

안전망과 철도망 공존환경에서 협력통신을 이용한 아웃티지 및 수율 관리

Outage Probability and Throughput Management Using CoMP under the Coexistence of PS-LTE and LTE-R Networks

임원호¹ · 정형찬¹ · 아마드 이쉬티아크² · 장경희^{2*}

¹인하대학교 항공산업시스템공학과

²인하대학교 전자공학과

WonHo Lim¹ · HyoungChan Jeong¹ · Ishtiaq Ahmad² · KyungHi Chang^{2*}

¹Department of Aviation Industry and System Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

²Department of Electronic Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

[요약]

우리나라에서는 재난안전통신망(PS-LTE) 주파수로 철도망(LTE-R)에 이미 지정되어 있는 700 MHz 대역이 할당되었다. 따라서 동일채널간섭으로 인한 아웃티지를 줄이고 수율을 높이기 위한 연구가 필요하다. 본고에서는 안전망과 철도망이 공존하는 LTE-R 네트워크 다운로드 환경에서 RAN 공유시와 비 RAN 공유시, 또한 협력통신(CoMP)을 적용시와 미적용시에 PS-LTE UE 수율의 향상과 LTE-R UE 아웃티지 감소를 비교 분석한다. PS-LTE와 LTE-R 네트워크의 공존 시나리오를 수행방법에 기반하여 네가지로 구분하고, 각각의 시나리오별로 UE의 아웃티지와 평균 수율을 측정한다. 열차제어신호는 최상위 MCS (mission critical service)에 해당되기에, PS-LTE UEs가 LTE-R 네트워크의 RAN 공유시, LTE-R UE에 더 높은 우선권을 주어 자원을 할당한다. RAN 공유 환경에서 협력통신인 CS CoMP를 적용하는 경우, 최고의 수율과 최소의 UE 아웃티지 성능을 보임을 알 수 있다.

[Abstract]

In the Republic of Korea, the LTE-based public safety (PS-LTE) network is being built for the 700 MHz frequency band. However, the same bands are also assigned to the LTE-based high-speed railway (LTE-R) network. Therefore, it is essential to utilize the co-channel interference management schemes for the coexistence of two LTE networks in order to increase the system throughput and to reduce the user outage probability. In this paper, we focus on the downlink (DL) system for the coexistence of PS-LTE and LTE-R networks by considering non radio access network (RAN) sharing and LTE-R RAN sharing by PS-LTE users (UEs) to analyze the UE throughput. Moreover, we also utilize the cooperative communications schemes, such as coordinated multipoint (CoMP) for the coexistence of PS-LTE and LTE-R networks in order to reduce the UE outage probability. We categorize the coexistence of PS-LTE and LTE-R networks into four different scenarios, and evaluate the performance of each scenario by the important performance indexes, such as UE average throughput and UE outage probability.

Key word : Long term evolution-based public safety, Long term evolution-based high-speed railway, Coordinated scheduling coordinated multi-point, Radio access network sharing, Co-channel interference.

<https://doi.org/10.12673/jant.2016.20.6.595>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 19 October 2016 Revised 25 November 2016
Accepted (Publication) 17 December 2016 (30 December 2016)

*Corresponding Author; KyungHi Chang

Tel: +82-32-860-8422

E-mail: khchang@inha.ac.kr

I. 서론

우리나라에서는 재난안전통신망 (PS-LTE; LTE based public safety)과 철도망 (LTE-R; LTE based railway)이 700 MHz 주파수 대역을 공유함으로써 두 통신망 간에 간섭으로 인한 아웃티지와 수율하락이 발생한다 [1]. 협력통신 (CoMP; coordinated multipoint)은 스케줄링 결정 및 데이터의 전송 포인트를 조절해서 신호간섭을 줄이는 방법으로서 채널상태와 수율을 향상시킬 수 있다. 3GPP LTE (3rd generation partnership project long term evolution) 기술보고서에서 언급한 CoMP의 두 가지 주된 카테고리 JP (joint processing)와 CS (coordinated scheduling)가 있지만 본고에서는 실용적인 관점에서 적합한 CS CoMP를 적용한다[2]. CS CoMP는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크에 사용자 데이터를 제공하여 간섭을 줄이고 수율을 높이도록 스케줄링 결정을 하는 것이다. 이전 대부분의 연구는 시스템 효율 최적화 중심이었고, 자원 할당시 사용자의 우선권과 요구 QoS를 간과하였기에, 여기서는 WINNER II (wireless world initiative new radio II) 채널모델을 사용하여 LTE-R 네트워크를 실질적으로 시뮬레이션하고 분석한다[3]. LTE-R 네트워크에 RAN 공유를 하기 위해서는 다음 두가지 조건이 필요하다. 첫째는 자원할당시 LTE-R UE에게 항상 더 높은 우선권을 부여해야 한다. 둘째는 CS CoMP와 같은 간섭조정기술로 수율을 높이는 것이다 [4]. LTE-R UE에게 항상 최고의 자원을 할당하기 위해서 eNB는 X2 인터페이스를 통해서 셀 경계의 사용자정보를 교환 및 스케줄링 한다. 또한, LTE-R UE가 CoMP를 요구할 때마다 최상의 채널을 제공하여 시스템 수율을 향상시킨다. II장에서는 채널과 트래픽 모델을 포함하는 협력통신에 대하여 설명하며, III장에서는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크 공존 시 협력통신으로 LTE-R UE가 우선권을 보장받는 방법에 대하여 논한다. IV장에서는 간섭관리로 수율을 높이고 아웃티지가 감소되는 것을 시스템레벨 시뮬레이션으로 확인하며, 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

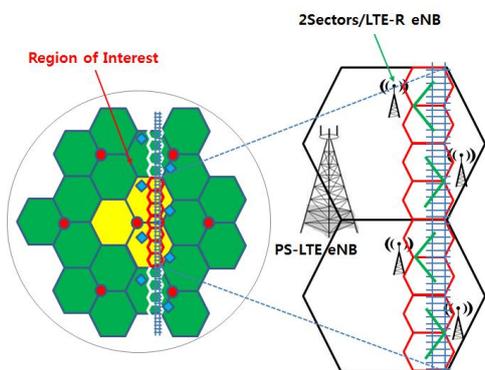


그림 1. PS-LTE 과 LTE-R 네트워크 배치도
 Fig. 1. PS-LTE and LTE-R network deployment layout.

II. PS-LTE와 LTE-R 네트워크의 협력통신 시스템 모델

PS-LTE와 LTE-R 네트워크에서 다운링크시에, 사용자 서로가 PRB (physical resource block) 자원을 할당한다. PRB들은 데이터 전송을 위하여 UE에게 부여된 가장 작은 무선자원이다. 하나의 RB는 시간축이 0.5 ms 이고 주파수축이 180 kHz 크기이다. 시스템에서 PRB들의 고정된 크기 때문에 10 MHz, 20 MHz 등 BW상태에 따라 PRB의 수가 50 PRB, 100 PRB 등으로 다양하다.

2-1 PS-LTE 와 LTE-R 네트워크 배치 환경

다음과 같은 LTE-R 네트워크와 K-tier (K=1) PS-LTE 네트워크가 같이 있는 환경을 생각해 보자. L 육각형 섹터 사이트 ($L_p=3$)를 갖는 M PS-LTE eNB 사이트 (M=7), L 육각형 섹터 사이트 ($L_R=2$)를 갖는 N LTE-R eNB 사이트 (N=4). 그러므로, C는 PS-LTE와 LTE-R 셀들을 합한 수이다 (C=29). BS는 $B=\{PS_eNB_{1,\dots,M}, R_eNB_{1,\dots,N}\}$ 으로 표현한다. PS-LTE와 LTE-R UE 등 모든 사용자는 U로 표현한다. ISD 거리는 M 사이트는 4 km이고 N 사이트는 1 km로 가정한다. 배치 시나리오는 PS-LTE의 센터는 ROI이고 다른 것들은 간섭이 된다. ROI는 그림 1처럼 네 개의 LTE-R eNB와 하나의 PS-LTE eNB로 구성된다. 섹터간에 PS-LTE UE는 분산 배치된 ROI안에 무작위로 배치한다. 그러므로 UE는 어떤 것이든 LTE-R eNB 지역에 놓일 수 있다. LTE-R eNB는 RAN 공유를 통해서 PS-LTE UE가 접속할 수 있도록 허용한다. 다음 절에서 RAN 공유와 비 RAN 공유를 논의한다.

2-2 채널 모델

링크상호간의 전파손실을 계산하는 채널이득에 대한 일반 공식은 다음과 같다.

$$G = \text{AntennaGain} - \text{PathLoss} - \text{Shadowing} - \text{Fading} \quad (1)$$

경로손실 L은 3GPP 에서 제공되는 교외 macro 모델로 계산한다[5]. 700 MHz에 기반한 경로손실 모델은 다음과 같다.

$$L(d) = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_T) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_T)] \log_{10}(d) - 4.78 (\log_{10}(f_c))^2 + 18.33 \log_{10}(f_c) - 40.94 \quad (2)$$

경로손실 모델의 각 파라미터는 표 1과 같다. UE와 BS사이의 장애물에 의해 생기는 음영손실은 평균이 0 dB 이고 표준편차가 6 dB 인 정상로그분포를 갖는다.

표 1. 경로 손실 파라미터의 특성

Table 1. Range of path loss parameter.

Parameter	Description	Unit	범위
$L(d)$	Loss(urban)	dB	-
f_c	Frequency(반송파)	MHz	$150 \leq f_c \leq 1500$
h_T	TX antenna height	m	$30 \leq h_T \leq 200$
d	Distance (BS~UE)	km	$1 \leq d \leq 20$

Claussen이 제안한 상관 음영 페이딩 맵으로 계산한 사이트 간 상관값은 0.5이다 [6],[7]. 신호의 빠른 페이딩 요소는 WINNER II 채널 모델을 따르는데, D2a 시나리오는 고속열차의 도착 및 출발 각도, 전달 경로의 수, 최대지연 시간 등의 페이딩 특징을 갖는 멀티패스 페이딩 채널을 갖는다 [3]. eNB에 수평, 수직을 갖는 3D 안테나 패턴은 다음과 같이 계산된다.

$$A(\theta, \phi) = -\min[A_V(\theta)_V + A_H(\phi)_H A_m]. \quad (3)$$

2-3 트래픽 모델

LTE 스펙에서 언급한 실질적인 트래픽 모델을 사용한다[8]. 본 논문에서는 사용자의 트래픽을 VoIP와 Video로 가정하고, 사용자 트래픽 모델링을 위하여 전반적인 LTE 프로토콜(스택)과 베어러모델을 고려한다 [9].

1) VoIP 음성 트래픽 모델

VoIP 음성은 "on", "off"의 Markov 모델을 쓴다. VoIP 음성 모델에서 실행중인 상태가 1, 휴지중인 상태가 0 일 때, 상태 1에서 상태 0로 될 때를 "a", 그 반대인 상태를 "c"로 정한다. 음성 소스 프레임은 244 bits로 구성되며, 매 20 ms마다 발생되고, 전송속도는 12.2 kbps이다. SID 패킷은 15 byte로 구성되고, 매 160 ms 주기로 전송한다. 상태가 1 일 가능성은 P_1 으로, 상태가 0 일 가능성은 P_0 로 표현한다.

$$\begin{cases} P_1 = \frac{c}{a+c} \\ P_0 = \frac{a}{a+c} \end{cases} \quad (4)$$

2) 영상 트래픽 모델

소스율은 64 kbps로 정하고, 프레임 당 최대 8조각으로 나눌 수 있고 패킷단위로 전송한다. 패킷의 크기는 절단 파레토 분포 식 P_x 로 계산되고 평균치, 최대치, 위치파라미터 (α), 샤프 파라미터 (k)의 값은 각각 10 bytes, 250 bytes, 1.2 ms 그리고 20 bytes 이다.

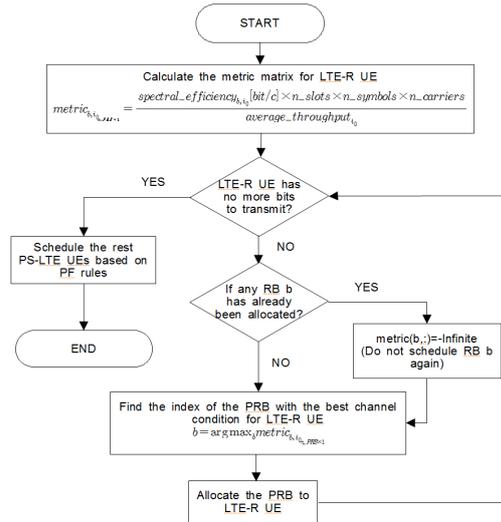


그림 2. 중앙 제어기의 흐름도
Fig. 2. Flow chart of central controller.

$$P_x = \begin{cases} \frac{\alpha_k^\alpha}{\alpha + 1}, & k \leq x < m \\ \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha, & x = m. \end{cases} \quad (5)$$

2-4 스케줄링

PF스케줄러 공식은 아래식(6)과 같다.

$$k = \arg \max \frac{R_i}{\bar{R}_i}. \quad (6)$$

여기서, i 는 사용자이고 R_i 는 즉시값, \bar{R}_i 는 평균값이다.

LTE-R UE의 다운링크 전송은 저 지연, 고 신뢰성을 갖고 항상 최고의 채널을 맨 먼저 할당한다. 또한 LTE-R UE에서 MCS (mission critical service)의 요구가 있으면 CC1 (central controller)1에 기반하여 항상 LTE-R UE에게 더 높은 우선권을 주며 CC1 흐름도는 그림 2에 있다. 그림 2는 PS-LTE eNBs가 PF (proportional fair) 스케줄링하고 있을 때 LTE-R eNBs가 PS-LTE UEs에게 RAN 공유를 제공하는 것을 나타낸다.

2-5 PS-LTE 와 LTE-R 네트워크에서 협력통신을 위한 스케줄링

3GPP에는 사이트 내 및 사이트 간 CoMP 등, 네 개의 시나리오가 있는데 여기서는 PS-LTE와 LTE-R eNBs를 포함하는 모든 BSs 사이에서 CoMP 시뮬레이션을 보여준다 [4].

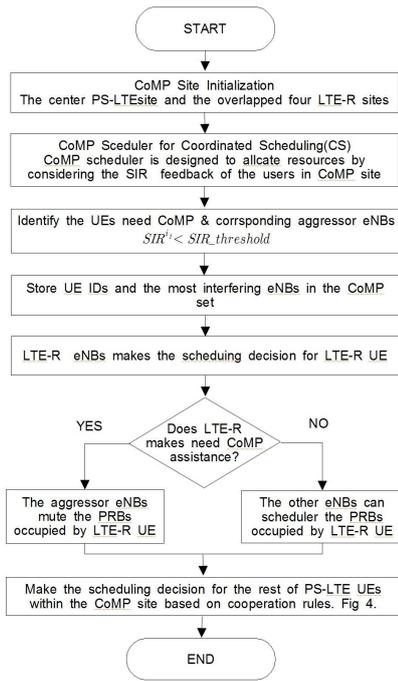


그림 3. 내부 컨트롤러를 위한 흐름도
 Fig. 3. Flow chart for central controller.

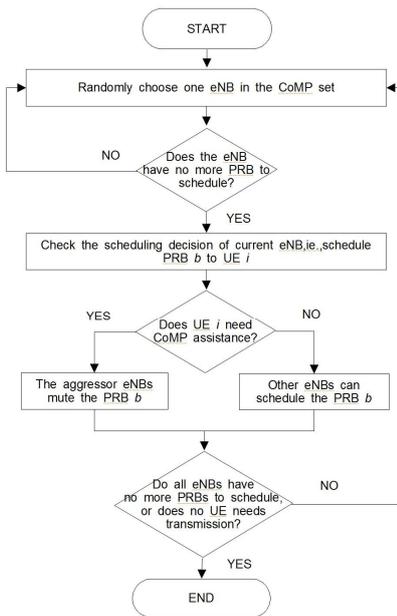


그림 4. CoMP 사이트 내 나머지 PS-LTE UE에 대한 스케줄링 흐름도
 Fig. 4. Flow chart for scheduling decision for the rest of PS-LTE UEs within the CoMP site.

1) CoMP 협력 세트의 형태와 피드백 요구사항

3GPP LTE에서 CoMP는 eNBs와 UE간에 전송하는 PDSCH (physical downlink shared channel)에도 적용된다. PS-LTE와

LTE-R eNBs처럼 다중 전송 포인트를 포함하는 CoMP세트는 다음과 같이 표현된다.

$$C_{CoMP_SET} = PS_eNB_s, R_eNB_{M+1}, \dots, R_eNB_{M+N} \quad (7)$$

PS_eNBs의 s는 PS-LTE의 중심 eNB사이트를 나타내고, N은 CoMP세트에서 ROI내에 있는 전체 LTE-R eNB사이트를 의미하고, C_{CoMP.SET}은 셀을 표현한다. BSs의 수를 정하기 위해서 SIR 한계 매트릭을 쓴다. PS-LTE UE에 의한 LTE-R 네트워크 공유시나리오는 단일 HetNet 시나리오로 하고, CC2에 기반한 CS CoMP가 필요하다. CC2는 CoMP 사이트 사이에서 LTE-R UE에게 항상 최고의 자원을 스케줄링 하며 상세한 흐름도는 그림 3에 있고, CoMP 잔여 PS-LTE UE의 스케줄링 흐름도는 그림 4와 같다. CoMP 전송에서 정밀한 CSI는 필수이고, Rel.11에서 이상적인 광백홀을 갖는 BSs는 지연시간 동안 완전하게 동기화 된다고 가정한다 [4]. eNBs 사이의 X2인터페이스는 지연이 없을 때 CQI(channel quality indicator) 간섭정보교환을 하도록 3GPP LTE에 정의되어있다 [10]. CoMP 협력하는 eNBs는 다음 상태를 따르도록 정의한다.

$$SIR_j^i < SIR_threshold_{CoMP} \quad (8)$$

i는 UE의 인덱스이고, j는 CoMP 세트 내부에 중지된 eNBs의 인덱스이다. LTE-R UE가 우선권을 갖으려면 그림 4처럼 CoMP가 필요할 때마다 이웃 eNB의 PRBs를 중지해야 첫 번째로 스케줄링 될 것이다. 나머지는 중앙 CoMP 스케줄러가 PRBs에 적용하기 위한 PF 스케줄링에 따라 무작위로 하나의 eNB를 선택한다.

2) CoMP 신호 발생과 SINR 계산

S_{max} (= 11)은 CoMP세트에서 가능한 셀의 최대 수이다. m은 S_{max}를 벗어나는 CS CoMP 셀과 그 전송을 중지하는 것을 나타낸다. C_{CoMP.SET}(= 1 + m)은 CoMP세트에서 동작중인 셀을 나타내고 수율은 SIR_threshold_{CoMP}에 달려있다. UEs는 최대치(S_{max} - 1) 셀을 요구하고, CS CoMP세트에서 SIR 결과에 따라 m개의 셀들은 PRBs를 중지한다.

$$P_i^{Rx} = G_{i,j}P_{i,j}^{Tx} + \sum_{n=1+m}^{S_{max}} G_{i,n}P_{i,n}^{Tx} + \sum_{n=S_{max}+1}^C G_{i,m}P_{i,m}^{Tx} + \sigma_i^2 \quad (9)$$

그러므로 수신신호는 CS CoMP가 기록된 후에 서비스하는 BS j로부터 사용자 i에 의해 수신된다. 활동중인 셀은 (C - S_{max})

이고 비 활동중인 셀은($S_{\max} - 1 + m$)이며, 셀간섭은 ($C - m - 1$)이다. CS CoMP사용자와 비 CoMP사용자의 SINR 계산은 다음과 같다.

$$SINR_{i,j} = \begin{cases} \frac{G_{i,j} P_{i,j}^{Tx}}{\sum_{n \neq i, n=1}^C P_{i,n}^{Tx} G_{i,n} + \sigma_i^2} & [Non-CoMP Users] \\ \frac{G_{i,j} P_{i,j}^{Tx}}{\sum_{n \neq j, n=C-m+1}^C P_{i,n}^{Tx} G_{i,n} + \sigma_i^2} & [CS-CoMP Users]. \end{cases} \quad (10)$$

$G_{i,j} P_{i,j}^{Tx}$ 은 BS j로부터 사용자 i가 수신하는 전력으로서 PL(path loss), 음영손실, 빠른 페이딩, 안테나 이득 등 채널이득을 고려한다.

III. PS-LTE와 LTE-R 네트워크에서 협력통신에 의한 LTE-R UE의 우선적 자원 할당

LTE-R UE에게 우선적으로 자원을 할당하기 위해서 채널간섭을 여러 가지 시나리오로 분석한다

3-1 Scenario 0: LTE-R eNBs 만 존재하는 경우

배치는 육각형의 섹터로 된 네 개의 LTE-R eNBs 로 구성한다. eNB는 ISD (inter-site distance) 거리가 1 km인 두 개의 섹터를 갖는다. 그림 5에서 x 축은 LTE-R UE 위치이고 y 축은 LTE-R UE가 LTE-R eNBs 사이로 트랙을 따라서 움직일 때의 SINR이며 여러 가지 색상으로 나타낸다. 그림 5에서는 LTE-R UE가 섹터 셀 경계와 사이트 셀 경계에서 SINR이 더 낮아지고 채널 상태는 더 열악하며 간섭은 더 크게 받는 것을 보여준다. 그림 6에서는 CS CoMP를 적용했을 때 셀 경계에서 LTE-R UE의 SINR이 크게 좋아진 것을 알수있다.

3-2 Scenario 1: PS-LTE 와 LTE-R 네트워크에서 비 RAN 공유인 경우

이 시나리오는 PS-LTE UE는 LTE-R eNBs에 액세스가 허용되지 않는데, 셀 경계에서 심각한 동일채널간섭을 겪는 것을 그림 7에서 보여준다.

3-3 Scenario 2: PS-LTE 와 LTE-R 네트워크에서 비 RAN 공유하에 CS-CoMP를 수행하는 경우

비 RAN공유에서 CS CoMP를 수행할 때, CoMP사이트의eNBs는 LTE-R UE의 MCS 요구를 들어주기 위해 그들의PRBs를 중지함으로 LTE-R UE가 항상 높은 우선권을 갖게한다. 그림 8에서는 PS-LTE와 LTE-R eNBs, PS-LTE와 PS-LTE eNBs, LTE-R 과LTE

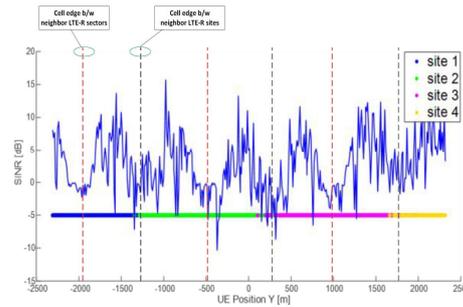


그림 5. CS CoMP를 적용하지 않은 경우의 LTE-R UE Rx SINR
Fig. 5. LTE-R UE Rx SINR without CS CoMP.

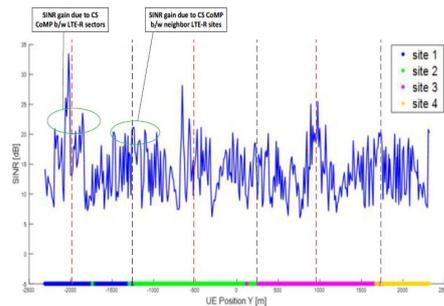


그림 6. CS CoMP를 적용한 경우의 LTE-R UE Rx SINR
Fig. 6. LTE-R UE Rx SINR with CS CoMP.

-R eNBs 사이에서 비 랜공유 시 CS CoMP를 보여준다. 그림 9는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크에서 RAN 공유 시 PS-LTE UE는 LTE-R eNBs에 접속가능하며 채널간섭이 감소하는 것을 SINR 분포 칼라 맵으로 보여준다.

3-4 Scenario 3: LTE-R RAN을 PS-LTE UEs 가 RAN 공유하는 경우

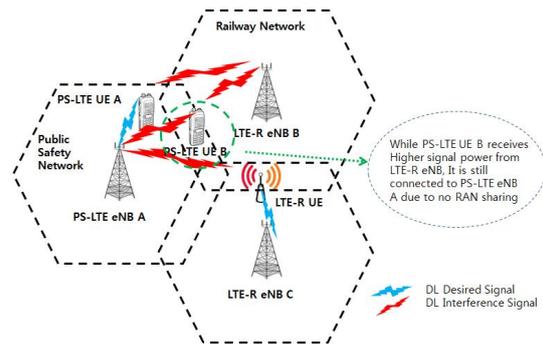


그림 7. RAN 공유가 없는 LTE-R 네트워크와 PS-LTE 네트워크의 공존도
Fig. 7. LTE-R network to coexist with PS-LTE network without RAN sharing.

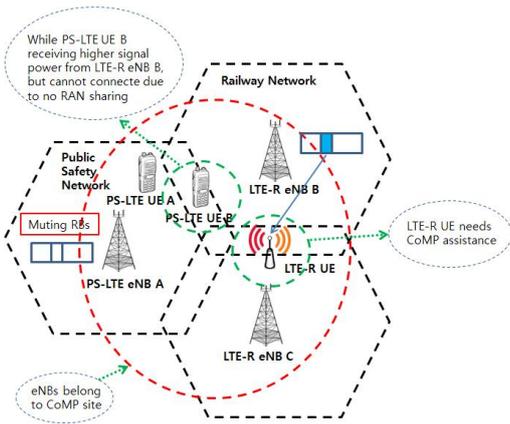


그림 8. Scenario 2: CS CoMP를 갖지만 RAN 공유가 없는 PS-LTE 네트워크와 공존하는 LTE-R 네트워크

Fig. 8. Scenario 2: LTE-R network to coexist with PS-LTE network without RAN sharing but with CS CoMP.

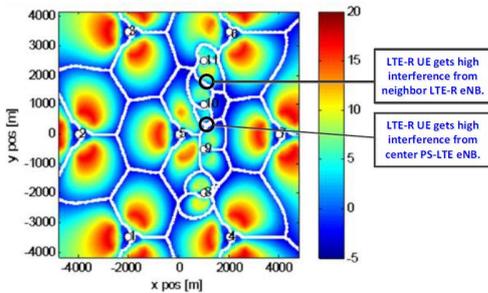


그림 9. RAN 공유를 하는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크의 UE SINR 분포도

Fig. 9. UE SINR distribution for the coexistence of PS-LTE and LTE-R networks with RAN sharing.

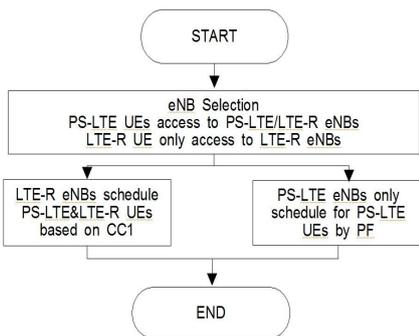


그림 10. PS-LTE UE가 LTE-R 네트워크를 RAN 공유하는 경우의 흐름도

Fig. 10. Scenario 3: Flow chart of LTE-R RAN sharing by PS-LTE UE.

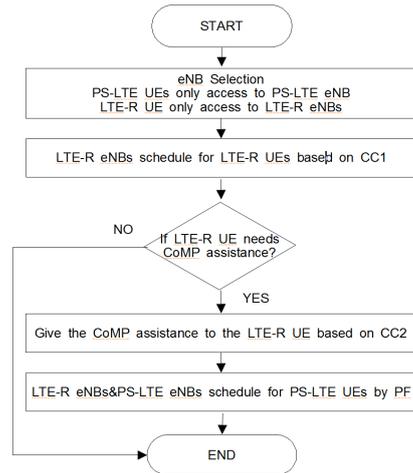


그림 11. 시나리오 4: CS CoMP를 갖는 PS-LTE UE가 LTE-R을 RAN 공유하는 흐름도

Fig. 11. Scenario 4: Flow chart of LTE-R RAN sharing by PS-LTE UE with CS CoMP.

LTE-R UE는 트랙을 따라 움직이고 대부분 LTE-R eNB로부터 더 높은 전력을 받기 때문에 PS-LTE 네트워크가 LTE-R UEs를 RAN 공유를 할 필요는 없다. PS-LTE와 LTE-R eNBs는 PS-LTE UE를 CC1으로 관리하며, 그림 10은 이 시나리오에 대한 상세한 흐름을 나타낸다.

3-5 시나리오 4: RAN 공유하는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크에서 CS-CoMP를 수행하는 경우

여기에서는 RAN 공유하는 PS-LTE와 LTE-R 네트워크에서 CS CoMP를 수행할 때를 나타낸다. CS CoMP는 PS-LTE와 LTE-R eNBs, PS-LTE와 PS-LTE eNBs, 그리고 LTE-R과 LTE-R eNBs 사이에서 수행하며, 그림 11은 이 시나리오에 대한 상세한 흐름을 나타낸다.

IV. 간섭관리기술의 성능 평가를 위한 시스템레벨 시뮬레이션

4-1 시뮬레이션 환경

여러 시나리오에서 채널간섭을 분석하는 시스템 레벨 시뮬레이션은 그림 1처럼 LTE-R 네트워크에서 one-tire PS-LTE 네트워크 아래서 수행되어야 한다. 주요 파라미터는 표 2와 같고, 시뮬레이션은 2 장의 2절에서 논의된 채널모델에서 행한다. 안 전망 사용자를 위한 음성 (80%)과 영상 (20%)등 두 가지 형태의 트랙픽 모델을 고려하며 열차제어신호는 VoIP 음성트래픽으로 전송하는 것으로 가정한다.

표 2. 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터

Table 2. System-level simulation parameters.

Parameters	Values
Carrier Frequency	778 MHz
Bandwidth (BW)	10 MHz
Number of PS-LTE eNBs	21 Sectors (1-tier, 7 Sites) [Only 3 Inner Sectors in the ROI.]
Number of LTE-R eNBs	Maximum 2 eNBs/Sector beside the Railway
Inter-eNB Distance	PS-LTE eNBs : 4 km
	LTE-R eNBs : 1 km
No. of UEs / Sector	PS-LTE UEs : 40
	LTE-R UE : 1
	(Train Control Signal)
Path Loss Model	Rural Macro (3GPP TR 36.837)
Shadowing	Log-normal Distribution
	(Mean : 0 dB, St. Dev.: 6 dB)
	(Correlation between eNBs/Sectors : 0.5/1)
Fast Fading	PS-LTE : Winner II (D1-Rural Macro)
	LTE-R : Winner II (D2a-Rural Moving Networks)
UE Mobility	PS-LTE UE: 3 Km/h
	LTE-R UE: 250 Km/h
Transmission Modes	SISO (1x1)
Traffic Models	PS-LTE : VoIP, Video
	LTE-R : VoIP
Scheduling	Proportional Fair Traffic

PS-LTE UEs는 무작위로 ROI 지역에 놓고, 하나의 LTE-R UE 가 있는 것으로 정한다.

4-2 성능 분석

PS-LTE와 LTE-R 네트워크 사이에 RAN 공유와 비 RAN 공유 시나리오를 비교하며, UE의 평균 수율, Rx 간섭, SINR과 스펙트럼 효율, 동작아웃티지 등을 평가한다.

1) UE 평균 수율

CDF의 50%는 RAN 공유 시나리오가 비 RAN 공유와 비교해서 더 좋은 결과를 나타낸다. 그림 12처럼 CS CoMP는 모든 시나리오에서 좋은 결과를 보이는데 시나리오 2는 시나리오 1 보다 수율이 더 좋고, 시나리오 3 은 시나리오 2 와 유사하지만 시나리오 1보다 17.11 % 더 크다. 시나리오 4 의 수율은 RAN 공유뿐만 아니라 CS CoMP의 잇점 때문에 시나리오 3 보다 더 좋다. 이 개선효과는 두가지 주된 이유 때문인데, (a) RAN공유가 채널과 자원상태를 향상시켜주기 때문이고, (b) CS CoMP가 높은 간섭을 일으키는 eNBs를 배제시켜서 채널 간섭을 줄이기 때문이다.

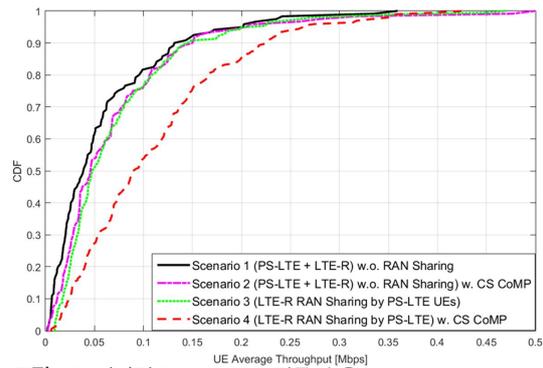


그림 12. 시나리오 1~4: UE 평균 수율
Fig. 12. UE average throughput; scenario 1~4.

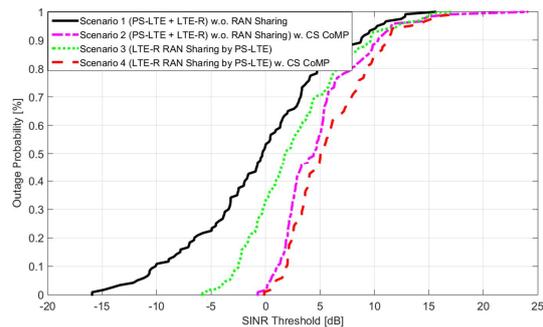


그림 13. 시나리오 1~4: UE 아웃티지
Fig. 13. UE outage probability; scenario 1~4 .

2) UE 아웃티지

아웃티지는:

$$P(\text{outage}) = 1 - P(\text{SINR} > \text{SINR_Threshold}). \quad (11)$$

$P(\text{SINR} > \text{SINR_Threshold})$ 는 UE의 아웃티지를 고려하지 않을 때 UE Rx SINR이 한계점보다 더 높을 가능성이 있다. 그림 13에서 시나리오 2, 4가 간섭관리기법을 쓰기 때문에 시나리오 3에서는 RAN 공유의 잇점 때문에 아웃티지가 좋아진다. 시나리오 4에서는 RAN공유와 CS CoMP의 잇점 때문에 시나리오 3보다 더 좋다. 그러므로 위에서 언급한 기술적인 방법으로 LTE-R 네트워크의 링크 신뢰성을 개선할 수 있다.

V. 결론

LTE-R 네트워크는 PS-LTE UE에 RAN 공유를 제공함으로써 PS-LTE UE의 수율이득을 증가시킬 수 있다. RAN 공유와 더불어 CS CoMP를 적용하여 PS-LTE UE의 수율이득을 더욱 향상시킬 수가 있으며, 시나리오 4에서는 CS CoMP를 함께 적용함으로써 대략 60.7 %의 평균 수율이득을 얻을 수 있고, 수율향상과 더불어

어 UE 아웃티지를 크게 감소시킨다. 또한, UE의 QoS 우선권에 기반한 협력통신에 의하여 스펙트럼 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있게 함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2016-H8501-16-1019)

참고 문헌

[1] J. K. Choi, H. Cho, and K. H. Kim, "Challenges of LTE high-speed railway network to coexist with LTE public safety network", in *Proceedings of the International Conference on Advanced Communication Technology*, Seoul: Korea, pp. 543-547, Jul. 2015.

[2] Further advancements for E-UTRA physical layer aspects, 3GPP TR 36.814 v 9.0, 2010.

[3] L. Hentila, P. Kyosti, M. Kaske, and M. Narandzic(2007). MATLAB implementation of the WINNER phase II

channel model ver1.1[Internet]. Available: <http://projects.celtic-initiative.org/winner+/>.

[4] Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects, 3GPP TR 36.819 v 11.10, 2011.

[5] Public safety broadband high power user equipment (UE), 3GPP TR 36.837 v 11, 2012.

[6] H. Claussen, and S. Green, "Efficient modelling of channel maps with correlated shadow fading in mobile radio systems", in *Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Berlin: Germany, pp. 512-516, Sept. 2005.

[7] Radio Frequency (RF) system scenarios, 3GPP TR 36.942 v 12.0, 2014.

[8] LTE physical layer framework for performance verification, 3GPP R1-070674 TSG-RAN Meeting 48, 2007.

[9] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) overall descriptions, 3GPP TS 36.300 v 12.5.0, 2015.

[10] X2 general aspects and principles, 3GPP TS 36.420 v 12.1.0, 2014.



임원호 (WonHo Lim)

1993년 2월: 송실대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 8월: 송실대학교 정보통신학과 (공학석사)
 2013년~현재: 인하대학교 항공산업시스템공학과 (박사과정)
 1982년~2009년: 한국통신 안양지사 기술부
 2012년~현재: (주)안세기술 철도공공사업본부 이사
 ※ 관심분야: 5G MC Systems, LTE-R, PS-LTE, CoMP



정형찬 (HyungChan Jeong)

1994년 2월 : 동의대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2004년 8월 : 인천대학교 정보통신대학원 (공학석사)
 2013년~현재: 인하대학교 항공산업시스템공학과 (박사과정)
 1995년 1월~1999년 7월: 한국공항공사 제주지사
 1999년 8월~현재: 인천국제공항공사 항행처 관제통신팀
 ※ 관심분야: 무인항공기, 이동통신, 마이크로파 회로해석 및 설계



아마드 이쉬티아크 (Ishtiaq Ahmad)

2007년 7월: N.W.F.P UET, Peshawar, Pakistan (공학사)
2014년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
2015년~현재: 인하대학교 전자공학과(박사 과정)
2007년~2009년: BSS Engineer O&M Dept., ZONG, Pakistan
2009년~현재: Lecturer, IET Dept., Gomal University, Pakistan (On Study Leave)
※ 관심분야: 3GPP LTE-A & 5G MC Systems, Small Cells, Interference Management



장 경 희 (KyungHi Chang)

1985년2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1987년2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년8월: Texas A&M Univ., EE Dept. (Ph.D.)
1989년~1990년: 삼성종합기술원 주임연구원
1992년~2003년: 한국전자통신연구원 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장
2003년~현재: 인하대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 3GPP LTE-A & 5G Systems, HetNet, Public Safety & Mobile Ad-hoc Networks, Maritime/Underwater Communications