

논문 2009-6-7

무선 메쉬 네트워크에서 최적화된 경로선정을 위한 라우팅

An Optimal Path Routing in Wireless Mesh Network

이애영*, 노일순**

Ae-Young Lee, Il-Soon Roh

요 약 무선 메쉬 네트워크(Wireless mesh networks, WMNs)는 Ad-hoc 네트워크와는 달리 백본망 구조를 가지고 있기 때문에 이동성이 적고, 단말들이나 다른 망들과 다중경로로 통신이 가능하다. 무선 메쉬 네트워크에서는 기존의 ad-hoc 네트워크의 알고리즘을 보완한 ETX, ETT, MIC 등과 같은 라우팅 경로선정 메트릭이 제안되고 있다. 제안된 다양한 라우팅 메트릭에는 최소의 홉 수를 고려하는 Hop_count, 링크 품질을 고려하는 ETX(Expected Transmission Count)나 ETT(Expected Transmission Time)와 같은 metric이 존재한다. 하지만 ETX의 경우 전송률을 구할 때 각 방향에서 측정패킷의 조건이 달라 실질적인 전송률을 제공해주지 못한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 ETX를 개선하여 hop_count를 반영하고, 실질 전송률을 고려하는 IETC(Improved Expected Transmission with hop count)를 제안하였다. 실험을 통해 제안된 메트릭이 전송율과 경로 선정에 있어서 기존 메트릭보다 나은 결과를 보였다.

Abstract Wireless mesh networks, unlike Ad-hoc network, has low mobility and multi-path communication between terminals and other networks because it has the backbone structures. Most studies are advanced on finding the optimal routing path in multi-hop wireless mesh network environment. Various routing metric, minimum number of hops(Hop_count) and ETX, ETT metric, are proposed to wireless mesh networks. However, most metrics cannot identify the high throughput routing paths because this metric uses a different measurement parameters in each direction. So actual delivery rate does not provide to this metric. This paper describes the metric and implementation of IETC as a metric. This paper shows the improvement in performance.

Key Words : wireless mesh network, Hop_count, ETX, ETT

I. 서 론

이동통신 네트워크의 발달로 사용자들은 시간과 공간의 제약을 받지 않고 외부세계와 다양한 데이터를 주고 받을 수 있게 되었다. 빠르고 정확한 데이터 송수신을 위한 다양한 유무선 네트워크 기술이 연구되고 있고, 이를 활용한 사례들이 등장하고 있다.[1]

무선 메쉬 네트워크(Wireless mesh networks)는 이동성이 적고, 무선 메쉬 네트워크의 백본 형태를 가지는 메쉬 라우터들과 메쉬 클라이언트로 구성되어있다. 메쉬

라우터는 다른 망과 연결할 수 있게 Bridge와 Gateway 역할을 수행하고 인터넷과의 접속을 지원해준다. 또한, 직간접적으로 다중 경로로 데이터를 전송할 수 있다는 특징을 가진다. 그래서 무선 메쉬 네트워크의 다중 경로 환경에서 네트워크의 성능은 어떠한 경로를 선택하느냐에 따라 크게 좌우된다. 이를 지원하는 경로설정 알고리즘으로는 전통적인 방식인 Hop_count, 전송률을 고려하는 ETX(Expected Transmission Count), 전송시간을 고려하는 ETT(Expected Transmission Time) 등 다양한 메트릭이 있다.[2][4][5]

기존의 ETX는 다음과 같은 두 가지의 문제를 가지고 있다. 첫째, 정방향, 역방향의 전송률을 구할 때, 측정하

*준회원, 을지대학교 의료전산학전공

**중신회원, 을지대학교 의료전산학전공 (교신저자)

접수일자 2009.10.14, 수정일자 2009.11.12

본 패킷의 형태(Probe패킷, ACK패킷)가 달라 한쪽의 영향을 많이 받은 전송률을 구할 수 있다는 것이다. 둘째, 패킷을 전송할 때 실제 가까운 거리가 있더라도 전송률에 따라 패킷이 우회할 수 있다는 문제가 있다. 이후의 연구된 알고리즘은 대부분 ETX를 기반으로 하고 있기 때문에 위에서 지적한 문제들을 모두 갖고 있다.

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크에서 광범위하게 사용되고 있는 ETX를 개선하여 전송률 계산과 경로선정 방식을 개선한 IETC (Improved Expected Transmission with hop count)를 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 무선 메쉬 네트워크와 무선 메쉬 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜의 종류에 대해 기술하며 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 상세히 논한다. 그리고 4장에서는 실험을 통해 본 알고리즘의 개선점을 보이며 5장에서 결론 및 향후 과제를 보였다.

II. 관련 연구

1. 무선 메쉬 네트워크

무선 메쉬 네트워크는 Ad-hoc네트워크와 달리 하위 노드들에게 인터넷에 접속할 수 있는 인프라를 제공하기 위해 연구되고 있는 네트워크의 형태이다.[5]



그림 4. 무선 메쉬 네트워크 구조
Fig. 1. wireless mesh network structure

그림 1처럼 무선 메쉬 네트워크 백본을 형성하는 메쉬 라우터들은 Wi-Fi 네트워크, WiMax 네트워크, Cellular 네트워크, Sensor 네트워크, Ad-hoc 네트워크와 같은 네트워크간의 통신을 할 수 있도록 하기 위해서 Gateway 및 Bridge의 기능을 가지고 연결을 담당한다. 또한 인터

넷과의 연결을 통해서 인터넷을 언제 어디서나 사용할 수 있게 하고자 한다. 무선 메쉬 네트워크의 기본적인 특성으로 Multi-hop에 Multi-link가 있다. 그래서 무선 범위를 넓혀 원하는 곳으로 가는 다중 경로를 가지고 있기 때문에 데이터를 전송할 때 신뢰성을 높일 수 있다. 신뢰성이 높아지면서 재전송의 횟수가 감소하여 많은 데이터를 효과적으로 전송할 수 있게 된다.

2. 라우팅 프로토콜

무선 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 On-demand 라우팅 방식과 Proactive 라우팅 방식으로 분류할 수 있다.[6][7][8]

On-demand방식은 송신노드가 수신노드로 데이터를 전송할 필요가 있을 때, 송신노드와 수신노드 간의 경로를 설정한다. 따라서 노드 간 경로를 찾기 위해서는 경로 탐색 패킷이 전송되고, 최종 경로를 알려주는 메시지를 받아 송수신에 사용한다. Ad-hoc네트워크에서는 노드의 이동성 때문에 경로탐색 메시지를 발생시키는 방법을 기반으로 설계되었지만 무선 메쉬 네트워크는 노드의 이동에 따른 경로에 대한 오류가 적기 때문에, 이전에 검색된 경로를 반복해서 찾게 된다. 이와 같은 On-demand 방식은 경로설정 시 마다 많은 양의 패킷을 전송하므로 네트워크 전체에 큰 오버헤드를 발생 시킨다. 그러므로 on-demand기반의 라우팅 프로토콜은 무선 메쉬 네트워크에 적합하지 않다.

Proactive라우팅 방법은 각각의 노드에 인접 노드로 전달하기 위한 라우팅 테이블을 가지고 있다. 모든 노드의 라우팅 테이블은 최신의 정보로 업데이트하기 위한 방법을 가지고 있으며, 네트워크의 토폴로지가 변하면 노드들은 이 정보를 주변 노드들에게 전달하며, 모든 노드들은 이 정보를 업데이트함으로써 최신의 정보로 갱신한다. 무선 메쉬 네트워크에서는 라우터의 역할을 하는 메쉬 라우터와 백본이 존재하므로 이와 같이 기본 라우팅 테이블을 가지고 있는 라우팅 방식이 유리하다고 볼 수 있다.

3. 경로설정 Metric

일반적으로 다중 홉 환경에서 네트워크의 성능은 어떠한 경로를 선택하느냐에 따라 좌우된다. 최고의 성능을 보장하기 위한 경로선택 방법으로는 Hop_count, ETX, ETT, MIC, iAWARE 등 다양한 메트릭이 있다.

Hop-count는 경로설정 할 때, hop 수가 가장 작은 것을 선택한다. 즉, 이 메트릭의 가점은 hop 수가 작으면 source 노드에서 destination 노드까지 가는 거리가 가까운 것을 의미한다. 하지만, 홉 수가 적고 홉 간의 거리가 길게 되면 패킷이 소비하는 전력의 소모가 증가하여 손실우려가 있다. 즉, 신뢰성이 높거나 빠른 전송속도를 가진 경로를 고려하지 않는다.

ETX는 한 링크에 대해서 하나의 패킷을 성공적으로 보내기 위해 기대되는 재전송을 포함한 전송 횟수를 의미한다. 하지만, Probe패킷과 ACK패킷은 크기가 다르기 때문에 정확하게 전송률을 반영했다고 할 수 없다. 또한 단지 손실률만을 고려하고 각각 링크에 대한 대역폭은 고려하지 않는다.[1]

ETX의 대역폭을 고려하지 않는다는 단점을 보완하기 위해서 ETT[3]가 제안되었다. 이것은 ETX를 기반으로 하여, 데이터의 전송시간을 예측하여 전송하는 방법이다. 링크에 대한 대역폭을 고려하여 경로를 선택한다.

III. 제안하는 알고리즘

ETX는 한 링크에 대해서 하나의 패킷을 성공적으로 보내기 위해 기대되는 재전송을 포함한 전송 횟수를 말한다. ETX를 구하기 위해서는 먼저 해당 링크의 정방향과 역방향의 성공적인 패킷 전송률을 측정해야 한다. 이렇게 측정된 정방향 전송률(df)은 Probe패킷 전송 성공 확률이다. 반면 역방향 전송률(dr)은 ACK패킷의 전송 성공 확률이다. 그러므로 한 번의 전송에 대한 전송률은 Probe와 Ack패킷 모두가 성공해야 하므로 $df \times dr$ 이 된다. 이를 통해 한 패킷의 성공적인 전송을 위해 기대되는 전송 횟수는 다음 수식과 같다.

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

$$ETX \text{ of route} = \sum \text{link } ETXs \quad (2)$$

수식 1을 통해 각 링크의 ETX를 구할 수 있으며, 수식 2와 같이 경로의 ETX는 경로에 포함되는 링크의 ETX 값을 합한 것이다.

하지만, 앞에서 기술한 바와 같이 ETX는 정방향 전송률(df)을 측정할 때는 Probe패킷을 이용하지만 역방향

전송률(dr)을 구할 경우에는 ACK패킷을 이용한다. 즉, 측정수단의 패킷 사이즈가 다르기 때문에 정방향과 역방향 전송률이 공평하지 않는 조건에서 구해진다는 문제점이 발생한다. 그래서 한 쪽의 영향범위에 비해 다른 한 쪽의 영향을 적게 받아 비대칭적인 전송률을 구하게 된다.

따라서 본 논문에서는 IETC(Improved Expected Transmission with hop count)를 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 두 가지의 개선을 적용하였다. 첫째, 정방향 전송률(df)과 역방향 전송률(dr)을 구할 때 동일한 측정 매개를 사용해서 좀 더 실질적인 전송률을 구하는 것이다. 이를 통해 송신자와 수신자 측에서 발생하는 간섭의 영향을 실질적으로 반영하고자 하였다. 둘째, 경로 선정 시 전송률이 높은 경로를 선정했다 할지라도 데이터패킷이 우회할 수 있기 때문에 hop_count를 반영해서 최적화된 경로를 선정한다.

1. IETC의 동작원리

ETX는 패킷을 전송하기 위한 전송률의 역수로 낮은 값일수록 경로로 선택될 확률이 높다. 반면에 개선된 IETC는 역수를 취하지 않고 전송률을 그대로 값에 반영함으로써 불필요한 계산을 줄였다. 따라서 제안한 IETC는 높은 값을 같은 경로가 최적의 경로가 된다.

```

send_packet(Probe_packet p) {
    // 노드는 probe packet을 브로드캐스트
    each node broadcast p do
        handle_dr(Probes_count c)
    }

    handle_df(Probes_count c) {
        // df : 정방향 전송률, dr : 역방향 전송률
        // rec_ps : 수신노드가 수신한 probes
        // rec_pd : 송신노드가 수신한 probes
        df = rec_ps / c
        dr = rec_pd / c
        delivery_ratio(Ratio df, dr)
    }

    delivery_ratio(Ratio df, dr) {
        link_der = df * dr
        route_der = sum each link_der
        return route_der
    }
}

```

그림 2. 개선된 ETX 의사코드
Fig. 2. Pseudo-code improvements ETX

그림 2는 개선된 ETX의 의사코드이다. 각 노드는 평균 주기마다 Probe패킷들을 브로드캐스트하며 일정시간 동안 받은 Probe패킷들을 기억한다. 혼선을 피하기 위해 송신노드를 S라고 하고 수신노드를 D라고 한다. 이때 전송률은 수신노드로부터 구할 수 있다. 실제로 D가 받은 Probe패킷 수를 S가 D에게 보낸 Probe패킷 수로 나눠서 정방향 전송률(df)을 구하고 역방향으로 S가 D로부터 받은 Probe패킷 수를 D가 실질적으로 보낸 Probe패킷 수로 나눠서 역방향 전송률(dr)을 구한다. 전송률은 정방향 전송률과 역방향 전송률을 곱해서 얻을 수 있다. 그리고 경로의 전송률은 링크의 전송률을 더한 값이다. 하지만, 각 링크의 전송률을 더하다 보면 오히려 많은 hop_count를 가진 경로 즉, 먼 거리의 경로가 더 높은 전송률을 가지게 된다.

다음의 그림 3과 표 1을 통해 제안한 IETC가 실질적으로 전송률을 잘 반영한다는 것을 보여준다. ETX는 역수를 취하기 전 각 경로의 전송률만을 고려했다. 이 경우 경로 A-B가 가장 높은 전송률을 보여주지만, 제안한 IETC에서는 경로 A-B보다 경로 A-C가 전송률이 더 높다. 실제로 그림에서 각 경로의 처리량을 보면 경로 A-C가 84%의 처리량을 보여준다.

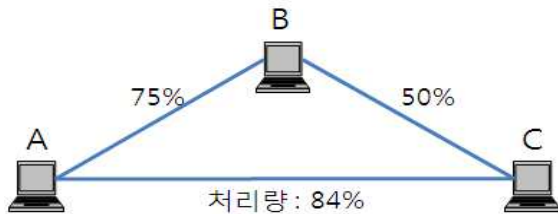


그림 3. 노드 A에서 C로 구성된 토폴로지
Fig. 3. topology consisting of nodes A, B, C

표 1. ETX와 개선된 ETX의 비교
Table 1. Comparison of improved and ETX ETX

	경로	df	dr	전송률
ETX	A-B	0.7	0.9	0.63
	A-C	0.5	0.8	0.40
	B-C	0.3	0.5	0.15
Improved - ETX	A-B	0.7	0.4	0.28
	A-C	0.5	0.7	0.35
	B-C	0.3	0.4	0.12

2. 경로설정

위에서 제안한 IETC를 사용해서 경로설정을 하게 될 경우 노드는 전송률과 hop_count를 고려한 경로를 선택하게 된다. 제안한 IETC의 경우 각 링크의 전송률을 더하며 값이 높을수록 좋은 경로라는 것을 뜻하기 때문이다. 또한, 패킷을 전송할 때 전송률이 좋은 경로를 선택했다 할지라도 데이터 패킷이 우회해서 전송될 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘인 IETC는 개선된 전송률에 hop_count를 반영해서 경로를 설정한다. 앞 절에서 기술한 알고리즘은 메트릭 값이 높을수록 좋은 경로를 뜻한다. IETC에서 사용되는 경로선정 수식은 hop_count에 역수를 취해서 높을수록 좋은 것을 의미하도록 한다. IETC는 다음 수식과 같다.

$$IETC = \frac{1}{hop_count} \times improved_ETX$$

IETC의 동작과정은 다음과 같다. 그림 4는 노드 A에서 노드 F로 구성된 토폴로지를 나타내며 표 2는 노드 A에서 노드 E로 가는 다중 경로의 hop_count와 1/hop_count, 개선한 ETX, IETC, 그리고 처리량을 열거하였다.

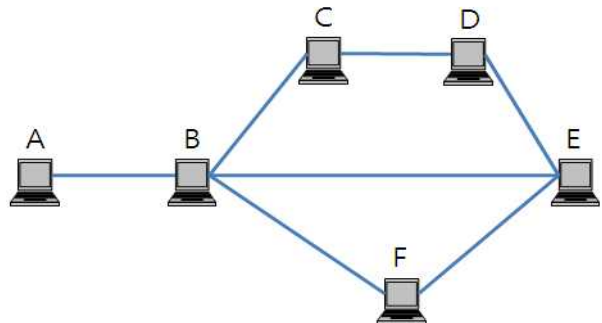


그림 4. 노드 A에서 F로 구성된 토폴로지
Fig. 4. topology consisting of nodes to A from F

표 2. 다중 경로의 비교
Table 2. Comparison of multi-path

경로	hop_C	1/hop_C	개선된 ETX	IETC	처리량
A-B-C-D-E	4	0.25	2.05	0.51	15
A-B-C-E	3	0.33	1.81	0.60	51
A-B-E	2	0.50	1.22	0.61	83
A-B-C-E	3	0.33	2.22	0.74	120
A-B-F-E	3	0.33	2.35	0.78	138

IETC가 높은 값을 가진 경로를 선택하기 때문에 다중 경로에서 경로 A-B-F-E를 선택한다. 선정된 경로는 처리량이 가장 높은 것으로 나타난다. 개선된 ETX를 이용하면 경로 상에 존재하는 링크의 전송률을 다 더하기 때문에 hop_count가 높을수록 값이 커지게 된다. 표 2에서도 hop_count가 4인 경로 A-B-C-D-E가 2.05로 가장 높은 것을 볼 수 있다. 하지만, 여기에 hop_count에 역수를 취한 값을 곱하면서 이런 문제를 해결할 수 있다. 표 2의 IETC 값이 제시되어있다.

IV. 실험 및 결과

본 장에서는 시뮬레이션 툴인 matlab[9][10]을 이용하여 ETX와 제안한 알고리즘을 비교하며 ETX와 IETC가 경로 설정할 때의 효과를 비교하였다.

본 실험은 기존의 ETX에서 계산되는 전송률과 제안한 IETC에서 계산된 전송률을 비교하여 실제 상황을 더욱 정확하게 반영하고 있음을 보이고자 했고, 개선된 알고리즘을 통해 경로 전송률이 향상되었음을 보이고 있다.

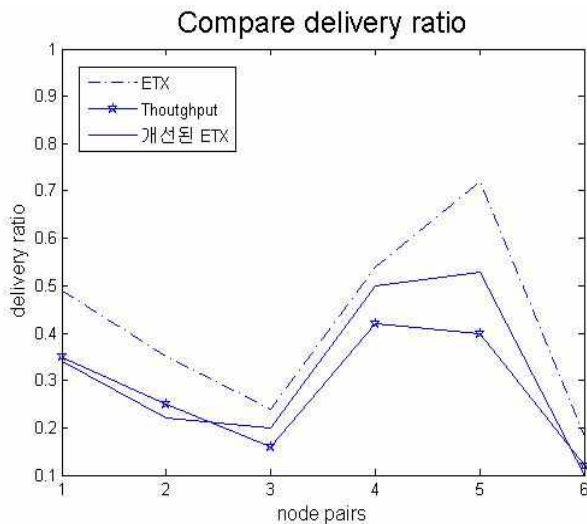


그림 5. 전송률의 비교
Fig. 5. Comparison of delivery ratio

그림 5는 ETX와 IETC 중에서 어떤 것이 더 실제 처리량에 더 근접하는지를 보여준다. X축은 임의로 선정된 노드의 쌍을 나타내며 Y축은 전송률을 나타낸다. 그림 5에서 대부분의 개선된 ETX가 실질 처리량에 더 근접해 있는 것을 볼 수 있다.

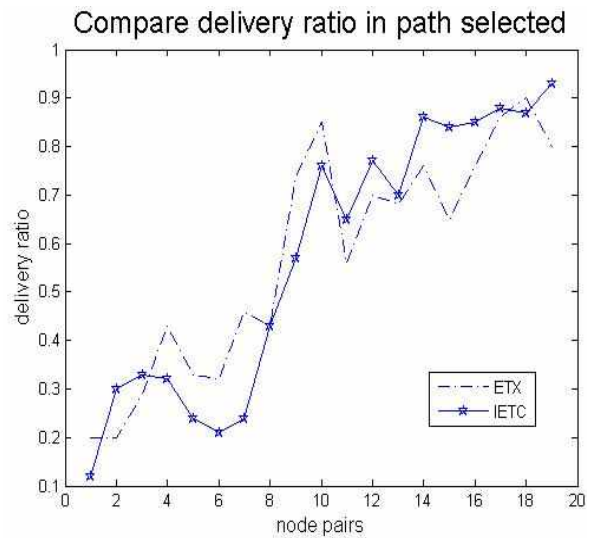


그림 6. 경로 선정 시 전송선공률 비교
Fig. 6. Comparison of delivery ratio in path selected

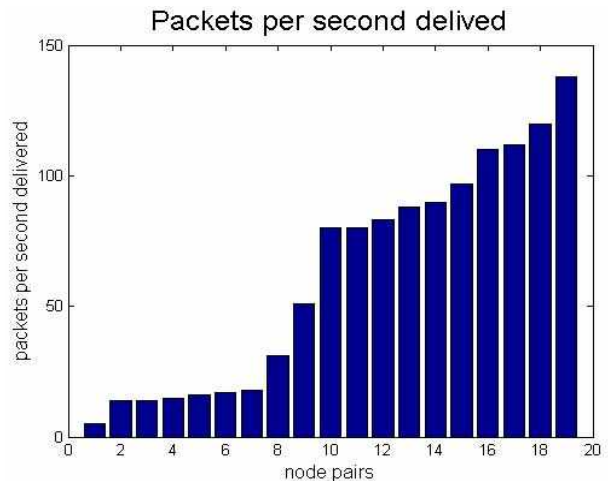


그림 7. 경로의 초당 전송된 패킷
Fig. 7. Packets per second delivered in path

그림 6과 그림 7은 경로를 설정할 때 선택된 경로가 실제 처리량을 반영하는 정도를 나타낸다. 그림 6과 그림 7을 통해서 경로 설정할 때 ETX로 선정된 경로보다 IETC가 약간의 오차 범위는 있지만 실제 처리량에 가까운 경로를 선택하는 것을 보여준다. ETX의 경우 18번 노드 쌍의 경로가 높은 처리량을 가지고 있다고 하지만 그림 7에서 보면 19번 노드 쌍의 초당 전송된 패킷 들이 더 많은 것으로 볼 수 있다. 그러므로 IETC가 실질적인 처리량을 반영하여 경로를 선택한다.

V. 결론

무선 메쉬 네트워크(Wireless mesh networks, WMNs)는 이동성이 적고, 단말들이나 다른 망들과 다중 경로로 통신이 가능하다. 그래서 다중 홉 환경에서 경로 설정은 패킷 전송 시에 중요한 역할을 한다. 하지만 기존 ETX의 경우 전송률을 구할 때 각 방향에서 측정대개 달라 실질적인 전송률을 제공해주지 못한다는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 ETX를 개선하여 실질전송율과 최적경로선정을 위한 hop_count를 반영하는 IETC를 제안했다.

실험을 통해 기존 ETX의 전송률에 비해 개선된 ETX의 전송률이 실제로 처리량에 잘 반영하는 것을 보았다. 또한 경로 선정 시에도 IETC가 실제 처리량에 근접하게 경로를 선택한다.

향후 간섭효과를 정확히 측정할 수 있는 모델을 개발하여 이를 적용한 알고리즘으로 발전시켜 나가고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] D. S. J. De Couto, D. Auayo, J. Bicket, and R. Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Networks," in Proc. ACM MobiCom, San Diego, CA, USA, Sep. 2003.
- [2] 김성관, 이옥환, 이성주, 최성현, "다중 홉 무선 메쉬 네트워크에서 최적 경로에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 2009
- [3] Pedro Miguel Esposito, Miguel Elias M. Campista, "Implementing the Expected Transmission Time Metric for OLSR Wireless Mesh Networks"
- [4] Richard Draves Jitendra Padhye Brian Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks", MobiCom'04, Sept. 26-Oct. 1, 2004
- [5] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless mesh networks: a survey", elsevier, 2005
- [6] Yaling Yang, Jun Wang, Robin Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks"
- [7] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," in Proc. ACM MobiCom, Philadelphia, PA, USA, Sep. 2004
- [8] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks", ACM SIGCOMM, 2004.
- [9] Stormy Attaway, "MATLAB 프로그래밍 활용", Elsevier, 2009
- [10] Duance Hanselman, Bruce Littlefield, "Mastering MATLAB 7", PEARSON Prentice Hall, 2005

저자 소개

이 애 영(준회원)



- 2007년~현재 을지대학교 의료전산학 전공 재학중
- <주관심분야 : 모바일네트워크, 모바일 프로그래밍>

노 일 순(종신회원)



- 2004년 서강대학교 전자공학과 박사 수료
- 2001년~현재 을지대학교 의료전산학 전공 교수
- <주관심분야 : 센서네트워크, 모바일콘텐츠 응용, 멀티미디어, u-러닝>