

협대역 다중홉 전투무선망에서 기회적 데이터 중계 기법

이 종 관^{*,1)}

¹⁾ 육군사관학교 컴퓨터과학과

Opportunistic Data Relay Scheme for Narrowband Multihop Combat Radio Networks

Jongkwan Lee^{*,1)}

¹⁾ Department of Computer Science, Korea Military Academy, Korea

(Received 5 July 2021 / Revised 13 September 2021 / Accepted 29 October 2021)

Abstract

In this paper, we propose an opportunistic data relay scheme in narrowband multihop combat radio networks. Narrowband networks have physical restrictions on high-speed transmission. Furthermore, the topology changes dynamically due to the jamming of the enemy, signal interference between friendly forces, and movement of network entities. Therefore, the traditional relay scheme that collects topology information and calculates a relay path before transmission is unsuitable for such networks. Our proposed scheme does not collect topology information and transmits data opportunistically. The scheme can cause unnecessary data relaying that is not related to data delivery to the destination node. However, for small networks, the effect of increasing network throughput by not gathering topology information is much greater than the effect of reducing throughput by unnecessary data relays. We demonstrate the performance superiority of the proposed scheme through simulation in the worst case of network topology.

Key Words : Combat Radio Network(전투무선망), Opportunistic Data Relay(기회적 데이터 중계), Narrowband(협대역), TDMA(시분할다중접속), Multi-hop Networks(다중홉 네트워크)

1. 서론

전투무선망은 전장상황에서 지휘통제와 전장상황공유를 위해 운용되는 전투제대의 기반 통신망이다. 최

초 전투무선망의 운용 목적은 음성 정보의 실시간 동시 전달이었다. 그런데 전장이 디지털화되면서 다양한 전장단말이 등장하기 시작하였고, 데이터 송·수신 능력에 대한 요구가 증대되었다. 이러한 요구를 충족하기 위해 기존 무전기에 아날로그 모뎀을 이용하여 저속의 데이터를 송·수신하는 기술이 적용되었다. 하지만 데이터통신이 가능하였지만 디지털 정보를 처리하

^{*} Corresponding author, E-mail: jklee64@kma.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

기에 적절하지 않은 아날로그 무전기라는 태생적인 한계를 갖고 있었다.

이러한 한계를 극복하기 위해 아날로그 무전기를 디지털 무전기로 전환하는 사업이 추진되었으며 일부 전력화가 진행 중이다. 하지만 디지털 무전기도 기존 아날로그 무전기에서 사용하던 협대역 주파수 대역을 그대로 사용한다. 따라서 고속으로 데이터를 전송하기에는 물리적인 제약이 있다. 한편, 전투체대의 기동력이 향상되면서 작전지역이 급격히 확장되었다. 또한, 가시선 통신이 제한적일 수밖에 없는 산악 지형, 확대된 작전지역에서의 빨라진 작전템포 등을 고려했을 때 다중 홉으로 데이터를 전달하는 능력이 전투무선망에서 필수적으로 요구된다.

무선 네트워크에서 데이터를 중계하기 위한 다양한 라우팅 프로토콜이 있다. 유선 네트워크의 라우팅 프로토콜에서 파생된 프로토콜들은 네트워크 구조에 대한 정보를 주기적 또는 비주기적인 방법으로 수집하고 이를 바탕으로 네트워크 운용 목적에 맞는 적절한 평가기준으로 출발지 노드에서 목적지 노드까지의 최적 경로를 계산한다. 이와 같은 방식은 네트워크 구조 정보 파악을 위해 발생하는 부가적 트래픽을 수용할 수 있을 만큼의 전송속도가 보장되고, 네트워크 구조가 비교적 안정적인 네트워크에 적합하다. 하지만 전송속도가 저속이고 네트워크 구조가 매우 동적인 환경에서는 적절하지 않다. 왜냐하면, 부가적 트래픽으로 인해 전체 네트워크 처리량이 크게 저하될 뿐 아니라 최적 경로를 계산하는 시점과 실제 데이터가 전송되는 시점의 네트워크 구조가 서로 다를 수 있어 데이터 전송 자체가 실패할 수 있기 때문이다.

협대역 전투무선망은 대역폭이 좁아 고속데이터 전송이 물리적으로 제한된다. 따라서 유선 네트워크에서 처럼 과도한 부가적인 트래픽을 처리할 수 없다. 또한, 적의 재밍, 야군 간의 주파수 간섭, 작전활동간 단말의 이동 등으로 인해 네트워크 구조가 수시로 변화한다. 그러므로 앞서 서술한 방식의 라우팅 프로토콜의 적용은 적절하지 않다. 이에 착안하여 본 논문에서는 협대역 전투무선망의 제한적인 무선자원 및 전송속도를 고려해 네트워크 구조 정보를 별도로 수집하지 않고 기회적(opportunistic)으로 데이터를 목적지 노드까지 중계하는 중계 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기회적 중계와 관련된 기존 연구들을 살펴본다. 3장에서 제안하는 기법에 대해 상세히 설명하고 4장에서 성능을 분

석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 절에서는 무선 네트워크에서 데이터 중계를 위해 사용되는 라우팅 프로토콜에 대해서 간략히 살펴본다. 대표적인 무선 라우팅 프로토콜인 OLSR(Optimized Link State Routing)^[1], AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)^[2], DSR(Dynamic Source Routing)^[3] 등은 유선 네트워크 라우팅 프로토콜을 근간으로 일부 변형된 형태의 프로토콜이다.

OLSR는 무선 LAN에서 데이터 전송 경로를 선정하기 위해 설계된 능동(proactive) 링크 상태 라우팅 프로토콜이다. 모든 목적지 노드에 대해 정적인 경로를 사전에 계산하고 라우팅 테이블을 유지한다. AODV는 수동(reactive) 거리 벡터 라우팅 프로토콜로 데이터 전송이 필요한 경우에만 목적지 노드까지의 경로를 계산한다. 한편, DSR은 송신 노드의 요청이 있을 때 목적지까지의 경로를 계산한다는 점에서 AODV와 유사하지만 AODV와 달리 경로 계산을 라우팅 테이블에 의존하지 않으며, 계산된 경로 정보를 송신하고자 하는 데이터와 함께 전송한다.

이와 같은 무선 라우팅 프로토콜의 가장 큰 한계점은 네트워크 인프라가 충분하지 않거나 노드간의 연결이 안정적이지 않은 어플리케이션에는 적용할 수 없다는 것이다. 기존 거리벡터 또는 링크상태 기반의 라우팅 프로토콜은 네트워크 구조 정보의 일부 또는 전체를 지속적으로 유지해야한다. 이러한 정보는 노드들간의 주기적 또는 비주기적인 데이터 교환을 통해 수집된다. 따라서 부가적인 트래픽을 수용할 수 있을 만큼의 충분한 무선자원이 없거나 네트워크 구조가 동적인 환경에서는 정확한 네트워크 구조를 파악하는 것이 제한적이다^[4-8].

한편, 전투무선망에서 각 노드가 1-hop 이웃노드 정보를 주기적으로 교환하여 2-hop 범위의 네트워크 구조를 파악하는 기법이 제안되었다^[9-11]. 제안된 기법은 1-hop 이웃노드의 정보를 비트맵 형태로 부호화하여 작은 데이터 크기로 네트워크 구조 정보를 파악할 수 있다. 하지만 전체 네트워크 구조가 아닌 2-hop 이내의 네트워크 구조만을 파악할 수 있다는 근본적인 한계가 있어 3-hop 이상의 데이터 중계는 불가능하다.

네트워크 구조 정보를 수집하여 라우팅 테이블을

지속적으로 유지하고 데이터 전송 전에 전송 경로를 선정하는 방식과 달리 데이터를 전송하는 시점에서 데이터 중계가 가능한 이웃노드가 데이터를 중계하는 기회적 라우팅 프로토콜이 2005년에 최초 제안되었다^[12]. 기회적 라우팅 프로토콜은 전방향 안테나를 사용하는 경우 전송한 신호가 모든 이웃노드에게 전달되는 무선 네트워크의 특성을 이용한다. 이러한 접근 방식의 프로토콜에는 일반적으로 데이터를 중계할 수 있는 노드들 중에서 가장 적합한 노드를 선정하는 과정이 포함된다. 중계 노드를 선정하는 기준과 방법에 따라 다양한 프로토콜이 제안되었다. 기회적 라우팅 프로토콜은 네트워크 인프라가 충분하지 않거나 노드 간의 연결이 지속적이지 않은 환경에서 기존 라우팅 프로토콜에 비해 우수한 성능을 나타낸다^[13].

3. 제안하는 기법

본 장에서는 시스템 모델을 포함하여 제안하는 기법에 대해 상세히 살펴본다. 제안하는 기법은 기존 기법과 달리 네트워크 구조 정보를 별도로 수집하지 않고 수동적으로 수집한 1-hop 이웃노드의 송신패킷 정보를 토대로 패킷을 중계한다. 즉, 패킷 중계를 위한 추가적인 정보 수집을 위해 자신에게 할당된 무선자원을 전혀 사용하지 않는다. 따라서 패킷처리율을 향상시킬 수 있다.

3.1 시스템 모델 및 가정사항

제안하는 기법은 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 협대역 다중접근 전무선망을 고려한다. TDMA 구조는 Fig. 1과 같다. 한 개의 프레임은 네트워크를 관리하기 위한 제어구간(CP: Control Period)과 데이터를 전송하기 위한 데이터구간(DP: Data Period)으로 구분되며 무한 반복된다. 데이터구간은 n 개의 데이터슬롯(DS: Data Slot)으로 구성되며 네트워크에 가입된 노드는 제어구간에서의 동적 슬롯 할당 절차에 따라 데이터구간의 데이터슬롯을 충돌 없이 할당받는다. 모든 노드들은 자신이 할당받은 데이터슬롯에서 패킷을 송신하며, 이웃 노드의 패킷 송수신을 통해 1-hop 이웃노드 정보를 유지한다.

한편, 데이터슬롯의 앞과 뒤에는 인접 신호와의 간섭을 회피하기 위한 보호구간(GI: Guard Interval)이 존재한다. 그리고 전송되는 데이터 패킷에는 패킷 ID,

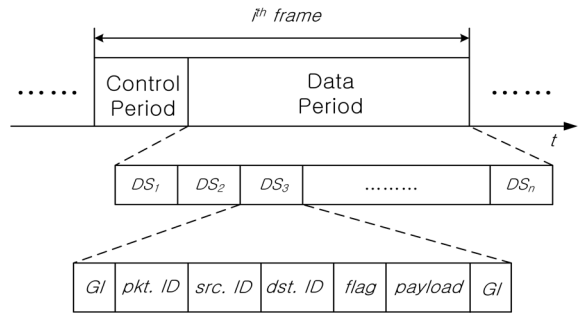


Fig. 1. TDMA frame structure

출발지 노드의 ID와 목적지 노드의 ID, 1-hop 이웃노드 중에 목적지 노드가 포함되어 있는지를 나타내는 1비트 flag 정보가 포함된다.

네트워크에 참여하는 노드의 수는 소부대 작전활동 규모를 고려하여 10개라고 가정한다. 하지만 동적으로 시간슬롯을 할당하기 때문에 10개 이상의 노드가 참여하는 것도 가능하다. 이런 경우 한 개 프레임 단위로 슬롯이 할당되지 않고 2개 이상의 프레임 단위로 슬롯이 할당될 수 있다.

노드의 유형은 2가지로 일반노드와 헤더노드가 있다. 헤더노드는 2개 채널을 사용하여 한 개 채널은 내부망, 다른 한 개 채널은 외부망 운용을 위해 사용한다. 즉, 헤더노드가 게이트웨이 역할을 한다. 일반노드는 1개 채널을 사용하며 내부망에 접속하고 외부망으로의 데이터전송을 위해서는 헤더노드를 경유한다. 한편 각 노드는 2개 유형의 큐(Queue)를 보유한다. 하나는 자신이 생성한 패킷을 임시 저장하기 위한 큐이고 다른 하나는 중계해야 할 인접 노드의 패킷을 임시 저장하기 위한 큐이다. Table 1은 본 논문에서 사용하는 기호와 의미를 나타낸다.

3.2 패킷 생성 및 구성

각 노드별로 전송하고자 하는 패킷은 패킷 ID, 출발지 노드 ID, 목적지 ID 그리고 flag 정보를 포함하여 노드의 전송큐(TQ)에 저장된다. 이때, 전송 패킷의 목적지 노드가 이웃노드목록에 포함되어 있다면 패킷의 flag를 1로 설정하고, 그렇지 않으면 0으로 설정한다. flag가 1이면 해당 패킷은 중계가 필요하지 않다는 의미이고, flag가 0이면 중계가 필요하다는 의미이다. 한편, 패킷 ID는 전송하고자 하는 패킷을 해시한 값으로 패킷의 중복 수신 여부를 확인하기 위한 용도로 사용된다.

Table 1. Notation

Symbol	Meaning
n	Number of data slot in each frame
$ID(N)$	Node N 's ID
$ID(pkt)$	Packet ID
$NL(N)$	Set of neighbors of node N
$Slot(N)$	Index of data slot assigned to node N in a frame
$pkt_i.srcID$	Source node's ID of packet i
$pkt_i.dstID$	Dst. node's ID of packet i
$pkt_i.flag$	Flag information of packet i
TQ	Queue for storing the packets that are generated in the node itself
RQ	Queue for storing the packets to be relayed
$RQ(N)$	Set of packet IDs stored on node N

3.3 데이터 전송 절차

생성된 패킷이 목적지 노드까지 전달되는 과정에서 각 노드는 수신모드일 때(즉, 자신의 슬롯 차례가 아닌 경우)와 송신모드일 때(즉, 자신의 슬롯 차례인 경우) 다음과 같이 동작한다. 각 노드들은 중계 노드의 선정 및 패킷의 중복 전송 방지를 위해 중앙통제 없이 개별적으로 사전에 정의된 행동을 한다. 한편, 각 노드는 이웃 노드의 패킷 전송을 지속적으로 수신하여 1-hop 거리의 이웃노드목록을 유지한다.

• 송신 모드

송신모드에서 각 노드는 전송큐(TQ) 또는 중계큐(RQ)에 패킷이 저장되어 있는 경우 해당 패킷을 전송한다. 이때 전송 패킷의 목적지 노드가 이웃노드목록에 포함되어 있다면 패킷의 flag를 1로, 그렇지 않으면 0으로 갱신한다. 한편, 어느 큐에 저장된 패킷을 전송할 지는 네트워크 처리율, 공정성(Fairness), QoS(Quality of Service) 등을 고려하여 다양한 방법으로 선택될 수 있다.

• 수신 모드

수신 모드에 있는 노드들이 패킷 $pkt1$ 을 수신했을 때 다음과 같이 4가지 행동 중 하나를 수행한다.

- ① $pkt1$ 의 패킷 ID가 중계큐(RQ)에 저장되었던 패킷의 패킷 ID와 동일하다면 해당 패킷을 무시한다. 이

때 해당 패킷이 중계큐(RQ)에 아직 저장되어 있다면 큐에서 삭제한다. 이는 동일한 패킷의 중복 수신을 방지하기 위함이다.

- ② $pkt1$ 의 목적지 ID가 자신의 ID와 동일하다면(즉, 자신이 목적지 노드라면) 해당 패킷을 수신한다.
- ③ $pkt1$ 의 목적지 ID가 자신의 ID와 동일하지 않고(즉, 자신이 목적지 노드가 아니고) $pkt1$ 의 flag가 1 이라면, 해당 패킷을 무시한다. 이는 출발지 노드가 1-hop 거리에 있는 노드에게 패킷을 전송하는 것으로 해당 패킷의 중계가 필요하지 않기 때문이다.
- ④ $pkt1$ 의 목적지 ID가 자신의 ID와 동일하지 않고(즉, 자신이 목적지 노드가 아니고) $pkt1$ 의 flag가 0 이라면, 해당 패킷의 flag를 갱신하여 자신의 중계 큐(RQ)에 저장한다.

Table 2는 제안하는 기법의 의사코드(Pseudo code)를 나타낸다.

Table 2. Pseudo code for the proposed scheme

```

def Setting_flag(pkt, node)
    if pkt.dstID ∈ NL(node)
        flag = 1
    else
        flag = 0
    return flag

# Packet Processing Procedure for node N
While (power is on)
    i = i + 1 # dataslot increased
    if i % n == Slot(N) # transmission mode
        select pkt in TQ or RQ
        Setting_flag(pkt, N)
        transmit pkt
    else # listening mode
        overhear pkt transmission
        if ID(pkt) ∈ RQ(N)
            Delete pkt from RQ or ignore
        elif pkt.dstID == ID(N)
            receive pkt
        elif pkt.flag == 1
            ignore the pkt.
        else
            pkt.flag = Setting_flag(pkt, N)
            store pkt in RQ
    
```

3.4 적용 시나리오

제안한 기법에 의한 패킷 중계 절차에 대한 이해를 돕기 위해 패킷이 중계되는 예시 시나리오를 살펴본다. 네트워크 구조 및 시간슬롯의 할당상태는 Fig. 2와 같다.

- ① 출발지 노드 S 는 송신큐(TQ)에 저장된 목적지 노드 D 인 $pkt1$ 을 송신모드일 때 전송한다. 이때 $pkt1$ 이 어떤 노드에 의해서 중계될지는 정해지지 않는다. 노드 D 는 노드 S 의 이웃노드목록에 포함되어 있지 않기 때문에 $pkt1$ 의 $flag$ 는 0이다. 노드 R_1 과 노드 R_2 는 $pkt1$ 을 수신한다. R_1, R_2 모두 목적지 노드가 아니고 $pkt1$ 의 $flag$ 가 0이기 때문에 각각 자신의 RQ에 $pkt1$ 을 저장한다.
- ② R_1 는 송신모드에서 $pkt1$ 을 전송한다. 이때, 목적지 노드 D 가 자신의 이웃노드목록에 포함되어 있으므로 $flag$ 를 1로 변경한다. 목적지 노드 D 는 $pkt1$ 을 정상적으로 수신한다.
- ③ R_1 의 패킷 전송을 알 수 없는 R_2 는 송신모드에서 $pkt1$ 을 중계한다. $pkt1$ 을 수신한 R_3 는 자신의 중계 큐(RQ)에 $pkt1$ 을 저장한다.
- ④ R_3 는 송신모드에서 $pkt1$ 을 전송한다. $pkt1$ 을 수신한 R_2 는 $pkt1$ 의 패킷 ID가 RQ에 저장되었던 패킷의 ID와 동일하므로 해당 패킷을 무시한다.

3.5 제안하는 기법의 장단점

제안하는 기법의 장점은 크게 2가지이다. 첫째, 네트워크 처리율이 향상된다. 제안하는 기법은 네트워크 구조에 대한 정보를 별도로 수집하지 않는다. 라우팅 테이블을 유지하지 않기 때문이다. 즉, 네트워크 구조 정보를 수집하기 위한 오버헤드가 없어 네트워크 처리율이 향상될 수 있다. 둘째, 네트워크 구조가 매우 빠르게 변경되는 채널 환경이라 하더라도 효과적으로 패킷 전달이 가능하다. 제안하는 기법은 출발지 노드에서 다중홉으로 패킷 전송시 전송경로를 사전에 선정하지 않고, 매 홉마다 패킷 중계가 가능한 노드들이 자율적으로 패킷을 전달하기 때문이다.

반면, 제안하는 기법의 가장 큰 단점은 목적지 노드로의 전송과 무관한 패킷 중계가 발생할 수 있다는 것이다. 이는 중계 노드가 자신의 데이터를 처리할 수 있는 기회를 상실하는 것이기 때문에 전체 네트워크 처리율이 저하된다. 예를 들어, Fig. 2에서 노드 S 는 목적지가 노드 D 인 패킷을 전송하면 이를 수신한 노

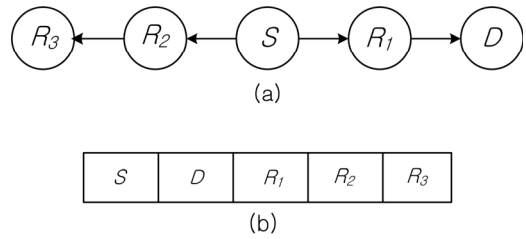


Fig. 2. Operational example of the proposed scheme : (a) network topology (b) status of slot allocation

드 R_1, R_2 는 각각 자신의 슬롯에서 해당 패킷을 중계한다. 그런데 R_2 의 중계는 불필요한 중계가 된다. 하지만 소규모 네트워크에서는 불필요하게 중계되는 패킷의 수가 많지 않기 때문에 이러한 영향은 미미하다. 또한 동일한 패킷의 중복 수신 여부를 통해 과도한 패킷 중계를 쉽게 방지할 수 있다.

4. 성능 분석

제안하는 기법의 특징은 네트워크 구조 정보를 수집하지 않아 무선자원 사용의 효율성을 증대시킨다는 것이다. 이를 통해 발생하는 패킷처리량의 향상 효과를 확인하기 위해 네트워크 구조 정보를 주기적으로 수집하여 패킷 전송 전에 최적의 중계노드를 선정하는 기존 기법과 제안하는 기법을 비교, 분석한다.

4.1 수학적 분석

프레임은 n 개의 시간슬롯으로 구성되며 각 노드는 한 프레임당 한 개 슬롯을 독점적으로 사용한다. 그리고 네트워크 구조 정보 수집을 위해 교환하는 TU (Topology Update) 패킷을 포함한 모든 패킷은 1개 슬롯에서 처리된다. 각 노드별로 전송해야 할 패킷 및 중계해야 할 패킷이 각각 평균이 λ_1, λ_2 인 푸아송(Poisson) 분포로 발생하고 한 프레임당 1개의 패킷을 처리한다. 그리고 각 노드는 무한대의 데이터를 저장할 수 있는 큐가 있고, 기존 기법은 t 초마다 TU 패킷을 자신의 슬롯에서 전송한다고 가정한다.

제안하는 기법과 기존 기법 모두 기본적으로 TDMA 기반에서 운용되기 때문에 각 기법을 M/D/1 모델로 모델링할 수 있다^{[14],[15]}. 제안하는 기법과 기존 기법의 패킷발생률은 각각 $\lambda_p = \lambda_{1,p} + \lambda_{2,p}, \lambda_c = \lambda_{1,c} + \lambda_{2,c} +$

Table 3. W and L for the proposed scheme and hop-by-hop relay scheme

	Proposed scheme	Conventional scheme
W	$\frac{\rho_p}{2\mu_p(1-\rho_p)}$	$\frac{\rho_c}{2\mu_c(1-\rho_c)}$
L	$\frac{1}{2}\left(\frac{\rho_p}{1-\rho_p}\right)$	$\frac{1}{2}\left(\frac{\rho_c}{1-\rho_c}\right)$

$1/t$ 이고 서비스율은 두 기법 모두 한 개 프레임당 1 개 패킷을 처리할 수 있으므로 $\mu_p = \mu_c = 1$ 이다. 따라서 각 기법에 대한 평균 큐 대기시간(W)과 평균적으로 큐에 저장된 패킷의 수(L)는 Table 3과 같다.

Table 3에서 $\rho_p = \lambda_p/\mu_p$, $\rho_c = \lambda_c/\mu_c$ 이다. 전송하고자 하는 패킷발생률은 두 기법 모두 동일하다(즉, $\lambda_{1,p} = \lambda_{1,c}$). 그런데 중계해야할 패킷의 발생률은 3.4절에서 살펴본 바와 같이 제안하는 기법이 기존 기법에 비해서 높다(즉, $\lambda_{2,p} > \lambda_{2,c}$). 따라서 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 우수하기 위한 조건은 다음과 같다.

$$\lambda_{2,p} < \lambda_{2,c} + 1/t \tag{1}$$

즉, 네트워크 규모가 작아 패킷의 중복 전송이 적고, 네트워크 구조 변경이 잦아 정확한 네트워크 정보 수집을 위해 t 가 작아야 하는 환경일수록 제안하는 기법의 효과가 우수하게 나타난다. 전투무선망은 소규모 네트워크이면서 단말들의 이동성으로 네트워크 구조가 매우 동적으로 변경되기 때문에 제안하는 기법이 효과적으로 적용될 수 있다.

4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 제안하는 기법의 단점이 극명하게 나타나도록 일오형대 대형으로 10명의 전투원들이 전개해 있는 상황을 가정한다. 즉, 출발지 노드가 패킷을 전송할 때 목적지 방향 뿐 아니라 목적지와 반대되는 방향으로 패킷 전송이 발생한다. 프레임은 10개의 시간슬롯으로 구성되며 각 노드는 1개의 시간슬롯을 인접 노드와 충돌 없이 할당받은 상태이다. 그리고 각 노드에 평균이 λ 인 포아송 분포에 따라 처리할 패킷이 생성된다. 한편, 기존 기법은 t 시간 마다 자신의 시간슬롯에서 TU 패킷을 전송한다. 슬롯의 길이는 미군의 EPLRS(Enhanced Position Location Reporting System)의 슬롯 길이와 동일하게 2 msec로 설정하였다.

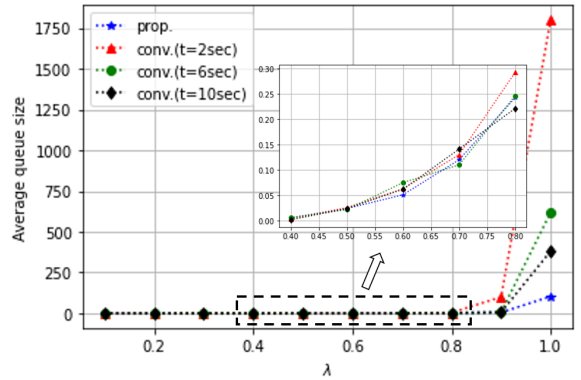


Fig. 3. Average queue sizes according to the value of λ for the proposed scheme and the conventional schemes

Fig. 3은 λ 가 0.1에서 0.1 단위로 1까지 증가할 때 제안하는 기법과 다양한 t 값을 적용한 기존 기법들의 큐 크기를 나타낸다. 큐 크기와 패킷 전송 지연시간은 비례 관계에 있다. 그림에서 보는 바와 같이 λ 가 0.8 이하일 때는 제안하는 기법과 기존 기법 모두 큐의 크기가 크게 증가하지 않는다. 이는 각 노드별 패킷 처리용량에 비해 발생하는 패킷의 양이 많지 않기 때문이다. 하지만 λ 가 0.9 이상으로 증가하게 되면 큐의 크기가 급격히 증가한다. 각 노드가 한 프레임당 1개의 패킷을 처리할 수 있다는 것을 고려했을 때 이러한 결과는 자연스럽다할 수 있다.

기존 기법은 동일한 λ 일 때 t 가 작을수록 큐의 크기가 크게 증가한다. 이는 t 가 작을수록 노드가 패킷을 처리할 수 기회를 상대적으로 많이 상실하기 때문이다. 한편, 제안하는 기법은 동일한 λ 일 때 기존 기법에 비해 큐의 크기가 상대적으로 작다. 즉, 제안하는 기법이 패킷을 불필요하게 중복적으로 처리하지만 TU를 전송하지 않기 때문에 기존 기법에 비해 보다 많은 패킷을 처리할 수 있음을 의미한다.

5. 결론

본 논문은 충분한 대역폭을 활용할 수 없어 고속 데이터 처리가 물리적으로 제한되기 때문에 네트워크 운용, 관리를 위한 부가적인 트래픽 처리가 부적절한 협대역 다중홉 전투무선망에서 네트워크 구조 정보 파악을 위한 오버헤드가 없는 중계 기법을 제안하였

다. 수학적 분석과 최악의 상황을 가정한 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법이 네트워크 구조 정보를 수집하여 중계노드들을 사전에 선정하는 기법들에 비해 패킷 처리량 측면에서 우수함을 확인하였다. 제안하는 기법은 패킷의 목적지와 무관한 방향으로 패킷을 전송할 수 있다는 단점이 있다. 이것은 네트워크 규모가 큰 경우 수용할 수 없는 단점일 수 있다. 하지만 네트워크가 소규모인 경우에는 불필요한 패킷 전송에 의한 패킷 처리량 감소 보다 네트워크 구조 정보를 유지하지 않기 때문에 발생하는 패킷 처리량 증가의 효과가 더 크다. 따라서 제안하는 기법은 협대역 대역폭에서 운용되는 소규모의 전투무선망에 적합하다.

후 기

본 연구는 육군사관학교 화랑대연구소와 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음.
(No. 2019R1G1A100303013)

References

- [1] T. Clausen and P. Jaquet, "Optimized Link State Routing Protocol(OLSR)," Internet Requests for Comments, RFC Editor, RFC 3626, Oct. 2003.
[Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing," Internet Requests for Comments, RFC Editor, RFC 3561, Jul. 2003.
[Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt/>
- [3] D. Johnson, Y. Hu, and D. Ma ltz, "The Dynamic Source Routing Protocol(DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," Internet Requests for Comments, RFC Editor, RFC 4728, Feb. 2007.
[Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Sci., pp. 1-10, 2000.
- [5] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems," in Proc. IEEE Aerosp. Conf., Mar., pp. 1125-1130, 2002.
- [6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," in Proc. Int. Workshop Parallel Distrib. Comput. Issues Wireless Netw. Mobile Comput., pp. 2009-2015, Apr. 2001.
- [7] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," in Proc. Int. Workshop Parallel Distrib. Comput. Issues Wireless Netw. Mobile Comput., pp. 1-8, Apr. 2002.
- [8] N. Chakchouk, B. Hamdaoui, and M. Frikha, "WCDS-DCR: An Energy Efficient Data-Centric Routing Scheme for Wireless Sensor Networks," Wireless Commun. Mobile Comput. J., Vol. 12, No. 2, pp. 195-205, 2012.
- [9] J. K. Lee, "Dynamic Slot Allocation Scheme in Tactical Multi-Hop Networks for Future Soldier Systems," Journal of KIMST, Vol. 24, No. 1, pp. 115-122, 2021.
- [10] J. K. Lee, H. J. Noh and J. Lim, "TDMA based Cooperative MAC Protocol for Multi-Hop Relaying Networks," IEEE Communications Letters, Vol. 18, No. 3, pp. 435-438, 2014.
- [11] J. K. Lee et. al., "A Cooperative Relay Scheme for Tactical Multi-Hop Wireless Networks," IEEE MILCOM, pp. 527-532, 2013.
- [12] S. Biswas and R. Morris, "Opportunistic Routing in Multi-Hop Wireless Networks," in Proc. Conf. ACM SIGCOMM, pp. 69-74, 2005.
- [13] N. Chakchouk, "A Survey on Opportunistic Routing in Wireless Communication Networks," IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol. 17, No. 4, pp. 2214-2241, 2015.
- [14] L. Kleinrock, Queueing Systems, Vol. 1: Theory, Wiley-Interscience, New York, 1975.
- [15] J. K. Lee, "Performance Analysis of Dynamic TDMA and Fixed TDMA in Tactical Data Link," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 21, No. 4, pp. 489-496, 2018.