

LTE-A 제어 채널 영역에 대한 간섭 제어 수신기

황진엽*, 정만영*, 이상욱^o

Interference Mitigation Receiver for Control Channel Region in LTE-A

Jin-Yup Hwnag*, Man Young Jung*, Sang-Wook Lee^o

요약

본 논문은 3GPP Rel-13 표준에서 진행되고 있는 제어 채널 영역에서 간섭 제어 수신기에 대한 동향 및 구현에 대한 연구이다. 3GPP에서는 Rel-12까지 단말의 데이터 수신 성능을 향상시키기 위해 셀 간 간섭을 제어/제거하거나 셀 간 협력을 통한 기술들을 표준화하고 그에 대한 요구 성능을 3GPP 표준에 반영하였다. 기본적으로 이러한 기술들은 단말이 기지국으로부터 전송되는 스케줄링 정보 등이 포함된 제어 채널을 주어진 환경에서 검출한 후에 적용된다. 하지만 셀 경계지역에서 제어 채널의 수신 성능도 셀 간 간섭으로 인해 저하된다. 따라서 인접 셀에 의한 제어 채널의 성능 저하를 개선하기 위해 제어 채널 간섭 제어가 필요하다. 본 논문에서는 현재 3GPP 표준에서 논의되는 제어 채널 간섭 제어 수신기에 대한 구조 및 성능을 분석하고 네트워크 환경에 따른 수신기 동작에 대해 알아본다.

Key Words : Control channel, Advanced receiver, Interference mitigation, 3GPP Standard, Complexity

ABSTRACT

This paper investigates an advanced receiver for interference mitigation of downlink control channel in the 3GPP Rel-13 standard. There are several features for downlink throughput performance improvement with inter-cell interference management such as network coordination and advanced receivers during Rel-10~Rel-12. These features can be operated always under the assumption that UE perfectly decodes control channels (PCFICH and PDCCH) of serving cell. However, the performance of control channels could be deteriorated in the cell edge region due to inter-cell interference. In this paper, we introduce the advanced receivers and analyze performance for control channel interference mitigation (CCIM) based on 3GPP Rel-13 standard. Additionally, we propose UE behavior depending on network condition.

I. 서론

최근 증가하는 무선 데이터 트래픽 요구를 충족시키기 위해 3GPP 표준에서는 물리적인 전송 안테나 수의 증가를 이용한 Massive MIMO 기술, 대역폭 집성 기술(Carrier Aggregation, CA), 비면허 대역을 활

용하는 LAA (License Assisted Access) 기술, 그리고 소형 셀(small cell)들을 배치하여 데이터 사용 가능 용량을 증가시키기 위한 기술들이 고려되고 있다. 또한 한정된 주파수를 재사용함으로써 발생한 인접 셀 간섭의 영향을 줄이기 위해 네트워크 협력을 이용한 FeICIC (Further enhanced inter-cell interference

* First Author : LG Electronics, jinyup.hwang@lge.com, 정희원

^o Corresponding Author : LG Electronics, sangwook1.lee@lge.com, 정희원

* LG Electronics, manyoung.jung@lge.com

논문번호 : KICS2016-05-085, Received May 3, 2016; Revised July 12, 2016; Accepted August 19, 2016

coordination)와 CoMP (Coordinated Multipoint Transmission /Reception)와 같은 기술을 표준화 하였고, IRC (Interference Rejection Combining) 수신기와 NAICS (Network Assisted Interference Cancellation and Suppression) 수신기를 도입하여 인접 셀 간섭을 제어/제거하여 수신 성능을 향상시키는 수신기를 표준화 하였다^{1,2}. 이러한 기술들은 데이터 영역 수신 성능 향상을 위한 것으로 제어 채널 영역에 대한 수신 성능은 고려가 되지 않았다. 하지만 인접 셀의 간섭이 큰 환경에서는 제어 채널에 대한 수신 성능이 보장되지 않기 때문에 데이터 수신을 위한 하향링크 스케줄링 정보가 있는 제어 채널을 수신하지 못하여 전체적인 데이터 수신 성능을 저하시키는 근본적인 문제가 발생하게 된다. 또한 간섭이 큰 환경에서는 단말의 열악한 채널 상태를 극복하기 위하여, 기지국에서 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)의 CCE (Control Channel Element) aggregation level (AL)을 높게 하여 할당하는 경우, 동시에 많은 resource elements를 점유하게 되고 데이터를 위한 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) 영역이 줄어들게 되어 전체적인 시스템 수율 향상에 제한이 되는 요인이 된다.

제어 채널 영역에서 간섭 신호를 제어하는 수신기는 Rel-11 FeICIC에서 도입이 되었었다. FeICIC는 CRS-IC (Cell-specific Reference Signal - Interference Cancellation) 수신기가 기본 동작으로 정의되어있어 제어 채널을 위해서도 CRS-IC가 같이 적용되었다⁸. 하지만 FeICIC는 간섭을 주는 Macro 셀에서 해당 subframe에 데이터를 할당하지 않고 CRS 신호만 전송하기 때문에 CRS 위치에서의 간섭만 존재한다. 따라서 데이터 영역에는 간섭 신호가 존재하지 않기 때문에 간섭 제어 능력이 없는 기본 수신기인 MRC (Maximal Ratio Combining) 수신기로 제어 채널을 수신할 경우 수신 성능에 문제가 되지 않는다.

데이터 간섭이 존재하는 일반적인 네트워크 환경에서 데이터 간섭을 제거하는 NAICS와 같은 수신기를 제어 채널의 간섭 제거를 위해 적용할 수 있으나 제어 채널은 데이터 수신을 위해 빠른 처리 속도가 요구되고 DRX (Discontinuous Reception)에서는 전력 소모를 줄이기 위해 일정 주기로 제어 채널을 모니터링하기 때문에 전력 소모도 작아야 한다. 따라서 제어 채널에 대한 간섭 제어 수신기는 단말에서의 수신 복잡도, 전력 소모, 그리고 성능 등을 모두 고려해야 한다.

본 논문에서는 3GPP Rel-13에서 진행되는 제어 채널 영역에 대한 간섭 제어 수신기의 개념, 수신기 구조

및 성능을 분석하고 효율적인 단말 수신기 동작에 대해 기술한다.

II. LTE(-A) 제어 채널

LTE(-A)의 하향링크 제어 채널에는 PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel), PDCCH (Physical Downlink Control Channel), PHICH (Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel)가 있다³.

- PCFICH: 하향링크 subframe에서의 제어 채널 영역의 symbol 수(CFI)를 알려준다. PCFICH는 셀 ID와 시스템 대역에 따라 4개의 REG (Resource element group)를 사용하여 첫 번째 OFDM symbol에 할당 된다. 사용되는 변조기법은 QPSK이다.
- PDCCH: 제어 채널 영역에서 Transport format, resource allocation, H-ARQ 등 UE의 스케줄링 정보가 포함된 DCI (Downlink Control Information)를 전송한다. PDCCH는 단말의 채널 상태에 따라 1, 2, 4, 8 CCEs의AL을 이용하여 전송되고, CCE AL에 의해서 할당되는 resource elements (RE)가 결정된다. 변조기법은 QPSK를 사용한다.
- PHICH: 각 UE가 전송한 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)에 대한 기지국의 Ack/Nack 정보를 전송한다. PHICH는 다수의 REG로 구성된 하나의 PHICH Group에 최대 8개까지의 복수의 UE에 대한 Ack/Nack 정보를 서로 다른 orthogonal sequence를 적용하여 Multiplexing하여 전송하며, 매 서브프레임의 첫 번째 OFDM symbol에 BPSK 기법을 적용하여 전송된다.

현재 3GPP RAN WG4에서, PDCCH는 PCFICH 수신 성능을 포함한 1% BLER (Block Error Rate)에서 target SNR을 요구 성능으로 정의하고 있으며, PHICH는 0.1% BLER에서 target SNR을 요구 성능으로 정의하고 있다⁴. 3GPP 표준에서의 제어 채널에 대한 기본 수신기는 MRC 수신기를 사용하고 있으며, 기지국 단에서는 전송 시에 Alamouti coding에 기반한 SFBC(Space-Frequency Block Code)을 사용하여 전송 다이버시티(transmit diversity) 이득을 얻는다⁵.

III. 제어 채널을 위한 간섭 제어 수신기

3GPP Rel-13에서 고려하는 제어 채널 영역 간섭 제어 수신기 구조는 제어 채널과 네트워크 동기화 여부

에 따라 아래와 같이 구분된다.

- 동기식 네트워크 (Synchronous network)
 - PDCCH/PCFICH/PHICH
 - MMSE-IRC + CRS-IC
 - Enhanced MMSE-IRC(EIRC) + CRS-IC
 - EPDCCH
 - MMSE-IRC+CRS-IC
- 비동기식 네트워크 (Asynchronous network)
 - PDCCH/PCFICH/PHICH/EPDCCH
 - MMSE-IRC

동기식 네트워크의 경우, 단말은 간섭을 주는 셀에 대하여 CRS 에 기반한 채널 추정과 CRS-IC 동작이 가능하기 때문에 MMSE-IRC + CRS-IC 수신기와 EIRC+CRS-IC수신기 구조 두 가지를 고려한다. 그러나 비동기식 네트워크인 경우 간섭 셀에 대해 CRS-IC 를 동작할 경우 단말 수신기의 복잡도가 급격히 증가하기 때문에 IRC 수신기 구조만 고려한다.

3.1 수신 신호 모델

N_{cell} 개의 다중 셀 환경에서 수신한 신호 y 은

$$y = \sum_{i=0}^{N_{\text{cell}}-1} H_i s_i + n \quad (1)$$

이다. 여기서 H_i 는 i 번째 셀과 수신단말 사이의 채널 행렬, s_i 는 i 번째 셀의 전송 신호, n 는 분산 σ^2 을 가지는 가우시안 잡음을 각각 나타낸다. i 가 0인 경우, 즉 0번째 셀은 서빙 셀로 가정한다.

3.2 MMSE-IRC 수신기

CRS-IC는 간섭 셀의 채널 추정을 통해 간섭 셀 CRS위치로부터 서빙 셀의 CRS 또는 데이터 위치에 서의 간섭을 제거하는 기술이다. 이는 3GPP Rel-11의 FeICIC에서 적용되었던 구조와 같으며 제어 채널 간섭 제어에서도 ‘CRS-AssistanceInfo-r11’의 RRC (Radio Resource Control) 시그널링을 재사용하여 간섭 셀의 CRS AP (Antenna Port)수, MBSFN configuration, Cell ID의 정보를 얻는다⁶⁾.

MMSE-IRC 수신기는 3GPP Rel-11에서 정의된 advanced receiver로 LTE 시스템에서 셀 경계에 위치한 단말의 인접 셀 간섭 제어를 목적으로 2개의 수신 안테나를 이용하여 수신 빔 포밍에 의해 수신 SINR을 MMSE 관점에서 통계적으로 최대화함으로써 간섭 제어를 수행한다^{6,7)}.

전송된 신호의 검출은 수신 신호 y 와 등화기 계수로 구성된 계수 행렬(weight matrix) $W_{Rx,0}$ 의 곱으로 식(2)와 같이 구해진다.

$$\hat{s}_0 = W_{Rx,0} y \quad (2)$$

식 (2)에서 등화기 계수는 MMSE criterion에 의해 식 (3) 과 같다.

$$W_{Rx,0} = P_0 \tilde{G}_0^H \bar{R}_{yy}^{-1} \quad (3)$$

여기서, $\tilde{G}_0^H = \tilde{H}_0 W_{Tx,0}$ 이고, \tilde{H}_0 은 추정된 채널 행렬, $W_{Tx,0}$ 는 송신 프리코딩 행렬(Precoding matrix)이다. P_0 는 서빙 셀의 전송 전력이고 \bar{R}_{yy} 는 수신 신호의 공분산 행렬 (covariance matrix) 이고 아래와 같이 수신신호의 평균으로 계산된다.

$$\bar{R}_{yy} = E[yy^H] = P_0 \tilde{G}_0 \tilde{G}_0^H + R_{I+N} \quad (4)$$

R_{I+N} 는 간섭과 잡음에 의한 오차 공분산 행렬 (error covariance matrix) 이고 $E[\tilde{y}\tilde{y}^H]$ 에 의해 얻어진다. \tilde{y} 는 수신신호에서 원하는 서빙 셀 신호를 제외한 오차신호로써 식 (5)와 같다.

$$\tilde{y} = y - P_0 \tilde{G}_0^H s \quad (5)$$

여기서 s 는 UE가 알고 있는 RS(Reference Signal)의 신호를 사용할 수 있다. MMSE-IRC는 기본 수신기인 MRC 수신기 대비 복잡도가 높지 않고 간섭 셀의 제어 채널 영역의 길이, 즉 CFI값과 무관하게 적용될 수 있다. 동기식 네트워크의 경우 수행되는 CRS-IC의 추가 동작은 PDSCH 수신기에도 적용이 되기 때문에 제어 채널을 위한 간섭 제어 수신기의 복잡도에는 추가되지 않는다.

3.3 MMSE-IRC 수신기

3GPP에서의 Enhanced MMS-IRC (EIRC) 수신기는 앞 절에서 언급한 IRC 수신기에서 부정확한 간섭과 잡음의 추정에 의한 오차 공분산 행렬의 정확도를 향상시키기 위해 간섭 셀의 채널 추정을 이용한다. 이를 통해 더 정확하게 추정된 공분산 행렬을 이용한 등화기 동작으로 간섭이 강한 채널 환경에서 수신기 성능이 IRC 수신기 대비 증가하는 것을 기대할 수 있다.

수신 신호의 공분산 행렬 \bar{R}_{yy} 는 식(4)에서 간섭 셀 $i(i=1,2,\dots,N_A)$ 에 대한 채널 추정치인 $\tilde{G}_i(=\tilde{H}_i W_{Tx,i})$ 이 추가되어 식(6)과 같이 계산된다. 단말이 채널 추정하는 간섭 셀의 수(N_A)와 채널 추정 정확도에 따라 공분산 행렬 값의 정확도가 달라진다. 3GPP WG4에서 고려하는 간섭 셀의 수는 2개이다. 이는 시스템 시뮬레이션 결과를 기반으로, 단말이 받는 간섭의 크기는 2개의 간섭 셀에서 오는 간섭 크기가 전체 간섭 크기를 대변할 수 있기 때문이다.

$$\bar{R}_{yy} = P_0 \tilde{G}_0 \tilde{G}_0^H + \sum_{i=1}^{N_A} P_i \tilde{G}_i \tilde{G}_i^H + R_{I+N} \quad (6)$$

하지만 EIRC 수신기는 기본적으로 모든 RE위치에서의 채널 추정 값 계산 및 그에 수반하는 역행렬 연산의 증가를 포함하여 추가적인 연산량이 필요하게 되어 IRC 수신기 대비 구현 복잡도가 증가하게 된다. 또한 간섭

셀의 환경에 따라 복잡도가 증가할 가능성이 있다. 예를 들어 서빙 셀과 간섭 셀이 colliding CRS환경인 경우, SFBC를 사용하는 제어 채널은 2RE 단위로 디코딩을 하기 때문에 간섭 채널 계수도 식(7)과 같이 변환되어야 한다.

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} h_{11} & -h_{12} \\ h_{21} & -h_{22} \\ h_{12}^* & h_{11}^* \\ h_{22} & h_{21}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

따라서 간섭과 잡음에 대한 공분산 행렬은 식(8)과 같이 구하여 사용되어야 한다.

하지만, 서빙 셀과 간섭 셀이 non-colliding CRS환경인 경우에는 서빙 제어 채널의 RE영역에 간섭 셀의

CRS가 위치하기 때문에 간섭 채널은 1RE 단위 독립적으로 고려되어야 한다.

서빙 셀과 간섭 셀의 제어 채널 영역인 CFI값에 따라서도 수신기의 동작이 달라진다. PCFICH와 PHICH의 경우 항상 첫 번째 심볼에서만 전송이 되기 때문에 간섭 셀의 유효 채널을 추정할 수 있어 EIRC 수신기를 사용하여 성능을 향상시킬 수 있지만 PDCCH의 경우 간섭 셀의 CFI값에 따라 표 1과 같은 수신기 동작이 적용될 수 있다.

인덱스 E는 EIRC이고 I는 IRC를 나타낸다. E1은 첫 번째 심볼에 대해 EIRC 수신기의 신호처리, I2는 두 번째 심볼에 대해 IRC수신기의 신호처리 과정을 적용한다는 의미이다. *는 수신기가 간섭 셀의 PCFICH를 검출하여 CFI 값을 안다고 가정할 경우이고 수신기가 간섭 셀의 PCFICH를 검출하지 않는다면 식(6)에 적용되는 간섭 셀의 유효 채널을 알 수 없기 때문에 첫 번째 심볼 외에는 모두 IRC 수신기를 적용해야 한다.

표 1. CFI값에 따른 수신기 구조

Table 1. Receiver structure based on CFI value for serving and interfering cell

CFI for Interfering cell \ CFI for serving cell	1	2	3
1	E	E	E
2	E1 I2	E*	E*
3	E1 I2/3	E1/2* I3	E*

3.4 수신기 복잡도 분석

앞에서 살펴본 제어 채널에 대한 간섭 제어 수신기의 성능에 있어서는 간섭 셀의 채널을 고려한 EIRC 수신기의 성능이 IRC 수신기 성능보다 좋으나 추가적인 연산량이 요구되고 복잡도 증가로 인하여 전력 소

$$\bar{R}_{yy} = E \left[\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} h_{11} & -h_{12} \\ h_{21} & -h_{22} \\ h_{12}^* & h_{11}^* \\ h_{22} & h_{21}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} + n \right) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} h_{11} & -h_{12} \\ h_{21} & -h_{22} \\ h_{12}^* & h_{11}^* \\ h_{22} & h_{21}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} + n \right)^* \right] \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \|h_{11}\|^2 + \|h_{12}\|^2 + \sigma_n^2 & h_{11}h_{21}^* + h_{12}h_{22}^* & 0 & h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} \\ h_{21}h_{11}^* + h_{22}h_{12}^* & \|h_{21}\|^2 + \|h_{22}\|^2 + \sigma_n^2 & h_{21}h_{12} - h_{22}h_{11} & 0 \\ 0 & h_{12}^*h_{21}^* - h_{11}^*h_{22}^* & \|h_{11}\|^2 + \|h_{12}\|^2 + \sigma_n^2 & h_{12}^*h_{22} + h_{11}^*h_{21} \\ h_{22}^*h_{11}^* - h_{21}^*h_{12}^* & 0 & h_{22}^*h_{12} + h_{21}^*h_{11} & \|h_{21}\|^2 + \|h_{22}\|^2 + \sigma_n^2 \end{pmatrix}$$

표 2. 각 수신기의 연산량
Table 2. Computational complexity for receiver type

Receiver	Weight function	Computational complexity			
		R	R^{-1}	$\tilde{H}^H R^{-1}$	Wy
MRC	$W = \tilde{G}_0^H$	0	0	0	16 X #RECCH/2
IRC	$W = \tilde{G}_0^H R^{-1}$ $R = \tilde{G}_0 \tilde{G}_0^H + R_{I+N}$	4 X #RECRS X #RB	4 X #Subband	8 X #RECCH	8 X #RECCH/2
EIRC (2RE)	$W = \tilde{G}_0^H R^{-1}$ $R = \tilde{G}_0 \tilde{G}_0^H + \tilde{G}_1 \tilde{G}_1^H + R_{I+N}$	4 X #RECRS X #RB + 40 X #Inter_Cell X #RECCH/2	42 X #RECCH	8 X #RECCH	8 X #RECCH/2

모가 증가하는 단점이 있다. IRC수신기와 EIRC 수신기의 연산량 (computational complexity based on complex multiplexing)은 표 2와 같다.

#RE_{CRS}는 CRS가 할당된 RE의 수이고 #RE_{CCCH}는 제어 채널이 할당된 RE의 수를 나타낸다. 구체적인 비교를 위해 10MHz 대역폭, colliding CRS, 간섭 셀 2개, 2개의 전송 안테나, 서빙 셀과 간섭 셀의 CFI가 3인 경우를 고려하면 그림 1과 같이 각 수신기의 연산량을 볼 수 있다.

EIRC 수신기의 경우 간섭 셀의 채널 추정의 복잡도를 고려하여 채널 추정의 정확도를 높이기 위해 full size FFT (fEIRC)를 적용할 수 있고, 채널 추정의 정확도는 약간 감소하지만 연산량을 줄이기 위한 reduced size FFT (rEIRC)를 적용할 수 있다. 복잡도 측면에서 보면 기본 수신기인 MRC 수신기 대비 IRC+CRS-IC 수신기는 약 9.8배, EIRC+CRS-IC 수신기는 세부 구성에 따라 rEIRC 수신기의 경우 약 17배, fEIRC의 경우 약 41배까지 증가하게 된다.

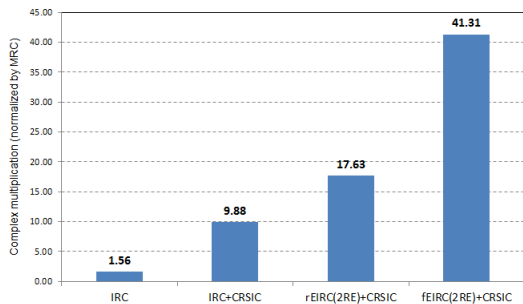


그림 1. 수신기 연산량 (normalized by MRC receiver)
Fig. 1. Complex multiplication (normalized by MRC receiver)

3.5 제어 채널 간섭 제어 수신기 동작

제어 채널 간섭 제어 수신기는 모의 실험 결과에서

보았듯이 기본 수신기보다 향상된 성능을 얻을 수 있다. 하지만 III. 4절에서 언급 했듯이 수신기의 복잡도가 증가하는 부분도 배제할 수 없다. 단말이 일반적인 데이터를 송수신하는 RRC_Connected mode에서는 PDSCH를 수신하기 위해 단말은 CRS-IC 동작을 수행하여 제어 채널에도 같이 적용될 수 있다. 하지만 RRC_Connected mode에서 전송될 데이터가 없을 경우 단말의 전력 소모를 줄이기 위해 기지국은 DRX (Discontinuous Reception) configuration을 설정한다. 이는 C-DRX라고 한다⁹⁾. 그림 2와 같이 단말은 C-DRX에서 설정된 short-DRX-cycle과 long-DRX-cycle에 따라 주기적으로 PDCCH를 모니터링하고 단말과 관련된 PDCCH가 있는지 없는지에 대한 판단을 한다.

단말이 C-DRX에서 PDCCH 모니터링을 위해 IRC+CRS-IC나 EIRC+CRS-IC 수신기를 사용할 경우 기본적인 C-DRX에서 추구하는 단말의 전력 소모 감소의 효과를 얻지 못하게 된다. C-DRX에서 정의된 OnDuration구간 동안 간섭 셀의 채널을 추정하고 CRS-IC를 동작하게 될 경우 III. 4절에서 언급했듯이 수신기 복잡도 증가로 전력 소모가 증가하게 된다. 또한 고속 환경의 단말이나 long-DRX-cycle의 단말은 간섭 셀이 변경되거나 간섭 셀에 대한 채널 추정 시점이 변경되어 CRS-IC동작을 위해 OnDuration이 시작하기 전 시점부터 간섭 셀에 대한 추정이 필요한 경우

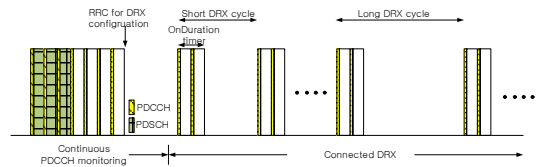


그림 2. C-DRX 설정 예
Fig. 2. Example of C-DRX configuration

가 생겨 전력 소모 감소 기회가 줄어들어 문제점이 발생한다. 따라서 C-DRX의 OnDuration에서 단말이 PDCCH를 모니터링 할 경우 제어 채널 간섭 제어 수신기는 기본 수신기인 MRC 수신기로 동작해야 하고, 이를 위해 기지국은 해당 구간에서 MRC 수신기 성능을 기준으로 PDCCH CCE AL을 설정하여 전송해야 한다.

IV. 모의 실험 결과

제어 채널 영역의 간섭 제어 수신기인 IRC+CRS-IC와 EIRC+CRS-IC에 대한 모의 실험을 위해 두 개의 간섭 셀을 설정하고 3GPP NAICS WI에서 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 도출된 INR(Interference to Noise Ratio)=[13.91(간섭셀#1) 3.34(간섭셀#2)]dB를 사용한다. EIRC의 성능은 간섭 셀의 PCFICH 검출 성능의 영향을 제외하기 위해 서빙 셀과 간섭 셀의 CFI를 1로 고정한다. 본 모의 실험은 MATLAB을 이용한 link level simulator를 기반으로 결과를 도출하였고 자세한 모의 실험 변수는 표3

표 3. 모의 실험 변수
Table 3. Simulation parameters

Parameters	Value
System bandwidth	10MHz
Duplexing mode	FDD
Cyclic prefix	Normal
Number of interference cells	2 interfering cells
CFI	Serving cell : 1 Interference cell : 1
Interference power profile	I1/Noc = 13.91 dB I2/Noc = 3.34 dB
Time-frequency offset of interference cells	Interference cell#1:2us, 200Hz Interference cell#2:3us, 300Hz
Cell ID	Serving cell: 0 Interferer cell #1 : 6 Interferer cell #2 : 1
Antenna configuration	2x2, Low correlation
Tx EVM	6%
Interference control channel loading	50% interference loading
PDCCH	DCI Format 2 (43bit) 2CCE AL
PHICH FRC	R.19 in the TS36.101 Ng=1

에 정리되어 있다.

그림 3~그림 5는 동기식 네트워크 하에서 colliding CRS일 경우의 PCFICH/PHICH /PDCCH의 BLER

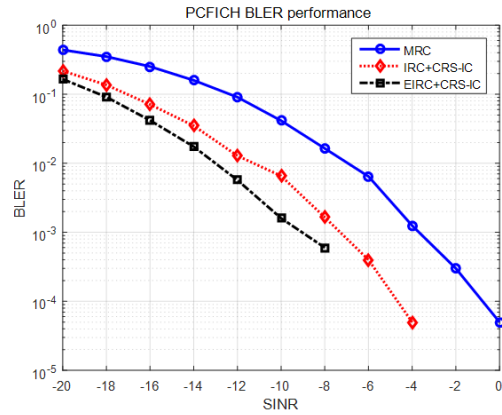


그림 3. Colliding CRS에서의 PCFICH BLER
Fig. 3. PCFICH BLER with colliding CRS

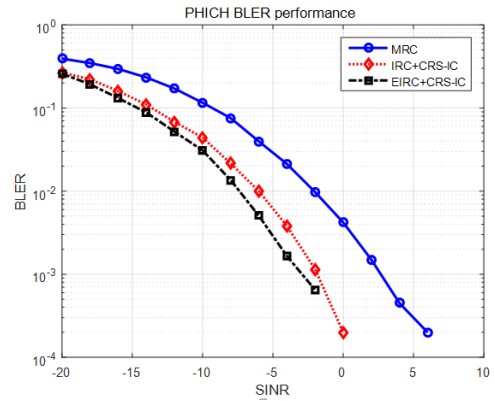


그림 4. Colliding CRS에서의 PHICH BLER
Fig. 4. PHICH BLER with colliding CRS

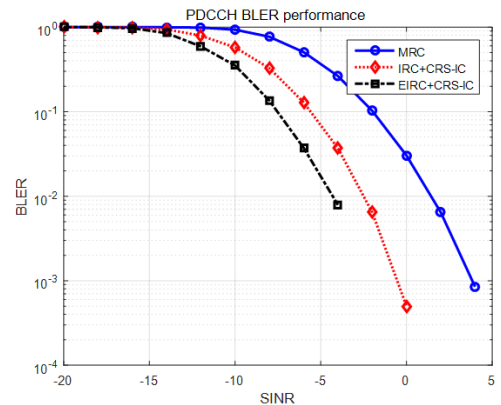


그림 5. Colliding CRS에서의 PDCCH BLER
Fig. 5. PDCCH BLER with colliding CRS

표 4. MRC 대비 성능 이득(dB)
Table 4. Performance gain based on MRC receiver

Control Channel	Target BLER	IRC+CRS-IC	EIRC+CRS-IC
PCFICH	1%	4.3	6.1
PHICH	0.1%	4.5	6.0
PDCCH	1%	3.9	5.7

성능을 나타내고, 표 4에서는 기본 수신기인 MRC 수신기 대비 IRC+CRS-IC수신기와 EIRC+CRS-IC 수신기의 성능 이득을 정리했다. 전체적으로 MRC대비하여 IRC+CRS-IC는 약4dB, EIRC + CRS-IC 수신기는 약 6dB정도의 성능 이득이 있다.

그림 6는 비동기식 네트워크의 non-colliding CRS 환경에서의 제어 채널에 대한 BLER 성능을 보여준다. 동기식 네트워크와의 수신기 구조 차이는 CRS-IC 동작이 구현 복잡도가 지나치게 크기 때문에 IRC 수신기 구조만 고려한다. 비동기식 네트워크에서도 모든 제어 채널에 대해 MRC 수신기 대비 IRC수신기가 약 2~2.5dB의 성능 향상이 있음을 볼 수 있다.

그림 7은 3GPP Rel- 11의 optional feature인 EPDCCH채널에 대한 간섭 제어 수신기들의 BLER 성능이다. EPDCCH는 할당 방식에 따라 분산 모드(distributed mode)와 지역 모드(localized mode)가 있고 precoding이 적용되기 때문에 간섭 셀의 EPDCCH 유효 채널을 알 수 없다. 따라서 동기식 네트워크에서 EPDCCH 수신기는 IRC+CRS-IC 구조가 적용되고 MRC 수신기 대비 약 3~4dB 정도의 성능 이득을 가져온다.

본 모의 실험을 통하여 확인된 제어 채널에 대한 성능 이득은 셀 경계 영역에 위치하여 큰 간섭의 영향이 존재하는 환경하에서, 개별 UE 입장에서는 제어 채널의 수신 성능 향상을 통한 데이터 수신율을 증가

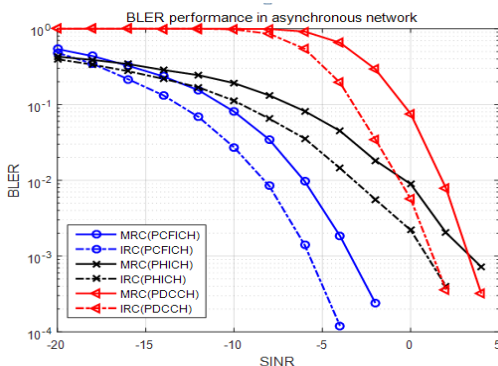


그림 6. 비동기식 네트워크에서 제어 채널 BLER 성능
Fig. 6. Control channel BLER in asynchronous network

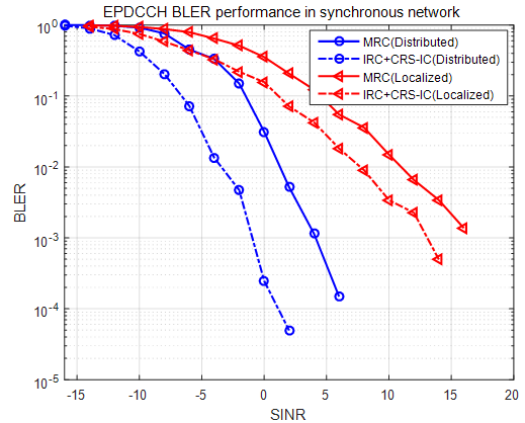


그림 7. Colliding CRS에서 EPDCCH BLER 성능
Fig. 7. EPDCCH BLER with colliding CRS

및 전송 속도 향상을 얻을 수 있고, 기지국 입장에서는 향상된 하향 링크 성능을 바탕으로 PDCCH CCE AL을 낮추어 운용하는 것을 가능케 함으로써, 제어 채널 영역 자원 할당 감소 및 데이터 영역의 자원 할당 증가를 통하여 전체 시스템 측면에서 지원할 수 있는 사용자 혹은 시스템 수율을 향상 시키는 장점이 있다.

V. 결론

본 논문에서는 3GPP Rel-13 Work Item에서 진행하고 있는 제어 채널 간섭 제어 수신기에 대한 수신기 구조와 기대되는 성능 이득 및 네트워크 환경에 따른 수신기 동작에 대해 알아보았다. 제어 채널 간섭 제어 수신기는 간섭 셀에 대한 채널 추정과 CRS-IC 동작으로 간섭 셀의 제어 채널에 의한 제어 영역 수신 성능 저하를 회피하여 기본 수신기인 MRC 보다 향상된 성능을 기대할 수 있다.

또한 이러한 성능 향상을 위해서는 III.3에서 언급했듯이 서빙 셀과 간섭 셀의 제어 채널 영역 심볼 길이에 따라 올바른 수신기의 적용이 필요하다. 즉, 제어 채널 영역 심볼 길이가 서빙 셀과 간섭 셀이 같은 경우에는 EIRC 수신기를 사용하고, 제어 채널 영역 심볼 길이가 셀 간에 다를 경우에는 IRC 수신기를 사용하는 것이 유리하다. 하지만 III.5에서 살펴본 바와 같이 RRC connected mode에서 C-DRX가 설정된 경우는 수신기의 복잡도 및 전력 소모 감소를 위해서 기본 수신기인 MRC 수신기로 동작하는 것이 유리하다.

따라서 서빙 셀과 간섭 셀의 제어 채널 설정 환경 및 RRC connected mode 설정 환경에 따라 적절한 수신기 동작이 적용되어야 수신기 복잡도 및 전력 소

모를 줄이면서 제어 채널의 수신 성능 이득을 기대할 수 있다.

References

- [1] Y. Yun, "3GPP LTE-A Technology (Trend for Rel-10 and Prospect for Rel-11)," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 28, no. 6, May 2011.
- [2] J. Hwang and S. Lee, "Advanced receiver for interference cancellation in 3GPP LTE-A," *J. KICS*, Vol. 39A No. 7, Jul. 2014.
- [3] 3GPP TS 36.211, *E-UTRA; Physical channels and modulation* (Release 13), V13.1.0, Mar. 2016.
- [4] 3GPP TS 36.101, *E-UTRA; User Equipment (UE) radio transmission and reception* (Release 13), V13.2.1, Jan. 2016.
- [5] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Area. Commun.*, vol. 16, no. 8, 1998.
- [6] 3GPP TR 25.963, *Feasibility study on interference cancellation for UTRA FDD UE*, v11.0.0, 2012.
- [7] Y. Ohwatari, N. Miki, T. Asai, T. Abe, and H. Taoka, "Performance of advanced receiver employing interference rejection combining to suppress inter-cell interference in LTE-advanced downlink," *IEEE VTC Fall*, pp. 1-7, San Francisco, CA, Sept. 2011.
- [8] B. Soret, Y. Wang, and K. I. Pedersen, "CRS interference cancellation in heterogeneous networks," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 6797-6801, Ottawa, ON, Jun. 2012.
- [9] T. Kim, G. Cho, and S. Jo, "A study on CDRX operation of eNB for battery saving in LTE scheme," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 396-397, Jun. 2014.

황진엽 (Jin-Yup Hwang)



2005년 2월: 경희대학교 전파통신공학과 졸업
 2007년 2월: 한국정보통신대학원 공학 석사
 2012년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
 2012년 1월~현재: LG 전자 선임연구원

<관심분야> 3GPP LTE/LTE-A 이동통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템

정만영 (Man Young Jung)



1998년 2월: 중앙대학교 전자공학과 학사
 2000년 2월: 중앙대학원 전자공학과 석사
 2004년 11월: SK Innoace 대리
 2004년 11월~현재: LG 전자 수석연구원

<관심분야> 3GPP LTE/LTE-A 이동통신 시스템, V2X, 5G 이동통신 시스템

이상욱 (Sang-Wook Lee)



1994년 2월: 서울대학교 전자공학과
 1996년 2월: 서울대학교 전자공학과 석사
 2001년 2월: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
 2001년 3월~현재: LG 전자 수석연구원

<관심분야> 3GPP UMTS/LTE/LTE-A 이동통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템