

무선랜 시스템을 위한 안테나 설치 최적화 방안

이창훈^o, 김성철, 이상홍*, 김성만*, 이미숙*
서울대학교 전기,컴퓨터 공학부, 한국통신*

Antenna deployment optimization for the WLAN systems

Chang-Hoon Lee^o, Seong-Cheol Kim, Sang-Hong Lee*, Seong-Man Kim* and Mesuk Lee*
Department of Electronics Engineering, SNU and Service Development Laboratory, Korea Telecom*
< ichjsa@maxwell.snu.ac.kr >

요약

무선랜 서비스에서 최적화된 AP 위치를 찾는 것은 중요한 이슈가 되어왔다. 적절한 곳에 AP 를 위치시킴으로써 AP 의 개수와 인접 채널의 간섭을 최소화 시킬 수가 있기 때문이다. 하지만, 이러한 AP 최적화 문제는 주로 경로 손실 모델을 적용한 셀 설계와 관련하여 다루어졌으며, 송신단에 장착되어 있는 안테나의 위치 문제에 관해서는 소홀하게 다루어져 왔다. 본 논문에서는 무선 통신 환경에서의 프레넬 영역을 정의하고 프레넬 영역을 고려한 AP 설치 방안을 제시하였다. 또한, 송신 안테나에서 직접 받은 전파와 벽으로부터 반사되어 나온 1 차 반사파에 의한 상쇄 효과를 최소화할 수 있는 방안을 제시하였다.

1. 서론

최소의 AP 를 이용하여 간섭을 최소화하면서 셀을 설계하는 것은 무선랜 설계의 가장 핵심이 되는 내용이다. 훌륭한 셀 설계를 하기 위해서는 서비스 이용자 수, 서비스 지역의 면적, 서비스 지역의 환경 등이 고려되어야 한다. 이제까지의 셀 설계는 서비스 지역에 대한 경로 손실 모델을 획득하여 안정된 서비스를 위한 수신 감도에 대한 셀 반경을 도출해내어 적용하는 것이었다[1]. 이러한 셀 설계 방식은 많은 비용 절감과 시간의 절약을 가져올 수 있었으나 몇 가지 문제점이 있다. 무선랜 네트워크 시스템은 셀룰라 네트워크 시스템에 비하여 서비스 반경이 매우 작으며(10~50m), AP 가 셀의 중앙이 아닌 벽에 위치하는 경우가 대부분이다. 따라서, 셀 설계는 벽에 위치한 AP 를 중심으로 이루어져야 하는 것이다. 벽의 성질과 안테나와 벽과의 거리에 따라 수신 전파의 강도가 달라지며 결국 무선랜 서비스 품질이 달라질 수 있기 때문이다. 또한, 무선랜 시스템은 셀룰라 시스템과는 달리 옥내에서 서비스 하는 경우가 대부분이다. 기지국이 옥외에 설치되는 셀룰라 네트워크에서는 기지국을 설치 할 때 주변 환경에 크게 영향을 받지 않는다. 기지국의 대부분을 고층 건물의 옥외에 설치하기 때문에 서비스 업체들은 단말기와 기지국 사이의 시야를 확보하기 위하여 가능한 최고의 높이에 송신 안테나를 설치 하고 있다. 하지만, 무선랜 서비스는 대부분 옥내에서 제공되고 있고 그로 인해 대부분의 AP 는 실내에 설치되어 있다. 건물의 환경에 조금씩 다르기는 하지만, 시야를 확보하기 위하여 최대한 확보할 수 있는 안테나의 높이는 2.5~4(m)이다. 게다가, 안테나의 높이를 천정에

가깝게 위치시킴으로써 1 차 프레넬 영역 내에 천정이 위치하게 되어 무선랜의 성능이 나빠지게 된다. 송, 수신단 사이에 시야가 확보되었다고 해서 좋은 셀 설계가 되는 것이 아니다. 프레넬 영역 내에 벽이나 천정과 같은 장애물이 존재하게 되면, 경로 감쇄는 더욱 크게 일어나며 따라서 LOS 를 확보하였음에도 불구하고 통신 성능이 떨어진다. 본론에서는 지금까지 언급한 내용들을 살펴보고 제기된 문제점에 대한 극복 방안을 제시하였다. 3 장에서는 AP 안테나와 벽과의 거리에 따른 수신 신호 세기의 특성과 벽의 종류에 따른 수신 신호 세기의 특성을 분석하였고, CW (Continuous wave) 측정을 통하여 결과를 비교 하였다. 4 장에서는 실제 무선랜 통신 환경에서의 프레넬 영역을 정의하였다. 그리고, 송신 안테나와 천정과의 거리에 따른 수신 신호 세기를 측정하고 그 결과를 분석하고 이를 바탕으로 실내 환경에서 서비스되고 있는 무선랜 서비스에 맞는 최적의 안테나 위치를 제안하였다.

2. 수신 신호 세기와 LAN 전송 속도

무선랜 서비스에서 수신 신호의 세기는 서비스의 품질과 밀접한 관계를 갖고 있다. 그림 1 은 실제 무선랜 전송 속도와 수신 신호의 세기의 관계를 나타낸 결과이다. 결과에서 수 있듯이 수신단이 - 90dBm 이상의 신호 세기를 갖는 신호를 수신하여야 서비스가 가능하며, 높은 데이터 전송률의 서비스를 제공하기 위해서는 수신 신호 세기가 - 75dBm 이상이 되어야 한다[2]. 사용자가

많지 않은 서비스 지역에서 새로운 서비스 지역을 위하여 또 다른 AP 를 설치하는 것은 비용의 낭비로 이어진다. 따라서, 서비스 가입자가 많지 않은 지역에서는 AP 의 위치를 최적의 위치에 오게 하여, 별도의 AP 추가 없이 모든 가입자에게 양질의 서비스를 제공할 수 있어야 한다[3]. 하지만, 적절한 AP 위치를 잡았다고 하더라도 음영 지역이 발생하게 되며 음영 지역에서는 무선랜의 성능이 급격하게 떨어지게 된다. 이럴 경우, AP 의 안테나를 적절하게 위치하여 송신단의 출력을 높이지 않고서 수신 신호 세기를 3~4dB 정도 높일 수 있다.

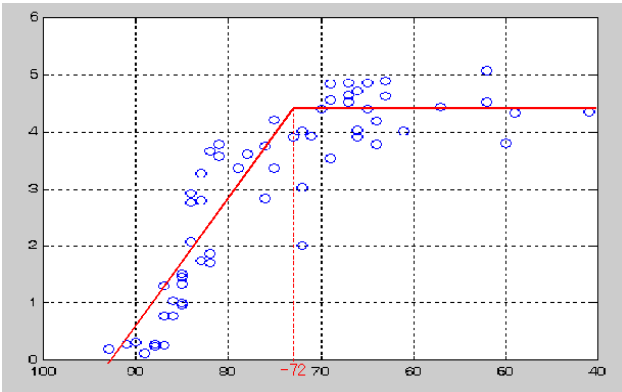


그림 1. 수신 신호 세기와 전송 속도
(송신 파워 : 20dBm,

송신 안테나 높이 : 2.3m, 수신 안테나 높이 : 1m)

3. 벽으로부터의 안테나 거리

AP 를 설치할 때 안테나와 벽의 거리는 중요한 이슈가 된다. 전파는 장애물을 만났을 때 전파의 일부는 장애물을 투과하고 일부는 반사되어진다. 장애물의 성질에 따라 투과율과 반사율이 달라진다. 대부분의 AP 는 벽이나 천정 가까이 위치하게 되며 따라서 벽이나 천정의 성질에 따라 수신되는 전파의 강도가 달라지게 된다. AP 에 쓰이는 안테나는 대부분 옴니 안테나를 사용하고 있다. 따라서, 수신 안테나는 송신 안테나에서 직접 온 전파와 다른 장애물에 반사되어 오는 전파들을 동시에 수신하게 된다. 수신된 전파들은 그 특성에 따라 보완적인 관계를 보이기도 하며, 상쇄 효과가 발생하기도 한다. 상쇄 효과가 발생하는 경우에는 신호의 세기가 약해져 무선랜 성능을 약화시킨다. 따라서, 이러한 불안정 요소를 최소화하기 위하여 서비스 지역의 한 가운데에 AP 를 설치하여야 한다. 그러나, 비용적인 측면에서 천정과 벽에 가깝게 위치하는 것이 기존 유선 인프라에 접근하기 쉽고, 유지 보수가 용이하다. 그러므로, 벽의 성질과 벽에서의 안테나 위치에 따른 전파

모델을 그림 2 에 나타내었다[4]. 송신 안테나와 수신 안테나는 벽에 대하여 수직으로 일직선 상에 위치해 있다. 따라서, 수신단에서는 안테나에서 직접 전달되는 전파와 벽에 반사되어 오는 전파 두 가지를 동시에 수신하게 된다..

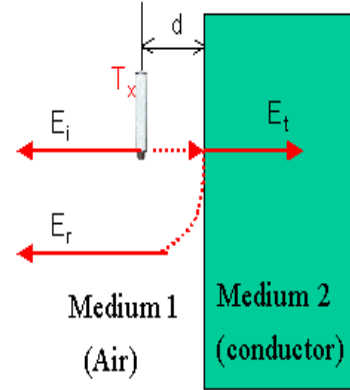


그림 2. 안테나 위치에 따른 전파 모델링

다중 반사에 의한 수신 신호의 크기는 직접적으로 오는 전파와 1 차 반사파에 비하여 작기 때문에 고려하지 않았다. 따라서, 수신단에서의 수신 신호의 전파 세기는 식(1)과 같다

$$E_1(z) = E_i(z) + E_r(z) = a_x E_{i0} (e^{j\beta_1 z} + \Gamma e^{j\beta_1 z} e^{j\beta_1 2d}) \quad (1)$$

벽의 반사 계수는 식 (2)와 같다.

$$\Gamma = \frac{E_{r0}}{E_{i0}} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}, \quad \eta_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\epsilon_1}} \quad (2)$$

안테나가 도체 벽에 위치 한다면 반사계수는 -1 이 되고 수신 안테나에서의 신호의 세기는 식(3) 과 같다.

$$\Gamma = -1 \rightarrow E_1(z) = a_x (e^{j\beta_1 z} - e^{j\beta_1 z} e^{j\beta_1 2d}) \quad (3)$$

그러므로, $e^{j\beta_1 2d}$ 값에 따라 수신 안테나에서의 신호의 크기는 크게 달라지며, 이 위상차는 벽으로부터 안테나의 거리와 관계가 있다.

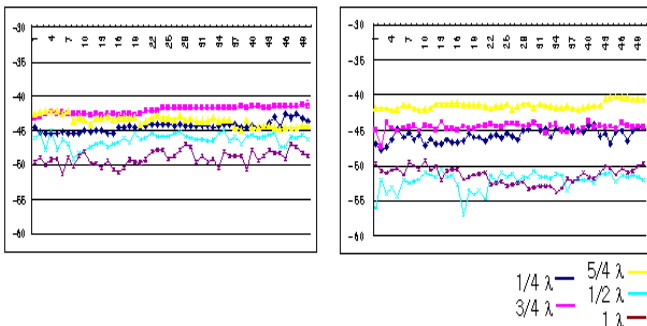
$e^{j\beta_1 2d} = 1$ 인 경우에는 상쇄 효과가 발생하게 되며 안테나의 위치는 아래와 같다.

$$\beta_1 2d = 2n\pi \rightarrow d = \frac{n\lambda}{2} \quad (4)$$

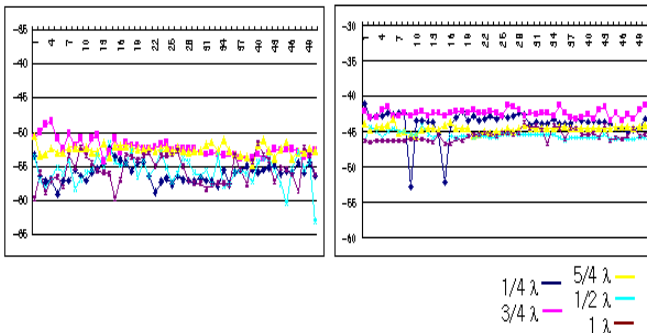
$e^{j\beta_1 2d} = -1$ 인 경우에는 보완 효과가 발생하게 되며 안테나의 위치는 아래와 같다.

$$\beta_1 2d = 2n\pi + \pi \rightarrow d = \frac{n\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} \quad (5)$$

그림 3은 금속 벽과 콘크리트 벽에서 AP를 설치할 때 안테나 위치에 따른 수신 신호 세기를 측정할 결과이다. 그림 (a)는 송신단을 금속 벽에 위치한 결과이고, (b)는 콘크리트 벽에 위치한 결과이다. 각각의 환경에 대하여 송신단의 안테나 위치를 $\lambda/4$ 씩 이동하면서 측정하였다. 송신기와 수신기의 위치는 송, 수신 안테나를 잇는 연장선이 벽에 수직하게 만나게 하도록 하였다. $n\lambda/2$ (n =정수) 인 경우 상쇄 효과가 발생한다. 금속 벽에 안테나를 설치하였을 경우에는 최대 8dB 정도로 수신 신호의 크기의 차이가 보이고 있으며, 콘크리트 벽의 경우에는 4dB 정도의 크기 차이가 보임을 알 수 있다. 특히 벽의 구조가 도체 벽인 경우는 그 현상이 심하게 나타난다. 금속 벽의 반사계수는 일반 벽보다 반사계수보다 크기 때문에 상쇄 효과가 더욱 크게 나타난다. 따라서, 부득이하게 금속 벽에 AP를 설치할 경우에는 좀 더 주의해서 AP를 설치할 필요가 있다. 특히, 802.11a (5.8GHz) 서비스의 경우에는 보안 효과와 상쇄 효과가 발생하는 안테나 위치의 간격이 1.1cm 가 되므로, AP 설치 시 각별한 주의를 기울여야 할 것이다.



(a) 금속 벽



(b) 콘크리트 벽

그림 3. 벽의 특성에 따른 측정 결과

(송신 파워 : 20dBm)

송신 안테나 높이 : 2m, 수신 안테나 높이 : 2m)

4. 천정으로부터의 안테나 거리

Fresnel 영역은 송신단과 수신단의 위치가 초점이 되는 타원형을 나타내는 영역이다[5]. Fresnel 영역의 정의는 식(6)과 같다.

$$r_2 - r_1 = \frac{n\lambda}{2} \quad (6)$$

그림 4는 일반적인 무선랜 환경에서의 Fresnel 영역을 나타낸 것이다. 단순히 LOS 만이 확보되었다고 하여 좋은 통신환경이 되는 것은 아니다. 송, 수신단 사이에 LOS를 확보하였어도 송/수신 안테나에 의해 형성되어지는 Fresnel 영역에 천정, 바닥 그리고 벽과 같은 장애물이 존재하는 경우에는 통신 환경이 급격히 나빠지게 된다. 이제껏 Fresnel 영역에 많은 연구가 이루어졌다. 실제로 많은 논문에서 Fresnel 영역에서 장애물이 있는 경우 경로 감쇄의 exponent 값은 약 4.0 이상의 값을 보인다는 결과를 말해왔다[5]. 따라서, Fresnel 영역 확보의 관점에서 최적의 안테나 위치를 찾는 것은 무선랜 서비스 품질 향상을 위한 좋은 방법이 될 것이다. 따라서, 그림 4에서 천정과 바닥이 송/수신 안테나에 형성되어지는 Fresnel 영역을 침범하지 않게 AP를 설치하는 것이 중요하다.

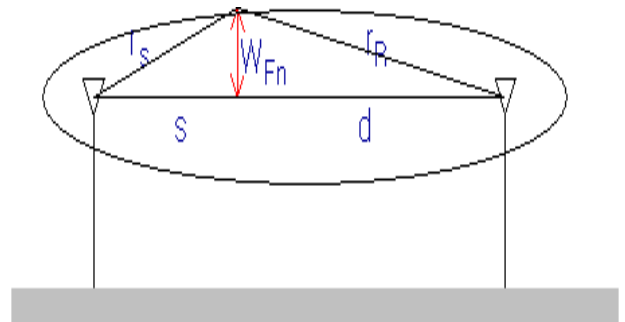


그림 4. Fresnel 영역의 정의

송신단으로부터 s(m), 수신단으로부터 d(m) 만큼 떨어진 거리에서의 타원의 높이는 아래 식과 같다 [7].

$$W_{Fn} = \sqrt{n \frac{\lambda s d}{s + d}} \quad (6)$$

그림 5는 송신 안테나가 천정에 가깝게 설치되어 있는 환경을 나타낸 그림이다. 이런 경우 Fresnel 영역을 나타내는 타원은 기울게 된다. 수신 안테나의 위치는 대개 1m 정도의 높이에 위치하게 되므로, 바닥에 대해서는 충분히 공간을 확보하게 되어 바닥에 대한 Fresnel 영역은 안전하다고 할 수 있다. 따라서, 실제 안테나 설치에서는 송신

안테나와 천정의과의 거리만을 고려해주면 된다.

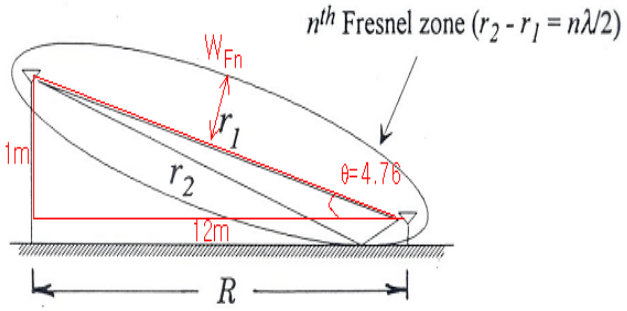


그림 5. 무선랜 환경에서의 Fresnel 영역

1 차 Fresnel 영역에서 타원의 높이는 $s=d=R/2$ 일 때 가장 높이 나타나게 된다. 따라서, 타원의 높이는 아래와 같이 된다.

$$W_{F1} = \frac{\sqrt{\lambda R}}{2} = \frac{\sqrt{0.125 \times 12}}{2} = 0.61m \quad (7)$$

송신단과 수신단이 마주보는 각도는 식(8)과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{16}\right) = 4.76 \quad (8)$$

따라서, 가장 높은 위치의 점을 마주보는 각도만큼 회전시키면 식 (9)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s \\ W_{Fn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s \cos \theta + W_{Fn} \sin \theta \\ -s \sin \theta + W_{Fn} \cos \theta \end{pmatrix} \quad (9)$$

따라서, Fresnel 영역의 높이는 식(10)과 같다.

$$d = -s \sin \theta + \sqrt{\frac{\lambda s}{2}} \cos \theta = 0.11m \quad (10)$$

따라서, 천정에서 약 12cm(1λ) 이내의 거리에 안테나가 위치하게 된다면 신호 품질이 나빠진다. 2.4GHz 대역의 802.11b 무선랜 서비스에서 AP 를 설치할 때 안테나는 천정으로부터 12cm(1λ) 이상의 거리에 위치시켜야 한다. 그림 6 은 안테나 높이에 따른 수신 신호의 세기를 구하기 위한 CW 측정 시스템 구성도이다. 송신 안테나의 높이는 2.5m 이며, 수신 안테나의 높이는 1m 이다. 송신 안테나의 출력은 802.11b 무선랜 최대 출력인 20dBm (100mW)이다[6][7].

그림 7 은 송신 안테나를 천정에서 서서히 내리면서 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 결과 처럼 천정으로부터 0.5λ 의 거리에 안테나를 설치 하였을 때에는 최대 5dB 정도 신호의 세기가

약해짐을 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 송, 수신 안테나에 의해 형성되어진 Fresnel 영역내에 천정이 존재하기 때문이다. 따라서, 좀 더 큰 파워의 신호를 수신하고자 한다면 천정으로부터 최소한 1λ 이상의 거리에 안테나가 위치할 수 있게 AP 를 설치하여야 한다.



그림 6 . 측정 환경과 시스템

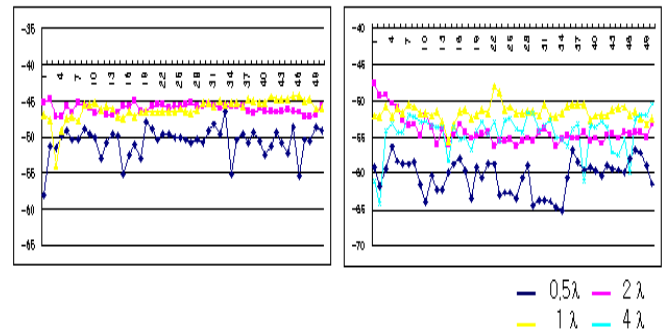


그림 7 안테나 높이에 따른 측정 결과

(송신 파워 : 20dBm

송신 안테나 높이 : 2m, 수신 안테나 높이 : 1m)

5. 결론

AP 의 설치하는 무선랜 성능을 결정하는 중요한 요소이다. AP 는 기본적으로 LOS 를 최대한 확보할 수 있게 서비스 지역의 한가운데에 가장 높은 곳에 위치하여야 하지만, 설치 비용과 기존 유선망으로의 접근 용이성으로 인해 부득이하게 그렇지 못하는 경우가 대부분이다. 대부분의 AP 는 천정과 벽에 가까이 위치하고 있으며 그로 인하여 다음과 같은 문제가 발생한다.

첫째, 송 / 수신 안테나가 천정에 가깝게

위치함으로써 송, 수신단에 의해 형성되어지는 프레넬 영역에 천정이 존재할 수 있게 된다. 따라서, AP 를 설치할 때는 프레넬 영역을 고려하여 설치하여야 한다. 하지만, 안정적인 프레넬 영역 확보를 위하여 천정과 바닥의 중간 위치에 AP 를 설치하면 LOS 확보에 문제가 발생한다. 따라서, 천정이 프레넬 영역을 침범하지 않으면서, LOS 를 최대한 확보할 수 있는 곳에 AP 를 설치하는 것이 중요하다.

둘째, 송신 안테나에서 직접 전달된 전파와 벽에서 반사되어 나온 전파가 서로 상쇄 효과를 일으켜 수신 신호 세기가 나빠지게 된다. 전체 셀의 성능에서 벽에서 반사되어 나온 반사파에 의한 상쇄 현상은 품질 저하의 주요 원인이 된다. 특히 금속 벽에 설치한 경우는 반사 계수가 다른 일반 벽보다 커 상쇄 현상의 효과가 더 크게 나타나게 된다. 따라서, 벽에 AP 를 설치할 경우에는 이러한 상쇄 현상을 감소 시킬 수 있는 위치를 선택하여야 한다. 위의 두 가지 부정적인 현상을 방지하기 위해서 AP 는 다음과 같이 설치하여야 한다.

1. 벽으로부터는 $d = \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2}$ (n :정수) 의 거리에

위치하여야 한다. 이 경우, 수신 신호는 반사파에 의해서 보완효과가 발생하여 상쇄 효과가 나타나는 경우보다 파워 세기가 더 큰 신호를 수신할 수 있다.

2. 천정으로부터의 위치는 1λ ($\approx 12.5\text{cm}$) 이상 떨어져도록 설치한다. 이 경우 천정이 프레넬 영역 밖에 존재하게 되어 파워 세기가 큰 신호를 수신할 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] Hakki CAVDAR, O.AKCAIY “The Optimization of Cell Sizes and Base Stations Power Level in Cell Planning” VTC, 2001 spring. IEEE VTS 53rd, volume:4, 6~9 May, 2001.
- [2] 이재원, “5.8GHz 채널 특성과 무선랜 성능의 상관 관계” 석사 학위 논문, 서울대학교 2004 년 2 월
- [3] Matthias Unbehauen, Max Kamenetsky, “On the deployment of pico-cellular wireless infrastructure” IEEE Wireless Communications December 2003
- [4] Constantine A. Balanis “Advanced Engineering Electromagnetics”
- [5] Henry L. Bertoni “Radio Propagation for Modern Wireless systems” Prentice Hall PTR
- [6] IEEE Std 802.11b-1999 Supplement To IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications And Information Exchange Between Systems – Local And Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) And Physical Layer (PHY) Specifications : Higher –

speed Physical layer Extension in the 2.4 GHz Band
 [7] Richard van Nee, Ramjee Prasad “OFDM for Wireless Multimedia communications”, Trittech House”