

NS2를 이용한 향상된 네트워크 코딩 기법의 성능평가

김관웅¹ · 김용갑² · 김변곤^{3*}

Performance Evaluation of a Enhanced Network Coding Scheme using NS2

Kwan-Woong Kim¹ · Yong-Kab Kim² · Byun-Gon Kim^{3*}

¹Thunder Technology, Jeonju 561-221, Korea

²Department of Information & Communication Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

³Department of Electronic Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

요 약

네트워크 코딩은 통신의 새로운 패러다임이다. 네트워크 코딩에서 중간 노드는 입력 패킷을 조합하여 새로운 패킷을 생성하여 이웃 노드에게 방송한다. 네트워크 코딩은 실제 네트워크에 폭넓게 적용될 수 있기 때문에 정보 이론의 주요 연구 분야로 빠르게 떠오르고 있다. 네트워크 코딩은 무선 멀티홉 네트워크에서 처리량과 채널 효율을 향상시킬 것으로 예상된다. 관련 선행연구들이 무선 Ad-hoc 네트워크 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 우리의 연구에서 중간노드는 네트워크 코딩을 하기위해서 단일홉 양방향 패킷을 식별한다. 우리는 제안된 기법이 네트워크 패킷의 디코딩 성공률을 증가시킬 수 있을 것으로 기대한다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 제안된 네트워크 코딩기법은 코딩 이득과 패킷 전송률에서 기존의 네트워크 코딩기법보다 나은 성능을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Network Coding(NC) is a new paradigm for network communication. In network coding, intermediate nodes create new packets by algebraically combining ingress packets and send it to its neighbor node by broadcast manner. Network Coding has rapidly emerged as a major research area in information theory due to its wide applicability to communication through real networks. Network coding is expected to improve throughput and channel efficiency in the wireless multi-hop network. Prior researches have been carried out to employ network coding to wireless ad-hoc network. In our study, intermediate nodes identify one-hop bidirectional flows for network coding decision. We expect that the proposed scheme shall improve decoding success rate of network coded packet. From the simulation, the proposed network coding scheme achieved better performance in terms of coding gain and packet delivery rate than traditional network coding scheme.

키워드 : 네트워크 코딩, 무선 Ad-hoc 네트워크, 멀티홉 무선 네트워크, MAC

Key word : Network coding, wireless Ad-hoc network, multi-hop wireless network, MAC

접수일자 : 2013. 02. 08 심사완료일자 : 2013. 06. 25 게재확정일자 : 2013. 09. 04

* **Corresponding Author** Byun-Gon Kim(bgkim@kunsan.ac.kr)

Department of Electronic Engineering, Kunsan National University, 558 Daehangno, Gunsan 573-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2281>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

무선 Ad-hoc 네트워크는 노드들에 의해 자율적으로 구성되는 기반 구조가 없는 네트워크이다. 노드들은 무선 인터페이스를 사용하여 서로 통신하고, 멀티 홉 라우팅 기능에 의해 무선 인터페이스가 가지는 통신 거리상의 제약을 극복하며, 노드들의 이동이 자유롭기 때문에 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화되는 특징이 있다.

최근 WLAN (Wireless Local Area Network)은 짧은 범위의 무선 연결을 위한 일반적인 기술이 되었다. 또한 지속적인 하드웨어 가격의 하락으로 인해, 무선 디바이스 수가 급격히 증가하였다. 기존의 무선기술의 목적은 많은 수의 무선노드들을 연결하는데 있었지만, 다수의 무선노드들이 송신을 위해 동시에 채널을 접속하기 위해 경쟁할 경우 무선네트워크의 성능이 나빠진다[1~3]. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하고 무선 채널의 효율을 향상하기 위해 네트워크 코딩기법이 제안되었다[4~8]. 네트워크 코딩은 단순히 패킷을 전달하는 기존의 라우팅방식과는 달리 패킷을 전달하는 중간노드에서 입력되는 패킷들을 하나의 패킷으로 압축하여 전송하는 기법으로 네트워크 자원을 효율적으로 이용하여 네트워크 전송속도를 향상시키는데 목적이 있다.

네트워크 코딩의 기본적인 아이디어는 네트워크의 중간 노드에서 들어오는 정보들을 연산하여 연산된 결과 값을 라우팅(routing) 하는 것이다. 최종 노드에서는 중간 노드에서 보낸 정보와 자신의 정보를 다시 연산하여 원하는 정보를 얻을 수 있게 된다. 네트워크 코딩은 소스에서 목적지까지 다중 홉으로 전송되는 네트워크 환경에서 통신 자원을 효율적으로 사용함으로써 네트워크 코딩 이득을 통해 수율(Throughput), 지연, 그리고 에너지 절감 등의 효율을 얻을 수 있다.

그림1은 네트워크 코딩에 대한 대표적인 예를 보여주고 있다.

노드 S1은 메시지 'a'를 노드 S2로 전송하고 노드 S2는 메시지 'b'를 노드 S1으로 전송하는 경우를 가정해 보면, 기존의 통신 방식에서는 그림 1의 (a)와 같이 중간 노드 R은 메시지 'a' 수신, 메시지 'b' 수신, 메시지 'a' 전송, 메시지 'b' 전송 하는 4개의 타임 슬롯에 순차적으로 송·수신하는 것을 알 수 있다. 반면에 네트워

크 기법에서는 중간 노드 R에서 메시지 'a'와 'b'를 XOR 하여 전송한다. 메시지 'a⊕b'를 수신한 S1노드에서는 네트워크 코딩 큐에 저장되어 있는 메시지 'a'를 수신한 메시지 'a⊕b'와 XOR 연산을 하여 메시지 'b'를 추출할 수 있고 S2 노드에서는 메시지 'b'와 수신 메시지 'a⊕b'를 XOR 연산을 하여 메시지 'a'를 추출할 수 있다. 따라서 네트워크 코딩 기법을 적용하면 단지 세 번의 전송을 하여 메시지를 송·수신 할 수 있어 네트워크 처리량을 25% 개선할 수 있다.

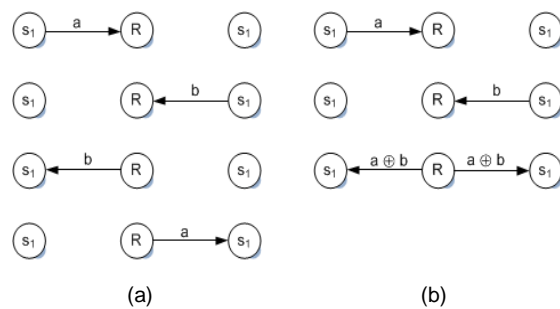


그림 1. 네트워크 코딩의 장점
Fig. 1 The benefits of network coding

네트워크 코딩의 본래 목적은 유선네트워크의 멀티캐스트 처리용량을 향상시키기 위해 연구되었으나 무선네트워크에도 적용 가능하며, 멀티캐스트 및 브로드캐스트 환경에서 네트워크 코딩이 무선네트워크의 용량을 향상시킬 수 있다[6]. 그러나 네트워크 코딩을 무선 멀티홉 네트워크에 적용하기 위해 고려할 사항들이 존재한다. 이는 무선 멀티홉 네트워크가 가지는 특성과 네트워크 코딩에서 요구하는 사항들을 포함한다.

본 논문에서는 선형 멀티 홉 Ad-hoc 네트워크에서 양방향 트래픽 서비스를 위한 네트워크 코딩기법과 중간노드에서 코딩 패킷을 생성하기 위한 타이머를 동적으로 관리하는 알고리즘을 제안하였다. 무선 Ad-hoc 네트워크에서 코딩기법을 적용하기 위해 고려해야 하는 사항들에 대해 논의하였다. 또한 네트워크 시뮬레이터인 NS2를 이용하여 제안된 기법의 성능을 트래픽의 용량, 멀티 홉 수 등의 변수에 대한 효율성을 분석한다.

II. 제안된 네트워크 코딩기법

2.1. 네트워크 코딩

네트워크 코딩은 수신 노드에서, 전달받은 코딩된 정보를 얼마나 성공적으로 디코딩할 수 있는지 여부에 따라 그 효율성이 좌우된다. 성공적 디코딩을 위해서는 각 노드마다 디코딩을 위한 정보를 필수적으로 사전에 가지고 있어야 가능하다. 그러나, 여러 노드의 복잡한 배치로 이루어진 일반적인 네트워크에서는, 디코딩하기 위한 다른 노드 정보에 대한 인식이 가능하지 않아, 네트워크 코딩의 성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 무선 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크 코딩을 위해 다음과 같은 패킷 인코딩 기술을 활용한다.

a) **Opportunistic Hearing**: 무선 Ad-hoc 네트워크에서는 메시지를 무선 매체에 전송하기 때문에 해당 메시지를 수신해야 하는 노드뿐만 아니라 주변의 많은 노드에서 수신이 가능하다. 네트워크 코딩 기법을 적용하기 위해서는 노드들은 이러한 메시지들을 수신하여 코딩 패킷의 디코딩을 위하여 일정시간 패킷을 저장한다. 수신 메시지를 다른 노드로 전달해야 하는 노드의 경우에도 전달할 메시지를 저장하여 코딩 패킷의 디코딩을 위해 사용한다.

b) **Opportunistic Coding**: 네트워크 코딩 기법의 핵심 문제는 네트워크 처리량을 최대로 하기위해 어떤 패킷들을 코딩 패킷으로 만들어 전송해야 하는가의 문제이다. 코딩 패킷을 만들기 위한 여러 기법이 있지만 다음 노드에서 코딩 패킷을 디코딩 할 수 있는 충분한 정보를 제공해야 하고 가능하면 많은 수의 패킷을 코딩하여 네트워크 처리율을 향상시킬 수 있도록 해야 한다. 노드에서 노드 주소가 다른 패킷을 코딩 패킷에 포함시킬 경우 코딩 패킷의 디코딩은 실패한다. 이러한 디코딩 실패는 무선 네트워크 자원의 낭비와 손실을 증가시킨다.

2.2. 제안된 네트워크 코딩

네트워크 코딩 패킷의 디코딩 성공률을 높이기 다음과 같은 간단한 코딩 기법을 제안한다. 제안한 코딩 기법에서는 패킷 p_1 , p_2 를 혼합하여 코딩한다. 패킷 p_1 과 p_2 는 서로 반대로 전송되는 패킷이다. 즉, 패킷 p_1 의 수신 노드는 p_2 의 전송노드이고, 패킷 p_2 의 수신 노드는 p_1 의 전송노드인 경우에 패킷 p_1 과 p_2 를 혼합하

여 코딩 패킷을 만들어 코딩 패킷의 디코딩 기회를 높일 수 있다.

노드에서 코딩 기법을 적용하기 위해 패킷의 인코딩을 위한 패킷 큐 Q_1 과 디코딩을 위한 패킷 큐 Q_2 를 사용한다. 패킷 p 를 수신한 노드는 디코딩을 위해 수신 패킷을 Q_2 에 저장하고, 패킷 p 를 다음 노드에 전송해야 한다면 바로 전송하는 것이 아니라 인코딩 기회를 잡을 수 있도록 인코딩 큐 Q_1 에 저장한다. Q_1 에 저장된 패킷들 중에 양방향 패킷을 찾아서 네트워크 코딩 패킷을 만들어 전송 한다.

네트워크 코딩 패킷 p 를 수신한 경우 디코딩을 위해 디코딩 Q_2 에 저장된 패킷을 검색한다. 코딩 패킷에는 두 개의 패킷이 코딩되어 있기 때문에 두 개 중에 하나의 패킷이 Q_2 에 저장되어 있어야 코딩 패킷 p 와 저장된 패킷 p_2 를 XOR연산하여 코딩된 패킷 p_1 을 디코딩 할 수 있다.

제안된 네트워크 코딩 기법에서 모든 패킷은 제한된 시간 T_1 동안 인코딩 큐 Q_1 에서 대기하게 된다. 이러한 대기시간은 전송 지연 시간을 증가시키는 문제가 있다. 이러한 제안시간을 줄이고 네트워크 처리율을 향상시키기 위하여 대기시간을 동적으로 관리하는 기법을 제안한다. 제안된 시간관리 기법의 기본 개념은 수신되는 패킷의 트래픽 부하에 따라 인코딩 Q_1 에서 대기하는 패킷의 수를 관리하는 것이다. 이러한 시간관리 기법은 코딩 기회를 증가시키고 Q_1 의 평균 패킷 대기 시간을 줄일 수 있다.

제안된 네트워크 코딩 기법의 의사코드는 다음과 같다.

변수정의

p, p_a, p_c : 수신, 디코디, 인코드 패킷
 Q_1, Q_2 : 인코딩 및 디코딩 큐
 T_1, T_2 : Q_1, Q_2 의 타이머 간격

패킷수신

```
if (p is NC_PACKET) { /* if p is encoded packet */
if(p is enable to decode){
    p_a = decode_pkt(p, Q2); /*p_a is decoded packet */
    Recv_packet(p_a); /*recursive function call */
}
} else {
```

```

Q2.enqueue(p); /*save p for further decoding*/
if (p.src == MY_ADDRESS){
    forward(p); /* send p immediately */
else if(dst_addr(p) == MY_ADDRESS){
    send_to_upperlayer(p);
} else {
    for each p1 in Q1 {
        if( (p1.next_hop == p.prev_hop)
            && (p1.prev_hop == p.next_hop)){
            p_c = encode(p, p1);
            broadcasts(p_c); /*p_c is encoded packet */
            break;
        }
    }
}
}
}
}

```

그림 2는 엔코딩 큐의 타이머를 관리하기 위한 순서도를 보여주고 있다. 타이머 핸들러의 기본 타이머를 작게하여 빠르게 패킷을 처리할 수 있도록 하였다. 에코딩 큐는 UP, DOWN 상태가 있는데 UP 상태는 패킷이 네트워크 코딩 될 수 있도록 대기하는 상태를 말한다. 코딩 큐에 패킷이 대기하고 있어야 코딩 패킷을 만들 수 있기 때문에 max 패킷 수가 될 때까지 대기하는 것이다.

DOWN 상태는 네트워크 코딩 패킷이 생성되는 상태를 말하고 이러한 상태에서는 빠르게 코딩 패킷을 만들어 패킷 지연 시간을 줄 일수 있다.

III. 시뮬레이션 및 성능평가

3.1. NS2를 이용한 네트워크 코딩 시뮬레이션

멀티홉 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크 코딩 성능을 평가하기 위해 라우팅계층에 네트워크 코딩을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 네트워크 코딩 기법의 성능 평가를 위해 NS2 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. NS2는 Ad-hoc 네트워크의 시뮬레이션을 위해 DSDV, AODV 등의 라우팅 레이어와 MAC 레이어가 구현되어있다. 네트워크 코딩 기법을 시뮬레이션을 위해 엔코딩 및 디코딩 큐와 코딩 패킷 생성 및 디코딩 알고리즘을 NS2에 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다.

네트워크 모델은 노드 밀집 효과를 조사하기 위해 2.6km×2.6km 영역에 50개의 노드를 가진 Ad-hoc 네트워크를 생성하였다. 종단노드에서 CBR/UDP(Constant Bit Rate/User Datagram Protocol) 트래픽을 발생시키며, 패킷크기는 1024바이트, 패킷 간 도착시간(packet inter-arrival)은 0.25~0.05 sec로 범위를 가진다. 따라서

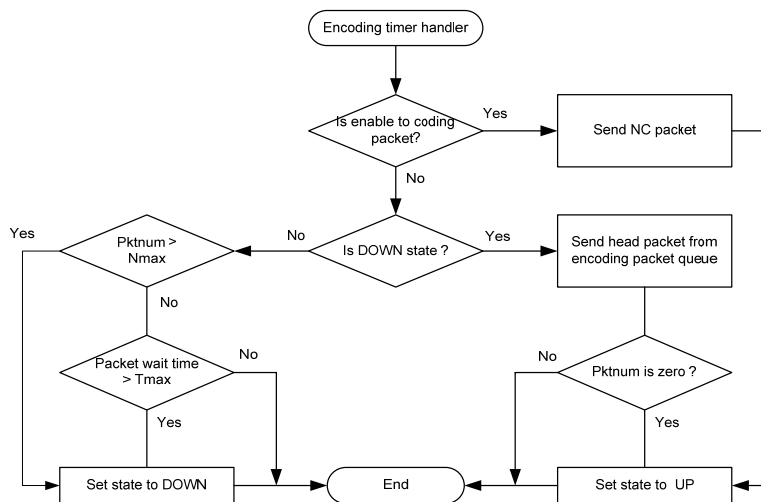


그림 2. 엔코딩 큐 타이머 관리 순서도
 Fig. 2 The flow chart of encoding Queue timer management

트래픽 부하는 4K~20KBps 부하를 가진다. 무선채널 대역폭은 2Mbps로 설정하였다. 각 노드는 IEEE 802.11 프로토콜[10]을 사용하였고, 채널 모델은 무선 채널/무선 물리 전송 모델을 이용하였다. 라디오 전송 모델로 Two Ray Ground 모델을 사용하였으며, 무선 노드의 전송 범위와 간섭 범위는 250m과 550m로 설정하였다.

성능 평가 항목은 다음과 같은 패킷 전달율과 네트워크 코딩 이득이다.

- 패킷전달율(Packet delivery ratio) : m/n, 여기에서 m은 수신측에서 성공적으로 수신한 패킷 수이며 n은 전송노드에서 송신한 패킷의 개수이다.
- 네트워크 코딩 이득(G_{NC} , Network coding gain) :

$$G_{NC} = \frac{F_c - F_{NC}}{F_c} \quad (1)$$

여기에서 F_c 는 기존 방식에서 패킷 전달 회수이고, F_{NC} 는 네트워크 코딩에서 패킷 전달 횟수이다.

3.2. 시뮬레이션 결과

Ad-hoc 네트워크의 연결 수에 따른 효과를 분석하기 위하여 네트워크 부하가 4kbps 일 때, 네트워크 연결의 수를 5~40 까지 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3은 네트워크 코딩을 사용하지 않을 경우와 기존의 코딩 기법과 제안된 코딩 기법의 패킷 전송률을 보여주고 있다.

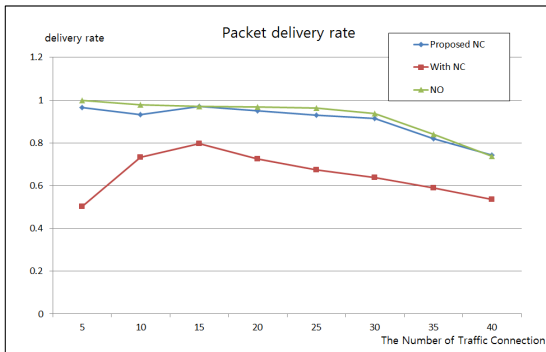


그림 3. 패킷 전송률(트래픽 부하 4Kbps)
Fig. 3 Packet delivery ratio(traffic load 4Kbps)

패킷 전송률은 연결의 개수가 15이상 일 때 전송률이 감소하는 결과를 보여주고 있다. 이는 연결의 개수가 15

이상일 경우 트래픽 부하가 증가하여 패킷의 충돌에 의한 패킷의 손실이 증가하는 영향을 받았다고 할 수 있다. 시뮬레이션 결과 제안된 네트워크 코딩 기법은 기존의 코딩 기법에 비하여 20~30% 정도의 향상된 성능을 보여주고 있다.

그림 4는 패킷의 전달 지연 시간의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 패킷의 전달 지연 시간은 네트워크 코딩 기법을 사용하지 않을 경우보다 증가하는데 이는 네트워크 코딩을 위하여 수신된 패킷을 코딩 큐에 저장하기 때문이다. 패킷 전달지연시간을 줄이기 위한 연구를 추후에 진행하고자 한다.

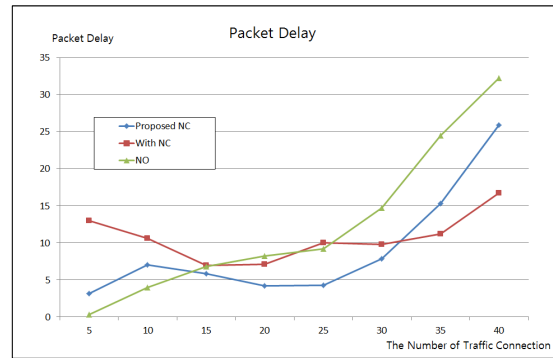


그림 4. 패킷 지연 시간(트래픽 부하 4Kbps)
Fig. 4 Packet delay time(traffic load 4Kbps)

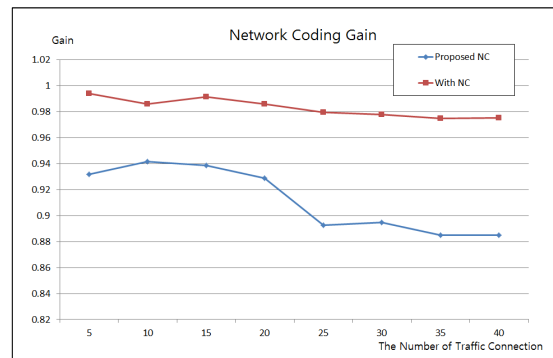


그림 5. 코딩 계인(트래픽 부하 4Kbps)
Fig. 5 Coding Gain(traffic load 4Kbps)

그림 5는 기존의 네트워크 코딩 기법과 제안된 기법의 코딩 계인을 보여주고 있고, 그림 6은 디코딩 성공률을 보여주고 있다. 그림 5를 보면 기존의 코딩 기법의

코딩 계인이 제안된 기법보다 높게 나타나고 있다. 이는 제안된 기법에서는 디코딩 성공률을 높이기 위해서 선택된 패킷만 코딩 패킷을 생성하기 때문이다. 이러한 이유로 그림 6과 같이 디코딩 성공률은 제안된 기법이 기존의 기법보다 35% 정도 향상된 것을 알 수 있다.

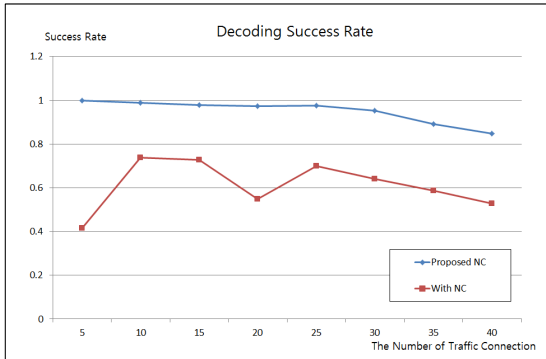


그림 6. 디코딩 성공률(트래픽 부하 4Kbps)
Fig. 6 Deoding Success Rate(traffic load 4Kbps)

기존의 네트워크 코딩 방식은 30 ~ 60% 이상 코딩 패킷을 생성하지만 코드 패킷을 수신한 노드에서의 디코딩 실패율을 증가시키기 때문에 네트워크 처리율을 떨어뜨리고 네트워크 자원을 낭비하게 된다.

시뮬레이션 결과 제안된 네트워크 코딩 기법은 트래픽 부하가 증가할 경우에 기존의 코딩 기법보다 무선 Ad-hoc 네트워크의 채널을 효율적으로 사용한다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

네트워크 코딩은 코딩이 가능한 패킷을 선별하여 하나의 패킷으로 압축하는 기술이다. 무선 Ad-hoc 네트워크 네트워크 코딩 기술을 적용하면 패킷 전송의 수를 줄일 수 있고 무선 네트워크 자원을 효율적으로 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서 단순한 네트워크 코딩 보다 향상된 코딩 기법을 제안하였다. 제안된 네트워크 코딩 기법은 멀티홉 무선 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크 계층, 라우팅 계층 및 MAC 계층에서 구현된 네트워크 코딩 기법이다. 패킷 경로 상의 중간 노드에서 패킷들을 검색

하여 양방향 패킷들만을 코딩하여 디코딩 성공률을 향상시켰다. 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 NS2를 수정하여 무선 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크 코딩 기법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 기존의 네트워크 코딩 기법에 비하여 제안된 네트워크 코딩 기법의 디코딩 성공률이 높고 코딩 이득이 높아 무선 Ad-hoc 네트워크의 자원을 효율적으로 사용한다는 것을 알 수 있었다. 그러나 패킷의 코딩을 위해 대기하는 시간이 증가하여 전달 지연시간이 증가하는 단점이 있었다. 앞으로 이러한 단점을 보완하고 효율을 향상시킬 수 있는 보다 다양한 연구가 진행될 것이다.

REFERENCES

- [1] Ki-IL KIM, "Adjusting Transmission Power for Real-Time Communications in Wireless Sensor Networks", J. Inf. Commun. Converg. Eng. vol.10, no. 1, pp. 21-26, Mar. 2012.
- [2] Sungwoo Tak, "A Simple but Efficient Scheme for Reliable Connectivity and High Performance in Ad-hoc Wireless Networks", J. Inf. Commun. Converg. Eng. vol. 10, no. 2, pp. 141-148, Jun. 2012.
- [3] C. Fragouli, Dina Katabi, Athina Markopoulou, Muriel Medard and Hariharan Rahul, "Wireless Network Coding: Opportunities & Challenges", Proceeding of IEEE Military Communication Conference. pp. 1-8, 2007.
- [4] R. Ahlswede, Ning Cai, Shuo-Yen Robert Li and Raymond W. Yeung, "Network information flow", IEEE Transaction on Information Theory, vol. 4, no. 46, pp. 1204-1206, 2010.
- [5] C. Fragouli, Dina Katabi, Athina Markopoulou, Muriel Medard and Hariharan Rahul, "Wireless Network Coding: Opportunities & Challenges", Proceeding of IEEE Military Communication Conference. pp. 1-8, 2007.
- [6] T. Ho, M. Medard, R. Koetter, D. R. Karger, M. Effros, J. Shi, and B. Leong, "Linear network coding," IEEE Transaction on Information Theory, vol. 10, no. 52, pp. 4413-4430, 2006.
- [7] P.A Chou, Y. Wu and K. Jain, "Practical network coding", Allerton Conference on Communication, Control and Computing, Monticello, IL, Oct. 2008.
- [8] C. Fragouli, and E. Soljanin, "Information flow decom-

- position for network coding,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 52, no. 3, pp. 829-848, March 2006.
- [9] Network Simulator: NS2.29 available via website <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] LAN MAN Standards Committee of the IEEE CS, IEEE Std 802.11-1997, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Nov. 1997.
- [11] Fu, Z. Zerfos, P. Luo, H. Lu, S. Zhang, L. Gerla, M, “The impact of multihop wireless channel on TCP throughput and loss,” INFOCOM 2003. IEEE Societies, 30 March-3 April 2003.



김관웅(Kwan-Woong Kim)

1996년 전북대학교 전자공학과 공학사
1998년 전북대학교 전자공학과 공학석사
2002년 전북대학교 전자공학과 공학박사
2010년 ~ 현재 (주)썬더테크놀로지
※관심분야 : 무선 Ad-hoc 네트워크, 네트워크 코딩, 라우팅 프로토콜



김용갑(Yong-Kab Kim)

1988년 아주대학교 전자공학과 공학사
1993년 앨라배마주립대 공학석사
2000년 노스캐롤라이나주립대 공학박사
2003년 ~ 현재 원광대학교 교수
※관심분야 : LED가시광통신, 비선형광학, 광통신시스템



김변곤(Byun-Gon Kim)

1990년 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
1997년 전북대학교 공학석사
2001년 전북대학교 공학박사
2005년 ~ 현재 군산대학교 부교수
※관심분야 : 무선 Ad-hoc 네트워크, 네트워크 코딩, 라우팅 프로토콜