

## 무선 메쉬 네트워크에서 트래픽 간섭 인지 라우팅 메트릭 기법

이성훈\*, 이형근\*\*

# Routing Metric to Recognize Traffic Interference in Wireless Mesh Networks

Sung-Hun Lee \*, Hyung-Keun Lee \*\*

### 요약

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크에서 제공하는 라우팅 프로토콜이 적용된 라우팅 메트릭(metric)에 따라 간섭 경로를 얼마나 잘 회피하는가에 관한 논문이다. 무선 메쉬 네트워크는 기존 네트워크 기술과는 달리 노드의 이동성이 적고 에너지 영향도 덜 제한적인 특징을 가지고 있다. 따라서 이러한 네트워크 특성을 반영할 수 있는 경로 설정 기술이 필요하며 적합한 경로를 결정하기 위한 새로운 라우팅 메트릭이 요구된다. 최근에 제시된 라우팅 메트릭은 링크 품질(Link Quality)를 정확히 나타내도록 설계되어 있지만, 주변에 인접한 노드들의 트래픽 상황을 고려하지 않고 경로를 설정한다. 이웃 노드의 간섭으로 인하여 트래픽 혼잡이 빈번히 발생하게 되어 전송율과 종단간의 지연이 발생하는 문제점이 있다. 따라서 이웃 노드의 트래픽 상황을 고려하여 효율적으로 데이터를 전송할 수 있는 링크 메트릭을 찾아 라우팅 경로를 설정하는 메트릭을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 라우팅 메트릭에서 주변 노드의 트래픽 간섭을 회피 경로가 설정되어 종단간의 지연을 감소시키는 것을 확인하였다.

### Abstract

This paper is intended to study how well the routing protocol supplied in wireless mesh networks can evade interference path along the applied routing metric. Wireless mesh networks, unlike existing network techniques, has the characteristics that node movement is less and energy effect is limited. Therefore, this type of network requires path configuring technique to reflect such network characteristics and new routing metric to determine proper path. Routing metric proposed recently is designed to produce link quality accurately, but it configures path not considering the traffic situation of adjacent nodes. Thus, this technique has the problems of reduced transfer rate and delay between terminals occurring due to frequent traffic chaos by the interference of adjacent nodes. Therefore, this paper proposes metric that configures routing path by finding like metric that can transfer data effectively by considering the traffic situation of adjacent nodes. We confirmed through simulation that the proposed routing metric reduces the delay between terminals via the

• 제1저자 : 이성훈    교신저자 : 이형근

• 투고일 : 2009. 05. 29, 심사일 : 2009. 07. 21, 게재확정일 : 2009. 07. 29.

\* 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정    \*\* 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

path that evades the traffic interference of adjacent node.

- ▶ Keyword : 무선 메쉬 네트워크 (wireless mesh networks), 라우팅 메트릭(routing metric), 간섭 (Interference)

## 1. 서론

무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Networks) 는 메쉬 라우터(Mesh Router)와 메쉬 클라이언트(Mesh Client)로 구성되어 있으며, 다른 여러 종류의 네트 워크와 통합이 가능한 네트워크 환경으로 무선 메쉬 네트워크는 같은 종류의 네트워크 뿐 만 아니라, 인터넷, 셀룰러, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, 센서 네트워크 등을 메쉬 라우터에서 제공하는 브리지(bridge) 기능과 게이트웨이 (gateway) 기능 등을 통해서 서로간의 데이터 전송을 가능하게 한다. 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 메쉬 네트워크의 백bones을 형성하는 주체로써, 움직임이 거의 없다. 이러한 무선 메쉬 네트워크의 특징으로 인해서, 기존 Ad-Hoc 네트워크 (Ad-Hoc network) 와 Wireless Local Area Networks (WLANs), Wireless Personal Area Networks (WPANs), 그리고 Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs)의 향상을 피할 수가 있으며, 기존 제약점등을 풀어 나갈 수 있다. 결국, 이와 같은 장점으로 인해 앞으로 개인, 지역, 학교, 그리고 대도시 등의 영역에서 다양하게 사용될 것이다.

무선 메쉬 네트워크는 정적 무선 네트워크라고도 불리는데 이동 무선 네트워크와 달리 노드의 움직임을 가장하지 않는 무선 네트워크이다. 이러한 무선 메쉬 네트워크의 특성을 최대한 이용하여 효율적으로 라우팅을 수행하는 라우팅 알고리즘 및 메트릭에 관한 연구가 주목을 받고 있다[1][2].

무선 메쉬 네트워크는 기본적으로 무선 네트워크이다. 따라서 무선 네트워크에서 발생하는 여러 문제들을 고려한 라우팅 프로토콜이 필수적이다. 가장 대표적인 문제로 멀티홉 경로에 따른 네트워크의 전송 용량 감소와 무선 채널 사용에 따른 패킷 전송 손실을 들 수 있다. 멀티 홉 경로에 따른 네트워크 전송 용량 감소의 이유는 인접 무선 링크간의 간섭 때문인데 하나의 무선 링크를 통해 메시지를 송신하면 다른 무선 링크로는 패킷을 송신할 수가 없다. 단일 경로에서 경로의 길이가 3홉 이하인 경우에는 어느 한 순간에 그 3개의 무선 링크 중 단 하나만 사용되어야 한다. 따라서 전체적인 전송률(throughput)은 경로의 길이에 반비례하게 되는 것이다. 경로가 더 길어지면 간섭의 영향권에서 벗어나는 링크들은 서로 동시에 사용가능하기 때문에 이런 문제가 발생하지 않는다. 하지만 경로의 전송률은

적어도 링크 하나의 전송률의 1/3 이하로 떨어지게 된다.

무선 메쉬 네트워크는 지역적으로 떨어진 두 라우터간의 통신을 위해 전파를 사용하며, 전파 전달(propagation)의 특징에 의해 전송범위(transmission range)와 간섭범위 (interference range)로 구분한다. 두 노드가 패킷을 전달하기 위해 송신노드와 수신노드의 거리는 전송범위 내부에 있어야 하고, 수신노드 주변 간섭범위 안에 다른 송신노드는 존재하면 안 된다. 만약 수신노드의 간섭범위 안에 다른 송신노드가 있다면, 수신노드에서 패킷이 충돌하여, 성공적인 패킷 수신을 완료하지 못한다. 따라서 경로의 길이가 길고 노드의 수가 많을수록 전송률이 떨어지는데 이러한 현상은 트래픽 패턴에 매우 밀접하게 연관되어 있다. 따라서 멀티홉을 사용하는 경우에는 플로우(Flow) 내부의 패킷들 간에 간섭(intra flow interference)와 여러 플로우들에 속하는 패킷들 간에 간섭(inter flow interference)에 의한 전송률 감소를 고려해야 한다. 그림1에서 (a)는 내부 패킷들의 간섭을 보여주고 (b)는 외부 패킷들 간의 간섭이다[3].

멀티홉을 사용하는 경우에 발생하는 링크간의 간섭에서 충돌 그래프를 구성하여 동시에 사용할 수 있는 무선 링크들의 집합을 만들어 낸 후 최적의 전송률의 상한과 하한을 고려하여 무선 링크간의 간섭을 계산한 라우팅 프로토콜의 개발이 전송률에 도움이 된다[4].

논문에서 무선 메쉬 네트워크 환경에서 AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) 라우팅에 라우팅 메트릭인 ETX (Expected Transmission Count)와 ETT (Expected Transmission Time)를 적용시켜 연구하였고 주변 노드의 트래픽 상황을 인지하여 최적의 경로를 선택하는 메트릭을 제안하였다.

논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 라우팅 메트릭과 프로토콜에 대해서 살펴보고 3장에서는 이웃 노드의 트래픽 상황을 고려한 새로운 라우팅 메트릭을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하고 5장에서 결론을 내린다.

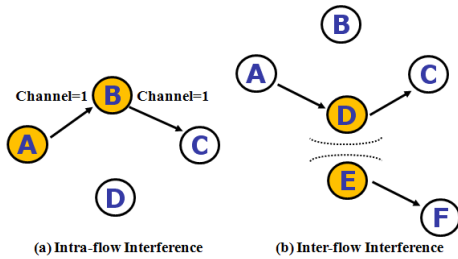


그림 1. 플로우 패킷들 간의 간섭  
Figure. 1 Interference among flow packets

## II. 기존 연구

라우팅 프로토콜에서는 가장 효율적인 경로를 선택하기 위해서 여러 가지 메트릭이 사용된다. 목적지 노드까지 최소 노드 수를 이용하는 일반적으로 경로는 다중 홉이고 네트워크의 성능은 이러한 경로에 큰 영향을 받는다. 그러나 최근 대부분의 연구는 링크 품질을 반영하는 메트릭을 잘 설계하여 최대 전송률을 얻는 경로를 찾는 것에 초점이 맞춰져 있다. 그리고 라우팅 프로토콜은 그것으로 효율성을 검증해 왔다. 이번 장에서는 최신 라우팅 메트릭과 프로토콜들이 네트워크에서 얼마나 잘 동작할지 알아 볼 것이다.

### 2.1 ETX (Expected Transmission Count)

현재 경로의 길이만을 경로 선택의 기준으로 판단할 때 발생하는 문제점으로 링크의 상태를 표시하기 위해 ETX라는 새로운 메트릭을 제시하였다. ETX는 말 그대로 어떤 무선 링크를 이용하여 패킷을 다음 노드에 전달할 때 전달을 완수하기 위해 필요한 평균 송신 수를 의미한다. EXT는 비대칭적인 전달율을 고려하여 순방향(df)과 역방향 전달율(dr)를 사용하여 다음과 같이 계산된다[5].

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \dots\dots\dots (1)$$

즉 IEEE 802.11에서는 전송의 성공은 순방향으로 데이터 패킷 전송이 성공해야 하고, 역방향으로 ack 패킷이 성공해야 한다. 따라서 양방향 모두 전송이 성공할 확률이  $d_f \times d_r$  이고, 이의 역수가 평균 송신 수를 의미한다. 순방향 전달률과 역방향 전달률을 계산하기 위해서는 주기적인 hello 패킷을 브로드캐스팅하여 제대로 전달된 패킷 수를 이용하여 계산한다.

각 링크에 대해 ETX를 계산하였는데 경로를 선택하는데 있어서는 단순하게 최단 경로 알고리즘을 사용하여 경로에 존재하는 모든 링크의 ETX 값의 합이 가장 작은 경로를 선택한다. 이러한 방식으로 경로를 선택하는 경우는 많은 장점이 있는데 우선 최단 경로 알고리즘을 사용하기 때문에 짧은 길이의 경로를 선호하게 된다. 따라서 멀티홉 경로의 전송률 감소 요인을 반영할 수 있게 된다. 두번째로는 경로의 길이가 3이 하인 경우는 이 경로의 ETX 합은 실제 패킷이 목적지까지 도달하는데 필요한 평균 전송 횟수를 의미한다. 세번째로는 패킷의 손실이 많은 경우 ETX값이 커져서 경로 선택에서 제외될 가능성이 높아진다. 전송에 대한 어려움만으로 링크의 품질을 측정하기 때문에 링크에 대한 대역폭과 부하 측정이 반영되지 않아 신뢰성이 부족하다. 그리고 ETX는 다중 전송 속도 링크에 대해서는 잘못된 판단을 내릴 수 있다.

### 2.2 ETT (Expected Transmission Time)

실제 전송하는 횟수도 중요하지만 전송을 하는데 걸리는 시간이 전송률(throughput)에 영향을 미치기 때문에 ETT를 개발하여 링크의 메트릭으로 선택하였다.

ETT는 ETX에 전송 속도를 곱하여 구해진 메트릭으로 하나의 데이터 패킷을 성공적으로 보내기 위해 필요한 시간을 의미한다. 즉, ETT는 ETX 방식을 개선한 메트릭으로서 링크의 대역폭과 패킷 크기를 반영하여 MAC 계층에서 전송 기대값을 계산하는 방식이다[6].

$$ETT = ETX \times \frac{S}{B} \dots\dots\dots (2)$$

S는 데이터 패킷의 크기(size) 이고 R은 그 링크의 데이터 전송 속도이다. ETT는 전송 속도를 반영함으로써 보다 정확한 무선 링크 품질을 나타내지만 프로토콜 오버헤드(overhead)나 경쟁 기반 접근(contention based access), 링크간의 간섭(inter flow interference)와 같은 다른 중요한 문제들을 잘 반영하지 못 하고 있다.

### 2.3 Metric of Interference and channel Switching (MIC)

내부의 패킷들 간에 간섭(Intra flow interference)와 여러 플로우들에 속하는 패킷들 간에 간섭(Inter flow interference)에 대한 MIC(Metric of Interference and channel Switching) 라우팅 메트릭이 제안되었다[7][8].

MIC는 전체 네트워크의 노드 개수에서 고려하였고 (3)식

과 같다.

$$MIC(p) = \frac{1}{N \times \min(ETT)} \sum_{i \in p} IRU_i + \sum_{i \in p} CSC_i \dots\dots\dots (3)$$

IRU(Interference-aware Resource Usage)는 i링크에 간섭을 미치는 이웃 노드(Ni)을 나타낸다. 즉, (4)식에서 Ni(c)는 채널 c를 사용하는 i노드에서 간섭을 되는 이웃 노드들의 개수이고 n은 채널 c를 사용하고 링크 ij에서 간섭이 되는 이웃 노드들의 총 개수이다. 따라서 에 이웃 노드들의 총 개수를 곱함으로써 i와 j 링크 전송에 영향을 주는 이웃 노드 채널 시간을 계산하게 된다.

$$IRU_{ij}(c) = ETT_{ij}(c) \times |N_i(c) \cup N_j(c)| \dots (4)$$

CSC(Channel. Switching Cost)는 경로 p상에 있는 노드 i의 이전 채널과 다음 노드의 채널 할당이 동일 유무를 판단하여 간섭을 영향을 표현하였다.

$$CSC_i = \begin{cases} w_1 CH(prev(i)) \neq CH(i) \\ w_2 CH(prev(i)) = CH(i) \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

CH(i)는 노드 i의 전송 채널이고 prev(i)는 노드 i의 이전 홉 노드를 나타낸다. 변수 과는 는 이와 같이 선택한다. IRU의 물리적인 의미는 링크에서 이웃 노드들로 인해 전송이 지연되는 총체적인 채널 시간이므로 여러 플로우들에 속하는 패킷들 간에 간섭이고 CSCi는 경로 p의 내부 패킷들 간에 간섭을 뜻한다. MIC는 링크의 간섭에 영향을 주는 이웃 노드 개수와 ETT를 가지고 라우팅 메트릭을 계산한다.

### III. 트래픽 인지 라우팅 메트릭

무선 메시 네트워크 환경에서 이웃 노드의 트래픽 간섭을 최소화하고 데이터를 가장 효율적으로 전달하기 위해 각 노드의 간섭 트래픽 상황을 고려한 라우팅 메트릭을 제안한다. 기존의 ETT에서 제공하는 방법은 링크의 성능을 데이터 전송률과 대역폭만을 고려할 뿐 트래픽에 대한 고려를 하지 않고 있다. 무선 메시 네트워크 환경에서 모든 노드들이 좋은 링크를 통해서 데이터를 보낸다면 트래픽 간섭으로 인한 혼잡시에는 오히려 성능이 저하되며 중복된 경로를 통해 다른 노드에

서도 전송하게 되므로 전체적인 성능 저하를 야기시킬 수 있다. 이러한 성능 장애 요인을 극복하기 위해 트래픽 인지 메트릭은 이웃 노드 간의 트래픽을 고려한 간섭 정보(correlation factor)를 이용하여 효율적으로 데이터를 전송한다.

중간 노드가 출발지 노드로부터 경로 설정을 위해 RREQ를 받았을 때 이웃 노드들에게 간섭 정보를 브로딩캐스팅하여 라우팅 테이블에 간섭의 상태(p:correlation factor index)를 기록한다. RREP는 중간 노드의 경로를 지나면서 누적된 상태의 값을 계산하면서 출발지 노드로 전달된다. 따라서 간섭 상태가 기준치(critical thread)이상이면 간섭의 상태가 높은 경로라고 판단하여 (6)식에서 path의 값이 작은 경로를 선택한다.

$$Path(k) = \sum_{link\ l \in k}^n ETT_l \times \rho_l \times N_l \dots\dots\dots (6)$$

Nl = Ni ∪ Nj은 노드i와 노드j에서 간섭을 일으키는 주변 노드의 개수이다. n는 경로 상에 있는 링크의 개수이고 k번째의 경로를 나타낸다. 즉 (6)식은 노드의 간섭의 상태를 파악하여 링크의 품질뿐만 아니라 주변 노드의 트래픽을 인지하여 혼잡 상태를 회피하고 데이터를 효율적으로 전송하게 된다.

### IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 메트릭의 성능 평가를 위해 NS-2를 사용하였고(9) 성능 평가 요소로는 전송률과 평균 전송 지연시간이다. 전송률은 출발지 노드에서 보낸 패킷의 수를 나타내고 평균 전송 지연시간은 동일한 패킷에 대하여 출발시간과 도착시간의 차이의 평균으로 정의한다.

토폴로지는 메시 라우터가 9개의 그림2의 형태로 구성되어 있다. 각 노드는 같은 채널을 사용한다. 전파 도달거리는 250m이다. 트래픽은 512byte 패킷 크기의 CBR(constant bit ratio)을 사용하였다.

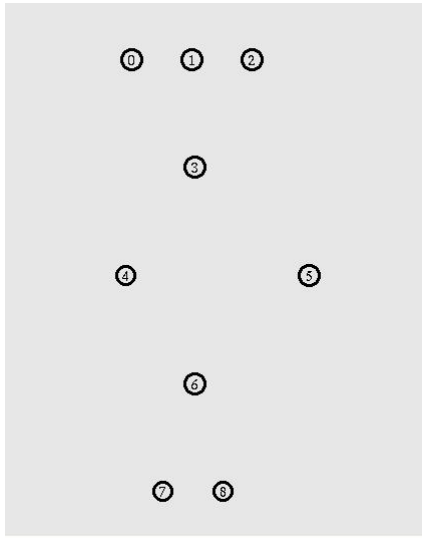


그림 2. 실험 첫 번째 시나리오  
Figure. 2 The First Scenario of Experiment

첫 번째 시나리오는 7, 8번 노드에서 플로우가 있을 때 4번 출발지 노드에서 5번 목적지 노드의 전송 지연 시간을 관찰하였다.

그림 2는 실험 첫 번째 시나리오를 보여주고 있다. MIC는 이웃 노드의 개수가 적은 6번 노드를 통해 데이터를 전송하고 제안하는 트래픽 인지 메트릭은 이웃 노드의 개수가 아니라 플로우가 없는 3번 노드로 경로가 설정됨을 확인하였다.

그림 3은 첫 번째 시나리오에서의 평균 전송 지연 시간이다. 7과 8번 노드의 트래픽 발생으로 인해 6번 노드를 통해서 데이터 전송시에 패킷 간섭이 발생하여 패킷 지연이 생겨서 종단간의 지연 시간이 MIC가 높다.

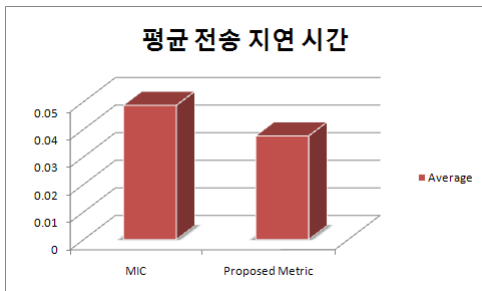


그림 3. 첫 번째 시나리오 평균 전송 지연 시간  
Figure. 3 The First Scenario Average Transmission Delay Time

두 번째 시나리오는 25개의 노드를 grid 형태로 구성하여

1000 byte의 패킷 크기의 CBR(constant bit ratio)을 사용하였다. 네트워크에서 송신과 수신 노드의 짝을 이룬 5개의 랜덤 플로우가 0.1 간격으로 발생시켰다.

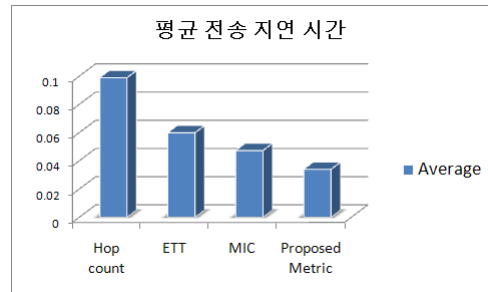


그림 4. 두 번째 시나리오 평균 전송 지연 시간  
Figure. 4 The Second Scenario Average Transmission Delay Time

그림 4의 전송지연에서 기존의 ETT와 MIC 메트릭보다 주변의 플로우를 인지하여 다른 경로로 데이터를 전송하는 메트릭의 종단간 지연시간이 좋음을 확인할 수 있다. 트래픽 혼잡이 빈번히 발생하는 노드들이 있는 영역을 회피하므로 지연 시간이 더 짧게 걸리는 것을 알 수 있다.

## V. 결론

무선 메쉬 네트워크 환경에서 노드 간에 효율적으로 라우팅을 하는 방법이 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 환경에서 사용되고 있는 라우팅 프로토콜과 메트릭인 ETX, ETT, MIC에 대해 알아보았고, 기존의 메트릭인 ETT와 MIC를 발전시킨 이웃 노드의 트래픽 간섭을 고려한 메트릭을 제안하였다. 제안하는 메트릭은 노드의 데이터 전송 시 간섭 정보를 RREP 패킷을 통해 수집하고 노드 부하에 따라 효율적으로 부하를 분산시킴으로써 전송 효율을 높였고, 실험 결과를 통해 ETT와 MIC 보다 평균 전송 지연 시간 측면에서 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 넓은 커버리지 영역에서 다양한 실험을 통해 표준화가 진행 중인 IEEE 802.11s 에서 제안되고 있는 멀티 채널에 특성화된 채널 변경이 가능한 라우팅 기법을 연구하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyidiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey" ELSEVIER Computer Networks, vol. 47, pp. 445-487, March 2005.
- [2] R. Bruno, M. Conti, and E. Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks" IEEE Communication Magazine, vol. 43, no. 3, pp. 123-131, March 2005.
- [3] Jinyag Li, Charles Blake, Douglas S.J. De Couto, Hu Imm Lee, and Robert Morris. "Capacity of ad hoc wireless networks" In Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM Mobicom), Rome, Italy, Jul 2001.
- [4] Kamal Jain, Jitendra Padhye, Venkata N. Padmanabhan, and Lili Qiu. "Impact of interference multi-hop wireless network performance" In proceeding of International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM Mobicom), SanDiego, CA, Sep 2003.
- [5] Douglas S. J. De Couto, Daniel Aguayo, John Bicket, and Robert Morris. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. In MobiCom '03: pages 134 - 146, New York, NY, USA, 2003.
- [6] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill. Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. In Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM), August 2004.
- [7] J.Wang Y.Yang and R.Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks" in IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, Wimesh, 2005.
- [8] J.Wang Y.Yang and R.Kravets, "Interference-aware Load Balancing for multihop Wireless Networks," In Tech Rep. UIUCDCS-R-2005-2526, 2005.
- [9] NS, The Network Simulator, 1989, <http://WWW.isi.edu/nsnam/ns/>.

## 저자 소개



### 이성훈

2002년 2월 강남대학교 공학사.  
2004년 2월 광운대학교 공학석사.  
2004년 3월 ~ 현재  
광운대학교 박사과정  
관심분야 : WLAN, WPAN,  
Mesh Networks



### 이형근

1987년 2월 연세대학교 공학사.  
1993년 9월 삼성전자 선임연구원.  
1996년 12월  
Syracuse University 공학석사.  
2002년 12월  
Syracuse University 공학박사  
2003년 9월 ~ 현재  
광운대학교 컴퓨터공학과 교수  
관심분야 : Wireless Networks,  
Mesh Networks