. Sharma^[6]는 끊임없이 변화하는 링크 조건을 MANET에서 영상 전송이 어려운 주요 요인 중 하나로 지목하고, 높은 수명(Lifetime)을 가지는 링크로 경로를 구성하는 Reactive 방식의 LSBR(Link Stability Based Routing) 프로토콜을 제안했다. 링크 안정성은 경로 발견 과정에서 신호 세기, 간섭, 링크를 구성하는 노드 간 상대적 이동성을 기반으로 예측하였다. 영상 전송 목적과는 별개로, QoS 라우팅을 위해 링크 품질을 라우팅 메트릭에 반영하기 위한 연구들이 있어왔다^[7,8]. 이들 연구는 Hello 등의 주기적으로 전송되는 메시지의 수신율을 기반으로 무선링크의 비대칭 정도, 양방향 전송 성공확률을 계산하여, 멀티 전송 시 전송 회수(ETX; Expected Transmission Count), 최저 손실률(ML; Minimum Loss)을 계산하여 경로 설정 기준으로 삼는다.

지금까지 살펴본 MANET의 영상 스트리밍 전송 연구는 802.11 기반의 CSMA/CA 방식을 MAC 프로토콜로 사용했다^[3-6]. CSMA/CA는 프로토콜 복잡도가 낮아 적용이 용이한 장점이 있으나 경쟁을 기반으로 동작하기 때문에 충돌(Collision)이 발생할 수 있으며, 이로 인해 실시간 트래픽 전송을 위한 QoS를 제공하는데 제약이 따른다.

반면, TDMA 방식은 시간 슬롯을 예약하여 전송하는 방식으로 필요한 만큼의 슬롯의 예약하여 QoS를 보장할 수 있다. 하지만 산재된 노드 간 자원(시간 슬롯)을 예약하기 위한 프로토콜이 필요하고, 네트워크를 구성하는 노드 간 시간 동기를 필요로 하기 때문에 CSMA/CA에 비해 복잡도가 높다. J. Cha^[9]는 전송 MANET에서 실시간 트래픽 전송을 위한 TDMA 프레

임 구조와 멀티 홉 자원 예약 프로토콜을 제안했다. 프레임 구조는 비콘 구간, 데이터 전송 구간, 자원 예약 구간으로 구성되며, 자원 예약 구간의 슬롯을 통해 데이터 전송 구간의 슬롯을 예약하는 형태로 동작한다. 소스 노드의 MAC에서 RREQ(Reservan Request)를 플래딩으로 전송하고, 목적지 노드에서 RREQ를 수신하면, 역방향으로 RREP(Reservation Reply)를 전송하면서 영상 소스 노드와 중계 노드가 자신들이 송신할 데이터 슬롯을 할당하는 구조이다.

3. 초협대역 영상전송 MANET 프로토콜 설계

초협대역 영상전송 전투무선망에서 영상 스트리밍을 안정적으로 전송하기 위한 MANET 구조로 UNVS-MANET(Ultra Narrowband Video Streaming Mobile Ad-hoc Network)를 제안한다. UNVS-MANET은 링크 품질 적응형 Routing 프로토콜과 멀티 홉 동적 자원할당이 가능한 TDMA MAC 프로토콜로 구성되며, 제안 구조의 주요 특징은 다음과 같다.

- Routing 프로토콜은 Hello 메시지를 이용하여 링크 품질을 판단하여, 영상 스트리밍 경로로 사용할 수 있는 노드를 결정한다. 이때 비대칭 링크와 연결 상태가 불안정한 노드를 제외한다.
- 2홉까지는 Proactive 방식으로 경로를 설정하고, 3홉은 응용 계층의 영상 전송 요청 패킷 발생 시 Reactive 방식으로 경로를 설정한다.
- TDMA MAC은 영상 소스 노드의 네트워크 계층으로부터 요청받은 홉과 경로 정보를 이용하여 멀티 홉 동적 자원을 수행한다.
- 초기 자원할당 및 경로변경 시 재할당 정보는 플래딩을 통해 네트워크 전체로 공유된다.

3.1 라우팅 프로토콜

3.1.1 링크 상태 관리

제안된 라우팅 프로토콜은 링크 타입과 링크 품질을 기반으로 영상 전송 경로로 사용할 수 있는 노드를 결정한다. 노드의 링크 상태는 OLSR과 동일하게 UNSPEC_LINK, SYM_LINK, ASYM_LINK, LOST_LINK로 구분되며, UNSPEC_LINK는 연결상태가 파악되지 않은 경우, SYM_LINK는 양방향으로 연결된 경우, ASYM_LINK는 단방향으로만 연결된 경우, LOST_LINK는 기

존에 SYM_LINK 또는 ASYM_LINK 상태였던 링크의 연결이 끊어졌음을 의미한다. 노드의 링크 상태는 주기적으로 전송하는 Hello 메시지를 이용하여 판단하며, 링크 상태의 천이 관계와 천이 조건은 Fig. 2와 같다.

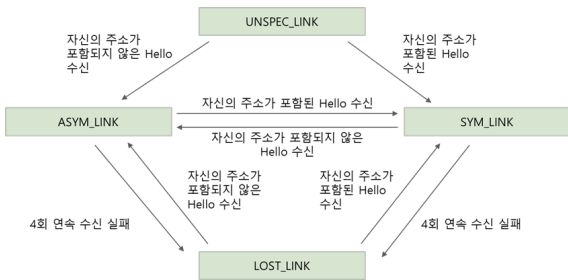


Fig. 2. Transition condition between neighbor link types

링크 품질은 RR(Receive Ratio), LRR(Latest Receive Ratio), PSRT(Probability of Successful Receive Transmission)로 관리된다. RR은 링크의 수신품질로 Hello Interval × 20의 시간동안 이웃 노드가 보내는 Hello 메시지의 수신률을 이동평균(Moving Average)으로 계산한다. RR 측정을 위한 이동평균 샘플 수가 많으면 수신품질의 정확도가 높지만, 최신의 상태가 반영되기 까지 지연이 발생하기 때문에 최근 3개의 Hello 메시지 수신율을 별도로 계산하여 관리하며, 이를 LRR(Latest Receive Ratio)로 정의한다. PSRT는 링크를 형성하는 두 노드간 패킷 전송 성공률로 양방향의 RR을 곱하여 계산한다. Hello 메시지는 이웃 노드의 링크 상태, 노드 상태와 함께 RR, PSRT가 포함된다.

노드는 링크 상태와 품질 정보를 바탕으로 이웃 노드 상태를 결정한다. 노드 상태는 NOT_NEIGHBOR, SYM_NEIGHBOR, ROUTE_NEIGHBOR로 구분된다. NOT_NEIGHBOR는 연결상태를 알 수 없거나, 비대칭 연결상태인 이웃 노드를 의미한다. SYM_NEIGHBOR는 SYM_LINK 상태이나 링크 품질이 영상 스트리밍 경로 조건을 만족하지 못한 경우를 의미한다. ROUTE_NEIGHBOR는 SYM_LINK 상태이면서 링크 품질이 영상 스트리밍 경로 조건을 만족하는 경우다. 링크품질의 영상 스트리밍 경로 조건 만족여부는 RR, LRR, PSRT의 문턱값을 기준으로 판단하며, 자세한 노드 상태 천이 조건은 Fig. 3과 같다.

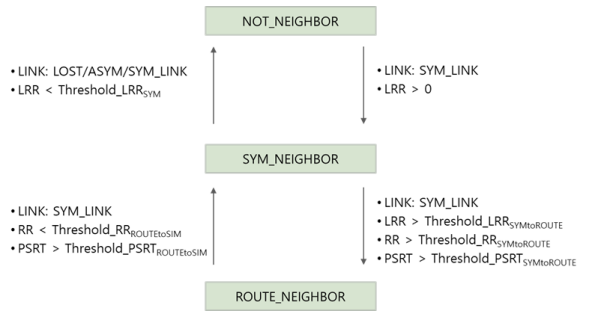


Fig. 3. Transition condition between neighbor node types

3.1.2 경로 설정

제안된 라우팅 프로토콜은 Hybrid 방식으로 경로를 설정한다. 2홉까지는 Hello 메시지의 이웃노드 정보를 이용하여 Proactive 방식으로 경로를 설정하고, 3홉에서는 영상 요청 패킷을 활용하여 Reactive 방식으로 경로를 설정한다.

Hello 메시지를 송신한 노드의 이웃노드 상태가 ROUTE_NEIGHBOR 이면 1홉 노드이다. 수신된 Hello 메시지에 포함된 ROUTE_NEIGHBOR 상태의 이웃 노드 중에 자신과 ROUTE_NEIGHBOR 관계가 아닌 노드들은 2홉 노드이다. 2홉 경로가 하나 이상인 경우 2홉 경로의 PSRT 값을 계산하여 가장 좋은 경로를 선택한다.

3홉 경로 설정은 패킷 발생 시 Reactive 방식으로 선정한다. 초협대역 영상전송 전투무선망에서 지휘관이 3홉 떨어진 운용자에게 비디오 전송을 요청하는 메시지를 전송하는 경우로, 중계 정보가 라우팅 테이블에 없기 때문에 해당 패킷을 No Route Broadcast 타입으로 전송한다. 이 타입은 Unicast 패킷이지만 경로가 설정되지 않아서 Broadcast로 송신하는 것을 의미한다. Broadcast는 플러딩 방식으로 중계되며, 중계 노드는 비디오 전송 요청 메시지의 네트워크 헤더에 중계 노드의 ID를 포함시킨다. 영상 소스 노드가 No Route Broadcast 패킷을 수신하면 네트워크 헤더의 중계 ID로 관리자 노드까지의 3홉 경로를 라우팅 테이블에 추가하고, Route Build-Up (RBU) 패킷을 생성하여 수신 패킷의 역경로로 전송하고, 이를 수신한 지휘관 노드는 운용자 단말까지의 3홉 경로를 업데이트한다.

Fig. 4는 경로 설정 절차에 의해 생성된 각 노드의 라우팅 테이블을 보여준다. 라우팅 테이블은 목적지

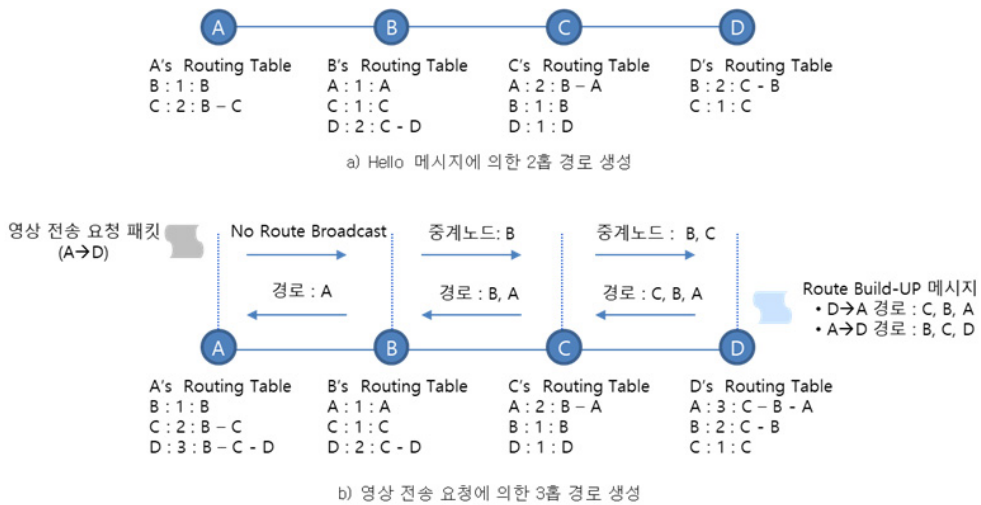


Fig. 4. Example of generating routes

노드, 홉 수, 경로로 구성된다. Next Hop 외 전체 경로 정보를 포함하는 이유는 특정 노드가 이탈하는 경우, 이 노드가 비디오 스트리밍 전송 경로에 포함된 노드인지 여부를 빠르게 파악하기 위해서다.

Fig. 5는 패킷 종류에 따른 중계 방안을 설명한다. Unicast 패킷인 경우, 경로 정보가 있으면 Next Hop으로 전송한다. 경로 정보가 없는 No Route Broadcast와 일반 Broadcast 패킷은 플러딩 방식으로 전송한다. 이때 No Route Broadcast와 Route Recovery 메시지의 경우 중계 경로를 이용하여 안정적인 경로가 선정될 수 있게 ROUTE_NEIGHBOR만 중계한다.

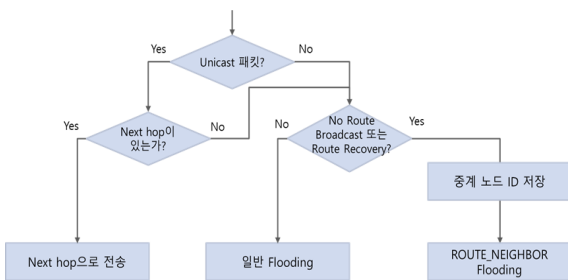


Fig. 5. Flowchart for packet forwarding

3.1.3 경로 복구

2홉 이내의 경로 변화는 Hello 메시지를 통해 인지하여 라우팅 테이블을 업데이트한다. 노드는 Hello 메시지 수신 시 이웃 노드의 링크상태, 링크품질, 노드

상태를 업데이트한 후 각 목적지 노드로의 최적 경로를 찾는다. 최적 경로는 ROUTE_NEIGHBOR 노드로 만들어진 경로 중, PSRT 값이 가장 큰 경로이다. 2홉 PSRT 값은 소스 노드와 중계 노드 간 PSRT와 중계 노드와 목적지 노드 간 PSRT의 곱으로 계산한다. 이어서 새로운 경로와 기존 라우팅 테이블의 경로를 비교하여 PSRT 값이 더 큰 경로를 선택한다. 하지만 빈번한 경로 변경과 이에 따른 자원재할당을 막기 위해 PSRT 값의 차이가 크지 않은 경우 기존 경로를 유지한다.

노드의 이동으로 인해 3홉에서의 경로 변화가 일어나거나 2홉에서 3홉으로 이동하는 경우, 영상 소스와 목적지(지휘관)노드에서 중계노드의 이탈을 인지하여 Route Recovery 메시지를 전송한다. 이웃노드의 Hello 메시지를 통해 중계노드가 ROUTE_NEIGHBOR 상태에서 SYM_NEIGHBOR 변경된 것을 인지함으로써 중계노드의 이탈을 알 수 있다. Route Recovery 메시지는 ROUTE_NEIGHBOR 노드에 의해서 플러딩되어 영상 목적지 또는 소스 노드까지 전달된다. Route Recovery 메시지를 수신한 노드는 자신의 ID를 추가하여 중계하며, 영상 목적지 또는 소스 노드가 Route Recovery 메시지를 수신한 경우, 중계 정보로 라우팅 테이블을 업데이트하고 Route Build-Up 메시지 생성하여 Recovery 메시지의 역경로로 전송한다. Route Build-Up 메시지는 Unicast로 Route Recovery 메시지의 소스 노드까지 전달된다.

Route Build-Up 메시지가 영상 소스와 목적지 모두에서 생성하는 것을 방지하기 위해, 영상 목적지 노드가 Route Recovery를 전송한 경우에는 소스 노드의 Route Recovery를 받아도 Route Build-Up 메시지를 전송하지 않는다. 반면 영상 소스 노드는 Route Recovery를 보냈어도 목적지 노드의 Recovery를 받으면 Route Build-Up 메시지를 전송한다. Route Recovery 메시지 또는 Route Build-Up 메시지가 중계 중 손실되는 경우를 대비하여 Route Recovery 메시지의 재전송 타이머가 만료되기 전에 Route Build-Up 메시지 수신에 실패하는 경우 Route Recovery 메시지를 3회 재전송할 수 있다. 경로 복구가 완료되면 영상 소스 노드는 MAC 계층에 변경된 경로로 자원재할당을 요청한다.

3.2 TDMA MAC 프로토콜

3.2.1 TDMA MAC Frame 구조

Fig. 6은 제안된 TDMA MAC 프로토콜의 프레임 구조이다. MAC 프레임은 3개의 서브 프레임으로 구성되며, 각 서브 프레임은 노드 수 만큼의 제어 슬롯(m)과 영상 데이터 슬롯(n)으로 구성된다. 제어 슬롯은 노드의 ID를 기반으로 고정 할당된다. 각 노드는 1과 m사이의 하나의 ID를 갖고 있으며, 자신의 ID에 해당하는 위치의 제어 슬롯을 고정으로 사용한다. 영상 데이터 전송 슬롯은 자원 할당 절차를 통해 영상 소스 및 중계 노드에 할당된다. MAC 프레임이 3개의 서브 프레임으로 구성된 것은 어느 노드가 라우팅 또는 MAC의 제어 패킷을 보내더라도 최대 1초안에 3홉까지 전달될 수 있게 하기 위해서이다. 영상 데이터 슬롯은 서브 프레임당 n개의 슬롯으로 구성되어 있으나 자원할당 시에는 3n 개의 슬롯을 모두 이용해서 할당한다. 이는 할당 가능한 슬롯 수가 늘어나고 1초 간격으로 재사용함으로써 유연하고 정밀한 자원할당이 가능할 것으로 판단되기 때문이다.

각 슬롯에서 소스 노드는 한 슬롯에서 보낼 수 있는 양만큼 패킷을 집적(Aggregation)하여 전송한다. 제어 슬롯에서는 제어 패킷과 영상 데이터 패킷 전송이

가능하며, 영상 데이터 슬롯에서는 영상 데이터만 전송이 가능하다.

TDMA MAC을 사용하기 위해서 각 노드 간에 시간 동기화가 선행되어야 한다. 각 노드의 전원 인가 시간이 다를 경우 노드의 TDMA MAC 프레임이 시작하는 시점이 달라진다. 또한 시간 생성 시 소스가 되는 오실레이터의 노드 간 성능 차이로 노드 간 시간 오프셋이 발생한다. 따라서 TDMA MAC 프레임의 시작점을 주기적으로 동기화해야 하며, 대표적인 시간 동기화 방안으로 TPSN(Timing-Sync Protocol for Sensor Networks)^[10], FTSP(Flooding Time Synchronization Protocol)^[11] 등의 방안이 있다. 본 연구에서 네트워크를 구성하는 노드들은 별도의 시간 동기화 방안에 의해서 동기화되었다고 가정한다.

3.2.2 멀티 홉 자원할당 및 해지

비디오 데이터 슬롯의 자원할당은 영상 소스 노드의 MAC에서 수행한다. 지휘관 단말의 영상 전송 요청이 수신되면 네트워크 계층은 MAC 계층에 지휘관 노드까지의 경로정보를 제공하고 자원할당을 요청한다. MAC은 영상 소스 노드와 중계 노드에 자원을 분배하는 자원할당 메시지를 생성하여 브로드캐스트 패킷으로 전송한다.

자원할당 메시지는 고유번호, 순서번호, 타입, 송신 및 중계 노드 주소, Round 수, Round 당 슬롯 수, Round 간 간격 로 구성된다. 고유번호는 송신 및 목적지 노드 주소의 합으로 세션 번호로 사용된다. 순서번호는 동일 고유번호의 업데이트 여부를 식별하기 위해서 사용된다. 메시지 타입은 (재)할당, 해지 구분을 위해 사용된다. Round 수는 송신 및 중계 시퀀스의 반복 수, Round 당 슬롯 수는 각 Round에서 각 노드들이 할당 받는 슬롯 수를 의미한다.

Fig. 7은 3홉 경로, 영상 소스 4번, 중계 노드가 3번, 2번 노드이고, 3 Round, 각 Round의 할당 값이 2, 2, 3, Round간 간격이 2, 3, 4일 때 할당 결과이다.

자원할당 메시지는 SYM_NEIGHBOR 또는 ROUTE_

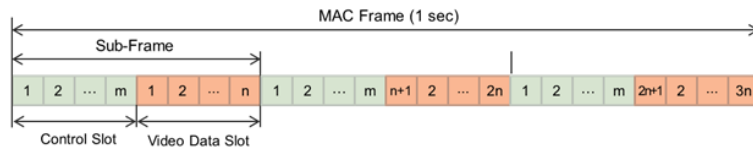


Fig. 6. TDMA MAC frame structure

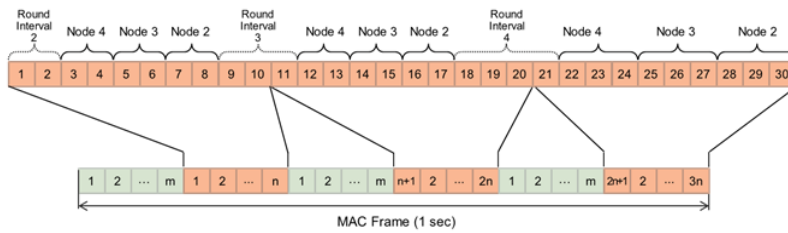


Fig. 7. Example of resource allocation

NEIGHBOR 노드에 의해 플래딩으로 전달되어 모든 노드가 자원의 예약 상태를 알게 된다.

자원할당 해지는 해지 메시지를 통한 명시적인 해지와 Timeout에 의한 암묵적 해지를 모두 지원한다. 명시적 해지는 영상 소스 운용자 단말에서 지휘관 단말의 영상 전송 종료를 메시지를 수신하여 MAC에 현재 할당된 자원의 해지를 요청한 경우로, MAC은 자원할당 해지 메시지를 생성하여 브로드캐스트로 전송한다. 암묵적 해지는 슬롯 예약 시 일정 시간 동안만 사용하도록 하여 명시적 해지 메시지를 받을 수 없는 노드가 자원을 해지하는 방법이다. 따라서 예약된 슬롯을 계속해서 사용을 위해서 영상 소스 노드는 Timeout이 발생하기 전에 업데이트 메시지 주기적으로 전송해야 한다.

4. 성능 분석

본 연구에서는 Riverbed(OPNET) Modeler(버전 18.0.3)을 이용하여 제안된 MANET 프로토콜의 성능을 분석하였다. 제안된 라우팅과 MAC 프로토콜의 프로세스 모델과 노드 모델을 구현하였으며, Riverbed Modeler에서 제공하는 MANET 모델을 이용하여 성능을 비교하였다. Riverbed Modeler MANET 모델은 AODV, OLSR, DSR, TORA 등의 라우팅 프로토콜을 선택할 수 있으며, 802.11을 MAC 프로토콜로 사용한다. 성능분석을 위해 대표적인 Proactive와 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜인 OLSR과 AODV를 선택하여 비교하였다. Riverbed Modeler MANET의 OLSR과 AODV는 링크 품질을 기반으로 경로를 설정하지 않지만, Hello를 이용하여 이웃노드의 이탈을 감지한다. 제안된 라우팅 프로토콜에서 링크 품질을 경로 설정에 활용한 경우의 성능 향상 정도를 확인하기 위해, 링크 품질을 판단하지 않고 홉 수만으로 경로를 결정하는 경우(UNVS-

MANET w/o LQ)도 같이 비교하였다.

Table 1은 성능분석에 사용된 시뮬레이션 파라미터이다. 초협대역 영상 전송 전투무선망을 모의하기 위해 MANET 모델의 전송속도 및 MAC 파라미터를 변경하였으며, 라우팅 프로토콜 메시지의 노드 주소 크기를 제한된 라우팅 프로토콜과 동일하게 1Byte 크기로 변경하였다. 나머지 파라미터는 MANET 모델의 기본 파라미터를 사용하였다.

Table 1. Simulation parameters

파라미터		값
전송속도		256 kbps
출력		2 W
BER 커브		DPSK
802.11 (CSMA/CA)	Slot Time	60 us
	SIFS	15 us
	DIFS	135 us
TDMA MAC	Frame	1 sec
	제어슬롯 / Sub-Frame	4 개
	데이터 슬롯 / Sub-Frame	11 개
영상 스트리밍	전송속도	64 kbps
	패킷 크기	212 Byte
제안 라우팅 프로토콜 Threshold	LRR _{SIMtoROUTE}	0.9
	RR _{SYMtoROUTE}	0.8
	PSRT _{SYMtoROUTE}	0.85
	LRR _{SYM}	0.3
	RR _{ROUTEtoSYM}	0.8
	PSRT _{ROUTEtoSYM}	0.75

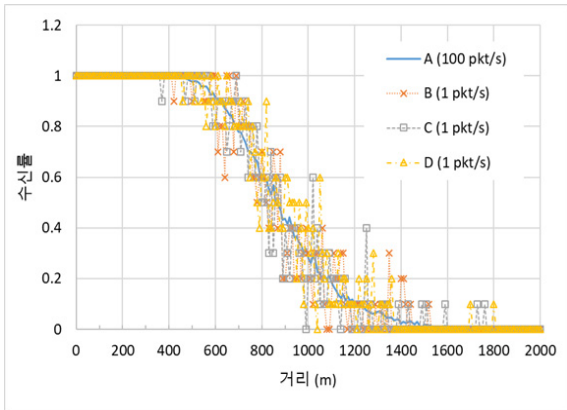
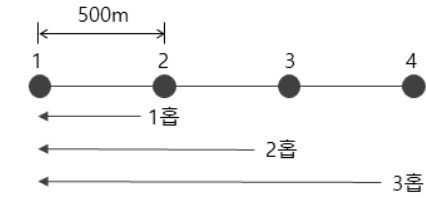


Fig. 8. Packet reception ratio of log normal propagation model

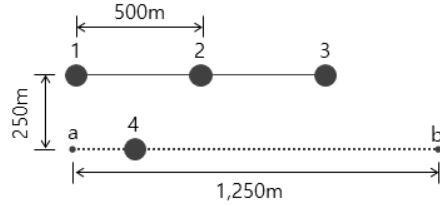
페이딩 무선 채널 환경을 모의하기 위해 식 (1)과 같이 Log-normal 분포를 적용하여 수신 패킷의 신호 크기 계산하였다. d 는 두 노드 사이의 거리이고, k 는 송수신기 하드웨어에 의해 결정되는 값으로 1을 사용하였다. λ 는 송신 신호의 파장, β 는 경로감쇄지수, σ 는 정규 분포를 따르는 확률 변수 ϵ 의 표준편차로 각각 1/2.4 GHz, 3.5, 4 dB를 적용하였다. Fig. 8은 페이딩 환경에서의 두 노드 사이의 거리 증가에 따른 패킷 수신률을 보여준다. 한 노드를 고정시키고 다른 노드를 1 m/s의 속도로 이동시키면서 수신률을 측정하였다. A 그래프는 초당 100개의 패킷을 전송한 결과이고 B, C, D 그래프는 시드값을 달리하여 초당 1개의 패킷을 전송한 결과이다. A 그래프는 많은 표본을 통해 얻은 평균 수신률로 거리가 증가함에 따라 완만하게 감소하는 경향을 보인 반면, B, C, D 그래프는 적은 표본을 통해 얻은 순시적인 수신률로 거리가 증가함에 따라 감소하지만 오르내림이 반복되는 현상과 동일 거리에서도 시드값에 따라 서로 다른 수신률을 보이는 것을 확인할 수 있다.

$$P_r = P_t \cdot k \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{d^\beta} \cdot 10^{\frac{\epsilon}{10}}, \epsilon \sim N(0, \sigma_{dB}^2) \quad (1)$$

제안된 프로토콜의 성능 분석을 위해 Fig. 9와 같이 두 가지 시나리오를 적용하였다. 첫 번째 체인 토폴로지 시나리오는 노드가 고정된 상태에서 채널환경 변화가 전송 성능에 미치는 영향을 확인하기 위한 시나리오이다. 홉 수 증가에 따른 영상 전송 성능을 비교하



(a) 체인 토폴로지 시나리오



(b) 이동 시나리오

Fig. 9. Simulation scenario

기 위해서 2, 3, 4 번 노드에서 1번노드로 영상을 전송하였다. 영상 트래픽은 30초에서 130초까지 전송하였고 시뮬레이션 시간은 150초이다.

두 번째 이동 시나리오는 감시정찰 상황을 모의한 것으로 이동 상황에서 품질이 변화하고 경로 단절이 발생 할 때 각 MANET 프로토콜 조합의 영상 전송 성능을 비교하기 위한 시나리오이다. 4번 노드가 1번 노드에게 영상을 전송하는 상황에서 4번 노드가 5 m/s의 속도로 a에서 b 지점으로 이동 후 다시 복귀하는 시나리오이다. 영상 스트리밍은 10초부터 480초 동안 전송하며, 시뮬레이션 시간은 500초이다.

각 시나리오를 5회 반복하여 평균하였으며, 시뮬레이션 시드값으로 128, 129, 130, 131, 132를 사용했다.

Fig. 10은 체인 토폴로지 시나리오에서 홉 수 증가에 따른 전송율을 비교한 그래프이다. 모든 경우에서 1홉에서는 페이딩 환경의 수신률인 97 % 대의 전송률을 보이지만 홉 수가 증가함에 따라 차이가 커졌다. OLSR과 CSMA/CA 조합이 가장 안좋은 성능을 나타냈으며, 링크 상태를 반영하지 않은 UNVS-MANET의 결과도 OLSR과 CSMA/CA 조합과 비슷하게 나타났다. 이는 일시적으로 수신되는 Hello 메시지에 의해 불안정한 짧은 경로로 수시로 변경되었기 때문이다. Reactive 방식인 AODV는 최초 경로 생성 후 경로를 바꾸지 않기 때문에 AODV와 CSMA/CA 조합은 상대적으로 개선된 성능을 보여준다. 하지만 3홉에서는 영

상 스트리밍 중계로 트래픽 부하 증가하여 패킷 간 충돌과 늘어나고, Hello 메시지 충돌로 경로 복구 과정이 반복되어 3홉에서의 전송률이 크게 떨어졌다. 반면, 링크 품질에 적응하는 UNVS-MANET이 가장 높고 안정적인 전송률을 보였다. 매홉마다 페이딩에 의한 2% 정도의 패킷 손실만 반복되어 3홉에서도 94%의 높은 전송율을 보였다. 이는 페이딩 환경이지만 링크 품질을 기반으로 안정적인 경로를 선정하여 시뮬레이션 시간 동안 유지했기 때문이다. UNVS-MANET의 Hello Interval을 0.3, 1, 2 초로 변경하였지만 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 체인 토폴로지 시나리오에서 홉 수 증가에 따른 전송지연을 비교한 그래프이다. OLSR과 CSMA/CA 조합의 지연이 가장 낮는데, 이는 OLSR이 Proactive 방식이어서 초기 경로 설정을 위한 지연이 발생하지 않기 때문이다. AODV와 CSMA/CA 조합은 패킷 충돌로 인한 Backoff와 반복되는 경로 복구 과정 때문에 3홉에서 지연이 크게 증가하였다. UNVS-MANET의 경우 자원할당을 통해 충돌없이 전송했음에도 상대적으로 높은 수준의 지연을 보였는데, 이는 TDMA MAC 사용 시 매 홉마다 각 노드에게 할당된 타임 슬롯까지 기다려야 했기 때문이다. Hello Interval, 링크 품질 적용 여부에 따라 약간의 차이가 나타났지만 특별한 경향성을 보이지 않았다.

Fig. 12는 이동 시나리오에서의 전송률을 보여준다. UNVS-MANET의 경우 Hello Interval을 0.3, 1, 2를 적용했다. AODV와 OLSR은 Riverbed Modeler의 기본값

을 사용했으며, 각각 uniform (1, 1.1) 초, 2 초이다. 링크 상태에 적응하는 UNVS-MANET은 Hello Interval에 상관없이 94% 이상의 높은 전송률을 보였으며, OLSR, AODV와 CSMA/CA 조합은 각각 72%, 79%의 전송률을 보였다. 링크 상태를 반영하지 않는 UNVS-MANET의 경우, Hello Interval이 0.3 초일 때 80%의 전송률을 보였으나, 1초에서 67%, 2초에서 72%의 전송률을 보였다. UNVS-MANET w/o LQ는 Hello Interval이 1초보다 클 때 OLSR과 비슷하고 AODV 보다 낮은 성능을 보여 체인 토폴로지 시나리오와 유사한 성능 비교 관계를 보였다.

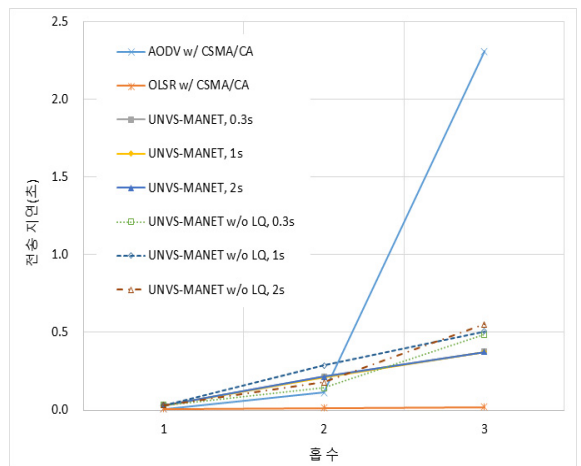


Fig. 11. Average delay in the static scenario

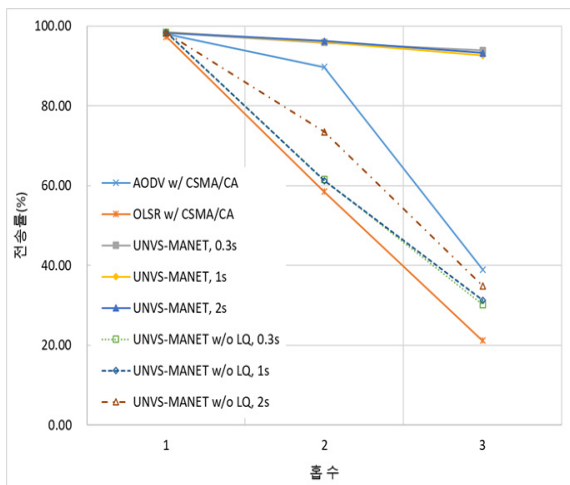


Fig. 10. Delivery ratio in the static scenario

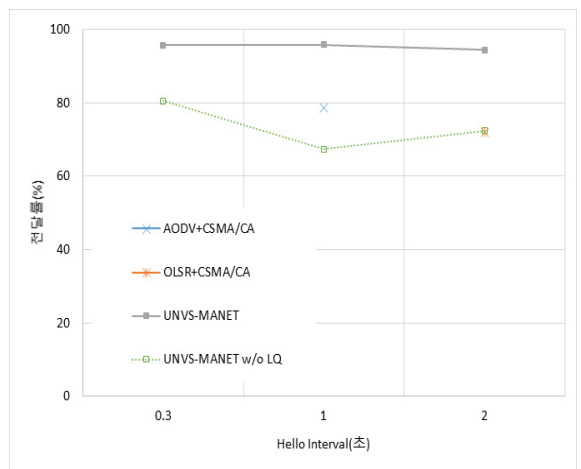


Fig. 12. Delivery ratio according to hello interval in mobile scenario

5. 결론

본 논문에서는 UNVS-CRN에서 안정적으로 영상을 전송하기 위해 링크 품질 적응형 라우팅 프로토콜과 멀티 홉 자원할당 기반의 TDMA MAC 프로토콜을 제안했다. 라우팅 프로토콜은 영상 스트리밍을 멀티 홉으로 안정적으로 전송하기 위해 링크 품질을 바탕으로 안정적인 경로를 선정한다. TDMA MAC 프로토콜은 멀티 홉 자원할당을 수행하여 목적지 노드까지 충돌 없이 영상 트래픽을 전달한다. Riverbed(OPNET) Modeler 기반의 성능분석을 통해 제안된 방식이 링크 품질을 고려하지 않는 제안 방식, AODV와 CSMA/CA 조합, OLSR과 CSMA/CA 조합보다 우수한 영상전송 성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한 두 가지 시나리오에서 모두 94 % 이상의 전송율을 보여 링크 상태가 변화하는 무선환경에서도 제안 방식을 통해 비교적 안정적으로 영상 스트리밍을 전송할 수 있다는 사실을 확인하였다.

본 연구는 UNVS-CRN의 소요 대역폭을 고려하여 네트워크 크기와 영상 스트리밍 수를 각각 3홉, 1개로 제한하여 무선 링크 품질 적응과 영상 스트리밍을 위한 자원할당에 초점을 맞추어 진행하였다. 후속 연구에서는 높은 전송 속도의 광대역 전투무선망 적용을 목적으로 3홉 이상의 네트워크 크기와 복수 개의 영상 스트리밍을 지원할 수 있도록 제안된 라우팅 프로토콜과 TDMA MAC 프로토콜을 확장하는 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소가 지원하는 ‘초협대역 영상전송 네트워크 기술 개발’ 과제의 일환으로 수행 되었음(UC170024ED).

References

[1] L. Hanzo and R. Tafazolli, "A Survey of QoS Routing Solution for Mobile Ad hoc Networks,"

IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 9, No. 2, pp. 50-70, 2007.

[2] R. A. Cacheda, et. al., "QoS Requirements for Multimedia Services," Resource Management in Satellite Networks, Springer, Boston, Ma, pp. 67-94, 2007.

[3] G. Adam, et. al., "Cross Layer Design for Video Streaming in MANETs," Journal of Networks, Vol. 9, No. 2, pp. 328-338, 2014.

[4] S. Mishra and A. Singh, "A Novel Approach for Video Transmission in MANET," International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5, No. 6, pp. 7270-7275, 2014.

[5] M. Halloush, et. al., "The Performance of MANET Routing Protocols for Scalable Video Communication," Communications and Network, Vol. 5, No. 2, pp. 119-125, 2013.

[6] L. Sharma, C. Lal, and D. P. Sharma, "Improving QoE using Link Stability for Video Streaming in MANETs," ADHOC-NOW 2016: Ad-hoc, Mobile, and Wireless Networks, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9724, pp. 339-353, 2016.

[7] M. Gambhir and S. Gambhir, "Performance Analysis of OLSR and QoS Constraint OLSR in MANET," International Journal of Engineering Reserach and Applications, pp. 26-33, 2014.

[8] N. Javaid, et. al., "Investigating Quality Routing Link Metrics in Wireless Multi-hop Networks," Annales of Telecommunications, pp. 209-217, 2014

[9] J. Cha, K. Go, J. Kim, and W. Park, "TDMA-based Multi-hop Resource Reservation Protocol for Real-time Applications in Tactical Mobile Adhoc Network," MILCOM 2010, San Jose, CA, pp. 1936-1941, 2010.

[10] S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. B. Srivastava, "Timing-Sync Protocol for Sensor Networks," SenSys'03, pp. 138-149, 2003.

[11] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, and A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol," SenSys'04, pp. 39-49, 2004.