

# 무선 메쉬 네트워크 환경에서 부하의 효율적 분산을 위한 라우팅 메트릭 기법

조정훈<sup>o</sup>, 김선형

고려대학교 컴퓨터정보통신 대학원<sup>o</sup>

고려대학교 컴퓨터학과

raglan@korea.ac.kr, shaklim@korea.ac.kr

## Load-Aware Routing Metric for Balanced Path Selection in Multi-Hop Wireless Mesh Networks

Junghoon Cho<sup>o</sup>, Seonhyeong Kim

Graduate School of Computer Information & Communication, Korea University<sup>o</sup>

Department of Computer Science and Engineering, Korea University

### 요 약

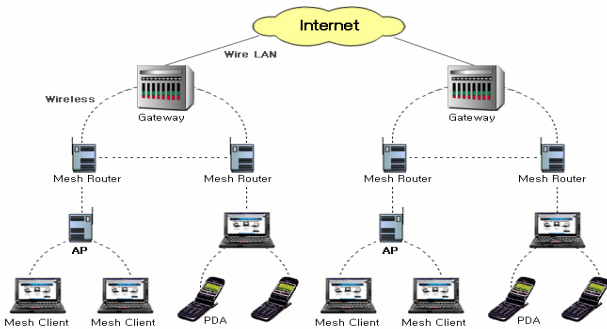
무선 메쉬 네트워크는 최근 무선 네트워크 환경에서 유선을 효율적으로 연장할 수 있는 기술로서 주목 받고 있으며 무선 백본망을 통해 저렴한 비용으로 광대역 네트워크 인프라를 구성하는 기술이다. 무선 메쉬 네트워크는 기존 네트워크 기술과는 달리 노드의 이동성이 적고 에너지 영향도 덜 제한적인 특징을 가지고 있다. 따라서 이러한 네트워크 특성을 반영할 수 있는 경로 설정 기술이 필요하며 적합한 경로를 결정하기 위한 새로운 라우팅 메트릭이 요구된다. 본 논문에서는 데이터를 효율적으로 전달하기 위해 노드 간 링크 성능과 노드의 부하를 고려한 새로운 라우팅 메트릭을 제안한다.

### 1. 서론

무선 메쉬 네트워크는 최근에 등장한 무선 네트워크의 새로운 개념으로서 메쉬 라우터에 의해 유선망과 연동되어 비교적 넓은 지역에 무선 데이터 서비스를 제공하기 위한 목적으로 등장하였다. 또한 무선 메쉬 네트워크는 셀룰러 망과 같이 노드의 이동성을 가정하지 않으며 상대적으로 에너지의 제한이 없는 무선 네트워크이다. 이러한 무선 메쉬 네트워크의 특성을 최대한 이용하여 효율적으로 라우팅을 수행하는 라우팅 알고리즘 및 메트릭에 관한 연구가 주목을 받고 있다 [1], [2].

이 메쉬 클라이언트, 메쉬 라우터, 게이트웨이로 구성되며, PDA 나 노트북과 같은 일반 이동형 컴퓨터가 메쉬 클라이언트에 해당된다. 게이트웨이는 유선망과 연결되어 메쉬 클라이언트들을 인터넷과 연결시켜주는 가교 역할을 수행한다. 또한 메쉬 라우터는 메쉬 클라이언트 또는 메쉬 라우터를 무선으로 연결하여 self-configuration, self-healing 등의 기능을 갖추고 있는 장치이다. 무선 메쉬 네트워크는 주로 캠퍼스나 산악지역, 도시 내 넓은 지역을 인터넷으로 연결하는데 유용하다. 아직 인터넷이 연결되지 않은 넓은 지역을 유선으로 연결하는 것은 비용도 고가이지만 클라이언트의 유연한 접속 환경을 제공하지 못하는 단점도 내포하고 있다. 유무선이 복합된 환경의 무선 메쉬 클라이언트는 기존의 애드혹 네트워크와는 다르게 이동성이 거의 없으며 에너지 제한도 덜 제한적인 특성을 가지고 있다. 따라서 기존 유선에서의 라우팅 방법이나 무선에서의 라우팅과는 다른 경로 설정 알고리즘이 필요하다. 기존에 사용되던 최단 경로 설정을 위한 홉 카운트나 데이터 손실과 같은 메트릭을 보완하여 multi-radio, multi-channel 환경을 고려한 새로운 라우팅 방법이 요구되고 있다 [3], [4], [5].

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 환경을 위한 새로운 라우팅 메트릭으로서 LAETT (Load-Aware ETT)를 제안한다. LAETT는 WCETT를 개선하여 각 노드에서 처리되는 큐 정보를 기반으로 노드 간 부하를 효율적으로 분산시킬 수 있는 방안을 제공한다.



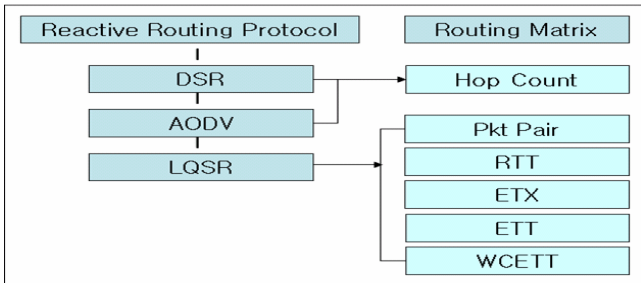
[그림 1] 무선 메쉬 네트워크 인프라

무선 메쉬 네트워크는 [그림 1]에서 보이는 바와 같

2. 관련 연구

무선 메쉬 네트워크에서의 라우팅은 라우팅 알고리즘과 라우팅 알고리즘이 참조하는 메트릭을 통해 이루어진다. 라우팅 방식은 크게 on-demand 방식과 table-driven 방식의 두 가지로 구분할 수 있다. On-demand 라우팅 방식은 reactive 방식으로 불리기도 하며 송신 노드가 데이터를 보내고자 할 때 경로를 찾는 방법으로서 경로를 찾기 위해 초기 지연 시간이 발생한다. Table-driven 라우팅 방식은 proactive 방식으로서 각각의 노드가 다른 노드로 데이터를 전달하기 위한 라우팅 테이블을 가지고 있다. 각 라우팅 테이블 정보는 주기적인 신호에 따라 최신의 정보로 갱신된다. 따라서 네트워크에 다소 오버헤드가 발생하게 된다. 대표적인 on-demand 라우팅 기법으로는 DSR, AODV, LBAR, DLAR 등이 있으며, table-driven 라우팅 방식에는 LQSR, hop-by-hop 등이 있다 [1]. 본 논문에는 Microsoft 에서 DSR 을 수정한 LQSR 알고리즘을 사용한다 [3].

라우팅 프로토콜에서는 가장 효율적인 경로를 선택하기 위해서 여러 가지 메트릭이 사용된다. 목적지까지 최소 노드 수를 이용하는 Hop Count 나 노드 간 링크 성능 측정을 통한 RTT (Round Trip Time), Pkt Pair (Packet Pair Delay), ETX (Expected Transmission Count), ETT (Expected Transmission Time), WCETT (Weighted Cumulative ETT) 등이 있다.



[그림 2] 라우팅 프로토콜 및 메트릭

가장 단순한 모델인 Hop Count 방식은 각 노드까지의 최소 홉 수를 경로 선택 기준으로 결정한다. 구현이 간단하고 목적지까지의 경로 계산이 다른 메트릭에 비해 매우 간단하여 DSR, AODV, DSDV 등 대부분의 라우팅 알고리즘에서 이용한다. 그러나 이 방식은 노드 간의 패킷 손실이나 가용 대역폭을 고려하지 않은 단점을 가지고 있다.

Packet Pair 방법은 두 개의 패킷을 송신 노드에서 수신 노드로 전달한 후 수신 측에서 두 패킷의 전송 시간 차를 측정하여 송신 노드에게 값을 전달하는 방법이다.

RTT 방식도 Packet Pair 방식과 마찬가지로 probe 패킷을 전송하여 측정하는 방법이므로 네트워크에 오버헤드를 발생시키며 두 개의 노드에서 동시에 probe 패킷을 전송했을 때 먼저 온 하나의 probe 패킷을 처리하는데

걸리는 지연도 발생한다.

ETX 는 이웃 노드에게 일정한 개수의 probe 패킷을 브로드캐스트 한 후 몇 개의 probe 패킷이 도착했는지를 파악하여 에러율을 측정한다. 전송에 대한 에러율만으로 링크의 품질을 측정하기 때문에 링크에 대한 대역폭과 부하 측정이 반영되지 않아 신뢰성이 부족하다.

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \tag{1}$$

( $d_f$ : 순방향 전송률,  $d_r$ : 역방향 전송률)

ETT 는 ETX 방식을 개선한 메트릭으로서 링크의 대역폭과 패킷 크기를 반영하여 MAC 계층에서 전송 기대값을 계산하는 방식이다.

$$ETT = ETX \times \frac{S}{B} \tag{2}$$

( $S$ : 평균 패킷 크기,  $B$ : 링크의 대역폭)

WCETT는 ETT를 개선한 방식으로 multi-radio, multi-channel 환경에서 우수한 채널 환경을 통해 데이터를 전송할 수 있는 방안을 제안한다.  $X_j$ 는 채널  $j$ 상에서 각 홉들에 대한 ETT값의 합을 의미하며,  $\beta$ 는 [0, 1] 값 사이에서 각 채널과 경로의 ETT값에 대하여 가중치를 조정하는 변수이다.

$$WCETT = (1 - \beta) \sum_{l \in p} ETT_l + \beta \times \max_{1 \leq l \leq k} X_j \tag{3}$$

그러나 위의 방법들은 링크에 대한 성능만 고려되었을 뿐 노드에 걸리는 부하에 대하여 고려하지 않고 있다. 다음 절에서 이러한 단점을 보완하여 노드의 부하 정보를 이용하여 경로를 설정함으로써 전송 효율을 높일 수 있는 방법을 제안한다.

3. 노드 부하를 고려한 LAETT 라우팅 메트릭

본 절에서는 무선 메쉬 네트워크 환경에서 데이터를 가장 효율적으로 전달하기 위해 각 노드의 트래픽 부하를 고려한 LAETT를 제안한다. 기존의 WCETT에서 제공하는 방법은 링크의 성능을 데이터 전송률과 대역폭만을 고려할 뿐 부하에 대한 고려를 하지 않고 있다. 무선 메쉬 네트워크 환경에서 모든 노드들이 좋은 링크를 통해서 데이터를 보낸다면 부하 시에는 오히려 성능이 저하되며 중복된 경로를 통해 다른 노드에서도 전송하게 되므로 전체적인 성능 저하를 야기시킬 수 있다. 이러한 성능 장애 요인을 극복하기 위해 LAETT 는 노드 간의 부하를 고려한 큐잉 정보를 이용하여 효율적으로 데이터를 전송한다.

### 3.1 LAETT 메트릭 계산

LAETT 는 목적지까지의 노드 부하를 고려하여 전송 속도가 가장 우수한 경로를 의미한다. 구성 요소로는 WCETT 에서 고려하고 있는 대역폭, 전송할 데이터의 패킷 크기, 에러율과 멀티 채널 환경에서 각 노드의 현재 채널 트래픽 상태를 나타내고 있는 큐 정보가 있다.

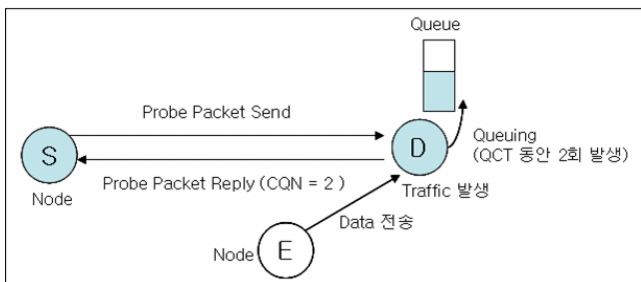
$$LAETT = (1 - \beta) \sum_{l \in p} ETT_l + \beta \times \max_{1 \leq l \leq k} X_j + QI_i \quad (4)$$

LAETT를 통한 경로 결정은 WCETT를 통해 선택된 후보 경로 중 큐 정보(QI<sub>i</sub>)를 고려하여 이루어진다.

$$QI_i = (1 - \alpha) \times CQN(i + 1) + \alpha \times CQN(i) \quad (5)$$

- α: 가중치 조정 변수 (0 ≤ α ≤ 1)
- i: probe 패킷 일련 번호
- CQN: 큐잉 횟수 카운터

LAETT 는 노드의 각 채널에 대한 큐 상태 정보를 이용한다. 즉, 데이터를 바로 전송하지 않고 큐에 저장하여 보내는 것은 트래픽 부하가 발생했음을 의미한다. [그림 3]에서 보이는 바와 같이 부하를 인지하는 신뢰성을 높이기 위해서 최초 데이터 전송 시 큐에 진입하면 QCT (Queue Check Time)를 10 초로 설정하고, 10 초 이내에 다시 큐에 진입하는 데이터가 발생하면 probe 패킷에 CQN 값을 1 씩 증가하여 전송한다. 만약 10 초 이내에 다시 발생하지 않는다면 CQN 값을 0 으로 초기화하여 probe 패킷을 전송한다.



[그림 3] 큐 정보 획득 과정

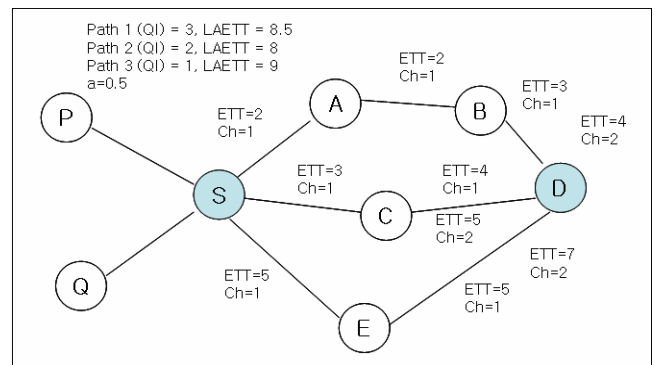
또한 LAETT 는 멀티 채널 환경에서 사용되기 때문에 현재 노드가 부하 상태에 있으면 이 경로를 제외하고 다른 경로를 선택함으로써 기존에 제안된 메트릭에 비해 부하 분산된 경로를 제공한다. LAETT 의 링크 합을 구하여 가장 낮은 값을 갖는 경로를 설정한다.

본 논문에서는 multi-radio, multi-hop 환경의 무선 메쉬 네트워크를 가정하고 있으며 노드 간 간섭이나 이동성

을 고려하지 않는다. 각 노드는 매 초마다 probe 패킷을 브로드캐스트하고 probe 패킷을 수신하면 LAETT 를 계산하여 LAETT 값을 갱신한다.

### 3.2 LAETT 메트릭을 이용한 라우팅

LAETT 메트릭을 이용하여 경로를 결정하는 과정은 다음과 같다. 각 노드의 링크 간 대역폭, 패킷 손실률, 전송할 패킷의 양 등을 측정하여 WCETT 값을 구한다. WCETT 합계를 통해 가장 빠르게 전송할 수 있는 경로를 선정한 후 계산된 WCETT 값에 각 노드의 채널 큐 정보를 통해 LAETT 를 계산한다. [그림 4]는 송신 노드인 S로부터 목적 노드인 D까지 각 링크 상황에 대한 정보를 제시하고 있으며, [그림 4]로부터 계산된 각 링크에 대한 메트릭 정보를 [표 1]에서 보여준다.



[그림 4] 각 경로에 대한 링크 정보

WCETT에서는 ETT 합이 가장 낮은 Path 1을 통해 전송하도록 한다. 그러나 LAETT는 부하가 발생했을 때, CQN 값을 이용한 QI가 정보가 추가적으로 고려되어 Path 2를 통해 전송할 수 있게 된다.

[표 1] LAETT 선택 테이블

경로	Link	ETT (Ch=1)	ETT (Ch=2)	Beta	WCETT	QI	LAETT
Path 1 (S-A-B-D)	S-A	2	3	0.5	5.5	3	8.50
	A-B	2	2				
	B-D	3	4				
Path 2 (S-C-D)	S-C	3	3	0.5	6	2	8.00
	C-D	4	5				
Path 3 (S-E-D)	S-E	4	7	0.5	8	1	9.00
	E-D	5	5				

기존 WCETT에서는 노드 P나, Q도 WCETT 값의 효율이 좋은 Path 1을 통해 전송하게 되므로 특정 경로만 부하가 발생하게 되나, 제안하는 LAETT에서는 노드 A에 발생하는 부하에 따라 경로를 변경하여 전체적인 네트워크를 효율적으로 이용할 수 있도록 하고 있다.

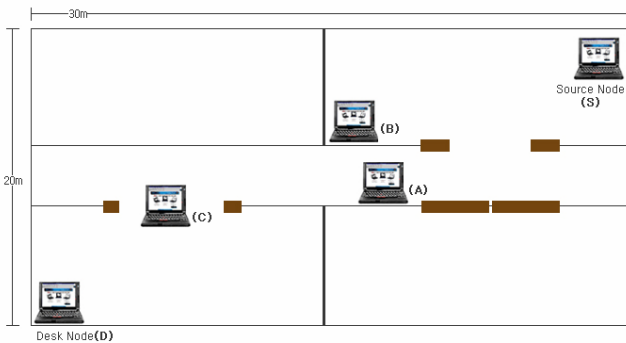
### 4. 실험 결과 및 성능 분석

본 논문에서 제안하고 있는 LAETT의 성능 평가를

위해 Microsoft 에서 제공하고 있는 MCL (Mesh Connectivity Layer) 툴을 설치하여 사용하였다. MCL 은 OSI (Open System Interconnect)의 표준 Layer 2 (MAC)와 Layer 3 (Network) 사이에서 동작하는 Layer 2.5 로 동작하는 가상 드라이버를 제공하는 소프트웨어이다. MCL 은 MS Windows XP 이상 환경에서 동작하고 무선 네트워크 카드에 대해 virtual adapter 를 별도로 생성하여 이에 대한 binding protocol 을 통해 노드 간 무선 인터페이스를 제공한다.

4.1 실험 환경

테스트를 위한 실험 환경은 가로 30m, 세로 20m 의 공간에서 무선 랜카드가 장착된 노드 5 대를 [그림 5]와 같이 배치하여 MCL 에서 제공하고 있는 성능 측정 도구인 TTCP 를 통해 결과를 도출하였다. TTCP 에서 다양한 실험을 위해 60 초 동안 TCP 를 통해 데이터를 전송하였으며, 노드에 걸리는 부하는 106,713,088 byte 의 트래픽을 10 분 동안 지속적으로 발생시켰다. 실험을 위하여 5 가지 유형의 시나리오를 설정하였으며 발신 노드와 목적 노드를 고정시키고, A, B, C 세 개의 중간 노드를 좌측으로 2m 씩 각 2 회, 우측으로 2m 씩 각 2 회 이동시켜 토폴로지에 변화를 주었다. 성능 평가를 위해 처리율과 종단간 지연 시간을 10 회 측정하여 평균값을 서로 비교하였다.



[그림 5] 테스트베드를 위한 네트워크 토폴로지

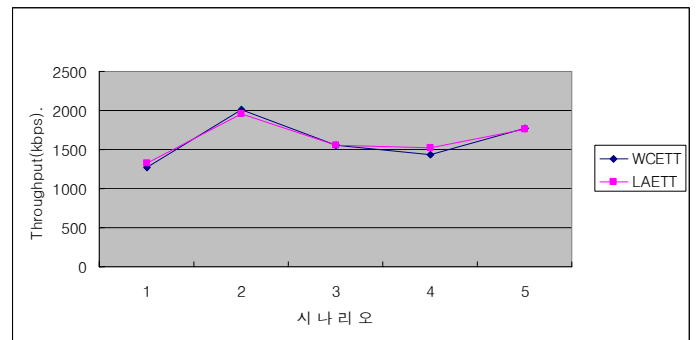
테스트 노드의 사양은 아래 [표 2]와 같으며 노드의 이동성은 고려하지 않았다.

[표 2] 테스트 노드 사양

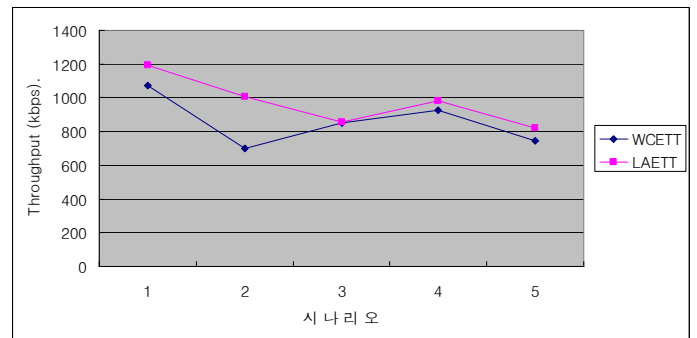
	CPU	RAM	NIC
HP Presario	Intel 1.7 GHz	512 MB	Intel WLAN Card
LG-IBM	Intel 1.5 GHz	1.25 GB	AnyGate XM-152
Dell	Intel 1.8 GHz	1024 MB	AnyGate XM-152
Desktop PC 1	Intel 1.8 GHz	1024 MB	AnyGate XM-152
Desktop PC 2	Intel 1.7 GHz	256 MB	AnyGate XM-152

4.2 성능 평가 및 분석

[그림 6]은 각 시나리오에 대하여 두 메트릭에 대한 처리율을 보여준다. [그림 6]의 (a)와 같이 각 노드 간에 트래픽 부하가 없을 때에는 WECTT와 LAETT 간에 성능 차이가 없지만, [그림 6]의 (b)에서 보이는 것처럼 메쉬 노드 간에 부하가 발생했을 때에는 LAETT 가 WECTT 보다 더 효율적으로 데이터를 전송하고 있음을 보여준다. 또한 부하가 지속되는 시간이 길어질수록, 부하 정도가 심할수록 전송 효율은 더 좋아짐을 알 수 있다. 이는 큐잉에 따른 지연 시간이 누적되기 때문에 부하가 없는 노드로 전송하는 것이 효율적임을 알 수 있다.



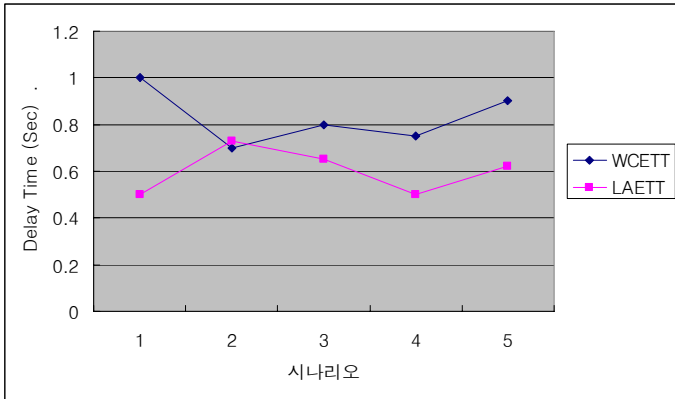
(a) 부하 발생 전



(b) 부하 발생 시

[그림 6] WECTT와 LAETT의 처리율 비교

[그림 7]에서는 각 시나리오에 대한 종단간 지연 시간을 측정된 결과를 보여주고 있다. LAETT에서는 각 링크 간의 성능과 노드 간 부하 상태를 고려하고 있으므로 데이터 전송 시 처리율과 같이 부하가 지속될수록 지연 시간이 더 짧게 걸리는 것을 알 수 있다.



[그림 7] WCETT와 LAETT의 종단간 지연 시간 비교

### 5. 결론 및 향후 연구 계획

무선 메쉬 네트워크 환경에서 노드 간에 효율적으로 라우팅하는 방법이 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 환경에서 사용되고 있는 라우팅 프로토콜과 메트릭인 *Hop Count*, *RTT*, *Pkt Pair*, *ETX*, *ETT*, *WCETT*에 대해 알아보았고, 기존의 메트릭인 *WCETT*를 발전시킨 노드의 부하를 고려한 *LAETT*를 제안하였다. *LAETT*는 노드의 데이터 전송 시 큐잉되는 정보를 probe 패킷을 통해 수집하고 노드 부하에 따라 효율적으로 부하를 분산시킴으로써 전송 효율을 높였고, 실험 결과를 통해 *WCETT*보다 처리율과 종단간 지연 시간 측면에서 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 *LAETT*에서 제시한  $\alpha$  값의 변화에 따른 처리율 결과를 통해 적정  $\alpha$  값을 측정하고, *QCT*에 따른 부하 발생 시간을 변화시켜 향상된 결과를 도출하고자 한다. 또한 좀 더 넓은 커버리지 영역에서 다양한 실험을 통해 표준화가 진행 중인 IEEE 802.11s에서 제안되고 있는 멀티 채널에 특성화된 채널 변경이 가능한 라우팅 기법을 연구하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] Liang Qin and Thomas Kunz, "Survey on Mobile Ad Hoc Network Routing Protocols and Cross-Layer Design," Carleton University, *Technical Report SCE-04-14*, August 2004.
- [2] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, and Weilin Wang, "Wireless Mesh Networks: A Survey," *Computer Networks*, vol. 47, no. 4, pp. 445-487, March 2005.
- [3] Richard Draves, Jitendra Padhye, and Brian Zill, "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks," in *Proc. of the 10th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom 2004)*, pp. 114-128, Philadelphia, PA, USA, Sept. 26-Oct. 1, 2004.
- [4] Bong-Jun Ko, Vishal Misra, Jitendra Padhye, and Dan Rubenstein, "Distributed Channel Assignment in Multi-

Radio 802.11 Mesh Networks," in *Proc. of 2007 IEEE Wireless Communication and Networking Conference (IEEE WCNC 2007)*, pp. 3978-3983, Hong Kong, China, March 11-15, 2007.

- [5] Wai-Hong Tam and Yu-Chee Tseng, "Joint Multi-Channel Link Layer and Multi-Path Routing Design for Wireless Mesh Networks," in *Proc. of the 26th IEEE Int'l Conf. on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2007)*, pp. 2081-2089, Anchorage, Alaska, USA, May 6-12, 2007.