

LTE 셀룰라 시스템과 무선랜의 양립성 분석

Compatibility between LTE Cellular Systems and WLAN

조 한 신

Han-Shin Jo

요 약

국제무선접속 표준그룹인 3GPP에서 정의된 long-term evolution(LTE) 셀룰라 서비스 후보대역 중 2.3~2.4 GHz 대역은 무선랜 대역(2.4~2.5 GHz)과 인접하고 있기 때문에 두 시스템의 양립성 평가를 위한 간섭 분석 연구가 필요하다. 본 연구에서는 무선랜으로부터의 간섭신호가 LTE 시스템에 미치는 영향을 정확히 분석하기 위해 동적 시스템 시뮬레이션을 이용한 간섭 분석 방법을 제안한다. 동적 시스템 시뮬레이션은 공간/시간/주파수에 따라 변하는 시스템 변수를 모사하여 실제 환경에 유사한 결과를 예측할 수 있는 장점을 갖고 있다. 제안한 시뮬레이터를 이용해 두 시스템 간의 주파수 이격의 변화에 따른 LTE 하향 링크 throughput 감소율을 계산하였다. 두 시스템 간에 11 MHz(무선랜 AP의 동일 채널 할당) 및 10 MHz(무선랜 AP의 3채널 할당)의 보호대역을 설정할 경우, 1 % 미만의 throughput 감소율을 확보할 수 있었다.

Abstract

3GPP long-term evolution(LTE) band 2.3~2.4 GHz is adjacent to 2.4~2.5 GHz band for WLAN, and therefore compatibility study of the two systems is desirable. We propose a dynamic system simulation methodology to investigate the effect of WLAN interference on LTE systems. As capturing space/time/frequency changes in system parameters, the dynamic system simulation can exactly predict real system performance. Using the proposed methodology, we obtain LTE downlink throughput loss for the frequency separation between the two systems. Throughput loss under 1 % is obtained from guard band over 11 MHz(single channel allocation) or 10 MHz(three channel allocation).

Key words: LTE, WLAN, Dynamic System Simulation, Compatibility, Guard Band

I. 서 론

Long-term evolution(LTE)은 대표적인 4세대 고속 무선 데이터 패킷 통신규격으로서 3세대 비동기식 이동통신기술 표준화기구인 3rd generation partnership project(3GPP)에 의해 2008년 제안되었으며, 4세대 통신규격 중 가장 널리 사용되고 있다. 3GPP에서는 LTE 시스템을 위해 총 44개

의 주파수 대역을 정의하고 있다^[1]. 현재 대역 40(2,300~2,400 MHz)은 한국을 비롯하여 캐나다, 중국, 인도 등 많은 국가에서 시간 분할 듀플렉싱(TDD) 방식의 LTE 서비스를 위해 할당되어 있다^[2]. 또한, 호주, 홍콩, 인도 등 여러 국가는 대역 40에서 실제 LTE 서비스를 운영하고 있으며, 한국 또한 이 대역에서의 LTE 서비스가 예상된다. 한편, 대역 40은 무선랜 대역(2,401~2,495 MHz)에 인접하고

「이 논문은 2013년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음. 또한, 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013R1A1A1005731) 지원으로 수행되었습니다.」

한밭대학교 전자·제어공학과(Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University)

· Manuscript received October 8, 2014 ; Revised December 5, 2014 ; Accepted December 12, 2014. (ID No. 20141008-080)

· Corresponding Author: Han-Shin Jo (e-mail: hsjo@hanbat.ac.kr)

있기 때문에, 두 시스템 간의 주파수 공유분석이 필요하다. 즉, 무선랜으로부터 발생하는 간섭 전력이 LTE 시스템의 데이터 전송률에 미치는 영향을 분석하고, 이를 바탕으로 효율적인 주파수 이용 전략을 수립하는 것이 중요하다.

기존의 주파수 공유 분석에서는 크게 MCL 기반의 방법(MCL^[3], E-MCL^[4], A-MCL^[5])과 몬테카를로 시뮬레이션^{[6]~[8]} 기반의 방법이 이용되었다. MCL 계열의 방법은 시공간적으로 간섭 전력의 변화가 거의 없는 상황에 대해 간단한 계산식을 활용하여 두 시스템의 공존(coexistence)을 위한 최소 거리 및 주파수 이격을 산출하기 때문에, 계산이 용이한 장점이 있다. 반면, 간단한 계산을 위해 주로 간섭이 가장 강한 상황을 가정하기 때문에, 지나치게 큰 이격값이 산출되어 시스템의 주파수 이용효율을 감소시키는 단점이 있다. 이와 반대로 몬테카를로 방법은 복잡하게 분포하는 실제 시스템의 동작과정을 그대로 모사하여 간섭 전력의 변화를 실시간적으로 예측하고, 이를 바탕으로 두 시스템의 공존을 위한 분석을 수행한다. 따라서 컴퓨터를 이용하여 비교적 장시간의 복잡한 계산을 해야 하는 단점이 있으나, 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서 고려하는 LTE와 무선랜의 간섭상황은 시공간에 따른 변화가 매우 심하다. 다수의 송수신기는 이동성을 갖고 임의로 분포할 뿐만 아니라, 데이터 전송에 할당되는 송수신 전력 또한 시간, 주파수 모두에서 변화가 심하다. 따라서 본 논문에서는 간섭 전력의 공간/시간/주파수 측면에서의 변화를 정확히 반영할 수 있는 동적 시스템 시뮬레이터를 구현하고, 이를 바탕으로 무선랜의 간섭에 의한 LTE 시스템의 성능 저하를 산출하였다. 제안한 동적 시스템 시뮬레이션 방법은 몬테카를로 방법을 기반으로 하고 있으나, 이를 무선랜의 간섭이 존재하는 최신 셀룰러 통신시스템에 적합하게 확장 발전한 점이 본 논문의 기술적 기여이다.

관련된 연구로는 2.3~2.4 GHz 대역에서 LTE와 레이더 간의 간섭 영향 분석^[9], 900 MHz 대역에서 LTE와 무선랜 간의 간섭 영향 분석^{[10],[11]}, TV white space(TVWS) 대역(470~790 MHz)에서 LTE와 무선랜 간의 간섭 영향 분석^[12]이 있다. 기존 연구^{[10]~[12]}는 두 시스템이 동일한 주파수 대역을 이용하는 동일 채널(co-channel) 환경을 가

정하였으며, 주파수 또한 UHF TV 대역을 가정하였다. 이와는 달리 본 연구는 2.4 GHz 무선랜 대역에 대한 인접 채널(adjacent channel) 환경을 가정한 LTE 시스템을 대상으로 하는 차별성을 갖는다.

제 II장에서는 무선랜의 간섭을 고려한 LTE 시스템의 throughput 산출을 위한 동적 시스템 시뮬레이션 기법을 기술한다. 제 III장에서는 간섭시나리오 및 시스템 변수를 설명한다. 이를 바탕으로 제 IV장에서는 주파수 공유 결과를 분석하고, 결론을 맺는다.

II. 동적 시스템 시뮬레이션 기법

2-1 셀 형태 및 기지국과 이동국 배치

그림 1은 본 연구에서 구현한 시스템 시뮬레이션 흐름도이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 셀룰러 시스템을 모의 구현하기 위해 2단으로 구성된 셀을 고려하였으며, 각 셀은 정육각형이다. 셀룰라 시스템의 성능 분석시 총 2단 형태의 셀을 고려하면 무한한 셀을 고려했을 때와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 알려져 있다. 2단 형태의 셀 구조이므로 기지국의 개수는 총 19개이며, 각 기지국은 각 육각 셀의 중심에 위치한다. 각 셀은 3개의 섹터로 구성되며, 화살표는 각 섹터 안테나의 최대 이득 방향을 표시

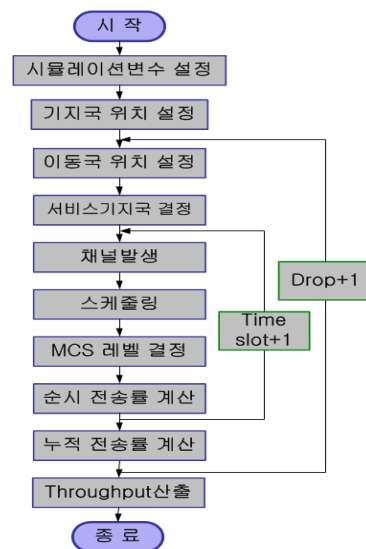


그림 1. 동적 시스템 시뮬레이션 과정
Fig. 1. Dynamic system simulation flowchart.

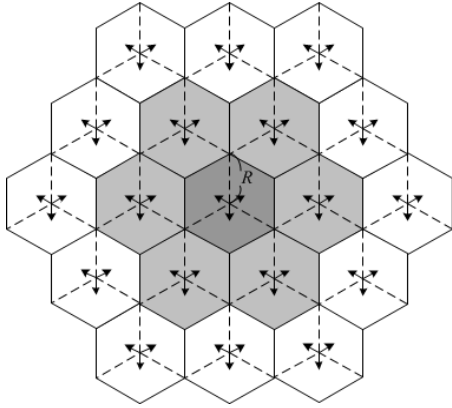


그림 2. 3-섹터 육각형 셀 구조(이단 형태의 19셀)
Fig. 2. 2-tier 3-sector hexagonal cell layout.

한다. 이동국은 중심 셀 내에 균일하게 분포시킨다.

2-2 서비스 기지국 결정

이동국은 한 개의 섹터 기지국과 데이터링크를 형성한다. 서비스 기지국 집합을 결정하기 위해 57개의 각 섹터에 대해 링크가 형성되었다고 가정하고, 각 경우에 대한 파일럿 신호의 신호 대 간섭비를 다음과 같이 구한다.

$$\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_i = \frac{I_{or,i} g_p}{I_{or,i} + I_{oc,i}} = \frac{g_p}{1 + \frac{I_{oc,i}}{I_{or,i}}} \quad (i = 1, \dots, 57) \quad (1)$$

$$I_{or,i} = P_i, \quad I_{oc,i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{57} P_j \quad (2)$$

이 때 $I_{or,i}, E_{c,i}$ 는 링크가 형성되었다고 가정한 i 번째 섹터로 부터 총 수신 전력 및 파일럿 신호의 전력이며, $I_{oc,i}$ 는 i 번째 섹터를 제외한 나머지 56개의 섹터로부터 수신된 전력의 합이다. 또한, g_p 는 파일럿 채널에 할당되는 기지국의 송출 전력의 비율을 의미하며, P_i, P_j 는 i 및 j 번째 섹터로부터의 평균 수신 전력이다. 즉, E_c/I_0 를 산출할 때 빠른 페이딩은 고려하지 않는다. 최종적으로 식 (3)을 이용하여 서비스 기지국을 결정한다.

$$active\ set = \left\{ i\ th\ sector \mid \max\left(\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_i\right), i = 1, 2, \dots, 57 \right\} \quad (3)$$

E_c/I_0 를 산출하기 위한 수신전력 P_i (또는 P_j)은 다음과 같이 계산된다.

$$P_i = PT_i - PL_i - SH_i + GT_i + GR \quad (4)$$

위 식에서 PT_i 는 기지국 송신전력, PL_i 는 경로손실, SH_i 는 새도우페이딩, GT_i 는 기지국 안테나 이득, GR 은 이동국의 안테나 이득을 의미한다. 식 (4)의 새도우페이딩은 식 (5)에서 볼 수 있듯이, 2개의 독립적인 정규분포를 갖는 변수의 합으로 표현된다^[13].

$$SH_i = aZ + bZ_i, \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (5)$$

위 식에서 Z, Z_i 는 평균이 0이고, 표준편차가 8.9 dB인 가우시안 랜덤변수이며, Z 는 모든 셀에 대해 동일한 값이며, Z_i 는 셀마다 다른 독립적인 값을 갖는다. 또한, 다른 셀 내의 섹터 간의 상관관계는 0.5이므로 $a = b = 1/\sqrt{2}$ 로 설정하여 SH_i 를 발생시키며, 섹터 간의 상관관계는 1이므로 동일 셀 내의 섹터에 대해 SH_i 는 동일한 값을 갖는다. 식 (4)의 기지국 안테나 이득은 식 (6)을 이용하여 결정한다^[2]. G_{max} 는 기지국 안테나 이득 값이고 $A_{BS}(\theta)$ 는 수평 방향의 안테나 패턴이다. 또한, $A_m = 20$ dB이며, θ_{3dB} 는 3 dB 대역폭으로서 본 연구에서는 70° 로 설정하였다^[10].

$$G_{BS}(\theta) = G_{max} - \min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right] \quad (6)$$

여기서 $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 이다.

2-3 채널발생 및 신호대 간섭 및 잡음비 계산

서비스 기지국 집합이 결정되면 각 섹터의 모든 기지국은 채널을 발생시킨다. 이때 발생된 채널은 식 (4)에 빠른 페이딩의 효과를 추가한 값으로 레일리 분포를 갖는 빠른 페이딩을 가정하였다. 발생된 채널계수를 이용하여 각 이동국은 각 부반송파 별 수신 신호의 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)를 계산한다. l 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파의 SINR은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SINR(k, l) = \frac{P_i |h_i(k, l)|^2}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{57} P_j |h_j(k, l)|^2 + N_0} \quad (7)$$

위 식에서 $h_i(k,l)$ 는 빠른 페이딩에 의한 i 번째 기지국으로 부터의 채널계수를, N_0 는 열잡음을 의미한다.

2.4 스케줄링 및 MCS 레벨 결정을 통한 Throughput 산출

각 사용자에 대한 시간/주파수 자원 할당은 LTE 표준에서 규정하고 있는 resource block(RB) 단위로 수행한다. RB 한 개는 84개(12 부반송파×7 OFDM 심플) resource element로 구성된다. 각 이동국은 식 (7)을 이용하여 다음과 같이 RB에 대한 평균 SINR을 계산한다.

$$\overline{SINR} = \frac{1}{84} \sum_{k=1}^{12} \sum_{l=1}^7 SINR(k,l) \tag{8}$$

본 연구에는 Proportional Fairness(PF) 방식을 이용하여 이동국을 스케줄링하였다. 이 방법에서 스케줄러는 섹터에 연결된 각 모바일에 대해 변수 $P_m(n)$ 을 각 RB마다 계산하여 이 값이 가장 큰 이동국에 해당 RB를 할당하여 패킷 데이터를 전송한다. $P_m(n)$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$P_m(n) = \frac{R_m(n)}{[T_m(n)]^\alpha} \tag{9}$$

위 식에서 m 은 이동국을 의미하며, n 은 타임 슬롯을 의미한다. 따라서 $R_m(n)$ 은 m 번째 이동국의 n 번째 타임 슬롯의 요구 데이터 전송률이며, $T_m(n)$ 은 평균 fairness throughput, α 는 fair exponent factor이다. $T_m(n)$ 은 매 타임 슬롯마다 다음 식과 같은 방법으로 재결정된다.

$$T_m(n+1) = \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)T_m(n) + \frac{1}{t_c}R_m(n) & n\text{번째에 스케줄이 안된 경우} \\ \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)T_m(n) & n\text{번째에 스케줄이 된 경우} \end{cases} \tag{10}$$

본 연구에서 $t_c = 1200$, $\alpha = 1$ 을 가정하였다.

데이터 전송률 $R_m(n)$ 은 modulation and coding scheme (MCS) 레벨을 적용하여 다음과 같이 계산한다. SINR을 총 L 개의 영역 $R_j = [\Gamma_j, \Gamma_{j+1}), j=1, \dots, N$ 으로 구분하고, 이때 Γ_1 은 최하 전송률을 지원하는 M-QAM을 만족하는 최소 SINR이고, $\Gamma_{N+1} = \infty$ 이다. 식 (8)를 이용하여 계산한 이

동국의 RB당 평균 SINR이 속하는 R_{j^*} 를 결정한다. 따라서 해당 이동국의 순시 데이터 전송률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_m(n) = \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_{j^*}}{G} \right) \tag{11}$$

위 식에서 G 는 M-QAM에 대한 Shannon gap으로서 본 연구에서는 2를 가정하였다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, 위의 3 과정(채널 발생, 스케줄링, 순시 데이터 전송률 결정)을 매 타임슬롯마다 반복하여 각 이동국에게 전송된 데이터의 누적 전송률을 계산한다. 또한, 매 drop마다 새롭게 위치한 이동국에 대해 전 과정을 반복하여 각 drop별 누적 전송률을 계산하고, 이 값들을 평균하여 최종적으로 하향 링크 섹터 throughput을 산출한다.

III. 간섭 분석 시나리오 및 시스템 변수

본 장에서는 II장에서 제시한 몬테카를로 시스템 시뮬레이션에 적용된 간섭 분석 시나리오 및 시스템 변수를 설명한다. 기지국과 AP는 그림 3과 같이 분포하도록 설정하였다. 기지국간 거리는 1.5 km, AP 간의 최소거리는 300 m이다. 또한, AP는 간격을 균일하게 분포시켰다. 이동국의 분포는 균일하다고 가정하였다. 인접 셀 간섭은 2 tier의 셀을 고려하면 무한한 셀을 고려했을 때에 비해 큰

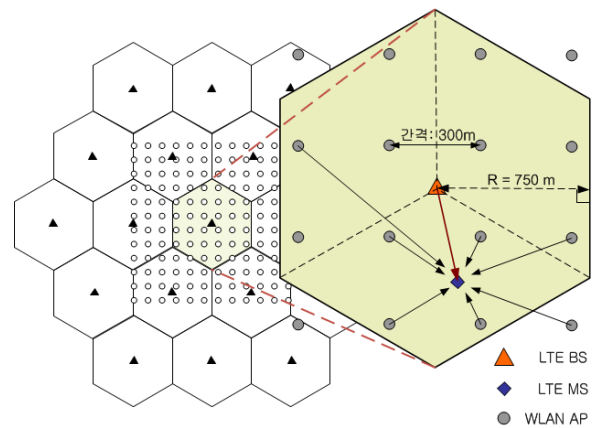


그림 3. 기지국, 이동국 및 AP의 분포
Fig. 3. The location of base stations, mobile stations, and WLAN APs.

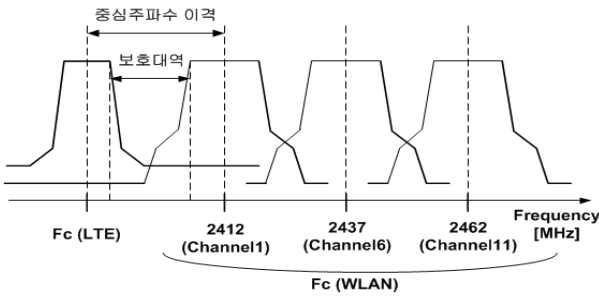


그림 4. 보호대역 및 무선랜 AP 채널 할당
Fig. 4. Guard band and WLAN AP channel allocation.

차이를 보이지 않는 것으로 알려져 있으므로 이를 적용 하였으며, 따라서 기지국은 총 19개를 배치하였고, 중심 셀에서의 간섭현상을 관찰하였다.

본 연구에서는 무선랜 access point(AP)가 LTE 하향 링크에 미치는 간섭의 영향을 분석하였다. 무선랜은 시분할 듀플렉싱을 이용하므로 다수의 무선랜 AP와 랜카드가 비동기식으로 동작할 경우, 일부 무선랜 AP와 일부 랜카드로부터의 누적 간섭이 발생할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 모든 무선랜 AP가 간섭원으로 작용하는 최대간섭상황을 고려하였다. 그림 4는 무선랜 채널을 보여주며, 이를 바탕으로 2종류의 AP채널 할당 방식을 가정하였다. 첫째, 2.4 GHz 대역에 규정된 14개의 채널 중 서로 겹치지 않는 채널 1(2,412 MHz), 채널 6(2,437 MHz), 채널11(2,462 MHz)을 사용하며, 각 채널을 사용할 확률은 1/3으로 동일하다. 둘째, 모든 AP가 채널 1을 사용한다.

적정보호대역을 산출하기 위해서는 LTE 시스템의 throughput 손실률을 산출해야 한다. 이를 위해 제2장에서 제시한 동적 시뮬레이션 방법을 이용하여 AP에 의한 간섭이 없는 경우에 대해 LTE 하향 링크 throughput T_0 를 구한다. 그리고 같은 방법을 이용하여 무선랜 AP에 의한 간섭을 고려하여 LTE 하향 링크 throughput T_1 을 구한다. AP간섭이 고려된 끝으로 이 두 개의 throughput을 이용하여 Throughput 손실률 $(T_0 - T_1)/T_0 \times 100$ 을 산출한다. T_1 을 구하기 위해 식 (7)의 SINR은 다음과 같이 변형된다.

$$SINR = \frac{P_i |h_i|^2}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{57} P_j |h_j|^2 + \sum_{k=1}^K P_k |h_k|^2 + N_0} \quad (12)$$

위 식에서 K 는 AP의 개수를 의미한다. P_k 는 k 번째 AP로부터의 수신 전력을 나타내며, 다음과 같이 계산된다.

$$P_k = PT_k^{(AP)} - PL_k + GT_k^{(AP)} + GR - ACIR \quad (13)$$

위 식에서 $PT_k^{(AP)}$ 는 AP 송신 전력, PL_k 는 경로 손실, $GT_k^{(AP)}$ 는 AP 안테나 이득, GR 은 이동국의 안테나 이득을 의미한다. ACIR(Adjacent Channel Interference Ratio)는 두 시스템의 보호대역(또는 중심주파수 이격)에 따른 간섭 전력의 감소율로서 스펙트럼 마스크를 이용하여 계산할 수 있다.

또한 보호영역을 변화시키며 throughput 손실률을 산출하여 AP의 위치가 throughput 손실률에 미치는 영향을 분석한다. 그림 4, 5는 보호대역 및 보호거리를 나타낸다. 본 연구에서 보호 대역은 5에서 15 MHz까지 1 MHz씩 증가시키며, throughput 손실률을 분석하였다. 또한, 보호영역은 AP 간의 간격이 300 m이므로, 0 m에서 300 m까지 30 m씩 증가시키며 간섭 영향을 분석하였다. 또한, 기지국과 AP 간의 세로방향 거리 Y 를 변화하면서 간섭 영향을 분석하였다.

주요 시스템 변수는 3GPP 규격^{[14],[15]}에 기반하여 표 1에 제시하였다. 기지국의 송신전력은 43 dBm, 안테나 이득은 1 dB 전송선로 손실을 고려하여 14 dB로 설정하였다. AP의 송신 전력은 15 dBm이며, 안테나 이득은 6 dB이다. 그림 6에 제시된 무선랜(802.11g)의 전송 스펙트럼 마스크를 이용하였다. 셀룰러 시스템 모델링에 주로 사용되는

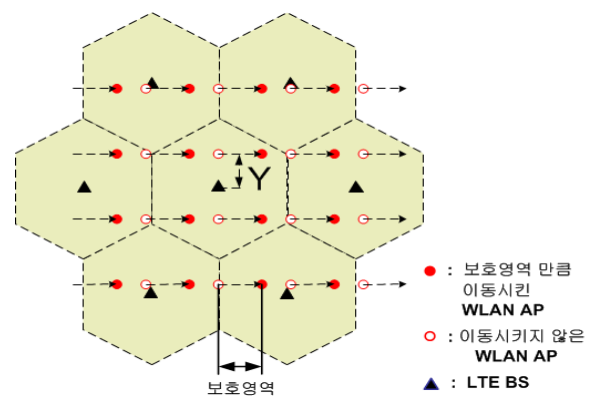


그림 5. 보호영역
Fig. 5. Guard region.

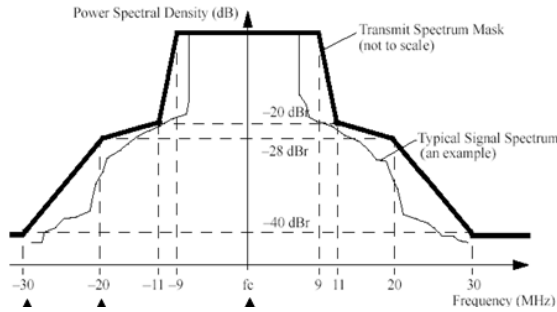


그림 6. 무선랜 송신 스펙트럼 마스크
Fig. 6. WLAN spectrum mask.

표 1. 시스템 변수

Table 1. System parameters.

변수	LTE		WLAN(802.11g)
	BS	MS	AP
안테나이득	14 dBi	0 dBi	6 dBi
최대출력전력	43dBm	22 dBm	15 dBm
안테나 높이	30 m	1.5 m	6 m
잡음지수	7 dB		14 dB
대역폭	10 MHz		20 MHz
RB 개수/슬롯	50		-
Noise floor	-104 dBm		-101 dBm
기지국 간의 거리	1,500 m		AP간의 간격 300 m 균일한 배치
반송파 주파수	보호대역에 따른 변수		2,412 MHz 2,437 MHz 2,462 MHz
경로손실모델	SUI-A		

COST231 Hata^[16] 및 COST231 Walfish Ikegami^[16] 모델은 2 GHz 이하 대역을 대상으로 한다. 따라서 본 논문에서는 2.3~2.4 GHz 대역에 적합하며, LTE와 유사한 WiMAX 시스템에 주로 적용되고 있는 Stanford University Interim (SUI)-A 모델^[17]을 가정하였으며, 다음 수식을 이용하여 계산하였다.

$$PL = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 10 \left(a - b h_b + \frac{c}{h_b} \right) \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (14)$$

여기서 $a = 4.6$, $b = 0.0075$, $c = 12.6$ 이다.

IV. 실험결과

그림 7은 두 환경(환경 1: 보호 영역 0 m, Y=0 m, 환경 2: 보호 영역 150 m, Y=150 m)에 대한 보호대역에 따른 throughput 손실률을 보여준다. AP 간의 간격이 300 m이므로 환경 1은 기지국과 AP 간의 최소거리가 212 m로 최대가 되는 환경이다. 한편, 환경 2는 기지국과 AP 간의 최소거리가 0 m로 최소가 되는 환경이다. 또한, 2가지 AP 채널 할당 방식(Channel 1: 모든 AP가 채널 1 이용, Channel 1-6-11: 채널 1,6,11을 1/3 확률로 이용)을 고려하였다.

보호대역이 클수록 Y값이 손실률에 미치는 영향이 적어짐을 확인할 수 있다. 이는 보호대역의 클수록 전계 간섭 전력에서 기지국에 근접한 AP로부터의 간섭의 비중이 줄어들기 때문이다. 즉, 특정 AP의 간섭에 의한 영향이 적을수록 AP의 위치에 따른 총 간섭 전력의 변화는 감소한다. 이와 같은 효과가 반영되어 Channel 1 채널 할당 방식의 경우 Y에 관계없이 보호대역이 8 MHz 이상일 때 throughput 손실률은 5% 이하로 떨어지고 있음을 알 수 있다. 또한, 보호대역이 11 MHz 이상일 경우, throughput 손실률은 1% 이하로 감소한다. 따라서 1% throughput 손실률을 가정할 경우, 최소 요구 보호 대역은 11 MHz임을 알 수 있다. 또한, Channel 1-6-11 채널 할당 방식의 경우, 간섭 전력이 감소하기 때문에 최소 요구 보호 대역 또한 10 MHz로 감소하게 된다.

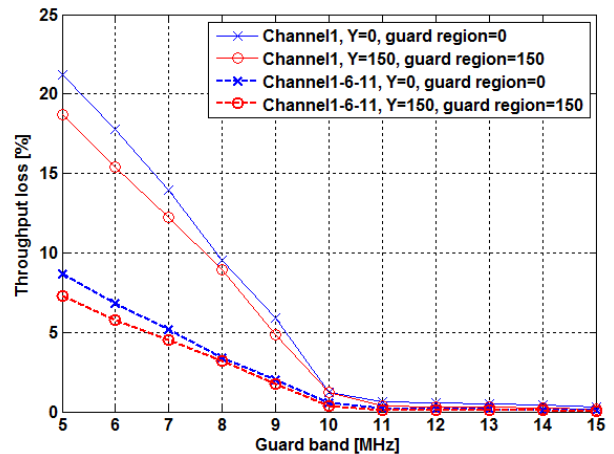


그림 7. 보호대역에 따른 throughput 손실률
Fig. 7. Throughput loss vs. guard band.

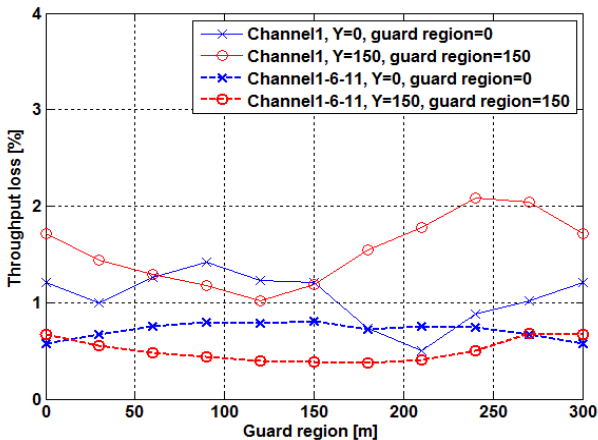


그림 8. 보호영역에 따른 throughput 손실
Fig. 8. Throughput loss vs. guard region.

그림 8은 보호대역이 10 MHz 일 때, 보호영역의 변화에 따른 throughput 손실률을 나타낸다. 보호영역이 변하여도 throughput 손실률은 2 % 이하로 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 충분한 보호대역 설정으로 이미 간섭 전력이 충분히 감소하였기 때문이다. 이러한 결과는 그림 7에서도 관찰된다. 그림 7에서 보호대역이 증가할수록 두 가지 AP 위치에 대한 손실률의 차이가 증가함을 확인할 수 있다.

그림 7, 8은 PF 스케줄링을 가정한 결과이다. WLAN에 의한 간섭은 스케줄링 기법과 무관하게 LTE 하향 링크 SINR을 감소시킨다. 따라서 round-robin이나 sum-rate maximization 스케줄링을 이용하더라도 throughput 손실률에는 큰 차이가 없을 것으로 예상된다. 한편, WLAN 간섭의 효과적 억제를 목적으로 하는 스케줄링에 관한 연구가 향후 필요할 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서 2.3 GHz 대역의 LTE와 2.4 GHz 대역 무선랜 시스템 간의 원활한 운영을 위해 요구되는 보호대역의 크기를 산출하였다. 이를 위해 무선랜의 간섭신호가 존재하는 환경에서 LTE 시스템의 throughput을 산출하기 위한 동적 시스템 시뮬레이션 기법을 제안하였다. 1 % 미만의 LTE throughput 손실률을 달성하기 위해 모든 AP가 채널1(2,412 MHz)에 할당되는 경우, 11 MHz 보호대역이

요구되며, AP들이 채널1(2,412 MHz), 6(2,437 MHz), 11(2,462 MHz)에 동일 확률로 할당되는 경우 10 MHz 보호대역이 요구된다. 실험결과는 허용가능 throughput 손실률을 만족하는 최소 보호대역을 결정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] 3GPP TS 36.101 v12.4.0, "E-UTRA: User Equipment(UE) radio transmission and reception", Jun. 2014.
- [2] Global TD-LTE Initiative, "TDD spectrum white paper", available at <http://lte-tdd.org/upoad/accessory/20139/20139241353242267172.pdf>
- [3] CEPT ERC Report 65, "Adjacent band compatibility between UMTS and other services in the 2 GHz band", May 1999.
- [4] CEPT ERC report 101, "A comparison of the minimum coupling loss method, enhanced minimum coupling loss method, and the monte-carlo simulation", May 1999.
- [5] H. -S. Jo, H. -G. Yoon, J. Lim, W. -G. Chung, J. -G. Yook, and H. -K. Park, "The coexistence of OFDM-based systems beyond 3G with fixed service microwave system", *Journal of Communications and Networks*, vol. 8, no. 2, pp. 187-193, Jun. 2006.
- [6] CEPT ERC Report 68, "MONTE-CARLO simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems", Jun. 2002.
- [7] 조한신, 윤현구, 육종관, "TDD-OFDM/OFDMA 기반의 차세대 이동 통신 시스템과 고정 위성서비스 지구국 간의 주파수 공유 분석", *한국전자과학회논문지*, 17(5), pp. 440-450, 2006년 5월.
- [8] 김영환, 어필선, 양훈기, 박승근, 강봉순, 김영수, 육종관, "몬테카를로 방법을 적용한 수동형 900 MHz 대역의 RFID 간섭 분석", *전자공학회논문지*, 43(1), pp. 9-17, 2006년 1월.
- [9] W. Liu, J. Fang, H. Tan, B. Huang, and W. Wang, "Co-existence studies for TD-LTE with radar system in the band 2,300~2,400 MHz", *International Conference on*

- Communications, Circuits and Systems(ICCCAS)*, pp. 49-53, Jul. 2010.
- [10] A. M. Cavalcante, E. Almeida, R. D. Vieira, F. Chaves, R. C. D Paiva, F. Abinader, S. Choudhury, E. Tuomaala, and K. Doppler, "Performance evaluation of LTE and Wi-Fi coexistence in unlicensed bands", *Vehicular Technology Conference 2013 IEEE 77th*, pp. 1-6, Jun. 2013.
- [11] E. Almeida, A. M. Cavalcante, R. C. D. Paiva, F. S. Chaves, F. M. Abinader, R. D. Vieira, S. Choudhury, E. Tuomaala, and K. Doppler, "Enabling LTE/WiFi coexistence by LTE blank subframe allocation", *Communications 2013 IEEE International Conference on*, pp. 5083- 5088, Jun. 2013.
- [12] M. Beluri, E. Bala, D. Yuying, R. Di Girolamo, M. J. Freda, J. Gauvreau, S. Laughlin, D. Purkayastha, and A. Touag, "Mechanisms for LTE coexistence in TV white space", *Dynamic Spectrum Access Networks 2012 IEEE International Symposium on*, pp. 317-326, Oct. 2012.
- [13] NOKIA, "1xEV-DV Evaluation Methodology(V1-2.1)", *3GPP2/TSG-C.R1002*, 2003.
- [14] 3GPP TR 36.942 v11.0.0 "Radio Frequency(RF) system scenarios", Sep. 2012.
- [15] 3GPP TS 36.104 v12.4.0 "Base Stations(BS) radio transmission and reception", Jun. 2014.
- [16] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation system, final report", *Tech. Rep., European Communities, EUR 18957*, 1999.
- [17] V. Erceg, et al, "Channel models for fixed wireless applications", *IEEE 802.16.3c-01/29r4*, Jul. 2001.

조 한 신



2001년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)

2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2009년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2009년 10월~2011년 10월: University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow

2011년 11월~2012년 2월: 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

2012년 3월~현재: 한밭대학교 전자·제어공학과 조교수

[주 관심분야] 무선통신 시스템간의 주파수 공유 및 양립성, MIMO 시스템, 펌토셀 및 소형셀 네트워크, 학률기하이론