

# TICN 전투무선망에서의 종단간 대역폭을 보장하는 예약 기반 HWMP 라우팅 프로토콜 설계

## A Reservation-based HWMP Routing Protocol Design Supporting E2E Bandwidth in TICN Combat Wireless Network

정 회 진\*            민 석 흥\*            김 봉 규\*\*            최 형 석\*\*  
 Whoi Jin Jung      Seok Hong Min      Bong Gyu Kim      Hyung Suk Choi

이 종 성\*\*            이 재 용\*            김 병 철\*  
 Jong Sung Lee      Jae Yong Lee      Byung Chul Kim

### ABSTRACT

In tactical environment, tactical wireless networks are generally comprised of Tactical MANETs(T-MANETs) or Tactical WMNs(T-WMNs). The most important services in tactical network are voice and low rate data such as command control and situation awareness. These data should be forwarded via multi-hop in tactical wireless networks. Urgent and mission-critical data should be protected in this environment, so QoS(Quality of Service) must be guaranteed for specific type of traffic for satisfying the requirement of a user. In IEEE 802.11s, TDMA-based MAC protocol, MCCA(MCF Controlled Channel Access), has a function of resource reservation. But 802.11s protocol can not guarantee the end-to-end QoS, because it only supports reservation with neighbors. In this paper, we propose the routing protocol, R-HWMP(Reservation-based HWMP) which has the resource reservation to support the end-to-end QoS. The proposed protocol can reserve the channel slots and find optimal path in T-WMNs. We analyzed the performance of the proposed protocol and showed that end-to-end QoS is guaranteed using NS-2 simulation.

Keywords : Tactical-WMN(전술 무선 메쉬 네트워크), 802.11s, MCCA, QoS(서비스 품질), Bandwidth Reservation(대역폭 예약)

### 1. 서론

Wireless Mesh Networks(WMNs)은 민간 분야뿐만 아니라 군사 분야에서도 많은 관심을 가지고 있는 네트워크로서, 기존 유선망에 비해 저비용으로 손쉽게 네트워크를 설치할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 군사 분야에서 미래의 전투 환경을 고려한 전투 무선망은 Tactical Mobile Ad hoc Networks(T-MANETs)<sup>[1]</sup>

† 2013년 2월 8일 접수~2013년 3월 15일 게재승인

\* 충남대학교(Chungnam National University)

\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이재용(jyl@cnu.ac.kr)

또는 Tactical WMNs(T-WMNs)<sup>[2]</sup>으로 구성될 것이다. 그러므로 전장 환경과 같이 수시로 네트워크의 환경이 변화하고 네트워크의 생사를 판단할 수 없는 환경에서 위와 같은 네트워크 구성은 필수적으로 필요하다.

국내 군이 사용하고 있는 기존의 전술통신망인 SPIDER 체계를 대체하고, IP 기반 망으로 전환시키기 위해 Tactical Information Communication Network(TICN) 체계를 개발 중에 있다. TICN의 전투무선망은 다양한 웨이브폼을 필요에 의해 교체 운용 가능한 SDR(Software Defined Radio) 기반으로 동작하며, 음성과 데이터 등의 여러 가지 형태의 데이터가 전송되는 멀티 홉 네트워크로 설계 구현된다. 모든 트래픽은 발생 특성도 다르고 요구하는 서비스 품질(QoS)도 서로 다른 것이 일반적이다. 이 경우에 전투무선망은 지휘관의 명령 하달과 같은 가장 긴급하고 중요한 데이터의 서비스 품질을 먼저 만족시켜줄 수 있는 네트워크 기능을 가져야 한다.

민간 부문의 IEEE 802.11s 표준에는 TDMA 기반 MAC인 MCF(Mesh Coordinated Function) Controlled Channel Access(MCCA, MDA에서 용어가 변경됨)를 옵션으로 채택하고 있다. MCCA는 한 노드에서 이웃노드와의 무선 채널에 대한 슬롯의 사용을 예약하는 기능을 가지고 있다. 그러나 종단간의 QoS를 제공하기 위해서는 이웃 노드와의 자원 예약만으로는 부족하고 종단간의 경로 전체에 대한 자원 예약을 필요로 한다. 이에 802.11s의 경로 선택 프로토콜인 HWMP(Hybrid Wireless Mesh Protocol)를 활용하여 예약이 가능한 경로를 찾고, 자원의 예약은 MCCA의 예약 기능을 활용하면 종단간에 QoS를 만족시키기 위한 자원 예약 프로토콜을 구현할 수 있다. 이를 활용하여 전투무선망에서 긴급하고 중요한 트래픽의 QoS를 종단간에 보장할 수 있다.

본 논문의 구성은 1장의 서론에 이어 2장에서는 TICN 체계의 소개와 기존 802.11s의 MCCA, HWMP를 소개하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 종단간 QoS 제공 프로토콜인 R-HWMP(Reservation based HWMP)의 설계 및 구현 내용을 기술한다. 이어서 제안한 프로토콜의 성능을 NS-2로 분석하여 종단간의 QoS가 보장됨을 보이며, 마지막 결론과 향후 연구계획으로 본 논문을 마무리한다.

## 2. 관련 연구

### 가. TICN 체계의 소개

TICN 체계는 현 운용중인 전술통신체계(SPIDER)의 제한사항 극복과 미래 전장에서의 통합 전투력 발휘 보장을 위한 고속, 대용량의 전술 정보 통신 기반체계로 Fig. 1과 같이 정찰감시/정밀타격/지휘통제체계를 하나의 체계로 통합하는 무선 네트워크 기반 체계이다. 본 논문은 TICN을 구성하는 여러 망 중에서 전투무선망에서의 QoS를 보장하기 위한 기술을 제안한다.

전투무선망은 특정 제대 단위로 구성되고, 소속 통신소별로 전용 Gateway장비를 배치/운용하게 되며, 최대 200여개의 전투무선망 구성 단말로 이루어진다. 전투무선망 구성 단말의 잦은 이동과 생사의 변경 때문에 수시로 네트워크의 환경이 변화하게 된다. 따라서 민간 분야의 Mesh network 기술 또는 Ad hoc network 기술이 필수적으로 필요하다. 이에 더하여 전장 환경에서의 긴급하고 중요한 데이터에 대한 QoS를 보장하는 기술 또한 꼭 필요한 기술이라고 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 민간 분야의 IEEE 802.11s mesh network 기술을 사용하여 전투무선망에서의 종단간 QoS를 보장할 수 있는 프로토콜을 제안하고 이에 대한 성능 분석을 수행한다.



Fig. 1. TICN Key Map

### 나. IEEE 802.11s MCCA와 HWMP

IEEE 802.11s<sup>[3]</sup>는 2003년 9월 IEEE 802.11의 스터디 그룹으로 시작되어 2004년 7월에 태스크 그룹으로 승급되었으며, 2005년 7월부터 15개의 제안에 대한 검토를 거쳐 “SEE-MESH”와 “Wi-Mesh”의 두 가지 제안이 2006년 1월에 통합안으로 채택되었다. 2011년 9월 10번째 개정안이 출판되었으면 현재는 거의 표준화를 앞둔 상태이다. 802.11s에서 제안하는 MAC은 EDCA를 기본으로 채택하고 있고, 추가적으로 MCCA를 채택하

고 있다.

MCCA<sup>[4]</sup>는 일종의 TDMA 기반 채널 예약 프로토콜로서 MCCA가 지원되는 MP(Mesh Point)에서 다른 MP보다 적은 경쟁을 가지고 특정 예약된 시간 구간에 무선 매체에 접근할 수 있도록 하는 프로토콜이다. MCCA에서 예약되는 시간 구간은 MCCAOP(MCCA Opportunity)로 규정되고, 이를 예약하기 위하여 전송할 트래픽이 있는 MP는 먼저 MCCA Setup 과정을 수행하게 된다. MCCA Setup 과정을 수행하는 송신 MP, 즉 MCCAOP Owner 외의 경로 상의 모든 이웃 MP들은 자신의 간섭 테이블에 예약되는 시간 구간을 표시해 둬으로써 MCCAOP가 예약된 구간에서는 무선 채널을 사용할 수 없음을 알게 된다. 최종적으로 송신 MP와 수신 MP 사이의 MCCAOP Setup 과정이 모두 수행되면 패킷이 전송될 경로 상에 존재하는 모든 이웃 MP들은 MCCAOP Owner가 무선 채널을 사용하는 동안 기다리게 된다.

802.11s에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 HWMP<sup>[5]</sup>로서 reactive 방식과 proactive 방식이 조합된 MAC 계층의 프로토콜이다. 관례적으로 라우팅 프로토콜은 3 계층에서 사용하는 이름이기 때문에 802.11s에서는 이를 구분하기 위하여 경로 선택 프로토콜(path selection protocol)이라고 부른다. 그러나 본 논문에서는 용어의 혼동을 피하기 위하여 라우팅 프로토콜이라고 사용할 것이다.

HWMP는 reactive 방식과 proactive 방식으로 구성되어 있으며, proactive 방식은 메쉬 노드 중 하나의 노드를 root로 선정하여 root-based 트리를 형성하는 방식이고, reactive 방식은 on-demand 방식이라고도 하며 전송할 데이터가 있는 MP가 먼저 경로 찾기를 수행한 후에 데이터를 전송하는 방식이다. 일반적으로 on-demand 라우팅 프로토콜로서 RM-AODV(Radio Metric-AODV)<sup>[6]</sup>를 사용하는데, 이것은 AODV<sup>[7]</sup>와 동작 절차는 동일하고 최적 경로를 찾기 위한 메트릭으로 기존의 홉과 같은 거리 개념을 사용하는 것이 아니라, AirTime 메트릭이라고 하는 라디오 메트릭을 사용하는 것이 다르다.

본 논문에서 제안하는 중단간 QoS를 보장하는 R-HWMP는 RM-AODV를 기초로 하여 중단간 QoS를 보장할 수 있도록, 즉 중단간의 자원 예약을 통하여 대역폭을 보장해 주는 프로토콜이다. 이를 위하여 RM-AODV에서 사용되는 PREQ, PREP, PERR 등의 메시지 포맷 수정이 필요하고, 경로 찾기와 관리 등의

알고리즘에 대역폭을 예약해주는 추가적인 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 R-HWMP의 상세한 설계는 다음 절에서 기술한다.

### 3. R-HWMP 설계 및 구현

R-HWMP의 경로 찾기 및 경로 관리 알고리즘은 기본 AODV와 유사하게 동작하지만, 경로를 찾기 위한 메트릭으로 가용 대역폭(available bandwidth)을 검사한다는 점이 가장 큰 차이점이다. 유선망에서 제안된 RSVP<sup>[8]</sup> 프로토콜에서 사용되는 TSpec과 RSpec을 정의하고, 이를 HWMP에 적용하게 된다. 제안된 프로토콜에서 사용되는 TSpec은 <Token bucket rate, Token bucket size, Burst time, Idle time, Packet size>이고, RSpec은 <Needed slots>으로 정의한다.

제안된 프로토콜의 동작을 위하여 기존 HWMP에서 사용하는 PREQ, PREP, PERR 메시지에 몇 가지 새로운 필드를 추가하였고, 각 MP들이 관리하는 라우팅 테이블에 몇 가지 새로운 엔트리를 추가하였다. 먼저 PREQ, PREP 메시지에 TSpec과 RSpec을 기입할 수 있는 필드와 slot map table을 추가한다. 그리고 PERR 메시지에 예약이 실패했음을 알릴 수 있는 “reservation failed” 필드를 플래그 필드에 추가한다. 각 MP가 관리하는 라우팅 테이블의 필드에는 대역폭 예약에 필요한 필드인 slot map table과 플로우의 ID를 나타내는 FID 필드를 추가한다. 각 MP는 slot map table을 이용하여 자신이 사용할 수 있는 여유 슬롯(free slots)을 계산할 수 있다. 여유 슬롯 값은 경로 찾기 과정에서 가용대역폭의 유무를 검사할 때 사용하게 된다.

다음 절에서 경로 찾기, 경로 관리 과정에 대해 기술하기에 앞서 설명의 용이성을 위하여 다음과 같은 몇 가지 용어들을 정의한다.

- ※ OriginMP : 전송할 데이터를 가지고 있는 송신지 MP
- ※ TargetMP : OriginMP의 목적지 MP
- ※ InterMP : 경로 상에 존재하는 중간 MP

#### 가. Path Discovery

전송할 데이터를 가지고 있는 OriginMP는 먼저 자신의 요구대역폭을 만족하는 경로를 찾기 위해 PREQ를 브로드캐스팅한다. PREQ 메시지에는 위에서 언급

한 TSpec 정보를 기입하고, TO(Target Only) 플래그를 설정하여 전송한다. TO 플래그를 설정함으로써 InterMP 들은 TargetMP까지의 경로를 알고 있더라도 PREP를 바로 OriginMP로 전송할 수 없다. 이는 InterMP가 알고 있는 경로가 해당 요구대역폭을 만족하는 지를 알 수 없기 때문에, 최소한 TargetMP까지 PREQ가 꼭 전송되어야 함을 의미한다.

PREQ를 수신한 MP의 동작 절차는 Fig. 2에 나타냈듯이, 가장 먼저 시퀀스 번호를 검사하여 최신의 시퀀스 번호이거나 또는 시퀀스 번호가 같지만 라우팅 메트릭이 더 좋다면, 그 다음 요구대역폭을 만족하는 가용대역폭을 검사한다. 가용대역폭을 검사하기 위해 필요한 슬롯의 개수는 식 (1)을 통하여 계산된다. 가용대역폭을 만족할 수 없으면 해당 PREQ를 버리고, 만족할 수 있으면 FID를 확인한 후, reverse path entry를 생성하고 PREQ를 re-broadcasting 한다. PREQ가 TargetMP까지 전달될 때까지 위의 과정을 반복 수행하고 TargetMP는 PREQ를 수신하면 PREP를 생성하여 OriginMP까지의 forward path entry를 생성하고, 또한 OriginMP의 요구대역폭을 예약한다.

제안된 프로토콜은 경로를 찾는 과정에서 PREQ의 전송 시, TSpec을 메시지에 추가하여 보냄으로 자원 예약에 필요한 추가적인 시그널링 오버헤드를 없앨 수 있는 장점이 있고, 목적지 MP에서 PREQ를 수신한 후, 송신지 MP로 전송하는 PREP 메시지에 RSpec을 추가하여 전송을 하면서 필요한 대역폭을 예약하기 때문에 중단간 대역폭 예약을 통한 QoS를 보장할 수 있는 장점이 있다.

다음으로 PREP 메시지를 수신한 MP의 동작 절차는 Fig. 3과 같다. TargetMP에서 전송한 PREP를 수신한 InterMP는 동일한 FID를 가진 플로우에 대해 최신의 PREP인지를 먼저 확인하고, 계산된  $N_s$  만큼 채널의 슬롯을 예약한다. 만약 PREP가 전송되면서 예약을 수행하기 전, InterMP의 대역폭이 다른 MP에 의해 사용이 되었다면 해당 MP는 PERR 메시지를 TargetMP까지 전송한다. 예약을 수행할 수 없음을 인지한 InterMP에서 TargetMP까지의 forward path는 형성이 되었으므로 이를 따라 TargetMP까지 PERR 메시지가 전달되고, forward path 상의 MP들은 해당 FID에 대한 경로를 삭제한다. 이때 PERR 메시지에 "reservation failed" 필드를 추가하여 전송한다. OriginMP는 PREQ를 전송하고 일정 lifetime 동안 PREP가 도착하지 않으면 예약이 실패하였음을 알고, 다시 한번 PREQ 메시지를 보

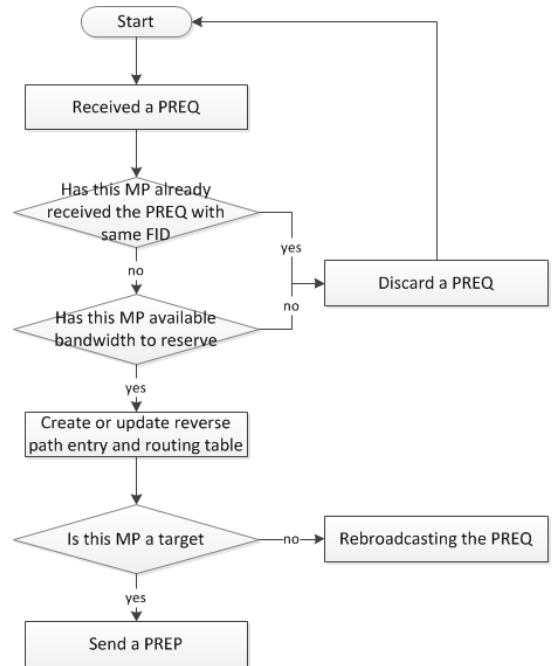


Fig. 2. PREQ Procedure

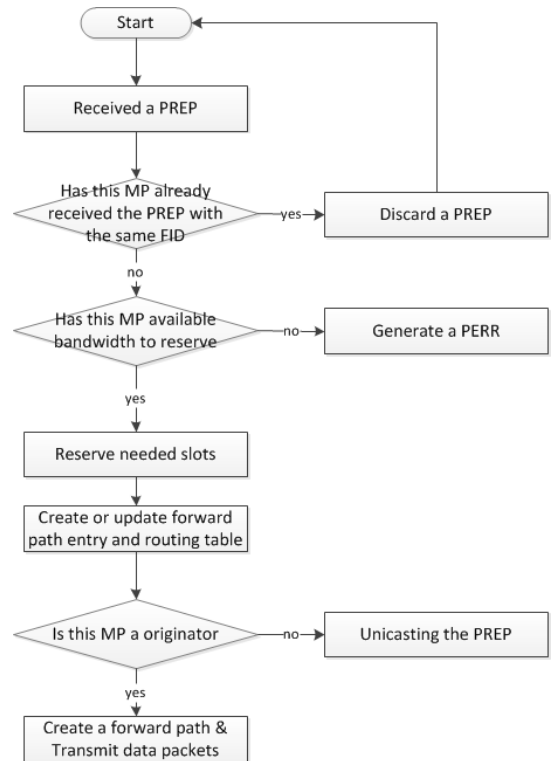


Fig. 3. PREP Procedure

로드캐스팅함으로 새로운 경로를 찾는 과정을 수행한다. PREP를 수신한 InterMP가 정상적으로 예약이 수행되면 TargetMP까지의 forward path entry를 생성하고 reverse path를 따라 OriginMP까지 PREP를 유니캐스트로 전송하게 된다. 최종적으로 OriginMP가 PREP를 수신하면 요구대역폭을 만족하는 경로가 생성된 것이고, 이 경로를 따라 OriginMP는 데이터를 전송함으로 종단간 QoS를 보장할 수 있다.

요구대역폭을 만족시키기 위한 필요 슬롯 수 ( $N_s$ )는 계산하기 위해 먼저 TSpec 정보를 기반으로 예약율 ( $R$ )을 다음 식 (1)과 같이 계산한다.

$$R = r \times \left( \frac{t_b}{t_b + t_i} \right) \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 token bucket rate 이고,  $t_b$ 와  $t_i$ 는 각각 token bucket 파라미터의 burst time과 idle time을 나타낸다. 식 (1)을 통하여 예약율  $R$ 은 burst time과 idle time의 비율에 따라 결정되게 된다. CBR 트래픽인 경우에는 idle time이 없기 때문에 token bucket rate과 동일하게 예약율을 결정하고, VBR 트래픽인 경우에는 burst time과 idle time의 합에 burst time의 비율만큼 예약율을 결정한다.

다음 한 DTIM 구간 동안 전송되는 패킷의 개수인  $N_p$ 를 계산하기 위하여 먼저 packet interval인  $T_{pi}$ 를 식 (2)와 같이 구하고 다음  $N_p$ 를 식 (3)과 같이 계산한다.

$$T_{pi} = \frac{S \times 8}{R} \quad (2)$$

여기서  $S$ 는 패킷의 크기로 단위는 바이트 단위이다. 패킷의 간격은 패킷의 크기를 예약율로 나누어서 구하게 된다. 도출된 패킷의 간격을 사용하여 다음 식 (3)과 같이  $N_p$ 를 계산한다.

$$N_p = \text{ceiling} \left[ \frac{DTIM_{duration}}{T_{pi}} \right] \quad (3)$$

패킷의 개수는 항상 양의 정수값을 취해야 하기 때문에 한 DTIM 구간을 packet interval로 나눈 값을 항상 정수로 올림하기 위하여 ceiling 함수를 사용한다.

마지막으로 한 DTIM 구간동안  $N_p$ 만큼의 패킷을 전

송하기 위한 필요 슬롯인  $N_s$ 를 계산하기 위하여 한 패킷의 전송시간인  $pkt_{txtime}$ 과 ACK의 전송시간인  $ack_{txtime}$ 을 각각 식 (4), 식 (5)를 통하여 계산한 후, 위의 식들을 통하여 도출된 값들을 사용하여 식 (6)과 같이 필요한 슬롯의 개수  $N_s$ 를 구한다.

$$pkt_{txtime} = \frac{S}{rate_{link}} \quad (4)$$

$$ack_{txtime} = \frac{ack_{size}}{rate_{basic}} \quad (5)$$

여기서  $rate_{link}$ 는 물리적인 채널의 용량(capacity)이고,  $rate_{basic}$ 은 컨트롤용 패킷들을 전송하는 최소 채널의 대역폭인 1Mbps를 나타낸다.

$$N_s = \text{ceiling} \left[ \frac{(N_p \times (pkt_{txtime} + ack_{txtime} + (2 \times SIFS)))}{slot_{duration}} \right] \quad (6)$$

여기서  $slot_{duration}$ 은 한 슬롯의 크기로서 본 논문에서는 표준에서 제안하는 값과 동일하게  $32\mu s$ 를 사용하였다. 또한 여기서 하나의 패킷을 전송한 후, 돌아오는 ACK의 시간까지 고려하여 두 번의 SIFS를 패킷과 ACK의 전송시간에 더하였다.

식 (1) ~ 식 (6)에서 사용된 기호의 표기법을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Notations Description

<Notations>
• $R$ : reservation rate [bps]
• $r$ : token bucket rate [bps]
• $b$ : token bucket size [bytes]
• $t_b$ : burst time [s]
• $t_i$ : idle time [s]
• $S$ : packet size [bytes]
• $T_{pi}$ : packet interval [s]
• $N_p$ : number of packets
• $N_s$ : number of needed slots

나. Path Maintenance

제안된 프로토콜의 경로 관리 알고리즘은 주기적으로 PREQ 메시지의 브로드캐스팅을 통하여 수행된다. 주기적인 PREQ 메시지로 자신의 slot map table을 광고하고, MP의 이동이나 링크의 변경에 따른 링크의 상황을 광고한다. 이때 PREQ 메시지의 TTL 필드를 2로 설정하여 2홉 이웃 MP들까지만 전달되게 하여 브로드캐스팅 메시지에 의한 네트워크 혼잡을 줄일 수 있다. PREQ 메시지를 수신한 MP는 수신된 PREQ의 송신지 MP로는 PREQ를 re-broadcasting 할 수 없다. 그러나 관리를 위한 PREQ는 송신지 MP로도 전달이 되어야 하기 때문에 PREQ의 management 플래그를 설정함으로써 PREQ의 송신지 MP로도 해당 메시지가 브로드캐스팅될 수 있게 한다. 이를 수신한 경로 주변의 이웃 MP들을 포함한 모든 MP들은 자신의 slot map table을 업데이트하고 여유 슬롯(free slots) 개수의 업데이트를 수행한다.

다. Admission Control

모든 MP는 PREQ와 PREP 메시지를 수신하면 요구 대역폭을 만족하는 여유 슬롯을 검사함으로써 admission control을 수행한다. 잘못된 예약을 방지하기 위하여 PREQ와 PREP 메시지가 전송될 때 각각 한 번씩 총 두 번의 admission control을 수행한다. PREQ가 전달되는 동안, 즉 reverse path를 생성하는 동안 가용대역폭이 있었다더라도, forward path를 생성할 때, 해당 가용대역폭의 일부나 또는 전부를 다른 MP가 자신의 플로우를 예약하는데 사용하는 경우가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 PREP 메시지를 수신하였을 때에도 admission control을 수행하여 이를 방지할 수 있다. 만약 가용 대역폭이 없어서 예약을 할 수 없으면 PERR 메시지를 생성된 reverse path를 따라 전달하여 예약을 할 수 없는 MP부터 TargetMP까지 예약된 슬롯들을 모두 취소한다. 또한 OriginMP는 PREQ를 전달할 때 타임아웃 값을 설정하여 이 기간 동안 PREP를 수신하지 못하면 예약이 수행되지 않았거나, 무선 환경이 열악하다고 판단하여 경로 찾기 과정을 재수행할 것이다. 예약을 수행하기 원하는 OriginMP가 위와 같은 원인으로 예약을 수행하지 못하는 경우 재수행을 위한 알고리즘이 필요하지만, 본 논문에서는 경로를 찾고 예약을 수행하는 과정은 완전히 수행된다고 가정하고, 추가적인 알고리즘은 향후 연구 계획으로 남겨둔다.

Table 2. Simulation parameters

802.11s PHY	DTIM duration		32ms
	Slot duration		32us
	Number of total slots		1000
	Number of control slots		10
802.11s MCCA	Link rate		6 Mbps
	MCCA Max. queue size		1000
	MCCA CW <sub>min</sub>		3
MCCA CW <sub>max</sub>		15	
Token Bucket Filter	Token rate		Traffic rate과 동일
	Token bucket size		8192 bits
	Queue length		100
Traffic	CBR & VBR	Packet size	1000 bytes
		Burst time	0.5s
	VBR	Idle time	0.5s
Shape		1.5	
Interference Model	Protocol interference model		

4. 성능 분석 및 비교

제안된 R-HWMP의 성능을 분석하기 위해 NS-2<sup>[9]</sup> 시뮬레이터를 사용하였고, MCCA 와 DCF 를 사용하는 플로우 별로 대역폭의 비교를 수행하였다. 실험 토폴로지는 Fig. 4와 같은 9 홉 체인 토폴로지와 3\*3 그리드 토폴로지를 사용하였고, 사용되는 트래픽은 CBR 과 VBR 트래픽을 사용하였다. VBR 트래픽으로는 버스트(burst) 특성이 강한 pareto 트래픽을 사용하였다. 실험을 위한 각 파라미터의 설정은 Table 1과 같다. MCCA를 통한 예약율(reservation rate)은 <알고리즘 1>을 통하여 계산된 값을 사용한다. CBR 트래픽인 경우는 idle time이 없기 때문에 트래픽의 생성율과 동일하게 예약을 수행하고, VBR인 경우는 burst time과 idle time을 고려하여 계산된 값, 즉 long term 평균 전송율 만큼 예약을 수행한다.

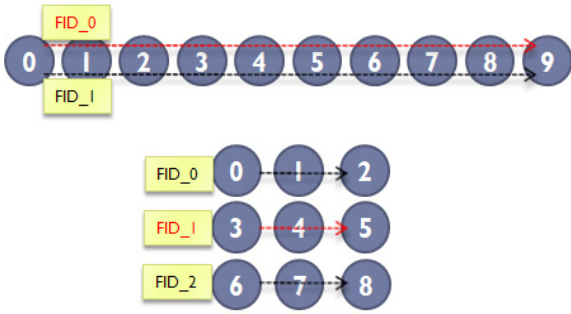


Fig. 4. Simulation topology

가. CBR 트래픽 실험

첫 번째 실험은 먼저 9 홉 체인 토폴로지에서 FID\_0와 FID\_1 모두 MCCA를 적용하지 않은 것과, FID\_0 플로우에만 MCCA를 적용하였을 경우, CBR 트래픽 1Mbps의 전송율(throughput)을 비교하였다. FID\_0와 FID\_1의 OriginMP는 0번 노드, TargetMP는 9번 노드이다.

실험 결과는 Fig. 5의 상단 그래프와 같이 두 플로우 모두 MCCA를 적용하지 않은 경우는 두 플로우의 경쟁에 따라 전송율이 500Kbps에 미치지 못함을 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 5의 하단 그래프를 보면 FID\_0 플로우에 MCCA를 적용한 경우 FID\_1의 전송율은 급격하게 감소하지만, MCCA가 적용된 FID\_0의 경우 예약된 1Mbps를 거의 만족함을 확인할 수 있다.

다음 실험은 그리드 토폴로지에서 FID\_0, FID\_1, FID\_2 모두 MCCA를 적용하지 않고, FID\_0와 FID\_2 플로우는 CBR 2Mbps, FID\_1 플로우는 CBR 1.5Mbps 트래픽을 사용하였을 때와, FID\_1 플로우에만 MCCA를 적용한 경우의 전송율을 비교 분석한다. Fig. 6의 상단 그래프를 보면 FID\_1 플로우의 전송율이 급격하게 적은 것을 볼 수 있는데, 그 이유는 FID\_0와 FID\_2 사이의 중간에 위치한 플로우이기 때문에 두 플로우보다 현저하게 떨어지는 전송율을 보이는 것이다. 그래서 본 실험에서는 이런 열악한 환경에서의 플로우인 FID\_1에 MCCA를 적용하여 요구대역폭을 만족하는 것을 보였다. Fig. 6의 하단 그래프를 보면 FID\_0과 FID\_2는 전송율이 약 750Kbps 정도인 것을 알 수 있고, FID\_1은 예약된 1.5Mbps 전송율을 거의 만족하는 것을 확인할 수 있다.

다음은 동일한 토폴로지 환경에서 CBR 트래픽이 아닌 VBR 트래픽인 pareto 트래픽을 사용한 실험 결과를 비교 분석한다.

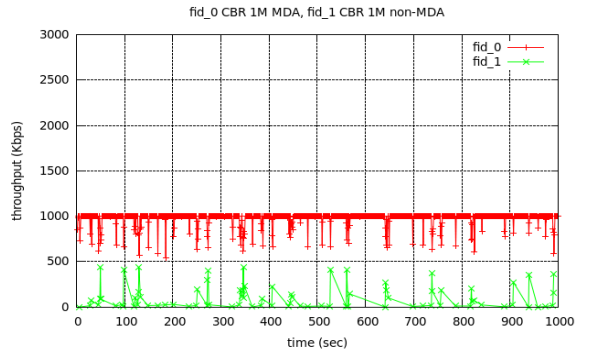
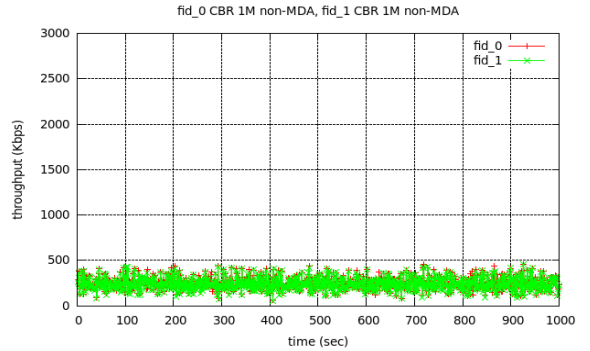


Fig. 5. CBR, 9-hop chain topology

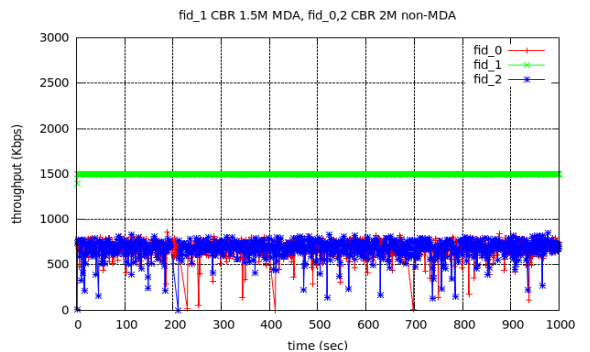
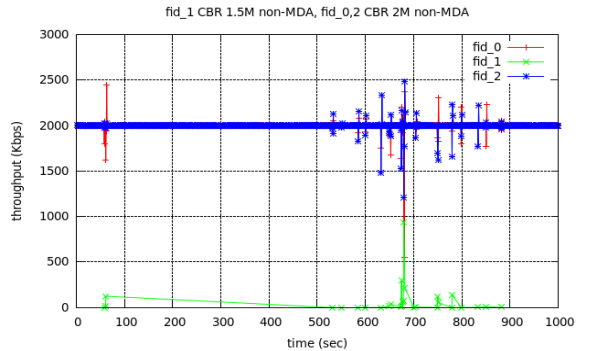


Fig. 6. CBR, 3x3 grid topology

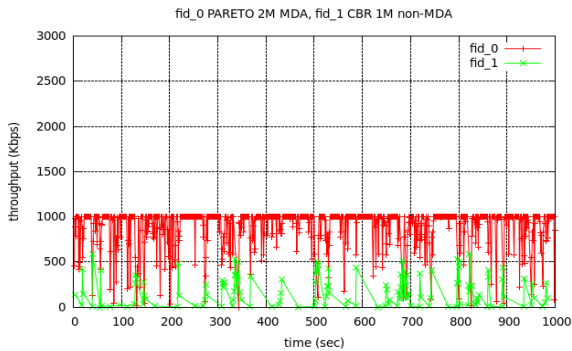
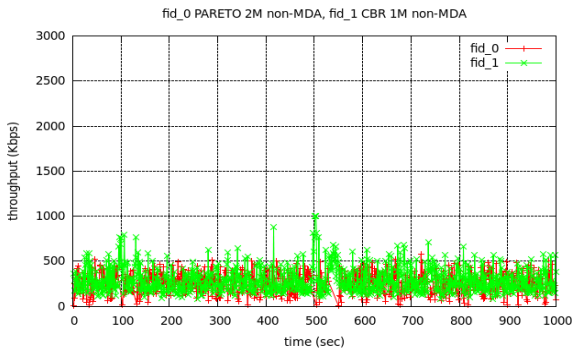


Fig. 7 VBR, 9-hop chain topology

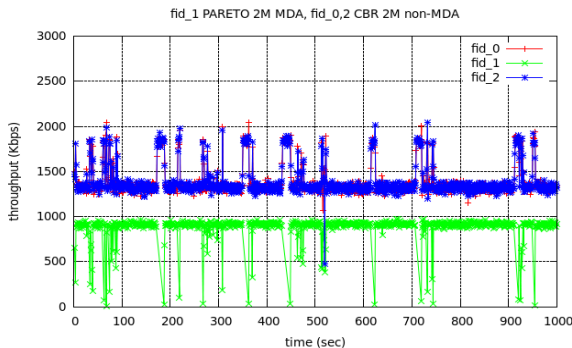
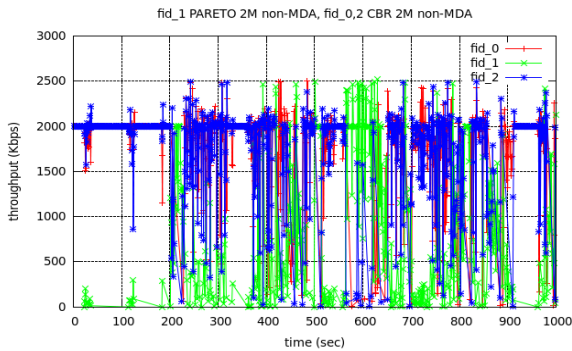


Fig. 8 VBR, 3\*3 grid topology

#### 나. VBR 트래픽 실험

CBR 트래픽을 사용한 실험에 이어 이번 실험은 pareto 트래픽을 사용하여 버스트한 특성을 가진 트래픽의 요구 대역폭도 만족할 수 있음을 보인다. Pareto 트래픽에 사용된 파라미터는 Table 1에서 나타냈듯이, burst time 0.5s, idle time 0.5s, shape 1.5로 설정하였고, burst time 동안 2Mbps 트래픽을 생성하도록 설정하였다. 즉, pareto 트래픽의 long term 평균 전송율은 1Mbps가 될 것이고, 예약을 또한 1Mbps로 예약을 수행할 것이다.

먼저 9 홉 체인 토폴로지에서 FID\_1 플로우는 CBR 1Mbps, FID\_0 플로우는 pareto 트래픽을 사용하여 실험을 수행하였다. 실험 결과는 Fig. 7과 같고, VBR 트래픽이기 때문에 CBR 트래픽보다 오실레이션 (oscillation)이 심한 결과를 보이지만, CBR 트래픽의 실험 결과와 동일하게 FID\_0 플로우는 예약된 1Mbps 대역폭을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

다음 그리드 토폴로지에서 FID\_0와 FID\_2는 CBR 2Mbps 트래픽을 사용하고, FID\_1은 pareto 트래픽을 사용하여 실험한 결과는 Fig. 8과 같다. Fig. 8의 상단 그래프를 보면 FID\_1 플로우는 현저하게 떨어지지만, 하단 그래프를 보면 두 플로우 사이에 있는 열악한 환경의 FID\_1 플로우가 예약된 1Mbps 대역폭을 거의 만족하는 것을 확인할 수 있다.

위의 CBR, VBR 트래픽을 사용한 실험 결과, 제안된 R-HWMP 프로토콜을 사용하는 경우 중단간의 대역폭을 확실하게 보장할 수 있음을 알 수 있다. 이 기술을 전투무선망에 적용한다면 긴급하거나 중요한 데이터들의 QoS를 보장할 수 있을 것으로 본다.

### 5. 결론 및 향후 연구 계획

TICN 체계의 전투무선망은 Ad hoc이나 메쉬 형태로 구축될 가능성이 크다. 이에 전투무선망에서의 긴급하고 중요한 데이터나 실시간 음성과 같은 트래픽은 QoS의 보장이 필수적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 802.11s의 MAC 알고리즘인 MCCA를 사용하여 중단간 요구 대역폭을 예약할 수 있는 기능을 가진 라우팅 프로토콜인 R-HWMP를 제안하였다. 기존의 HWMP는 경로를 찾는 메트릭으로 AirTime 메트릭을 디폴트 메트릭을 사용하지만, 제안된 R-HWMP는 이에 더하여 가용대역폭을 메트릭으로 사용하여



경로 찾기를 수행하고, RSVP와 유사한 방법으로 TargetMP에서 OriginMP까지의 forward path entry를 생성하는 동안 요구대역폭의 예약을 수행한다. 이렇게 함으로 종단간의 요구 대역폭을 예약할 수 있고, 시뮬레이션을 통하여 여러 플로우가 경쟁하는 환경에서 예약을 한 플로우의 전송율이 보장됨을 확인하였다. 추후 전투무선망에 메쉬 기술인 802.11s가 적용되었을 경우, 제안된 R-HWMP를 적용하여 긴급하고 중용한 데이터 및 음성 데이터의 대역폭을 보장하는 프로토콜의 적용이 가능할 것이다.

향후 제안된 프로토콜의 성능 분석을 싱글 채널에서 멀티 채널로 확장하고, VBR 트래픽의 경우 예약된 슬롯이 남을 수가 있는 데 이런 경우, 남는 슬롯의 사용에 대한 스케줄링 방법에 대한 연구를 진행할 것이다.

## 후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.  
(계약번호 : UE115083ED)

## References

- [1] C. E. Fossa and T. Macdonald. Internetworking Tactical MANETs. MILCOM, pp. 1034~1039, 2010.
- [2] B. Kim, K. Kim, H. Koo, B. Roh, Y. Kim, and J. Jin, "Tactical Network Design and Simulator with Wireless Mesh Network-based Backbone Architecture", in Proc. of LISAT, pp. 1~5, 2010.
- [3] "IEEE Std. P802.11s/D10.01. Draft Amendment to Standard-IEEE 802.11s : Mesh Networking", Sep. 2011.
- [4] G. R. Hiertz, S. Max, T. Junge, D. Denteneert, and L. Berlemann, "IEEE 802.11s - Mesh Deterministic Access", in Proc. of 14th EW, pp. 1~8, 2008.
- [5] M. Bahr, "Update on the Hybrid Wireless Mesh Protocol of IEEE 802.11s", Mobile Adhoc and Sensor Systems(MASS), pp. 1~6, 2007.
- [6] Aoki, H. et al. "802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh(SEE-Mesh) Proposal", IEEE P802.11 Wireless LANs, Document IEEE 802.11-05/0562r0, June 2005.
- [7] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance(AODV) Routing", RFC 3561, July 2003.
- [8] L. Zhang et al., "RSVP : A New Resource Reservation Protocol", IEEE Network, pp. 8~18, Sep. 1993.
- [9] NS-2 manual, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/>