

논문 2015-52-11-1

백홀 시스템에서 시스템 레벨 시뮬레이션 기반 하이브리드 수신기 설계 및 성능 분석

(Design and Performance Analysis of Hybrid Receiver based on
System Level Simulation in Backhaul System)

문 상 미*, 추 명 훈*, 김 한 중**, 김 대 진***, 황 인 태***

(Sangmi Moon, Myeonghun Chu, Hanjong Kim, Daejin Kim, and Intae Hwang[Ⓞ])

요 약

폭발적으로 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 수용하기 위하여 셀 간 간섭을 제어할 수 있는 향상된 수신기에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 인접 셀의 간섭 신호를 억제 및 제거하여 수신기의 SINR(Signal-to-Noise-plus-Interference Ratio)을 향상시켜 수신 성능을 올리는 NAICS(Network Assisted Interference Cancellation and Suppression)가 표준에서 논의되고 있다. 본 논문에서는 이웃셀로부터 간섭의 영향을 줄이기 위하여 연관성 기반의 향상된 수신기를 제안한다. 제안한 수신기는 MMSE (Minimum Mean Square Error) 또는 IRC (Interference Rejection Combining) 수신기를 통해 간섭 신호의 불편 추정 (unbiased estimation) 값을 계산 하고 간섭 신호를 억제 및 제거한다. 간섭 신호는 LLR (Log-Likelihood Ratio)로 표현되는 소프트 정보를 통해 업데이트 한다. 시스템 레벨 시뮬레이션은 3GPP LTE-Advanced 하향링크 시스템의 20MHz 대역을 기반으로 이루어 졌으며, 시뮬레이션 결과 제안한 수신기를 통해 기존 수신기보다 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율 측면에서 성능 향상을 가져다주는 것을 확인하였다.

Abstract

An advanced receiver which can manage inter-cell interference is required to cope with the explosively increasing mobile data traffic. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) has discussed network assisted interference cancellation and suppression (NAICS) to improve signal-to-noise-plus-interference ratio (SINR) and receiver performance by suppression or cancellation of interference signal from inter-cells. In this paper, we propose the advanced receiver based on soft decision to reduce the interference from neighbor cell in LTE-Advanced downlink system. The proposed receiver can suppress and cancel the interference by calculating the unbiased estimation value of interference signal using minimum mean square error (MMSE) or interference rejection combining (IRC) receiver. The interference signal is updated using soft information expressed by log-likelihood ratio (LLR). We perform the system level simulation based on 20MHz bandwidth of 3GPP LTE-Advanced downlink system. Simulation results show that the proposed receiver can improve SINR, throughput, and spectral efficiency of conventional system.

Keywords : Advanced receiver, Downlink, LLR, Soft decision, System Level Simulation

* 학생회원, *** 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부

(School of Electronics & Computer Engineering Chonnam National University)

** 평생회원, 한국기술교육대학 정보기술공학부

(School of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: hit@jnu.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음.
[14-000-04-001, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술 개발]

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임
(2013R1A1A2007779)

※ 이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2014H1C1A1066568).

Received ; September 14, 2015 Revised ; October 15, 2015 Accepted ; November 10, 2015

I. 서론

최근 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 표준 단체를 비롯하여 다수의 주요 연구기관에서는 폭증하고 있는 모바일 트래픽을 수용하기 위하여, 다수의 소형셀들을 매크로 셀 내에 배치하는 방안에 대해 중점적으로 고려하고 있다^[1-3].

하지만, 전송 용량 증대를 위해 셀 크기를 줄여 주파수 재활용률을 높일 경우 셀 크기가 작아짐에 따라 단말기가 셀 경계 영역에서 셀 간 간섭의 영향을 받을 확률이 커지게 되었다. 특히 셀 경계 영역 단말기에 대한 간섭 문제를 해결하려는 연구는 셀 간 협력 처리 기술과 같이 기지국 송신기에서 간섭을 줄이는 전송 방법과 고성능 수신 알고리즘을 적용하여 수신기에서 간섭을 처리하는 방법으로 분류할 수 있다^[4-5]. 그런데 전자의 경우 간섭 처리를 위해 각 단말은 채널 정보를 피드백해야 한다. 안테나 개수의 증가에 따른 피드백 오버헤드와 피드백 정보의 부정확함을 고려할 때, 피드백을 필요로 하는 송신기 간섭 처리 방법에는 제약이 따른다. 반면 수신기에서 간섭을 처리 하는 방법은 피드백을 필요로 하지 않으므로 최근 3GPP에서 주목을 받고 있다.

간섭 영향을 줄일 수 있는 고성능 수신 알고리즘은 크게 간섭 억제 수신기와 간섭 제거 수신기로 분류할 수 있으며, 이러한 NAICS (Network Assisted Interference Cancellation and Suppression) 연구는 고성능 수신기 알고리즘과 이와 관련된 네트워크 지원 방법으로 분류될 수 있다. 다중 셀 환경에서 간섭제거 및 용량 개선 관점에서 MMSE (Minimum Mean Square Error)에 기반을 둔 수신기 알고리즘들이 활발하게 제시되고 있으며, 3GPP Release-12에서는 NAICS가 SI (Study Item)로 승인되어 네트워크 지원과 관련하여 성능 개선, 지원 정보 종류, 오버헤드 등이 논의되었다^[4].

본 논문에서는 이웃셀로부터 간섭의 영향을 줄일 수 있는 기존의 수신기에 대하여 살펴보고, IRC (Interference Rejection Combining)와 SIC (Successive Interference Cancellation)를 결합한 향상된 수신기를 제안한다.

본 논문에서는 이웃셀로부터 간섭의 영향을 줄일 수 있는 기존의 수신기에 대하여 살펴보고, SCI (Successive Interference Cancellation) 및 FSC (Full

Suppression and Cancellation) 수신기에서 성능을 향상시키기 위해 연판정 (SD: Soft Decision) 기반 수신기를 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 기존의 수신기에 대하여 기술하고 제 III장에서는 연판정 기반 수신기에 대하여 제안한다. 그리고 제 IV장에서는 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 제 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 수신기

본 장에서는 기존 수신기 방식인 경판정 (HD: Hard Decision) 기반 SIC, FSC 및 ML(Maximum Likelihood)에 대하여 살펴본다. 하향링크 채널의 경우, RE(Resource Element)에서 수신 신호는 다음 식과 같다^[6-7].

$$x = H_{0,n}s_{0,n} + \sum_{n' \neq n}^{N_{stream}} H_{0,n'}s_{0,n'} + \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{q,n}s_{q,n} + N \quad (1)$$

여기서 s_0 와 $H_0(q=0)$ 는 각각 UE에게 전달되는 서빙셀의 신호와 해당 전파 채널이다. s_q 와 $H_q(q=1, 2, \dots, N_{cell}-1)$ 는 각각 q 번째 간섭 신호와 해당 전파 채널이고 N 은 잡음이다.

1. SIC 수신기

SIC 기법을 적용할 경우 간섭 신호에 대한 변조 차수 및 간섭을 일으키는 채널 행렬에 대한 정보가 요구된다. SIC 수신기는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = H^H(HH^H + \sigma_N^2 I)^{-1} \left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q \tilde{s}_q \right) \quad (2)$$

이때, \tilde{s}_q 는 간섭 신호 s_q 에 대한 양자화된 추정 값이다. SIC 기법에 대한 흐름도는 그림 1과 같다. 수신된 신호에 대하여 정렬화 (Ordering) 및 무효화 (Nulling)가 이루어지며, 이후 경판정 기반의 심볼 레벨 SIC가 적용하여 양자화 (Slicing)가 이루어진다. 이를 통해 간섭 신호에 대한 추정 값을 얻음으로써, 수신 신호와의 제거화 (Cancelling) 과정을 통해 원하는 신호를 계산하는 작업이 이루어진다.

이상적인 채널 추정에서 간섭 신호 s_q 의 양자화 추정

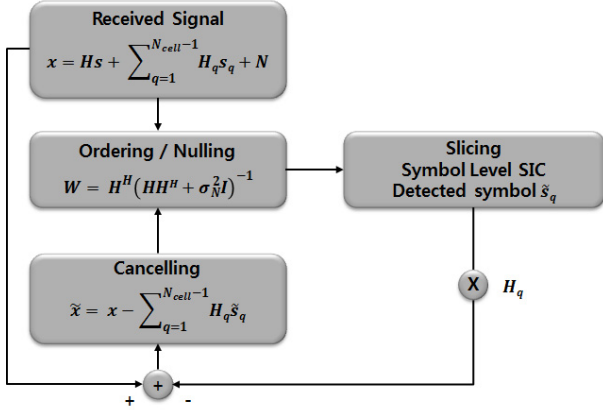


그림 1. SIC 수신기의 흐름도
Fig. 1. Flow chart of SIC receiver.

은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_q = \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_q^H \left(\frac{P_q}{N_{stream,q}} H_q H_q^H + (\sigma_S^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (3)$$

여기서, P_q 는 q 번째 셀의 간섭 신호 전력을 나타내고, σ_N^2 과 σ_S^2 은 잡음과 자기신호의 전력을 말한다. 그리고 $N_{stream,q}$ 는 q 번째 셀의 전송 스트림의 개수를 의미하고 $H_q(N_{Rx} \times N_{stream,q})$ 는 q 번째 셀과 UE 사이의 이상적인 채널 행렬을 나타낸다.

이상적인 채널 추정 기법이 적용된 경우, SIC의 가장치 행렬은 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, SIC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0 H_0^H + \sigma_N^2 I \right)^{-1} \quad (4)$$

여기서, P_0 와 각 서빙셀($q=0$)의 심볼당 전송 신호 전력을 나타내고, σ_N^2 은 잡음을 말한다. 그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s} = W_{ideal, SIC} \left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{q,n} \tilde{s}_{q,n} \right) \quad (5)$$

SIC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal, SIC,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal, SIC,0,n}^H}{W_{ideal, SIC,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2 I) W_{ideal, SIC,0,n}^H} \quad (6)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (7)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H e \quad (8)$$

여기서 $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 이고 β 는 검출 신호의 에러 확률이고 다음 식과 같다^[8].

$$\beta = 2Q(\sqrt{SINR_{out}^q}) - [Q(\sqrt{SINR_{out}^q})]^2 \quad (9)$$

2. FSC 수신기

FSC는 IRC와 SIC 수신기를 결합한 향상된 수신기로 FSC 수신기의 흐름도는 그림 2와 같다.

하향링크 시스템의 수신된 신호의 SIR(Signal to Interference Ratio)를 계산한다. SIR이 0보다 작을 경우, 즉 간섭 신호의 크기가 클 경우 IRC를 통해 간섭 신호를 검출 하며 다음과 같이 표현된다.

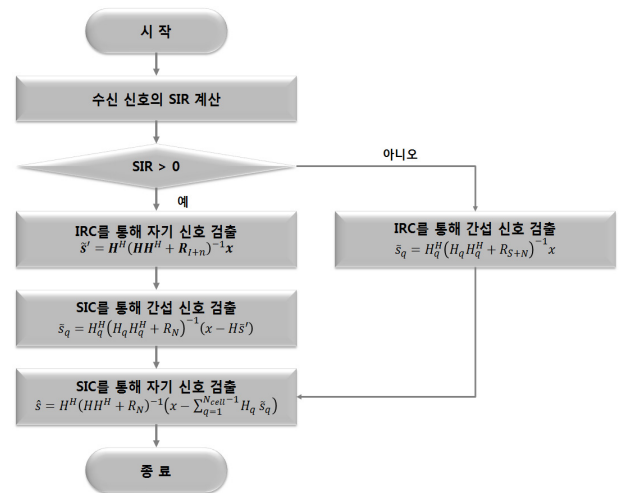


그림 2. FSC 수신기의 흐름도
Fig. 2. Flow chart of FSC receiver.

$$\tilde{s}_q = H^H(HH^H + R_{S+N})^{-1}x \quad (10)$$

여기서 R_{S+N} 은 자기 신호 및 잡음의 공분산 행렬 값으로, 아래 식을 통해 계산되며, $r_q(k,l)$ 는 q 번째 셀의 CS-RS (Cell Specific-Reference Signal) 시퀀스를 의미한다.

$$R_{S+N} = E[\tilde{x}(k,l)\tilde{x}^H(k,l)] \quad (11)$$

$$\tilde{x}(k,l) = x(k,l) - H_q(k,l)r_q(k,l) \quad (12)$$

최종적으로 SIC를 통해 자기 신호를 검출하며 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = H^H(HH^H + R_N)^{-1}\left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q \tilde{s}_q\right) \quad (13)$$

여기서 R_N 은 잡음의 공분산 행렬이다.

반대로 SIR이 0보다 클 경우, 즉 자기 신호의 크기가 클 경우 두 단계를 걸쳐 자기 신호를 검출한다.

먼저, IRC를 통해 자기 신호 \tilde{s}' 를 검출 후 SIC를 통해 간섭 신호를 검출하며 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{s}' = H^H(HH^H + R_{I+N})^{-1}x \quad (14)$$

여기서 R_{I+N} 은 간섭 신호 및 잡음의 공분산 행렬이다. 그 후 SIC를 통해 간섭 신호를 검출하며 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{s}_q = H_q^H(HH_q^H + R_N)^{-1}(x - H\tilde{s}') \quad (15)$$

검출된 간섭 신호를 수신신호에서 제거하기 위하여 최종적으로 SIC를 통해 자기 신호를 검출하며 식 (13)과 같이 표현된다.

이상적인 채널 추정 기법이 적용된 경우, FSC의 가중치 행렬은 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, FSC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0 H_0^H + R_N \right)^{-1} \quad (16)$$

FSC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal, FSC,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal, FSC,0,n}^H}{W_{ideal, FSC,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2) W_{ideal, FSC,0,n}^H} \quad (17)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (18)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H e \quad (19)$$

3. ML 수신기

ML 기법은 가장 이상적인 성능을 보이는 기법으로, 복잡도가 가장 높은 단점을 갖고 있다. ML 수신기는 다음과 같이 표현된다.

$$\{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q\} = \underset{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q \in \Omega}{\operatorname{argmin}} \left\| x - H_0 s_0 - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q s_q \right\|^2 \quad (20)$$

이때, Ω 는 원하는 신호와 간섭 신호에 사용되는 변조 방식의 constellation points set을 나타낸다.

ML의 출력 SINR 값은 PIC(Perfect Interference Cancellation)의 SINR과 MMSE의 SINR 계산을 통하여 계산된다. 식 (21)은 PIC의 출력 SINR을 나타내며 MMSE의 출력 SINR은 식 (22)와 같다^[9].

$$SINR_{out,n}^{PIC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}(\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} \|H_{0,n}\|^2 \quad (21)$$

$$SINR_{out,n}^{MMSE} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal, MMSE,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal, MMSE,0,n}^H}{W_{ideal, MMSE,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2) W_{ideal, MMSE,0,n}^H} \quad (22)$$

ML의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n}^{ML} = (1 + SINR_{out,n}^{PIC})^{\alpha\beta} (1 + SINR_{out,n}^{MMSE})^{1-\alpha\beta} - 1 \quad (23)$$

여기서 α 와 β 는 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha = \frac{C_{open} - C_{MMSE}}{C_{PIC} - C_{MMSE}}, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (24)$$

$$\beta = \frac{C_{ML} - C_{MMSE}}{C_{open} - C_{MMSE}}, 0 \leq \beta \leq 1 \quad (25)$$

이때, MIMO 개구간 용량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{open} = \log_2 \det \left(I_{N_t} + \frac{P_0}{N_{stream,0}(\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} H_0 H_0^H \right) \quad (26)$$

MMSE, PIC 그리고 ML의 용량은 다음과 같다.

$$C = \sum_{n=1}^{N_{stream}} \log_2(1 + SINR_{out,n}) \quad (27)$$

III. 제안 수신기

본 장에서는 SIC 및 FSC 수신기의 성능을 향상시키기 위한 연판정 기반 수신기를 제안한다. 그림 3은 수신단에서 디프리코딩, 레이어 디맵퍼, 디스크램플링 블록을 생략한 SIC 및 FSC의 연판정 수신기 구조를 나타낸다.

수신 신호 x 는 MMSE 또는 IRC 수신기를 통해 i 번째 셀에서 송신 신호 s_i 의 불편 추정 (unbiased estimation) 값을 다음 수식을 통해 계산한다.

$$\tilde{s}_i = w_i x \quad (28)$$

여기서 $i=0$ 인 경우 서빙 셀의 신호이고, w_i 는 i 번째 셀의 가중치 행렬이며, MMSE와 IRC 수신기의 가중치 행렬은 식 (29), (30)과 같다.

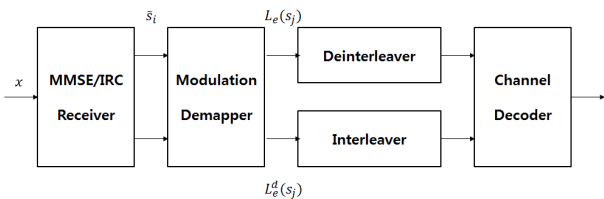


그림 3. 연판정 수신기의 구조

Fig. 3. Structure of soft decision receiver.

$$w_{MMSE} = H^H(HH^H + \sigma_{I+n}^2 I)^{-1} \quad (29)$$

$$w_{IRC} = H^H(HH^H + R_{I+n})^{-1} \quad (30)$$

여기서 σ_{I+n}^2 은 간섭 및 잡음의 파워, R_{I+n} 은 간섭 및 잡음의 공분산 행렬이다. 신호 추정 후 수신 신호 x 에서 \tilde{s}_i 를 제거하면 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = w(x - \sum_{i=1}^p H_i m_i) \quad (31)$$

여기서 m 은 사전 정보(prior information)로 심볼 s 의 평균 $m = E(s)$ 로 표현된다. 시작 단계에서는 사전 정보가 존재하지 않기 때문에 $m = 0$ 이다. 사전 정보는 MMSE 또는 IRC 등화기를 거친 후 추정 신호의 소프트 정보를 통해 업데이트할 수 있다. 소프트 정보는 LLR(Log-Likelihood Ratio)로 표현되며, 사전 LLR, 사후 LLR, 외부 LLR은 각각 식 (32), (33), (34)와 같다.

$$L(s_j) = \ln \frac{P(s_j = 0)}{P(s_j = 1)} \quad (32)$$

$$L(s_j|\tilde{s}) = \ln \frac{P(s_j = 0|\tilde{s})}{P(s_j = 1|\tilde{s})} \quad (33)$$

$$L_e(s_j) = L(s_j|\tilde{s}) - L(s_j) = \ln \frac{\sum_{\alpha_k: \alpha_{k,j} = 0} p(\tilde{s}|s = \alpha_k)p(s_{j'} = \alpha_{k,j'})}{\sum_{\alpha_k: \alpha_{k,j} = 1} p(\tilde{s}|s = \alpha_k)p(s_{j'} = \alpha_{k,j'})} \quad (34)$$

여기서 $j, j' = 1, 2$ 이고 $j \neq j'$ 이다. 사전 LLR은 MMSE 또는 IRC 수신기 전에서, 사후 LLR은 수신기 후 계산된다. 외부 LLR은 변조 방식에 따라 달라진다. 또한, $p(x)$ 는 PDF (Probability Density Function)이며, 다음 아래식과 같이 가우시안 근사를 이용한다.

$$p(\tilde{s}|s = \alpha_k) = \frac{1}{\sigma_k} \cdot \exp(-|\tilde{s} - u_k|^2/\sigma_k^2) \quad (35)$$

여기서 평균은 $u_k = E(\tilde{s}|s = \alpha_k)$ 이고, 분산은 $\sigma_k^2 = cov(\tilde{s}, \tilde{s}|s = \alpha_k)$ 이고 다음과 같이 계산된다.

$$u_k = \alpha_k \quad (36)$$

$$\sigma_k^2 = 1/(H^H RH) \quad (37)$$

이를 이용하여 식 (34)를 간략히 표현하면 다음과 식과 같다.

$$L_e(s_1) = \sqrt{\beta} Re(\tilde{s})(H^H RH) \quad (38)$$

$$L_e(s_2) = \sqrt{\beta} Im(\tilde{s})(H^H RH) \quad (39)$$

여기서 $\sqrt{\beta}$ 는 변조 방식에 따라 달라지며 QPSK의 경우 $2\sqrt{2}$, 16QAM의 경우 $10\sqrt{2}$, 64QAM의 경우 $42\sqrt{2}$ 상수 값을 갖는다.

마지막으로, 외부 LLR $L_e(s_j)$ 는 채널 디코더로 입력된 후 새로운 외부 LLR $L_e^d(s_j)$ 를 생성한다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

본 장에서는 기존 및 제안 수신기의 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율에 대하여 성능 분석이 이루어졌다. 이에 대한 모의실험 모델 및 파라미터와 모의실험 결과는 다음과 같다.

1. 모의실험 모델 및 파라미터

모의실험은 LTE-A 표준에 따라 하향링크 시스템에서 시스템 레벨 모의실험이 이루어졌다^[10]. 그림 4와 같이 매크로셀은 3개의 섹터로 구분되고, 19개로 구성된다.

LTE-Advanced 하향링크 시스템 레벨 시뮬레이션에서 사용된 파라미터에 대하여 표 1과 같이 정리하였다.

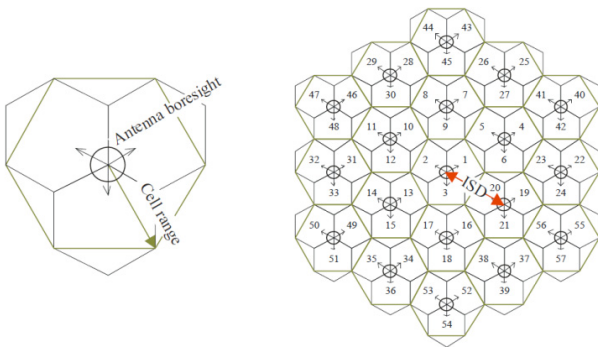


그림 4. 셀 레이아웃
Fig. 4. Cell layout.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters.

| Parameter | Value |
|---|---|
| Cell Layout | Hexagonal grid, 2-Tier, 19 cell sites, 3 sectors/site |
| No. of UE per Sector | 25 UEs |
| Antenna Configuration | BS: 2, MS: 2 |
| Channel Model | WINNER Channel Models, UMa - NLoS |
| Doppler Velocity | 300Hz |
| BS Max TX Power | 49 dBm - 20 MHz Carrier |
| Center Frequency | 2.6 GHz |
| Bandwidth (No. of RBs) | 20 MHz (100RBs) |
| Scheduling | Round Robin |
| Traffic Model | Full Buffer |
| Cell Radius (R) | [Case 1] =ISD/ROOT3 500/ROOT3= \sim 289m |
| BS antenna gain | 14 dBi for micro, pluscableloss macrocellcase |
| Antenna Pattern | $A_H(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}}\right)^2, A_m\right]$, $\varphi_{3dB} = 70 \text{ degrees}, A_m = 25 \text{ dB}$ |
| Path Loss Model | $PL = 130.5 + 37.6 \cdot \log_{10}(R)$ |
| Shadow Std. Deviation | 10 dB |
| Penetration Loss | 20 dB |
| MS Noise Level | 174dBm/Hz |
| UE Noise Figure | 9 dB |
| Correlation distance of shadowing | 50 m |
| Shadowing correlation between cells/Sectors | 0.5 / 1.0 |
| Minimum distance between UE and cell | ≥ 35 meters |
| Channel Estimation | Ideal |
| Advanced Receiver | Conventional Receiver: SIC-HD, FSC-HD ML Proposed Receiver: SIC-SD, FSC-SD |

2. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 절에서는 경관정 기반 SIC와 FSC, 연관정 기반 SIC와 FSC 및 ML에 대하여 성능 분석을 한다. 성능 분석시 할당된 RB (Resource Block), 모듈레이션, 코드를 및 TB (Transport Block) 사이즈를 기반으로 전송률 및 스펙트럼 효율을 계산한다.

표 2는 향상된 수신기에 따른 성능을 보여준다.

표 2. 향상된 수신기에 따른 전송률 및 스펙트럼 효율

Table 2. Throughput and spectral efficiency according to advanced receiver.

| Advanced Receiver | SIC-HD | FSC-HD | SIC-SD | FSC-SD | ML |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Average Cell Throughput (Mbps) | 95.53 | 102.47 | 107.72 | 113.23 | 121.29 |
| Average Cell Spectral Efficiency (bps/Hz) | 5.69 | 6.11 | 6.43 | 6.77 | 7.23 |
| Peak UE Throughput (95%) (Mbps/User) | 6.00 | 6.02 | 6.22 | 6.46 | 6.57 |
| Average UE Throughput (Mbps/User) | 3.82 | 4.10 | 4.31 | 4.54 | 4.85 |
| Edge UE Throughput (5%) (Mbps/User) | 0.89 | 0.96 | 1.01 | 1.07 | 1.46 |
| Average UE Spectral Efficiency (bps/Hz/User) | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.29 |

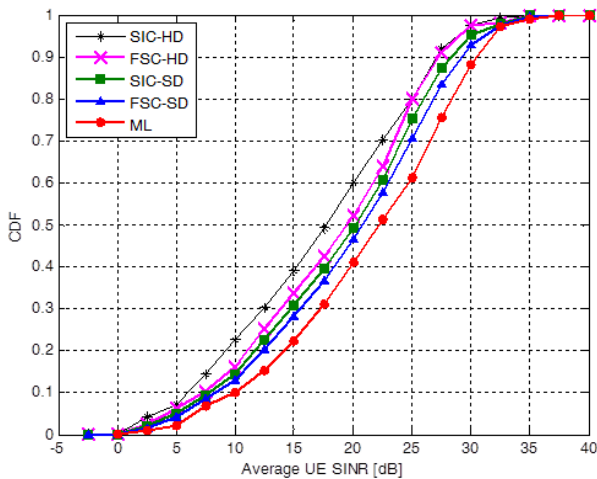


그림 5. 향상된 수신기에 따른 평균 UE SINR
Fig. 5. Average UE SINR according to advanced receiver.

SIC-HD, FSC-HD, SIC-SD, FSC-SD, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

그림 5는 향상된 수신기에 따른 평균 UE SINR을 나타낸다. 경관정 기반 SIC 및 FSC 보다 제안하는 연관정 기반 SIC 및 FSC 수신기의 SINR 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 SIC-HD, FSC-HD, SIC-SD,

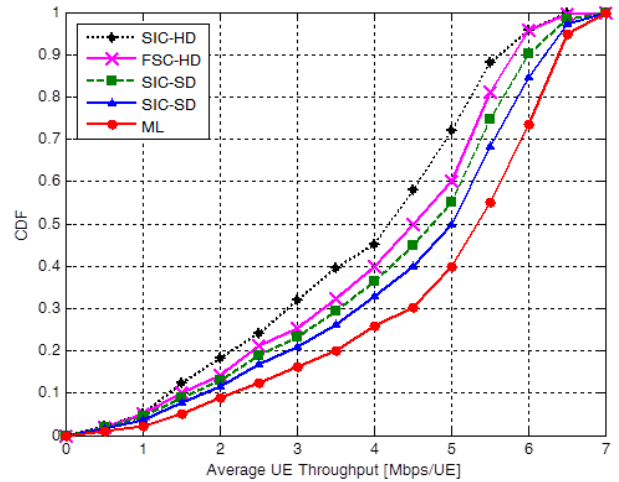


그림 6. 향상된 수신기에 따른 평균 UE 전송률
Fig. 6. Average UE throughput according to advanced receiver.

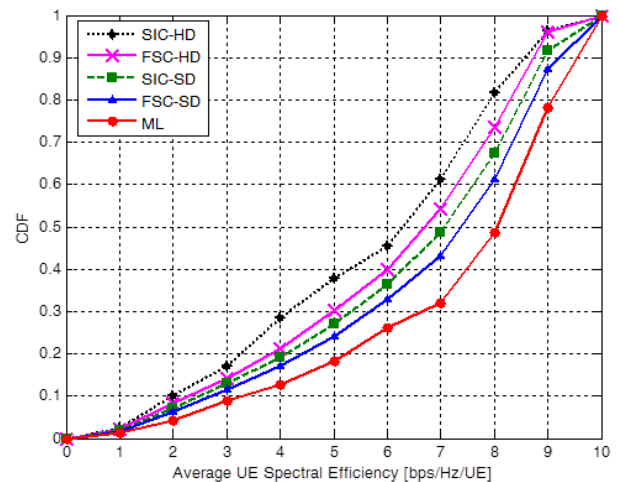


그림 7. 향상된 수신기에 따른 평균 UE 스펙트럼 효율
Fig. 7. Average UE spectral efficiency according to advanced receiver.

FSC-SD, ML 순으로 성능이 향상되었다.

그림 6과 7은 각각 향상된 수신기에 따른 평균 UE 전송률과 스펙트럼 효율을 나타내며, SIC-HD, FSC-HD, SIC-SD, FSC-SD, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 인접 셀로부터 간섭의 영향을 줄이기 위하여 연관정 기반의 향상된 수신기를 제안하였다. 제안한 수신기는 MMSE 또는 IRC 수신기를 통해 간섭 신호의 불완전 추정 값을 계산하고 간섭 신호를 억제 및

제거한다. 간섭 신호는 LLR로 표현되는 소프트 정보를 통해 업데이트 한다. 시스템 레벨 시뮬레이션은 3GPP LTE-Advanced 하향링크 시스템의 20MHz 대역을 기반으로 이루어 졌으며, 시뮬레이션 결과 제안한 수신기를 통해 기존 수신기보다 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율 측면에서 성능 향상을 가져다주는 것을 확인하였다.

TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 11, NO. 5, MAY 2012
 [10] 3GPP TR 36.814, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9), V9.0.0 (2010-03)

REFERENCES

- [1] Qualcomm, "1000x: More Small Cells - Taking HetNets to the Next Level," (<http://www.qualcomm.com/media/documents/files/1000x-more-smallcells-web-.pdf>)
- [2] J. Hamalainen (Ericsson), "Towards Heterogeneous Networks," 2012.2. (<http://bnrg.cs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS294.S13/13.3.pdf>)
- [3] T. Nakamura (NTT Docomo), "Further LTE Enhancements toward Future Radio Access", 2012.
- [4] Sungpil Shin, Byungju Lee, Sunho Park, and Byonghyo Shim, "Interference Aware Receiver Filtering for Wireless Ad Hoc Networks," Journal of IEIE, vol. 50, no. 3, pp. 9-15, 2013. 3.
- [5] Bora Kim, Sangmi Moon, Saransh Malik, Cheolsung Kim, and Intae Hwang, "Performance Analysis of CoMP with Scheduling and Precoding Techniques in the HetNet System," Journal of IEIE, vol. 50, no. 8, pp. 45-52, 2013. 08.
- [6] 3GPP TR 36.866, "Study on Network-Assisted Interference Cancellation and Suppression (NAICS) for LTE," V12.0.1, March 2014.
- [7] Ivan Ku, Cheng-Xiang Wang, John Thompson, and Peter Grant, "Impact of Receiver Interference Cancellation Techniques on the Base Station Power Consumption in MIMO Systems with Inter-Cell Interference," 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 11-14 Sept. 2011
- [8] Ravi Narasimhan, "Error Propagation Analysis of V-BLAST With Channel-Estimation Errors", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 53, NO. 1, JANUARY 2005.
- [9] Sung-Hyun Moon, Kyoung-Jae Lee, Jihoon Kim, and Inkyu Lee, "Link Performance Estimation Techniques for MIMO-OFDM Systems with Maximum Likelihood Receiver," IEEE

저 자 소 개



문 상 미(학생회원)
2012년 2월 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사
2012년 3월~현재 전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정

<주관심분야 : 이동통신, ICIM, MIMO-OFDM, D2D, SCE>



추 명 훈(학생회원)
2015년 3월~현재 전남대학교 전
자컴퓨터공학부 학사과정
<주관심분야 : 이동통신, MIMO,
OFDM>



김 한 중(평생회원)
1986년 2월 한양대학교
전자공학과 학사
1988년 8월 연세대학교
전자공학과 석사
1988년 9월~1994년 2월
연세대학교 전자공학과
박사

1994년 9월~현재 한국기술교육대학교
전기전자통신공학부 교수
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템, 방송
시스템, 신호처리 및 마이크로 프로세서 응용>



김 대 진(평생회원)
1984년 서울대학교
전자공학과 학사
1986년 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
1991년 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사

1991년 7월 1996년 12월 LG전자 멀티미디어연구
소 책임연구원
1997년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
<주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송>



황 인 태(평생회원)
1990년 2월 전남대학교
전자공학과 학사
1992년 8월 연세대학교
전자공학과 석사
1999년 9월~2004년 2월
연세대학교

전기전자공학과 박사
1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원
2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부
교수
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템, 차세
대이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM,
Relay, ICIM, CoMP, D2D, SCE, MTC>