

논문 2015-52-5-3

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*, 최 훈*, 추 명 훈*, 김 한 종**, 황 인 태***

(Sangmi Moon, Hun Choe, Myeonghun Chu, Hanjong 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 인접 셀로부터 간섭의 영향을 줄이기 위하여 새로운 하이브리드 수신기 FSC(Full Suppression Cancellation)를 제안한다. 제안한 수신기는 IRC(Interference Rejection Combining)와 SIC(Successive Interference Cancellation)를 결합하여 간섭을 억제 및 제거 할 수 있다. 시스템 레벨 시뮬레이션은 3GPP LTE-Advanced 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

The 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 novel hybrid receiver Full Suppression Cancellation (FSC) to reduce the interference from neighbor cell in backhaul system. The proposed receiver can suppress and cancel the interference by combining Interference Rejection Combining (IRC) with Successive Interference Cancellation (SIC). We perform the system level simulation based on 20MHz bandwidth of 3GPP LTE-Advanced system. Simulation results show that the proposed receiver can improve error rate and throughput of conventional system.

Keywords : FSC, Hybrid Receiver, NAICS, System Level Simulation

* 학생회원, *** 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

(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 ; February 27, 2015 Revised ; March 31, 2015 Accepted ; April 27, 2015

I. 서 론

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.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 기존의 수신기에 대하여 기술하고 제 III장에서는 새로운 하이브리드 수신기 FSC (Full Successive Cancellation)에

대하여 제안한다. 그리고 제 IV장에서는 L2S(Link to System) 모델에 대하여 기술하고 제 V장에서 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 수신기

본 장에서는 기존 수신기 방식인 MMSE, IRC, SIC, 및 ML(Maximum Likelihood)에 대하여 살펴본다. 백홀 다운링크 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. MMSE

MMSE는 간섭 제거를 위한 일반적인 방식으로, 간섭을 백색 잡음으로 간주한다^[8]. 따라서 MMSE 방식 적용을 위해 간섭 및 잡음 파워 σ_{I+N}^2 가 요구되며, MMSE 수신기는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = H^H(HH^H + \sigma_{I+N}^2 I)^{-1} x \quad (2)$$

이상적인 채널 추정을 적용한 경우, MMSE의 weight matrix는 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, MMSE} = \frac{P_0}{N_{stream, 0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream, 0}} H_0 H_0^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} \quad (3)$$

여기서, P_0 와 P_q 는 각각 서빙셀($q=0$)의 심볼당 전송 신호 전력과 q 번째 셀의 간섭 신호 전력을 나타내고, σ_N^2 과 σ_I^2 는 잡음과 간섭 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.

MMSE의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal,MMSE,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal,MMSE,0,n}^H}{W_{ideal,MMSE,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2 I) W_{ideal,MMSE,0,n}^H} \quad (4)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (5)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H \quad (6)$$

2. IRC

IRC 수신기는 간섭이 강한 시나리오에서 MMSE 수신기보다 성능이 우수하며 다음과 같이 표현된다^[8-9].

$$\hat{s} = H^H (H H^H + R_{I+N})^{-1} x \quad (7)$$

이때, R_{I+N} 은 간섭 및 잡음 공분산 행렬 값으로, 아래 식을 통해 계산되며, $r_0(k,l)$ 는 serving 셀의 CRS (Cell-specific Reference Signal) 시퀀스를 의미한다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}(k,l) \tilde{x}^H(k,l)] \quad (8)$$

$$\tilde{x}(k,l) = x(k,l) - H_0(k,l) r_0(k,l) \quad (9)$$

이상적인 채널 추정을 적용한 경우, IRC의 weight matrix는 다음 식과 같다.

$$W_{ideal,IRC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0 H_0^H + R_{I+N} \right)^{-1} \quad (10)$$

IRC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal,IRC,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal,IRC,0,n}^H}{W_{ideal,IRC,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2 I) W_{ideal,IRC,0,n}^H} \quad (11)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다

음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (12)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H \quad (13)$$

3. SIC

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

$$\hat{s} = H^H (H H^H + \sigma_N^2 I)^{-1} \left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q \tilde{s}_q \right) \quad (14)$$

이때, \tilde{s}_q 는 간섭 신호 s_q 에 대한 양자화된 추정 값이다. SIC 기법에 대한 흐름도는 그림 1과 같다.

수신된 신호에 대하여 Ordering 및 Nulling이 이루어지며, 이후 Modulation 기반의 심볼 레벨 SIC를 적용하여 Slicing이 이루어진다. 이를 통해 간섭 신호에 대한 추정 값을 얻음으로써, 수신 신호와의 Cancelling 과정을 통해 원하는 신호를 계산하는 작업이 이루어진다.

이상적인 채널 추정에서 간섭 신호 s_q 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

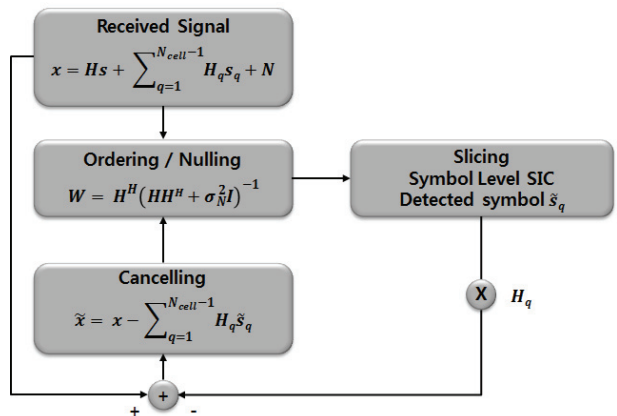


그림 1. SIC 수신기의 흐름도
Fig. 1. Flow chart of SIC receiver.

$$\tilde{s}_q = \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_q^H \left(\frac{P_q}{N_{stream,q}} H_q H_q^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (15)$$

이상적인 채널 추정 기법이 적용된 경우, SIC의 weight matrix는 다음 식과 같다.

$$W_{ideal,SIC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0 H_0^H + \sigma_N^2 I \right)^{-1} \quad (16)$$

그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s} = W_{ideal,SIC} \left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{q,n} \tilde{s}_{q,n} \right) \quad (17)$$

SIC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal,SIC,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal,SIC,0,n}^H}{W_{ideal,SIC,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2 I) W_{ideal,SIC,0,n}^H} \quad (18)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (19)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H e \quad (20)$$

여기서 $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 이고 β 는 검출 신호의 에러 확률이고 다음 식과 같다^[10].

$$\beta = 2Q(\sqrt{SINR_{out}^q}) - [Q(\sqrt{SINR_{out}^q})]^2 \quad (21)$$

라. ML

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

$$\{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q\} = \underset{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q \in \Omega}{\operatorname{argmin}} \left\| x - H_0 s_0 - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q s_q \right\|^2 \quad (22)$$

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 (23)은 PIC의 출력 SINR을 나타내며 SIC의 출력 SINR은 식 (4)와 같다^[11].

$$SINR_{out,n}^{PIC} = \frac{P_0}{N_{stream,0} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} \| H_{0,n} \|^2 \quad (23)$$

ML의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = (1 + SINR_{out,n}^{PIC})^{\alpha\beta} (1 + SINR_{out,n}^{MMSE})^{1-\alpha\beta} - 1 \quad (24)$$

여기서 α 와 β 는 다음과 같이 계산된다.

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

$$\beta = \frac{C_{ML} - C_{MMSE}}{C_{open} - C_{MMSE}}, 0 \leq \beta \leq 1 \quad (26)$$

이때, MIMO 개구간 용량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{open} = \log_2 \det \left(I_{N_i} + \frac{P_0}{N_{stream,0} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} H_0 H_0^H \right) \quad (27)$$

MMSE, PIC 그리고 ML의 용량은 다음과 같다.

$$C = \sum_{n=1}^{N_{stream}} \log_2 (1 + SINR_{out,n}) \quad (28)$$

III. 제안 수신기

본 장에서는 IRC와 SIC 수신기를 결합한 향상된 수신기로 FSC 수신기를 제안한다. 제안한 FSC 수신기의 흐름도는 그림 2와 같다.

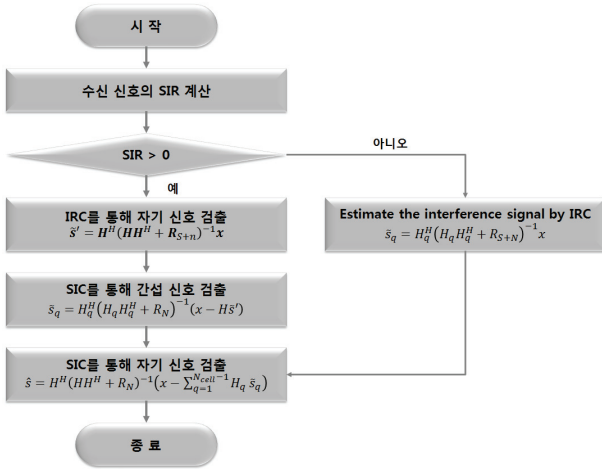


그림 2. FSC 수신기의 흐름도
Fig. 2. Flow chart of FSC receiver.

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

$$\tilde{s}_q = H^H(HH^H + R_{I+N})^{-1}x \quad (29)$$

여기서 R_{I+N} 는 간섭 신호 및 잡음의 공분산 행렬이다. 최종적으로 SIC를 통해 자기 신호를 검출하며 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = H^H(HH^H + R_N)^{-1} \left(x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q \tilde{s}_q \right) \quad (30)$$

여기서 R_N 는 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.

$$\tilde{s}' = H^H(HH^H + R_{S+N})^{-1}x \quad (31)$$

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

$$\tilde{s}_q = H_q^H(HH_q^H + R_N)^{-1}(x - H\tilde{s}') \quad (32)$$

검출된 간섭 신호를 수신신호에서 제거하기 위하여 최종적으로 SIC를 통해 간섭 신호를 자기 신호를 검출

하며 식 (30)과 같이 표현된다.

이상적인 채널 추정 기법이 적용된 경우, FSC의 weight matrix는 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, FSC} = \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0^H \left(\frac{P_0}{N_{stream,0}} H_0 H_0^H + R_N \right)^{-1} \quad (33)$$

FSC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_0}{N_{stream,0}} W_{ideal, FSC,0,n} H_{0,n} H_{0,n}^H W_{ideal, FSC,0,n}^H}{W_{ideal, FSC,0,n} (R_{intra} + R_{inter} + \sigma_N^2 I) W_{ideal, FSC,0,n}^H} \quad (34)$$

이때, 셀 내 간섭 공분산과 셀 간 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_0}{N_{stream,0}} H_{0,n'} H_{0,n'}^H \quad (35)$$

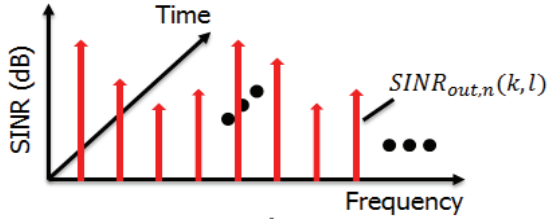
$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_q}{N_{stream,q}} H_{q,n} H_{q,n}^H e \quad (36)$$

IV. L2S (Link to System) 모델

시스템 레벨 시뮬레이션에서 정확한 결과를 얻기 위해서 출력 SINR로부터 유효 SINR을 계산할 수 있다. 유효 SINR은 그림 3에서 보여주는 두 단계에 기초하여 출력 SINR로부터 얻을 수 있다. 먼저 수신 처리 후의 각 부반송파 및 OFDM 심볼에 대한 각각의 전송 스트림의 출력 SINR을 계산한다. 그 후 EESM(Effective Exponential SNR Mapping)과 같은 모델 함수를 사용하여 출력 SINR로부터 유효 SINR을 계산한다.

시스템 레벨 시뮬레이션의 자원 스케줄링 및 link adaptation 성능 평가는 순시 채널 및 간섭 조건에 대한 더 정확한 링크 성능 통계 모델을 필요로 한다. 낮은 복잡도와 효율적인 성능 모델을 얻기 위해서는 아래 수식을 통해 유효 SINR을 계산한다^[12].

Step 1 : Calculate output SINR, $SINR_{out,n}(k, l)$



Step 2 : Calculate effective SINR, $SINR_{eff,n}$

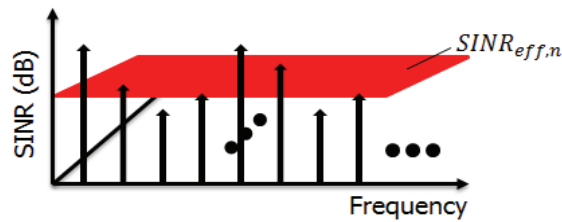


그림 3. 링크 성능 모델

Fig. 3. Link performance model.

$$SINR_{eff} = \Gamma^{-1} \left(\frac{1}{N} \sum_N I(SINR_N) \right) \quad (37)$$

여기서 I 는 모델 특성 함수이고 Γ^{-1} 는 역함수이다. 그리고 N 은 사용된 부반송파의 수를 나타낸다. 아래 식들은 각각 CESM(Capacity Effective SINR Metric), EESM 그리고 LESM(Logarithmic Effective SINR Metric) 방식을 보여주고 있다.

$$I(\gamma) = \log_2(1 + \gamma) \quad (38)$$

$$I(\gamma) = \exp(-\gamma) \quad (39)$$

$$I(\gamma) = \log_{10}(\gamma) \quad (40)$$

본 논문에서는 MIESM(Mutual Information Effective SINR Metric)을 사용하며, 다음 식과 같다.

$$I_k(\gamma) = k - E \left\{ \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{b=0}^1 \sum_{z \in \chi_b^i} \log \frac{\sum_{x \in \chi} \exp(-|Y - \sqrt{\gamma}(\hat{x} - z)|^2)}{\sum_{x \in \chi_b^i} \exp(-|Y - \sqrt{\gamma}(\hat{x} - z)|^2)} \right\} \quad (41)$$

여기서 χ 는 2^k 성상도 심볼 세트이다. χ_b^i 는 비트 i 와 b 가 같은 심볼 세트이고, Y 는 평균이 0이고 분산이

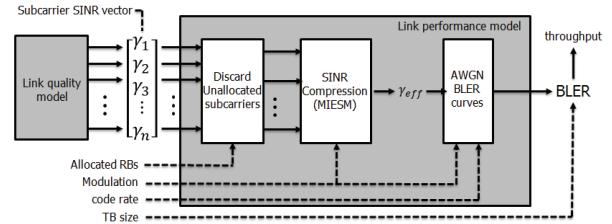


그림 4. L2S 모델

Fig. 4. L2S Model.

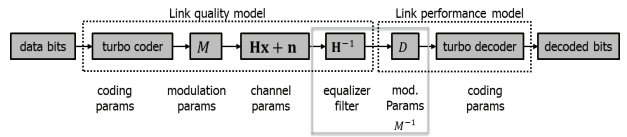


그림 5. 백홀 링크의 PHY 절차.

Fig. 5. PHY processing of backhaul link.

1인 복소 정규이다.

그림 4는 L2S 모델에 대해 링크 성능 모델 내에서의 SINR Compression 단계를 보여주고 있다. 여기서 Link Quality 모델은 link adaptation 및 자원 할당을 측정하는데 사용되며, 데이터 심볼들의 사후 등화 SINR로서 수신되는 신호 품질을 측정한다. 그리고 Link Performance 모델에서 출력은 할당된 자원 RB (Resource Block), 변조, 코드율, TB(Transport Block) size를 기반으로 BLER 및 Throughput을 계산한다.

백홀 링크는 링크 품질 및 링크 성능 모델로 구성되어 있다. 입력 파라미터는 각 단계의 PHY 절차로 모델링되며 그림 5와 같다.

유효 SINR은 다음 MCS(Modulation and Coding Scheme)에 따라 대응하는 AWGN의 BLER 곡선에 맵핑된다. 그림 6에서 백홀 시스템에서 사용되는 4-, 16-, 64-QAM 변조 방식에 대한 BICM(Bit-Interleaved

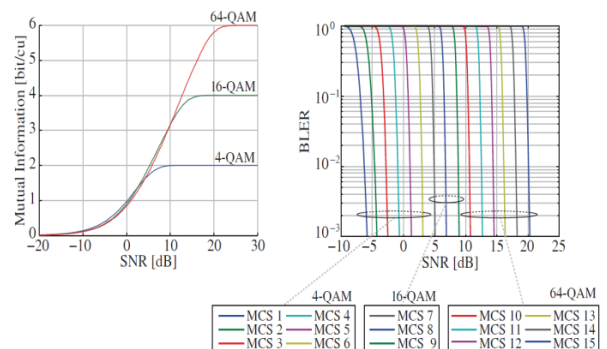


그림 6. BICM 용량 곡선

Fig. 6. BICM capacity curves.

Coded Modulation) 용량 곡선과 15 MCS 레벨에 대한 AWGN SNR-to-BLER 곡선을 보여주고 있다.

V. 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 백홀에서 시스템 레벨 모의실험이 이루어졌다^[13]. 그림 7과 같이 매크로셀은 3개의 섹터로 구분되고, 19개로 구성된다.

백홀 시스템 레벨 시뮬레이션에서 사용된 파라미터에 대하여 표 1과 같이 정리하였다.

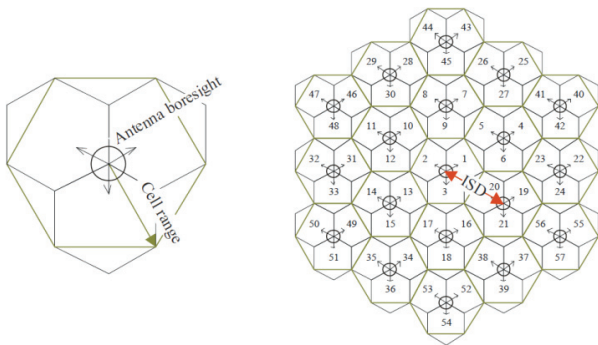


그림 7. 셀 레이아웃

Fig. 7. Cell layout.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters.

Parameter	Value
Cell Layout	Hexagonal grid, 19 cell sites, 3 sectors/site
No. of UE per Sector	25 UEs
Antenna Configuration	BS: 2, MS: 2
Channel Model	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=289m

BS antenna gain plus cable loss	14 dBi for micro, macrocell case
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: MMSE, IRC, SIC, ML Proposed Receiver: FSC

2. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 절에서는 MMSE, IRC, SIC, FSC 및 ML에 대하여 성능 분석을 한다. 성능 분석시 할당된 RB, 모듈레

표 2. 향상된 수신기에 따른 전송률 및 스펙트럼 효율

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

Advanced Receiver	MMSE	IRC	SIC	FSC	ML
Average Cell Throughput (Mbps)	30.09	34.91	95.53	102.47	121.29
Average Cell Spectral Efficiency (bps/Hz)	1.80	2.11	5.69	6.11	7.23
Peak UE Throughput (95%) (Mbps/User)	3.02	3.53	6.00	6.02	6.57
Average UE Throughput (Mbps/User)	1.20	1.40	3.82	4.10	4.85
Edge UE Throughput (5%) (Mbps/User)	0.19	0.28	0.89	0.96	1.46
Average UE Spectral Efficiency (bps/Hz/User)	0.07	0.08	0.23	0.24	0.29

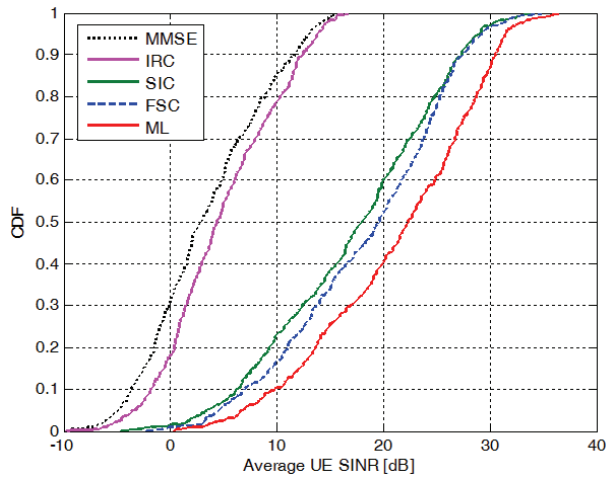


그림 8. 향상된 수신기에 따른 평균 UE SINR
Fig. 8. Average UE SINR according to advanced receiver.

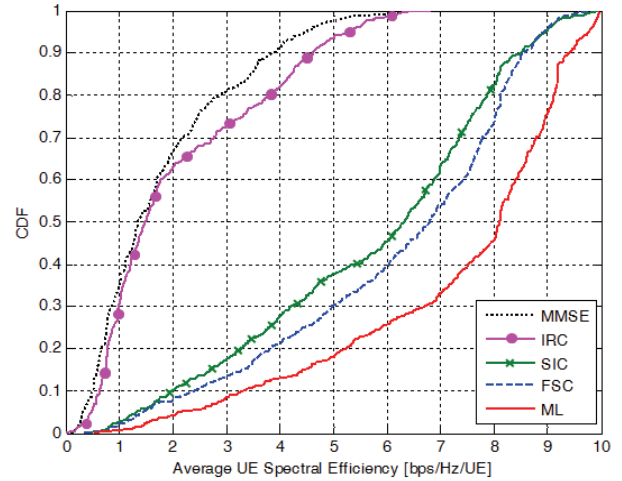


그림 10. 향상된 수신기에 따른 평균 UE 스펙트럼 효율
Fig. 10. Average UE spectral efficiency according to advanced receiver.

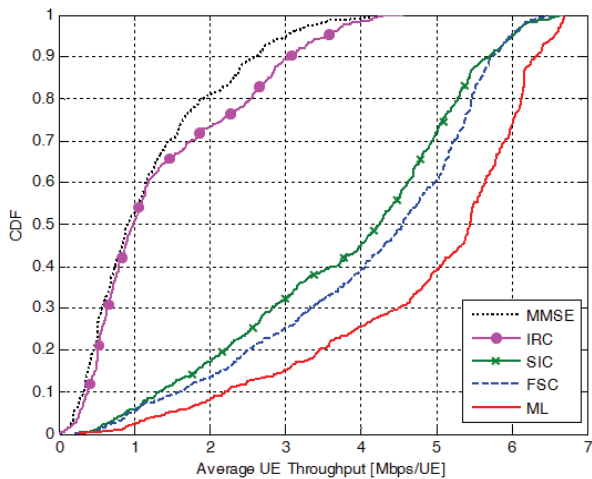


그림 9. 향상된 수신기에 따른 평균 UE 전송률
Fig. 9. Average UE throughput according to advanced receiver.

이전, 코드율 및 TB 사이즈를 기반으로 Throughput 및 Spectral Efficiency를 계산한다.

표 2는 향상된 수신기에 따른 성능을 보여준다. MMSE, IRC, SIC, FSC, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

그림 8은 향상된 수신기에 따른 평균 UE SINR을 나타낸다. MMSE, IRC, SIC, FSC, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있으며, SINR 계산 과정에서 파라미터 $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 값으로 SINR이 높을수록 평균 UE SINR 성능 향상이 커진다.

그림 9는 향상된 수신기에 따른 평균 UE 전송률을

나타낸다. MMSE, IRC, SIC, FSC, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있으며, SINR 계산 과정에서 파라미터 $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 값으로 SINR이 향상되어 SINR이 증가할수록 평균 UE 전송률 성능 향상이 커진다.

그림 10은 향상된 수신기에 따른 평균 UE Spectrum Efficiency를 나타낸다. MMSE, IRC, SIC, FSC, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있으며, SINR 계산 과정에서 파라미터 $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 값으로 SINR이 향상되어 SINR이 증가할수록 평균 UE Spectral Efficiency 성능 향상이 커진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 인접 셀로부터 간섭의 영향을 줄이기 위하여 새로운 하이브리드 수신기 FSC 를 제안하였다. 제안한 수신기는 IRC와 SIC를 결합하여 간섭을 억제 및 제거 할 수 있다. 시스템 레벨 시뮬레이션은 3GPP LTE-Advanced 시스템의 20MHz 대역을 기반으로 이루어 졌으며, 시뮬레이션 결과 제안한 수신기를 통해 기존 수신기보다 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율 측면에서 성능 향상을 가져다주는 것을 확인하였다.

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 The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 3, pp. 9-15, March 2013
- [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 The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 8, pp. 45-52, August 2013.
- [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] Yusuke Ohwatari, Nobuhiko Miki, Takahiro Asai, Tetsushi Abe, and Hidekazu Taoka, “Performance of Advanced Receiver Employing Interference Rejection Combining to Suppress Inter-Cell Interference in LTE-Advanced Downlink,” 2011 IEEE VCT, Sept. 2011.
- [9] Yousuke Sano, Yusuke Ohwatari, Nobuhiko Miki, Akihito Morimoto, and Yukihiro Okumura, “Investigation on Link Performance Modeling of Advanced Receiver Employing Interference Rejection Combining in System Level Evaluation for LTE-Advanced Downlink”, 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Aug. 2012.
- [10] Ravi Narasimhan, “Error Propagation Analysis of V-BLAST With Channel-Estimation Errors”, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 53, NO. 1, JANUARY 2005.
- [11] Sung-Hyun Moon, Kyoung-Jae Lee, Jihoon Kim, and Inkyu Lee, “Link Performance Estimation Techniques for MIMO-OFDM Systems with Maximum Likelihood Receiver,” IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 11, NO. 5, MAY 2012
- [12] Zakaria Hanzaz, Hans Dieter Schotten, “Analysis of Effective SINR Mapping Models for MIMO OFDM in LTE System,” 2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 1-5 July 2013
- [13] 3GPP TR 36.814, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9), V9.0.0 (2010-03)

— 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>



최 훈(학생회원)
 2015년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
 2015년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석박사통합과정

<주관심분야 : 이동통신, MIMO-OFDM, 3D MIMO>



추 명 훈(학생회원)
 2015년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 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, 방송시스템, 신호처리 및 마이크로 프로세서 응용>



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, 차세대이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM, Relay, ICIM, CoMP, D2D, SCE, MTC