

## 가변 전송 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크에서의 데이터 전송률

장걸\*, 이구연\*\*, 김화중\*\*\*

### 요약

최근 스마트폰과 같은 무선통신기기의 급증으로 인하여 IEEE 802.11 Wi-Fi 네트워크에서 인접 네트워크간의 신호간섭현상이 많이 발생하며, 이와 같은 신호간섭현상은 데이터 전송 품질에도 영향을 미친다. 현재 출시되고 있는 다수의 Wi-Fi 관련 제품들은 높은 데이터 전송률 및 넓은 전송범위를 보여주고 있지만, 반면 이 같은 특성은 인접한 무선기기와의 무선신호간섭 확률도 높게 한다. 무선신호간섭은 무선통신 특성상 피하기 어려운 현상이지만 통신기기의 신호전송범위를 작게 함으로써 최소화할 수 있다. 그러나 작은 신호전송범위는 낮은 송신강도를 의미하므로, 이는 낮은 데이터 전송률로 나타나게 된다. 이에 본 논문에서는 신호강도, 전송률, 신호간섭간의 상호 관계를 분석하고, 송신 강도와 전송률의 tradeoff로서 무선기기의 위치 및 RSSI(Received Signal Strength Indication)에 따라 송신강도를 가변적으로 조절하는 가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크 방식을 제안하고, 이의 성능을 시뮬레이션을 통하여 구한다.

키워드 : 신호 간섭, 전송 레인지, 수율, Wi-Fi 네트워크, 신호 커버리지

## Throughput of Wi-Fi network based on Range-aware Transmission Coverage

Jie Zhang\*, Goo Yeon Lee\*\*, Hwa Jong Kim\*\*\*

### Abstract

Products of Wi-Fi devices in recent years offer higher throughput and have longer signal coverage which also bring unnecessary signal interference to neighboring wireless networks, and result in decrease of network throughput. Signal interference is an inevitable problem because of the broadcast nature of wireless transmissions. However it could be optimized by reducing signal coverage of wireless devices. On the other hand, smaller signal coverage also means lower transmission power and lower data throughput. Therefore, in this paper, we analyze the relationship among signal strength, coverage and interference of Wi-Fi networks, and as a tradeoff between transmission power and data throughput, we propose a range-aware Wi-Fi network scheme which controls transmission power according to positions and RSSI(Received Signal Strength Indication) of Wi-Fi devices and analyze the efficiency of the proposed scheme by simulation.

Keywords : signal interference, transmission range, throughput, Wi-Fi network, signal coverage

## 1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Goo Yeon Lee  
접수일:2013년 09월 02일, 수정일:2013년 09월 26일  
완료일:2013년 09월 28일  
\* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정  
\*\* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수  
\*\*\* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수  
Tel: +82-33-250-6394, Fax: +82-33-252-6390  
email: leegyeon@kangwon.ac.kr

■ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2011-0013951) 또한 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0401-13-1002)

최근 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11 Wi-Fi 네트워크 관련 제품들은 일반적으로 높은 전송률과 넓은 신호전송범위를 갖도록 개발되어지고 있다. 하지만 많은 무선 Wi-Fi 액세스 포인트 및 Wi-Fi 단말기, 스마트폰 등의 Wi-Fi 장비의 급증은 이들의 높은 신호 전송 범위로 인하여 인접 Wi-Fi 네트워크 간에 적지 않은 신호 간섭을 일으키게 된다. 이는 네트워크 전송률 저하를 일으키며, 특히 대도시의 빌딩 밀집 구역이나 상가가 많이 몰려 있는 지역의 경우 빌딩의 층간, 동일 한 층에서의 사무실 간, 옆 건물과 건물사이에, 또는 상가와 상가 사이에서 자주 발생하고 있으며, 전송률의 저하 및 네트워크의 잦은 끊김을 쉽게 경험할 수 있다.

일반적으로 신호간섭 문제는 무선통신망에서 자주 발생하는 현상이며 전송률의 저하, 보안의 취약 등 문제점으로 이미 오랫동안 연구되어 온 분야이다. 802.11 Wi-Fi 무선통신망은 양방향성 무선통신을 기반으로 함으로 신호간섭을 피하기 쉽지는 않지만 토폴로지 제어 등의 방식으로 최적화를 진행할 수 있다. [1], [2] 및 [3]에서는 ad-hoc 무선통신망 등 다수 무선통신 분야에서 송신강도 제어를 기반으로 한 네트워크 토폴로지 최적화를 이용하여 신호간섭을 줄이고 네트워크 전송률을 증가할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

Wi-Fi 네트워크에서도 무선 신호간섭은 액세스 포인트의 송신강도 제어로 신호전송범위를 조절하여 감소시킬 수 있다. 적당한 액세스 포인트의 신호전송범위는 클라이언트 노드가 주변 다른 무선매체들로부터 신호간섭을 적게 받을 수 있게 한다. 하지만 낮은 신호전송범위, 송신강도는 낮은 네트워크 전송률을 의미한다. 즉 신호의 세기는 간섭의 세기와 전송률의 정도를 결정함에 있어서 상호 tradeoff 관계를 갖는다. 이에 본 논문에서는 신호강도, 신호간섭 및 전송률 간의 상호 관계를 분석하고, 송신 강도와 전송률의 tradeoff로서 무선기기의 위치 및 RSSI에 따라 송신강도를 가변적으로 조절함으로써 인접 네트워크와의 신호간섭을 최소화하는 가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크 방식을 제안하고, 이의 성능을 시뮬레이션을 통하여 구한다.

## 2. 관련연구

신호간섭은 무선망 전송효율을 저하시키며 또한 에너지 낭비의 원인으로도 작용한다. 신호간섭의 감소는 ad-hoc 망 분야에서 에너지 절약 및 전송 효율 증가 측면에서 많은 연구가 수행되었다. Martin Burkhart 등은 여러 신호간섭의 감소를 목적으로 한 토폴로지 제어 기법의 효율성을 비교 분석하였고 또한 connectivity-preserving, spanner construction을 포함한 신호간섭 최소화 방안을 제안하였다[1]. N. M. Karagiogas 등은 무선 ad-hoc 망에서의 신호간섭 감소를 위하여 전송경로를 구분하여 서로 다른 송신강도로 통신을 진행하는 multicost routing 기법을 제안하였다[2].

최근 다른 속성의 무선통신망에서도 무선통신망의 신호간섭을 통신망 성능분석의 주요한 요소로 고려하고 있다. Giuseppe Bianchi[4]은 IEEE 802.11의 RTS/CTS 교환 절차를 포함한 CSMA/CA 프로토콜 기반 성능분석 연구를 수행하였다. CSMA/CA 특성상 IEEE 802.11에서 높은 전송거리를 갖는 무선매체는 더욱 많은 인접 매체들에게 데이터 전송을 감지(carrier sensing) 하도록 하며 이는 신호간섭 현상으로 전반적인 네트워크의 효율을 저하시킴을 보였다.

Sutep Tongngam는 [5]에서 전송범위 감소 접근법을 무선 broadcast 네트워크에 적용하였으며 이는 broadcast 지연을 감소시킴으로써 네트워크의 성능을 개선하는데 목적을 두고 있다. Ilenia Tinnirello와 Giuseppe Bianchi는 Wi-Fi 네트워크에서의 신호간섭 영향을 분석하였고 신호간섭을 시뮬레이션을 통하여 추정하는 방안을 소개하였다[6]. [7]에서는 클라이언트 노드가 규칙적으로 위치된 상태를 가정하여 고정 커버리지를 적용했을 때의 데이터 전송률을 분석하였다. Anand Kashyap 등은 [8]에서 Wi-Fi 네트워크에서 무선 트래픽의 패시브 모니터링 방안으로 신호간섭을 추정하는 방안을 소개하였다.

## 3. Wi-Fi 네트워크 신호 강도와 전송률

### 3.1 신호강도와 데이터 전송률

IEEE 802.11 Wi-Fi 네트워크는 Basic Station Set (BSS)의 그룹으로 구성되어 있다. 각 BSS는 한 개 이상의 AP가 relay station으로 하위 클라이언트 노드들에게 인터넷 트래픽의 중계 역할을 하여 무선 로컬 망을 구성한다.

클라이언트 노드가 여러 BSS에 걸쳐 존재할 때 특정 BSS의 특정 AP를 선택할 때 가장 많이 쓰이고 있는 기법은 수신신호강도 (Received Signal Strength Indication - RSSI)의 세기에 따른 AP 선택이다. 하지만 다수 Wi-Fi 대역폭에 대한 연구에 의하면 RSSI 측정에 따른 AP의 선택방식은 전송률 성능을 기반으로 한 네트워크 품질과는 차이가 있다는 점을 보여주고 있다 [9][10][11]. 이는 무선 환경에서의 통신품질은 송신강도 뿐만 아니라 신호간섭, 신호감쇄 등 여러 가지 요소의 영향을 받기 때문이다. 이를 고려하여 본 논문에서는 RSSI와 이에 따른 전송률의 변화를 신호간섭이 없는 환경에서 실험을 통하여 분석하였으며 추출한 데이터를 이용하여 무선신호간섭이 네트워크 전송률에 미치는 영향을 신호간섭이 있는 상황을 가정하여 시뮬레이션으로 분석하였다.

### 3.2 신호간섭이 없는 환경에서의 전송률

신호간섭이 없는 환경에서의 RSSI와 이에 따른 전송률의 변화를 측정하기 위한 실험환경을 구축하기 위해 <표 1>과 같은 사양을 갖는 무선장비를 선택하였다.

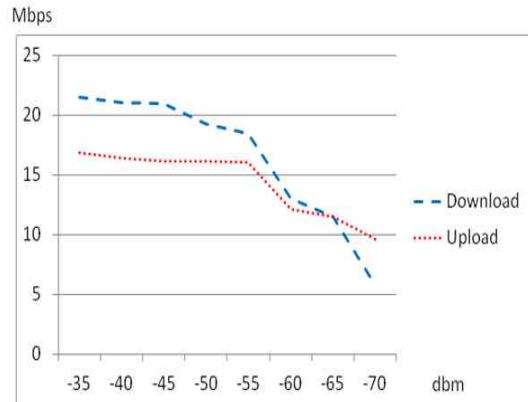
<표 1> 실험설비 사양

Wireless protocol	802.11g
Transmission power(AP)	18dBm
Antenna gain(AP)	4dBi
Receive sensitivity	-74dBm
Maximum signal range	70m
Maximum throughput	54Mbps

<Table 1> Experiment parameters

본 실험에서는 신호강도의 세기가 -35 dBm 으로부터 5 dBm의 간격으로 -70 dBm이 될때 까지 거리를 변화시키면서 업/다운로드 전송률을 측정하였으며 측정된 결과는 (그림 1)에 나타내었다.

(그림 1) 신호간섭이 없는 Wi-Fi 네트워크에서의 RSSI에 따른 전송률 변화



(Figure 1) Throughput in a Wi-Fi network without signal interference

실험설비 사양의 최고 전송률은 이론상 54 Mbps이지만 (그림 1)에서 실험결과가 최고 20 Mbps 좌우로 측정된 것은 802.11 네트워크에서의 프로토콜 오버헤드가 원인으로 되는데 이는 무선연결을 유지하기 위한 제어용 트래픽, 전송을 위한 요청/응답과 ACK 등의 트래픽, 인접 기지국을 탐색하고 관계를 유지하기 위한 트래픽 등을 포함하기 때문이다.

### 3.3 신호 전송 거리와 전송률

신호간섭이 무선망 전송효율에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 우선 동일한 전송범위 내에 위치한 활성화된 무선 Wi-Fi 망의 수를 계산하여야 하고 다음으로 각 Wi-Fi 망의 평균 전송률을 계산하여야 한다. 본 논문에서 사용한 다음의 신호전송범위에 대한 계산수식은 [12]에서의 경로손실 모델을 기반으로 한 수식을 인용하였다.

$$PL = PL_{1Meter} + 10\log(d^n) + s \tag{1}$$

$$RSSI = TxPower + AntennaGain - PL \tag{2}$$

윗 식에서 사용된 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

- PL : 송신 측과 수신 측 사이에서 발생한 경로 손실, 단위 dB

- $PL_{1Meter}$  : 송신 측과 수신 측 사이 거리가 1m 일때 발생한 경로 손실, 단위 dB
- $d$  : 송신 측과 수신 측 사이 거리, 단위 m
- $n$  : 환경요소에 따른 경로손실로서 자유 공간은 2, 실내 공간은 3.5 - 4.5 정도
- $s$  : Shadow fading 현상으로 인한 손실, 단위 dB, 일반적인 경우 3 - 7 dB.

수식 (1)과 (2)로부터 송신 측과 수신 측 사이의 전송거리  $d$ 를 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$d = 10^{\frac{TxPower + AntennaGain - RSSI - PL_{1Meter} - s}{10n}} \quad (3)$$

식 (3)과 3.2절의 실험에서 추출한 데이터로 계산한 AP와 클라이언트 노드 간 신호전송거리를 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 각 RSSI 레벨에서의 신호전송거리와 네트워크 전송률의 비교

RSSI	Distance	Throughput (Downlink)
-35dB	1 m	21.49Mbps
-40dB	1.778279m	21.03Mbps
-45dB	3.162278m	20.94Mbps
-50dB	5.623413m	19.25Mbps
-55dB	10m	18.42Mbps
-60dB	17.78279m	13.04Mbps
-65dB	31.62278m	11.47Mbps
-70dB	56.23413m	5.79Mbps

<Table 2> Network throughput and signal transmission distance at different RSSI values

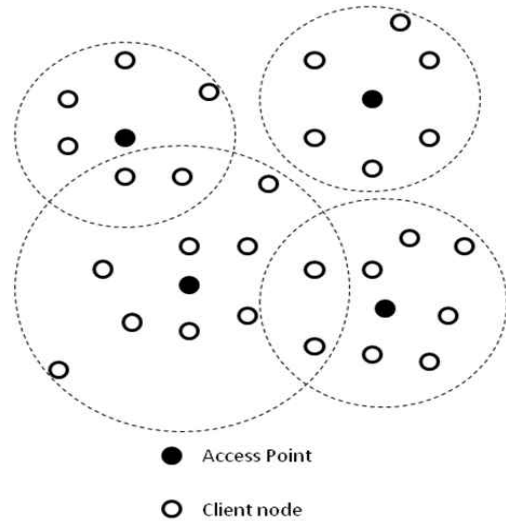
위의 표에서  $PL_{1Meter}$ 는 54 dB이고 환경요소에 따른 경로손실 변수  $n$ 은 자유공간을 가정하여 2로 지정하였으며, shadow fading 손실  $s$ 는 최소단위 3 dB를 이용하였다.

#### 4. 가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크

송신 신호강도를 크게하면 신호전송범위가 커져 인접 무선기기에 간섭을 주게 되며, 반면 신

호강도를 작게 하면 간섭이 줄어들게 됨으로써 전송률은 높아질 수 있으나 음영지역이 발생함으로써 일부 기기는 통신을 할 수 없는 경우가 발생한다. 이에 본 절에서는 무선기기의 위치와 RSSI에 따라 간섭을 최소화하기 위한 가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크 방식을 제안한다. (그림 2)는 제안한 네트워크의 한 예를 나타내고 있으며, 각 액세스포인트는 간섭을 최소화하기 위해 서로 다른 신호 전송범위를 갖고 있음을 알 수 있다.

(그림 2) 가변 커버리지 기반의 무선 Wi-Fi 네트워크의 한 예 : 각 액세스포인트는 간섭을 최소화하기 위해 서로 다른 신호 전송범위를 갖는다.



(Figure 2) An example of range-aware wireless Wi-Fi networks

가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크 방식은 다른 기기와의 신호간섭을 최소화함으로써 네트워크의 전송률을 높이고자 하는 목적을 갖는다. 이는 액세스포인트(AP)의 송신 파워를 커버리지 안에 있는 기기의 위치에 따라 가변적으로 조절함으로 이루어진다. AP가 가변 커버리지 네트워크를 구성하는 절차는 다음과 같은 3가지 단계로 이루어진다.

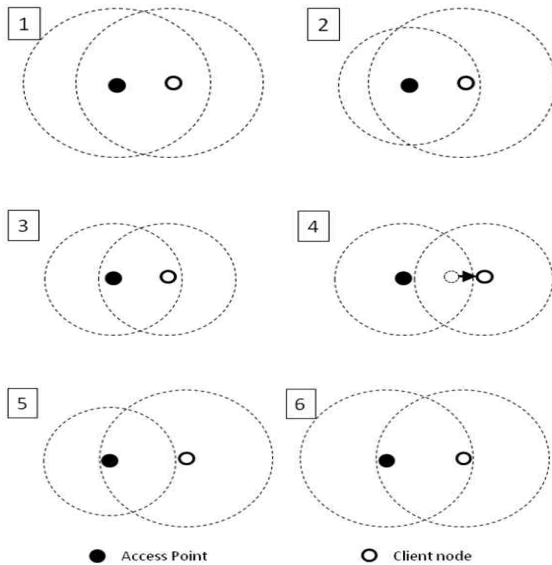
- ① 접속되어 있는 무선 기기들의 RSSI를 주기적으로 측정하여, 무선기기까지의 거리를 계산

한다.

- ② 가장 먼 거리에 있는 무선 기기에 맞추어 전송 커버리지가 되도록 송신 파워를 설정한다.
- ③ 설정된 송신파워의 값을 접속되어 있는 무선 기기들에게 공지한다.

접속되어 있는 클라이언트 무선 기기는 AP로부터 수신된 송신 파워값을 기준으로하여 AP가 전송 범위안에 들도록 자신의 송신 파워값을 설정한다. 만약 네트워크내의 클라이언트 무선기기가 이동을 하게 되면 이동한 위치에 따라 다시 AP 및 클라이언트 무선 기기의 송신 파워를 재설정한다. 재설정하는 과정을 (그림 3)에 나타내었다.

(그림 3) 클라이언트 무선 기기의 이동에 따른 전송 커버리지 설정 과정



(Figure 3) Transmission coverage as a client wireless device moves

(그림 3)의 각 절차별 설명은 다음과 같다.

- ① AP 및 클라이언트 무선 기기의 초기화 상태.
- ② AP가 클라이언트 무선 기기의 위치에 따라 커버리지를 조정. 송신 파워 설정하고 이 값을 공지.
- ③ 클라이언트 무선 기기는 공지된 송신 파워값

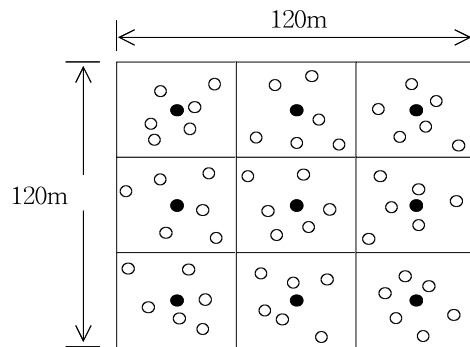
을 기반으로 AP가 전송 범위안에 들도록 자신의 송신 파워값을 설정.

- ④ 클라이언트 무선 기기가 AP로부터 멀어지는 쪽으로 이동
- ⑤ 클라이언트 무선 기기는 디폴트 송신 파워로 AP에게 전송
- ⑥ AP는 클라이언트 기기와의 거리를 다시 계산하여 전송 커버리지를 재조정.

### 5. 실험구성과 분석

제안된 방식에 대하여 성능향상정도를 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지는 (그림 4)에서 보여준 바와 같이 구성된다. 120 m x 120 m 공간이 9개의 cell로 분리되어 있고 cell당 한 개 AP가 중심에 위치하여 있으며 각 셀마다 6개의 노드가 셀 내에서 랜덤하게 위치된 상황을 가정하였다. 네트워크 전송률은 downlink(AP에서 노드)로 측정되었고, AP의 송신강도를 클라이언트 노드의 위치에 따라 18 dBm, 13 dBm, 8 dBm 등 3가지로 설정하여 비교하였다. 본 시뮬레이션은 모든 노드가 동일한 채널을 사용함으로써 가정하였고 채널할당 시간은 거리에 따른 대역폭의 변화와 관련 없이 동일하도록 가정하였다.

(그림 4) 시뮬레이션 토폴로지

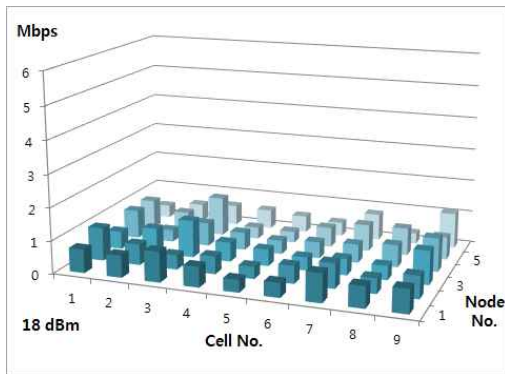


- Access Point
- Client Node

(Figure 4) Simulation topology

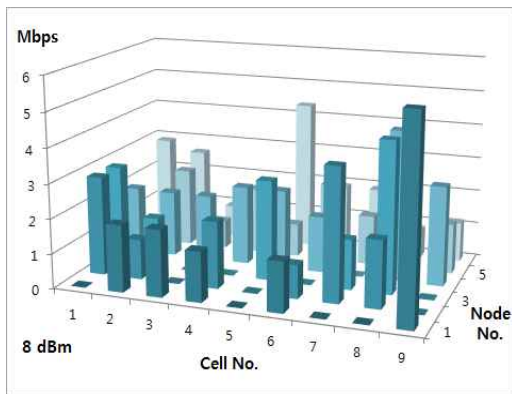
가변 전송 커버리지 네트워크의 성능향상을 비교하기 위해 먼저 가변 전송 커버리지가 적용되지 않는 일반 네트워크 경우를 먼저 살펴볼 필요가 있다. (그림 5)는 AP가 클라이언트 무선 기기의 위치에 관계없이 송신 파워를 18 dBm로 설정하여 시뮬레이션 한 결과이다. 모든 무선 기기들이 균등하게 데이터 전송률을 나타내고 있으나, 이웃 무선 네트워크와의 신호 간섭의 효과로 전체적으로 낮은 전송률을 보여준다.

(그림 5) 송신강도 18 dBm에서의 랜덤하게 위치한 6 x 9 무선 기기별 전송률 분포도



(Figure 5) Node throughputs at randomly located 6 x 9 topology and 18 dBm transmission power

(그림 6) 송신강도 8 dBm에서의 랜덤하게 위치한 6 x 9 무선 기기별 전송률 분포도

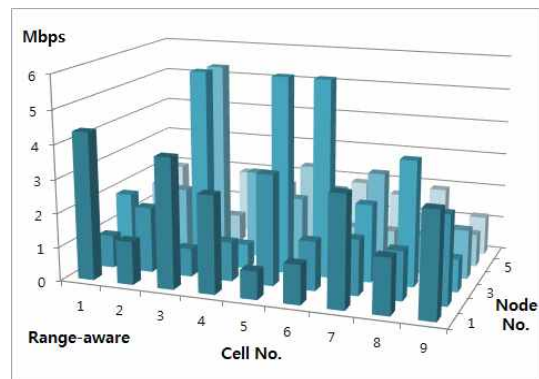


(Figure 6) Node throughputs at randomly located 6 x 9 topology and 8 dBm transmission power

반면 (그림 6)은 8 dBm로 AP의 송신 파워를 설정한 경우이다. 인접한 네트워크와의 신호 간섭 영향이 적기 때문에 일부 무선기기의 데이터 전송률은 (그림 5)의 경우보다 훨씬 높았다. 그러나 AP의 송신파워가 적어 전송 커버리지가 작아 음영지역이 발생할 수 있다. 그러므로 일부 기기들은 AP와의 접속이 끊어지는 현상이 나타난다.

(그림 7)은 본 논문에서 제안한 가변 커버리지 방식의 시뮬레이션 결과이다. AP의 송신 파워는 클라이언트 무선 기기의 위치에 따라 18 dBm, 13 dBm, 8 dBm 중의 하나로 가변적으로 설정된다. 그림에서 볼 수 있듯이 음영지역이 발생하지 않으며, 데이터 전송률이 (그림 5)와 (그림 6)의 경우보다 훨씬 좋게 나오는 것을 알 수 있다. 즉 클라이언트 무선기기와의 거리에 따라 최적의 송신 파워를 설정함으로써 인접 네트워크와의 신호 간섭을 최소화하고, 이는 RSSI를 높이는 효과가 있으며, 결과적으로 데이터 전송률의 향상으로 나타나기 때문이다.

(그림 7) 가변 전송 커버리지 네트워크에서의 랜덤하게 위치한 6 x 9 무선 기기별 전송률 분포도

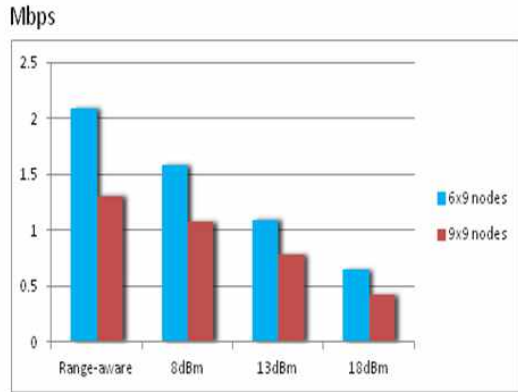


(Figure 7) Node throughputs at randomly located range-aware 6 x 9 topology

(그림 8)은 가변 전송 커버리지가 적용되지 않은 네트워크에서 AP의 송신 파워가 8 dBm, 13 dBm, 18 dBm의 3가지 경우와, (그림 7)의 가변 전송 커버리지 네트워크에서의 무선 기기 당 평균 데이터 전송률을 비교한 내용이다. 셀 당 6개의 무선 기기가 랜덤하게 배치된 경우

(6×9 경우)에 추가하여 셀 당 9개의 무선 기기가 랜덤하게 배치된 경우(9×9 경우)의 시뮬레이션 결과가 같이 포함되었다.

(그림 8) 가변 커버리지 네트워크와 일반 네트워크의 데이터 전송률 비교



(Figure 8) Average throughput comparisons of different transmission powers and range-aware network

(그림 8)의 비교에서 볼 수 있듯이 제안한 가변 전송 커버리지 네트워크의 경우가 그렇지 않은 경우보다 더 좋은 데이터 전송률을 보여주고 있다. 셀 당 9개의 무선 기기가 배치된 경우의 수치가 6개의 무선 기기가 배치된 경우보다 낮게 보여지고 있는 것은, (그림 8)에서 제시된 수치가 무선 기기당 수치이기 때문이다. 즉 9개의 무선 기기가 위치하고 있으면 네트워크의 전체 용량을 9등분하여 나누어 사용하게 되기 때문에 6등분하여 나누어 사용하는 경우보다 낮게 나오게 된다.

## 6. 결론

Wi-Fi 로컬 망에서의 네트워크 성능은 연결된 AP로부터의 수신강도에 의하여만 결정되는 것이 아니라 다른 무선 Wi-Fi 망으로부터의 신호간섭으로부터도 영향을 받는다. AP로부터의 수신강도가 클수록 서로 간에 신호간섭을 받을 확률도 높아진다. 반면 AP의 송신강도를 작게 설정하면 신호간섭의 감소로 네트워크 전송률이

증가할 수 있지만 반면 음영구역의 생성으로 무선신호가 일부 사용자 노드에게 도달할 수 없는 경우도 발생한다.

이에 본 논문에서는 신호강도, 신호간섭 및 전송률간의 상호 관계를 분석하고, 송신 강도와 전송률의 tradeoff로서 무선기기의 위치 및 RSSI에 따라 송신강도를 가변적으로 조절함으로써 인접 네트워크와의 신호간섭을 최소화하는 가변 커버리지 기반의 Wi-Fi 네트워크 방식을 제안하고, 이의 성능을 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 성능 분석 결과 제안된 가변 전송 커버리지 네트워크가 그렇지 않은 일반 네트워크보다 월등한 성능향상을 보여줌을 알 수 있었다.

## References

- [1] Martin Burkhart, Pascal von Rickenbach, Roger Wattenhofer, Aaron Zollinger, "Does topology control reduce interference?", Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2004
- [2] Karagiorgas, N.M., Kokkinos, P.C., Papageorgiou, C. A., Varvarigos, E.A, "Multicast Routing in Wireless AD-HOC Networks with Variable Transmission Power", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE 18th International Symposium, PP. 1 - 5, 2007
- [3] Jie Zhang, Choong Kyo Jeong, Goo Yeon Lee, Hwa Jong Kim, "Cluster-Based Multi-Path Routing for Multi-Hop Wireless Networks," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 45, No. 6, PP. 114-121, Nov. 2008
- [4] Giuseppe Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", Selected Areas in Communications, Vol. 18, PP. 535 - 547, 2000
- [5] Sutep Tongngam, "A Reducible Transmission Range Approach for Interference-Aware Broadcasting in Wireless Networks", International Conference on Future Information Technology, PP. 144 - 148, 2011

[6] Tinnirello, I. Bianchi, G., "Interference Estimation in IEEE 802.11 Networks", Control Systems, Vol. 30, PP. 30-43, 2010

[7] Jie Zhang, Goo Yeon Lee, and Hwa Jong Kim, "Signal Interference of Neighboring Wi-Fi Networks on Data Throughput," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49, No. 11, PP. 17-23, November 2012

[8] Anand Kashyap, Utpal Paul, Samir R. Das, "Deconstructing Interference Relations in Wi-Fi Networks", Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 7th Annual IEEE Communications Society Conference, PP. 1 - 9, 2010

[9] Yutaka Fukuda, Masanori Honjo, Yuji Oie, "Development of Access Point Selection Architecture with Avoiding Interference For WLANs", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE 17th International Symposium, 2006

[10] Heeyoung Lee, Seongkwan Kim, Okhwan Lee, Sunghyun Choi, Sung-Ju Lee, "Available Bandwidth-Based Association in IEEE 802.11 Wireless LANs", Proceedings of the 11th international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, 2008

[11] Daniel Wu, Petar Djukic, Prasant Mohapatra, "Determining 802.11 Link Quality with Passive Measurements", Wireless Communication Systems, IEEE International Symposium, PP. 728 - 732, 2008

[12] Cisco, "Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide - Location Tracking Approaches", 2008

[13] Ju-Ho Lee, Goo-Yeon Lee and Choong-Kyo Jeong, "IEEE 802.16j MMR System for Cost-Efficient Coverage Extension", Journal of Digital Contents Society, Vol. 14, No. 2, PP. 191-197, Jun. 2013



**장 결**

2009년 : 강원대학교 컴퓨터학부 (석사)  
2009년~현재 : 강원대학교 컴퓨터학부 박사과정

관심분야 : 인터넷, Wireless Network, QoE, 통신프로토콜, 통신망성능분석



**이 구 연**

1986년 : 서울대학교 전자공학과 (학사)  
1988년 : KAIST 전기및전자공학과 (석사)  
1993년 : KAIST 전기및전자공학과 (박사)

1993년~1996년: 디지콤정보통신 연구소  
1996년: 삼성전자  
1997년~현재: 강원대학교 컴퓨터학부 교수  
관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 인터넷, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크



**김 화 중**

1984년 : KAIST 전기및전자공학과 (석사)  
1988년 : KAIST 전기및전자공학과 (박사)  
1988년~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 데이터 통신, 컴퓨터네트워크, 네트워크 프로그래밍