

논문 2015-52-5-4

# 셀룰러 네트워크에서 D2D 통신 향상을 위한 FSC 수신기 설계 및 성능 분석

( Design and Performance Analysis of FSC Receiver for Improvement  
of D2D Communication in Cellular Network )

문 상 미\*, 최 훈\*, 추 명 훈\*, 김 한 중\*\*, 황 인 태\*\*\*

( Sangmi Moon, Hun Choe, Myeonghun Chu, Hanjong Kim, and Intae Hwang<sup>Ⓞ</sup> )

## 요 약

셀룰러 네트워크에서 기지국의 과부하를 줄이고 주파수 부족 현상을 완화시킬 수 있는 D2D(Device-to-Device) 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 셀룰러 네트워크의 상향링크 주파수 자원을 공유함으로써 상호간의 간섭은 증가하게 된다. 본 논문에서는 셀룰러와 D2D 사이의 간섭을 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-A 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

Cellular Network assisted device-to-device (D2D) communication has been growing to reduce the overload of eNodeB and mitigate the frequency shortage. However, by sharing the uplink frequency resource with the cellular network, the interference between cellular and D2D is increased. In this paper, we propose an advanced receiver for full suppression cancellation (FSC) to reduce the interference between cellular and D2D. The proposed receiver can suppress and cancel the interference by integrating the interference rejection combining (IRC) technique with successive interference cancellation (SIC). We perform a system level simulation based on the 20-MHz bandwidth of the 3GPP LTE-A system. Simulation results show that the proposed receiver can improve SINR, throughput and spectral efficiency compared to conventional receivers.

**Keywords :** Advanced receiver, Device-to-Device (D2D), FSC, IRC, MMSE

\* 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 28, 2015 Accepted ; April 27, 2015

### I. 서 론

최근 스마트 단말의 보급으로 무선 통신과 대용량 멀티미디어 통신이 활발히 이루어짐에 따라 데이터 트래픽에 대한 수요가 급증하여 한정된 자원을 가진 기지국이 이를 수용하기에 많은 어려움이 따르고 있다. 새로운 모바일 멀티미디어 서비스는 많은 사람들에게 제공되기 위해 높은 데이터 속도와 많은 양의 무선 액세스를 계속해서 요구하고 있다. 이러한 이유로 데이터 속도 향상과 높은 시스템 용량 처리를 가져올 차세대 무선 통신 기술의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그리고 이러한 요구사항을 만족하는 시스템 설계를 통한 연구로 최근 셀룰러 시스템에서 기지국의 과부하를 줄이고 주파수 부족 현상을 완화시킬 수 있는 단말 간 직접 통신을 하는 D2D(Device-to-Device) 통신 기술이 출현하였다. 이 기술은 통신을 원하는 이동통신 단말간에 기지국을 거치지 않고 직접 통신하는 기술로 기지국의 과부하를 줄여 트래픽 수용 능력을 증가시킬 수 있는 기술이다.

하지만 LTE-A 셀룰러 환경에서 기존 셀룰러 단말과 무선 자원을 공유하는 D2D 단말은 자신이 속한 셀룰러 네트워크에 심각한 간섭을 줄 가능성이 높기 때문에 간섭을 제거하거나 완화시킬 필요가 있다. 또한 다른 D2D 통신을 하고 있는 단말간의 간섭도 발생하여 전체적인 성능저하로 서비스 만족에 영향을 줄 수 있다. 그림 1과 2는 각각 D2D 단말이 셀룰러 단말의 하향링크

와 상향링크 자원을 사용한 경우 간섭 시나리오를 나타낸다.

따라서, 자원 할당 기법, 전력 제어, 모드 선택을 통해 간섭을 완화하거나 제거하는 연구가 활발해지고 있다<sup>[1-6]</sup>.

또한 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. 그런데 전자의 경우 간섭 처리를 위해 각 단말은 채널 정보를 피드백 해야 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<sup>[7-8]</sup>.

본 논문에서는 셀룰러와 D2D 단말에서 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 시스템 모델에 대하여 기술한다. 제 III장에서는 기존 수신기에 대하여 기술하고 FSC (Full Successive Cancellation) 수신기에 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.

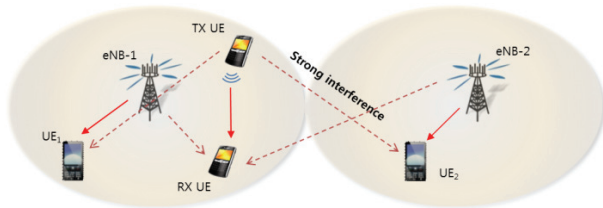


그림 1. 하향링크 자원을 사용하는 D2D 통신  
Fig. 1. D2D communication using downlink resource.

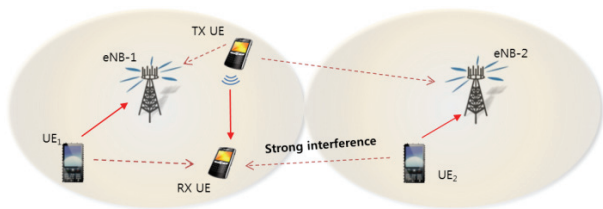


그림 2. 상향링크 자원을 사용하는 D2D 통신  
Fig. 2. D2D communication using uplink resource.

## II. 시스템 모델

### 1. D2D 통신 시스템 모델

D2D 통신 시스템은 셀룰러 단말과 하향링크 또는 상향링크 주파수 자원을 공유할 수 있다. 본 논문에서는 LTE-A 셀룰러 단말에 할당된 주파수 중 사용량이 적은 상향링크 대역을 적용한다. 다중 안테나를 장비하고 있는 eNodeB가 이 있고,  $K$ 개의 셀룰러 단말은 다중 안테나를 장비하고 있다고 가정한다. 이때 지리적으로 서로 가까이 위치하는 두 통신 단말기가 데이터를 주고받기 위하여 셀룰러 단말기와 동일한 주파수 자원을 공유하여 신호를 주고받는 D2D 통신 시스템 모델을 고려한다. D2D 통신 단말기 역시 셀룰러 단말과 마찬가지로 다중 안테나를 장비하고 있다고 가정한다.

간섭 시나리오는 크게 셀룰러 링크와 D2D 링크로 나눠서 설명할 수 있다. 셀룰러 링크의 경우, 인접 셀의 셀룰러 단말로부터 오는 C2B (Cellular UE to eNodeB) 간섭과 같은 셀 또는 인접 셀의 D2D로부터 오는 Intra

또는 Inter D2B(D2D to eNodeB) 간섭이 존재한다. D2D 링크의 경우, 같은 셀 또는 인접 셀의 D2D로부터 오는 Intra 또는 Inter D2D(D2D to D2D) 간섭과 같은 셀 또는 인접 셀의 셀룰러 단말로부터 오는 Intra 또는 Inter C2D(Cellular UE to D2D) 간섭이 존재한다. 그림 3은 상향 링크에서 셀내(Intra-cell) 및 셀간(Inter-cell) 간섭 시나리오를 보여주고 있다.

### 2. 수신 신호 모델

셀룰러 상향링크의 경우, RE(Resource Element)에서 eNodeB의 수신 신호는 다음 식과 같다.

$$x = H_{C_{0,n}} s_{C_{0,n}} + \sum_{n' \neq n}^{N_{stream}} H_{C_{0,n'}} s_{C_{0,n'}} + \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{C_{q,n}} s_{C_{q,n}} + \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{q,d,n}} s_{D_{q,d,n}} + N \quad (1)$$

여기서  $s_{C_0}$ 와  $H_{C_0}$  ( $q=0$ )는 각각 셀룰러 eNB에게 전달되는 신호와 해당 전파 채널이다.  $s_{C_q}$ 와  $H_{C_q}$  ( $q=1,2,\dots,N_{cell}-1$ )는 각각 번째 셀 내 간섭 신호와 해당 전파 채널이고  $s_{D_0}$ 와  $H_{D_0}$ 는 D2D 간섭 신호와 해당 전파 채널이다. 그리고  $N$ 은 잡음이다.

또한, RE에서 D2D 수신 단말의 수신 신호는 다음 식과 같다.

$$x = H_{D_{0,n}} s_{D_{0,n}} + \sum_{n' \neq n}^{N_{stream}} H_{D_{0,n'}} s_{D_{0,n'}} + \sum_{d \neq d'}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{d',0,n}} s_{D_{d',0,n}} + \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{d',q,n}} s_{D_{d',q,n}} + \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{C_{q,n}} s_{C_{q,n}} + N \quad (2)$$

여기서  $s_{D_0}$ 와  $H_{D_0}$  ( $q=0$ )는 각각 D2D에게 전달되는 신호와 해당 전파 채널이다.  $s_{D_{d',0}}$ 와  $H_{D_{d',0}}$  ( $d \neq d'$ )는 각각 D2D 간 간섭 신호들과 해당 전파 채널이다.  $s_{D_q}$ 와  $H_{D_q}$  ( $q=1,2,\dots,N_{cell}-1$ )는 D2D 내 간섭 신호들과 해당 전파 채널들이다.  $s_{C_0}$ 와  $H_{C_0}$ 는 C2D 간섭 신호들과 해당 전파 채널들이다. 그리고  $N$ 은 잡음이다.

## III. 향상된 수신기

본 장에서는 기존 수신기에 대하여 살펴 본 후 IRC와 SIC를 결합한 향상된 수신기 FSC를 제안한다.

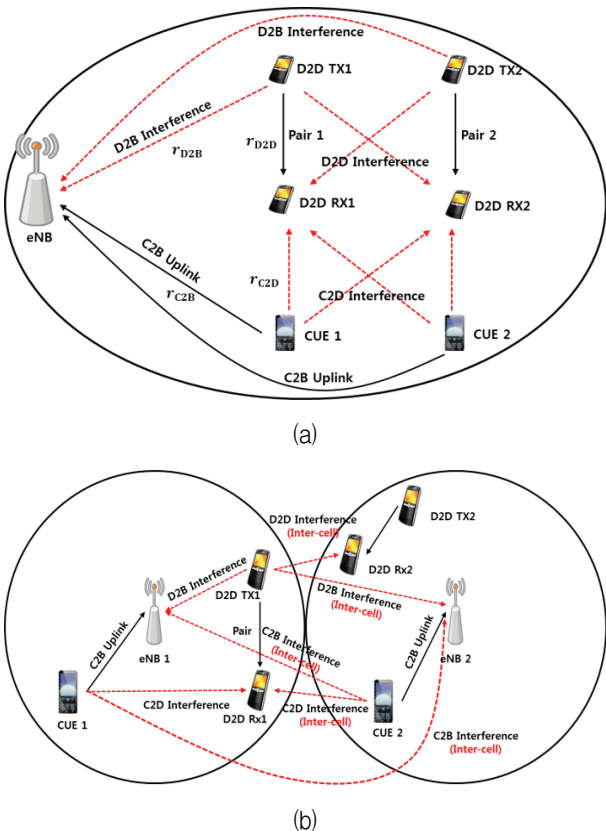


그림 3. 간섭 시나리오: (a) 셀내 간섭, (b) 셀간 간섭  
Fig. 3. Interference scenario: (a) Intra-cell interference, (b) Inter-cell interference.

### 1. 기존 수신기

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

#### 가. MMSE

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

$$\hat{s} = H^H(HH^H + \sigma_{I+N}^2 I)^{-1} x \quad (3)$$

이상적인 채널 추정을 적용한 경우, 셀룰러 단말에서 MMSE의 가중치 행렬은 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, MMSE} = \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0}^H \left( \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0} H_{C_0}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} \quad (4)$$

$P_{C_q}$ 는 셀룰러 단말의 신호 전력을 나타내고,  $\sigma_N^2$ 과  $\sigma_I^2$ 는 잡음과 간섭 전력을 말한다. 그리고  $N_{stream, C_q}$ 는 셀룰러 단말의  $q$ 번째 셀 전송 스트림 개수를 의미하고  $H_{C_q}$ 는  $q$ 번째 셀의 셀룰러 단말의 이상적인 채널 행렬을 나타낸다.

이에 대한 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} W_{ideal, MMSE, C_0}^H H_{C_0} H_{C_0}^H W_{ideal, MMSE, C_0}}{W_{ideal, MMSE, C_0}^H (R_{intra} + R_{inter} + R_{D2B} + \sigma_N^2 I) W_{ideal, MMSE, C_0}} \quad (5)$$

이때 셀 내, 셀 간(C2B) 간섭 공분산 그리고 D2B 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0, n'} H_{C_0, n}^H \quad (6)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q, n} H_{C_q, n}^H \quad (7)$$

$$R_{D2B} = \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{1N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{1N_{stream}} \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H \quad (8)$$

이상적인 채널 추정을 적용한 경우, D2D 단말에서 MMSE의 가중치 행렬은 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, MMSE} = \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_0}^H \left( \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_0} H_{D_0}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} \quad (9)$$

$P_{D_{q,d}}$ 는  $q$ 번째 셀의 D2D 송신 단말의 신호 전력을 나타내고,  $\sigma_N^2$ 과  $\sigma_I^2$ 는 잡음과 간섭 전력을 말한다. 그리고  $N_{stream, D_{q,d}}$ 는 송신 단말의  $q$ 번째 셀 전송 스트림 개수를 의미하고  $H_{D_{q,d}}$ 는  $q$ 번째 셀의 D2D 송신 단말의 이상적인 채널 행렬을 나타낸다.

이에 대한 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} W_{ideal, MMSE, D_0}^H H_{D_0} H_{D_0}^H W_{ideal, MMSE, D_0}}{W_{ideal, MMSE, D_0}^H (R_{intra} + R_{inter} + R_{C2D} + \sigma_N^2 I) W_{ideal, MMSE, D_0}} \quad (10)$$

이때 셀 내, 셀 간(D2D) 간섭 공분산 그리고 C2D 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_0, n'} H_{D_0, n}^H + \sum_{d \neq d'}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_{d,0}}} H_{D_0, d, n} H_{D_0, d, n}^H \quad (11)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{1N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{1N_{stream}} \frac{P_{D_{q,d,n}}}{N_{stream, D_{q,d,n}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H \quad (12)$$

$$R_{C2D} = \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{1N_{stream}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q, n} H_{C_q, n}^H \quad (13)$$

#### 나. IRC

IRC 수신기는 간섭이 강한 시나리오에서 MMSE 수

신기보다 성능이 우수하며 다음과 같이 표현된다<sup>[9-10]</sup>.

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

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

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}(k,l)\tilde{x}^H(k,l)] \quad (15)$$

$$\tilde{x}(k,l) = x(k,l) - H_0(k,l)r_0(k,l) \quad (16)$$

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

$$W_{ideal, IRC} = \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0}^H \left( \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0} H_{C_0}^H + R_{I+N} \right)^{-1} \quad (17)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (18)$$

$$\tilde{x} = x - H_{C_0} r_{C_0} \quad (19)$$

여기서  $r_{C_0}$ 는 서빙셀에서 셀룰러 단말의 DMRS 시퀀스이다.

이에 대한 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} W_{ideal, IRC, C_0, n} H_{C_0, n} H_{C_0, n}^H W_{ideal, IRC, C_0, n}^H}{W_{ideal, IRC, C_0, n} (R_{intra} + R_{inter} + R_{D2B} + \sigma_N^2 J) W_{ideal, IRC, C_0, n}^H} \quad (20)$$

이때 셀 내, 셀 간(C2B) 간섭 공분산 그리고 D2B 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream, C_0}} \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0, n'} H_{C_0, n'}^H \quad (21)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell} - 1} \sum_{n=1}^{N_{stream, C_q}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q, n} H_{C_q, n}^H \quad (22)$$

$$R_{D2B} = \sum_{q=0}^{N_{cell} - 1} \sum_{d=0}^{N_{D2D} - 1} \sum_{n=1}^{N_{stream, D_{q,d}}} \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H \quad (23)$$

이상적인 채널 추정을 적용한 경우, D2D 단말에서 IRC의 가중치 행렬은 다음 식과 같다.

$$W_{ideal, IRC} = \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_0}^H \left( \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_0} H_{D_0}^H + R_{I+N} \right)^{-1} \quad (24)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (25)$$

$$\tilde{x} = x - H_{D_{0,d}} r_{D_{0,d}} \quad (26)$$

여기서  $r_{D_{0,d}}$ 는 서빙셀에서 D2D의 DMRS 시퀀스이다. 이에 대한 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} W_{ideal, IRC, D_0, n} H_{D_0, n} H_{D_0, n}^H W_{ideal, IRC, D_0, n}^H}{W_{ideal, IRC, D_0, n} (R_{intra} + R_{inter} + R_{C2D} + \sigma_N^2 J) W_{ideal, IRC, D_0, n}^H} \quad (27)$$

이때 셀 내, 셀 간(D2D) 간섭 공분산 그리고 C2D 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream, D_0}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_{0,n'}} H_{D_{0,n'}}^H + \sum_{d \neq d'}^{N_{D2D} - 1} \sum_{n=1}^{N_{stream, D_{d,0}}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_{d,0}}} H_{D_{0,d,n}} H_{D_{0,d,n}}^H \quad (28)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell} - 1} \sum_{d=0}^{N_{D2D} - 1} \sum_{n=1}^{N_{stream, D_{q,d}}} \frac{P_{D_{q,d,n}}}{N_{stream, D_{q,d,n}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H \quad (29)$$

$$R_{C2D} = \sum_{q=0}^{N_{cell} - 1} \sum_{n=1}^{N_{stream, C_q}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q, n} H_{C_q, n}^H \quad (30)$$

다. SIC

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

$$\hat{s} = H^H (HH^H + \sigma_N^2 I)^{-1} (x - \sum_{q=1}^{N_{\text{cell}}-1} H_q \tilde{s}_q) \quad (31)$$

이때,  $\tilde{s}_q$ 는 간섭 신호  $s_q$ 에 대한 양자화된 추정 값이다.

셀룰러 단말의 경우, 이상적인 채널 추정에서 셀룰러 간섭 신호  $s_{C_q}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{C_q} = \frac{P_{C_q}}{N_{\text{stream}, C_q}} H_{C_q}^H \left( \frac{P_{C_q}}{N_{\text{stream}, C_q}} H_{C_q} H_{C_q}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (32)$$

D2D 간섭 신호  $s_{D_{q,d}}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{D_{q,d}} = \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{\text{stream}, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}}^H \left( \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{\text{stream}, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}} H_{D_{q,d}}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (33)$$

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

$$W_{\text{ideal}, \text{SIC}} = \frac{P_{C_0}}{N_{\text{stream}, C_0}} H_{C_0}^H \left( \frac{P_{C_0}}{N_{\text{stream}, C_0}} H_{C_0} H_{C_0}^H + \sigma_N^2 I \right)^{-1} \quad (34)$$

그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s} = W_{\text{ideal}, \text{SIC}} (x - \sum_{q=1}^{N_{\text{cell}}-1} \sum_{n=1}^{N_{\text{stream}}} H_{C_{q,n}} \tilde{s}_{C_{q,n}} - \sum_{q=0}^{N_{\text{cell}}-1} \sum_{d=0}^{N_{\text{D2D}}-1} \sum_{n=1}^{N_{\text{stream}}} H_{D_{q,d,n}} \tilde{s}_{D_{q,d,n}}) \quad (35)$$

SIC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$\text{SINR}_{\text{out}, n} = \frac{\frac{P_{C_0}}{N_{\text{stream}, C_0}} W_{\text{ideal}, \text{SIC}, C_{0,n}} H_{C_{0,n}} H_{C_{0,n}}^H W_{\text{ideal}, \text{SIC}, C_{0,n}}}{W_{\text{ideal}, \text{SIC}, C_{0,n}} (R_{\text{intra}} + R_{\text{inter}} + R_{\text{D2D}} + \sigma_N^2 I) W_{\text{ideal}, \text{SIC}, C_{0,n}}} \quad (36)$$

이때 셀 내, 셀 간(C2B) 간섭 공분산 그리고 D2B 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{\text{intra}} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{\text{stream}}} \frac{P_{C_0}}{N_{\text{stream}, C_0}} H_{C_{0,n'}} H_{C_{0,n}}^H \quad (37)$$

$$R_{\text{inter}} = \sum_{q=1}^{N_{\text{cell}}-1} \sum_{n=1}^{N_{\text{stream}}} \frac{P_{C_q}}{N_{\text{stream}, C_q}} H_{C_{q,n}} H_{C_{q,n}}^H e \quad (38)$$

$$R_{\text{D2B}} = \sum_{q=0}^{N_{\text{cell}}-1} \sum_{d=0}^{N_{\text{D2D}}-1} \sum_{n=1}^{N_{\text{stream}}} \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{\text{stream}, D_{q,d}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H e \quad (39)$$

여기서  $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 이고  $\beta$ 는 검출 신호의 에러 확률이고 다음 식과 같다<sup>[11~12]</sup>.

$$\beta = 2Q(\sqrt{\text{SINR}_{\text{out}}^q}) - [Q(\sqrt{\text{SINR}_{\text{out}}^q})]^2 \quad (40)$$

D2D 수신 단말의 경우, 이상적인 채널 추정에서 셀룰러 간섭 신호  $s_{C_q}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{C_q} = \frac{P_{C_q}}{N_{\text{stream}, C_q}} H_{C_q}^H \left( \frac{P_{C_q}}{N_{\text{stream}, C_q}} H_{C_q} H_{C_q}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (41)$$

D2D 간섭 신호  $s_{D_{q,d}}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{D_{q,d}} = \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{\text{stream}, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}}^H \left( \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{\text{stream}, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}} H_{D_{q,d}}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (42)$$

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

$$W_{\text{ideal}, \text{SIC}} = \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{\text{stream}, D_{0,d}}} H_{D_{0,d}}^H \left( \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{\text{stream}, D_{0,d}}} H_{D_{0,d}} H_{D_{0,d}}^H + \sigma_N^2 I \right)^{-1} \quad (43)$$

그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s} = & W_{ideal, SIC} \left( x - \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{C_{q,n}} \tilde{s}_{C_{q,n}} \right. \\ & - \sum_{d=1}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{0,d,n}} \tilde{s}_{D_{0,d,n}} \\ & \left. - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{q,d,n}} \tilde{s}_{D_{q,d,n}} \right) \end{aligned} \quad (44)$$

SIC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = \frac{\frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}}} W_{ideal, SIC, D_{0,d,n}}^H H_{D_{0,d,n}} H_{D_{0,d,n}}^H W_{ideal, SIC, D_{0,d,n}}^H}{W_{ideal, SIC, D_{0,d,n}} (R_{intra} + R_{inter} + R_{C2D} + \sigma_N^2) W_{ideal, SIC, D_{0,d,n}}^H} \quad (45)$$

이때 셀 내, 셀 간(D2D) 간섭 공분산 그리고 C2D 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{intra} = & \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_{0,n'}} H_{D_{0,n'}}^H \\ & + \sum_{d \neq d'}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_{d,0}}} H_{D_{0,d,n}} H_{D_{0,d,n}}^H \end{aligned} \quad (46)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_{q,d,n}}}{N_{stream, D_{q,d,n}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H \quad (47)$$

$$R_{C2D} = \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_{q,n}} H_{C_{q,n}}^H \quad (48)$$

라. ML

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

$$\begin{aligned} \{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q\} = \\ \operatorname{argmin}_{\hat{s}_0, \hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_q \in \Omega} \left\| x - H_0 s_0 - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q s_q \right\|^2 \end{aligned} \quad (49)$$

이때,  $\Omega$ 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.

셀룰러 단말의 경우, 식 (50)은 PIC의 출력 SINR을 나타내며 MMSE의 출력 SINR은 식 (5)와 같다<sup>[13]</sup>.

$$SINR_{out,n}^{PIC} = \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} \| H_{C_{0,n}} \|^2 \quad (50)$$

D2D 수신 단말의 경우, 식 (51)은 PIC의 출력 SINR을 나타내며 MMSE의 출력 SINR은 식 (10)과 같다.

$$SINR_{out,n}^{PIC} = \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} \| H_{D_{0,d,n}} \|^2 \quad (51)$$

ML의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out,n} = (1 + SINR_{out,n}^{PIC})^{\alpha\beta} (1 + SINR_{out,n}^{MMSE})^{1-\alpha\beta} - 1 \quad (52)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha = \frac{C_{open} - C_{MMSE}}{C_{PIC} - C_{MMSE}}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (53)$$

$$\beta = \frac{C_{ML} - C_{MMSE}}{C_{open} - C_{MMSE}}, \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (54)$$

이때, 셀룰러와 D2D 단말의 MIMO 개구간 용량은 각각 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{open} = \log_2 \det \left( I_{N_i} + \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} H_{C_0} H_{C_0}^H \right) \quad (55)$$

$$C_{open} = \log_2 \det \left( I_{N_i} + \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}} (\sigma_I^2 + \sigma_N^2)} H_{D_{0,d}} H_{D_{0,d}}^H \right) \quad (56)$$

MMSE, PIC 그리고 ML의 용량은 다음과 같다.

$$C = \sum_{n=1}^{N_{stream}} \log_2 (1 + SINR_{out,n}) \quad (57)$$

## 2. 제안 수신기

본 절에서는 IRC와 SIC 수신기를 결합한 향상된 수신기로 FSC 수신기를 제안한다. FSC 수신기는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{s} = H^H(HH^H + R_N)^{-1} \left( x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} H_q \tilde{s}_q \right) \quad (58)$$

이때,  $\tilde{s}_q$ 는 간섭 신호  $s_q$ 에 대한 양자화된 추정 값이다. 제안한 FSC 수신기의 흐름도는 그림 4와 같다.

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

셀룰러 단말의 경우, 이상적인 채널 추정에서 셀룰러 간섭 신호  $s_{C_q}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{C_q} = \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q}^H \left( \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q} H_{C_q}^H + R_{I+N} \right)^{-1} x \quad (59)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (60)$$

$$\tilde{x} = x - H_{C_q} r_{C_q} \quad (61)$$

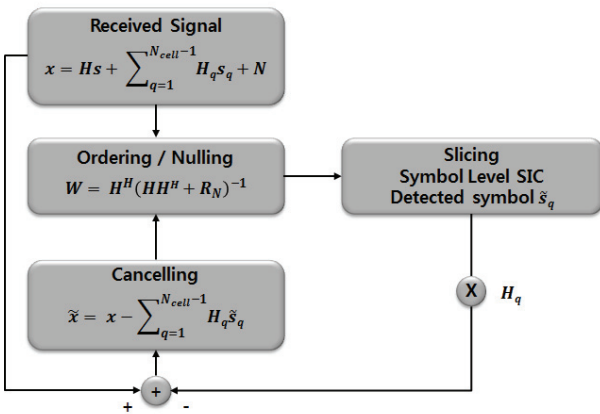


그림 4. FSC 수신기의 흐름도

Fig. 4. Flow chart of FSC receiver.

여기서  $r_{C_q}$ 는  $q$ 번째 셀에서 셀룰러 단말의 DMRS 시퀀스이다.

D2D 간섭 신호  $s_{D_{q,d}}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{D_{q,d}} = \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}}^H \left( \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}} H_{D_{q,d}}^H + R_{I+N} \right)^{-1} x \quad (62)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (63)$$

$$\tilde{x} = x - H_{D_{q,d}} r_{D_{q,d}} \quad (64)$$

여기서  $r_{D_{q,d}}$ 는  $q$ 번째 셀에서 D2D 전송의 DMRS 시퀀스이다.

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

$$W_{ideal, FSC} = \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0}^H \left( \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_0} H_{C_0}^H + R_N \right)^{-1} \quad (65)$$

그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s} = W_{ideal, FSC} \left( x - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{C_q, n} \tilde{s}_{C_q, n} - \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{q,d}, n} \tilde{s}_{D_{q,d}, n} \right) \quad (66)$$

FSC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} W_{ideal, FSC, C_0, n} H_{C_0, n} H_{C_0, n}^H W_{ideal, FSC, C_0, n}^H}{W_{ideal, FSC, C_0, n} (R_{intra} + R_{inter} + R_{D2B} + \sigma_N^2 I) W_{ideal, FSC, C_0, n}^H} \quad (67)$$

이때 셀 내, 셀 간(C2B) 간섭 공분산 그리고 D2B 간섭 공분산은 다음과 같다.



$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_{C_0}}{N_{stream, C_0}} H_{C_{0,n'}} H_{C_{0,n'}}^H \quad (68)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_{q,n}} H_{C_{q,n}}^H e \quad (69)$$

$$R_{D2B} = \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H e \quad (70)$$

여기서  $e = \beta E |s_q - \tilde{s}_q|^2$ 이고  $\beta$ 는 검출 신호의 에러 확률이고 다음 식과 같다<sup>[11~12]</sup>.

$$\beta = 2Q(\sqrt{SINR_{out}^q}) - [Q(\sqrt{SINR_{out}^q})]^2 \quad (71)$$

D2D 수신 단말의 경우, 이상적인 채널 추정에서 셀룰러 간섭 신호  $s_{C_q}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{C_q} = \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q}^H \left( \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_q} H_{C_q}^H + R_{I+N} \right)^{-1} x \quad (72)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (73)$$

$$\tilde{x} = x - H_{C_q} r_{C_q} \quad (74)$$

여기서  $r_{C_q}$ 는  $q$ 번째 셀에서 셀룰러 단말의 DMRS 시퀀스이다.

D2D 간섭 신호  $s_{D_{q,d}}$ 의 양자화 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{s}_{D_{q,d}} = \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}}^H \left( \frac{P_{D_{q,d}}}{N_{stream, D_{q,d}}} H_{D_{q,d}} H_{D_{q,d}}^H + (\sigma_I^2 + \sigma_N^2) I \right)^{-1} x \quad (75)$$

RE에서 DMRS에 기반을 둔 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_{I+N} = E[\tilde{x}\tilde{x}^H] \quad (76)$$

$$\tilde{x} = x - H_{D_{q,d}} r_{D_{q,d}} \quad (77)$$

여기서  $r_{D_{q,d}}$ 는  $q$ 번째 셀에서 D2D 전송의 DMRS 시퀀스이다.

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

$$W_{ideal, FSC} = \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}}} H_{D_{0,d}}^H \left( \frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}}} H_{D_{0,d}} H_{D_{0,d}}^H + R_N \right)^{-1} \quad (78)$$

그리고 복원된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{s} = W_{ideal, FSC} \left( x - \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{C_{q,n}} \tilde{s}_{C_{q,n}} - \sum_{d=1}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{0,d,n}} \tilde{s}_{D_{0,d,n}} - \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} H_{D_{q,d,n}} \tilde{s}_{D_{q,d,n}} \right) \quad (79)$$

FSC의 이상적인 출력 SINR 값은 다음 식을 통해 계산된다.

$$SINR_{out, n} = \frac{\frac{P_{D_{0,d}}}{N_{stream, D_{0,d}}} W_{ideal, FSC, D_{0,d,n}} H_{D_{0,d,n}} H_{D_{0,d,n}}^H W_{ideal, FSC, D_{0,d,n}}^H}{W_{ideal, FSC, D_{0,d,n}} (R_{intra} + R_{inter} + R_{C2D} + \sigma_N^2) W_{ideal, FSC, D_{0,d,n}}^H} \quad (80)$$

이때 셀 내, 셀 간(D2D) 간섭 공분산 그리고 C2D 간섭 공분산은 다음과 같다.

$$R_{intra} = \sum_{n'=1, n' \neq n}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_0}} H_{D_{0,n'}} H_{D_{0,n'}}^H + \sum_{d \neq d'}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_0}}{N_{stream, D_{d',0}}} H_{D_{0,d',n}} H_{D_{0,d',n}}^H \quad (81)$$

$$R_{inter} = \sum_{q=1}^{N_{cell}-1} \sum_{d=0}^{N_{D2D}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{D_{q,d,n}}}{N_{stream, D_{q,d,n}}} H_{D_{q,d,n}} H_{D_{q,d,n}}^H e \quad (82)$$

$$R_{C2D} = \sum_{q=0}^{N_{cell}-1} \sum_{n=1}^{N_{stream}} \frac{P_{C_q}}{N_{stream, C_q}} H_{C_{q,n}} H_{C_{q,n}}^H e \quad (83)$$

#### IV. L2S (Link to System) 모델

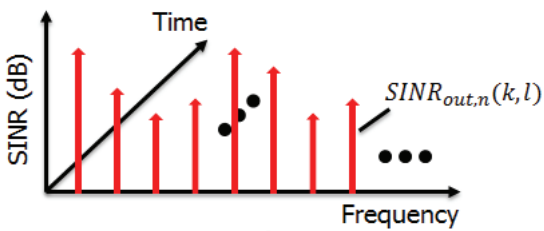
시스템 레벨 시뮬레이션에서 정확한 결과를 얻기 위해서 출력 SINR로부터 유효 SINR을 계산할 수 있다. 유효 SINR은 그림 5에서 보여주는 두 단계에 기초하여 출력 SINR로부터 얻을 수 있다. 먼저 수신 처리 후의 각 부반송파 및 OFDM 심볼에 대한 각각의 전송 스트림의 출력 SINR을 계산한다. 그 후 EESM(Effective Exponential SNR Mapping)과 같은 모델 함수를 사용하여 출력 SINR로부터 유효 SINR을 계산한다.

시스템 레벨 시뮬레이션의 자원 스케줄링 및 link adaptation 성능 평가는 순시 채널 및 간섭 조건에 대하여 정확한 링크 성능 통계 모델을 필요로 한다. 낮은 복잡도와 효율적인 성능 모델을 얻기 위해서는 아래 수식을 통해 유효 SINR을 계산한다<sup>[14]</sup>.

$$SINR_{eff} = \Gamma^{-1} \left( \frac{1}{N} \sum_N I(SINR_N) \right) \quad (84)$$

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

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



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

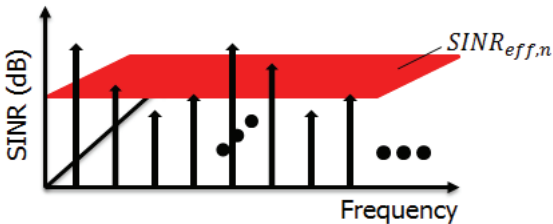


그림 5. 링크 성능 모델

Fig. 5. Link performance model.

Metric) 방식을 보여주고 있다.

$$I(\gamma) = \log_2(1 + \gamma) \quad (85)$$

$$I(\gamma) = \exp(-\gamma) \quad (86)$$

$$I(\gamma) = \log_{10}(\gamma) \quad (87)$$

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

$$I_k(\gamma) = k - E \left\{ \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{b=0}^1 \sum_{z \in \chi_b^i} \log \frac{\sum_{\hat{x} \in \chi} \exp(-|Y - \sqrt{\gamma}(\hat{x} - z)|^2)}{\sum_{\hat{x} \in \chi_b^i} \exp(-|Y - \sqrt{\gamma}(\hat{x} - z)|^2)} \right\} \quad (88)$$

여기서  $\chi$ 는  $2^k$  성상도 심볼 세트이다.  $\chi_b^i$ 는 비트  $i$ 와  $b$ 가 같은 심볼 세트이고,  $Y$ 는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 정규이다.

그림 6은 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.

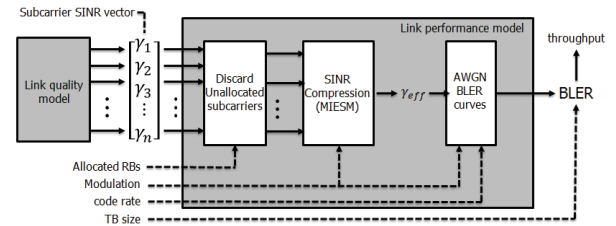


그림 6. L2S 모델

Fig. 6. L2S Model.

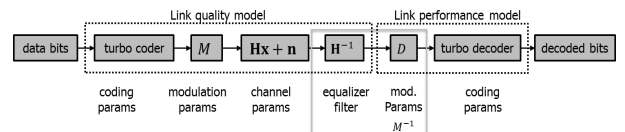


그림 7. 백홀 링크의 PHY 절차.

Fig. 7. PHY processing of backhaul link.

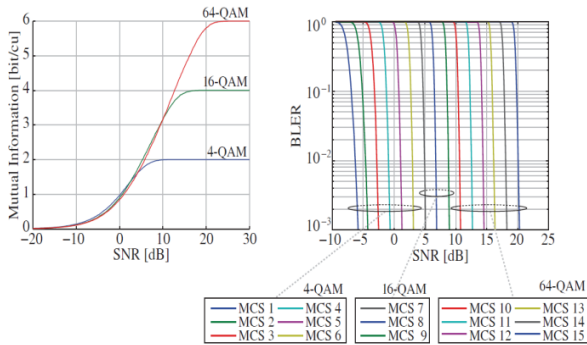


그림 8. BICM 용량 곡선  
Fig. 8. BICM capacity curves.

그림 7은 링크 품질 및 링크 성능 모델을 보여주고 있다. 입력 파라미터는 각 단계의 PHY 절차로 모델링 된다.

유효 SINR은 다음 MCS(Modulation and Coding Scheme)에 따라 대응하는 AWGN의 BLER 곡선에 맵핑된다. 그림 8에서 백용 시스템에서 사용되는 4-, 16-, 64-QAM 변조 방식에 대한 BICM(Bit-Interleaved 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 그림 9와 같이 매크로셀은 3개의 섹터로

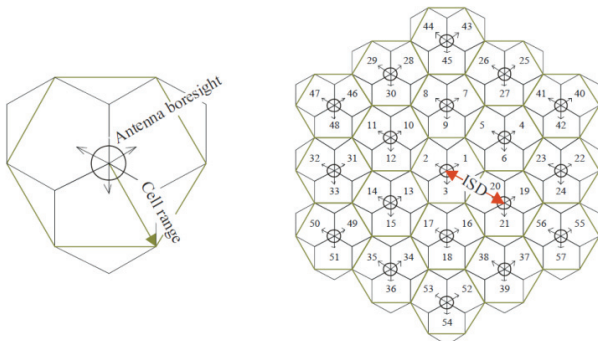


그림 9. 셀 레이아웃  
Fig. 9. Cell layout.

구분되고, 19개로 구성된 시스템 레벨 모의실험이 이루어졌다<sup>[15]</sup>.

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

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters.

Parameter	Value
Cell Structure	Hexagonal grid, 2-tier, 19 cell sites, 3 Sectors per site
No. of UE / Sector	21 UEs
No. of D2D Pair	2 Pairs (2 Tx D2DUE, 2 Rx D2D UE)
Distance between D2D	25m
No. of D2D RBs	4 RBs
Antenna Configuration	BS: 2, MS: 2
Channel Model	WINNER Channel Models, UMi - NLoS
Doppler Velocity	300Hz
UE Max TX Power	23 dBm
Center Frequency	2.6 GHz
Bandwidth (No. of RBs)	20 MHz (100RBs)
Scheduling	Round Robin
Traffic Model	Full Buffer
Cell Radius (R) = ISD/ROOT3	[Case 1] 500/ROOT3≈289m
BS antenna gain plus cable loss	14 dBi for micro, macro cell case
Antenna Pattern	$A_H(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}}\right)^2, A_m\right]$ , $\varphi_{3dB} = 70 \text{ degrees}$ , $A_m = 25dB$
Path Loss Model	$PL = 130.5 + 37.6 \cdot \log_{10}(R)$
Shadow Std. Deviation	10 dB
Penetration Loss	20 dB
UE 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  
Table 2. Throughput according to advanced receiver.

Advanced Receiver	Link	Average Cell Throughput (Mbps)	Average UE Throughput (Mbps/Users)
MMSE	Cellular	27.336	1.308
	D2D	2.219	1.109
	Total	29.555	2.411
IRC	Cellular	29.113	1.386
	D2D	2.285	1.143
	Total	31.398	2.529
SIC	Cellular	49.491	2.357
	D2D	4.017	2.009
	Total	53.508	4.365
FSC	Cellular	52.708	2.510
	D2D	4.138	2.069
	Total	56.846	4.579
ML	Cellular	68.521	3.263
	D2D	4.262	2.131
	Total	72.783	5.394

표 3. 향상된 수신기에 따른 스펙트럼 효율  
Table 3. Spectral efficiency according to advanced receiver.

Advanced Receiver	Link	Average Cell Spectral Efficiency (bps/Hz)	Average UE Spectral Efficiency (bps/Hz/Users)
MMSE	Cellular	1.678	0.079
	D2D	0.191	0.096
	Total	1.869	0.175
IRC	Cellular	1.787	0.084
	D2D	0.197	0.098
	Total	1.984	0.183
SIC	Cellular	3.037	0.143
	D2D	0.347	0.173
	Total	3.384	0.316
FSC	Cellular	3.235	0.152
	D2D	0.357	0.178
	Total	3.592	0.330
ML	Cellular	4.205	0.198
	D2D	0.368	0.184
	Total	4.573	0.382

이션, 코드율 및 TB 사이즈를 기반으로 전송률 및 스펙트럼 효율을 계산한다.

표 2와 3은 각각 향상된 수신기에 따른 전송률과 스펙트럼 효율 성능을 보여준다. MMSE, IRC, SIC, FSC, ML 순으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

그림 10은 향상된 수신기에 따른 셀룰러 링크의 평균 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 높을 수록 평균 SINR 성능 향상이 커진다.

그림 11과 12는 각각 향상된 수신기에 따른 셀룰러 링크의 전송률과 스펙트럼 효율을 나타낸다.

그림 13은 향상된 수신기에 따른 D2D 링크의 SINR

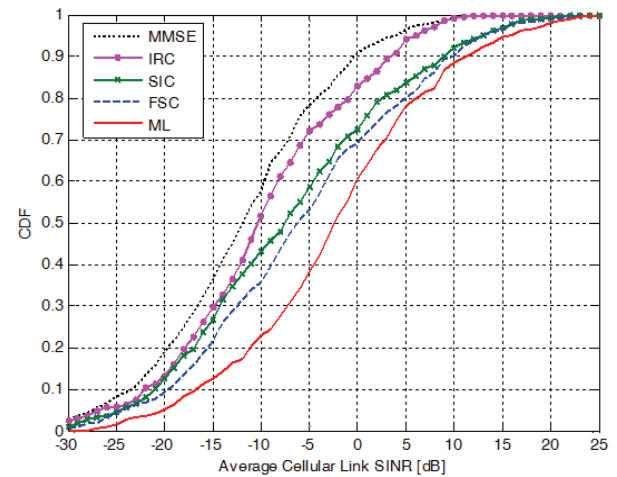


그림 10. 셀룰러 링크의 평균 SINR  
Fig. 10. Average SINR of cellular link.

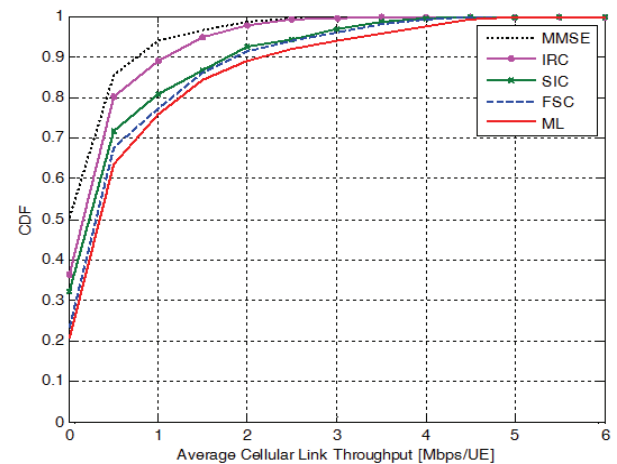


그림 11. 셀룰러 링크의 평균 전송률  
Fig. 11. Average throughput of cellular link.

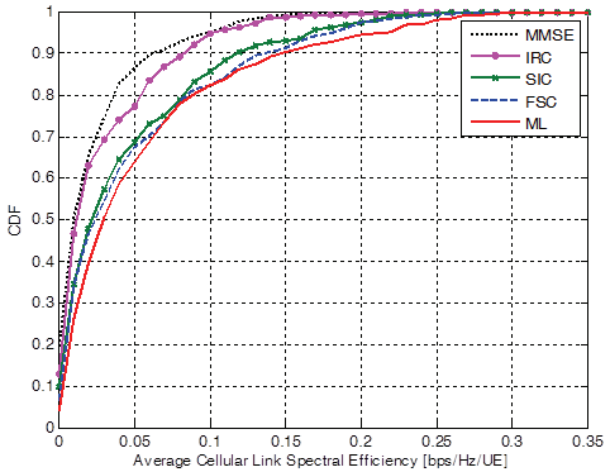


그림 12. 셀룰러 링크의 평균 스펙트럼 효율  
Fig. 12. Spectral efficiency of cellular link.

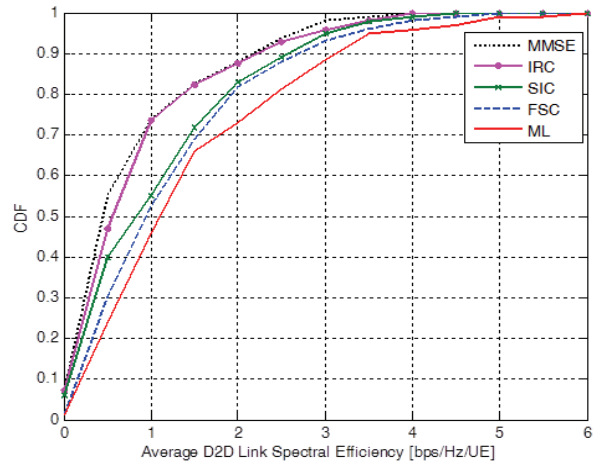


그림 15. D2D 링크의 평균 스펙트럼 효율  
Fig. 15. Spectral efficiency of D2D link.

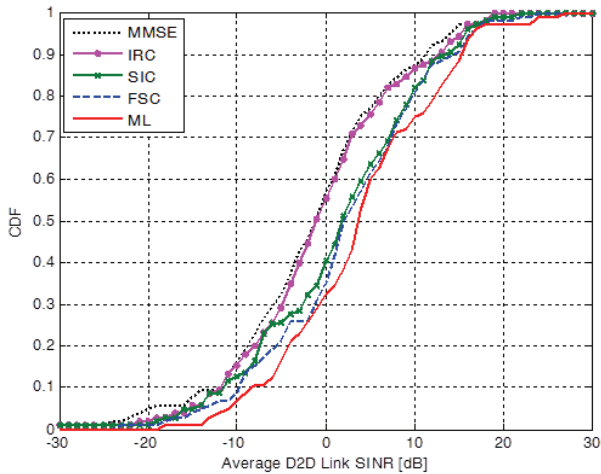


그림 13. D2D 링크의 평균 SINR  
Fig. 13. SINR of cellular link.

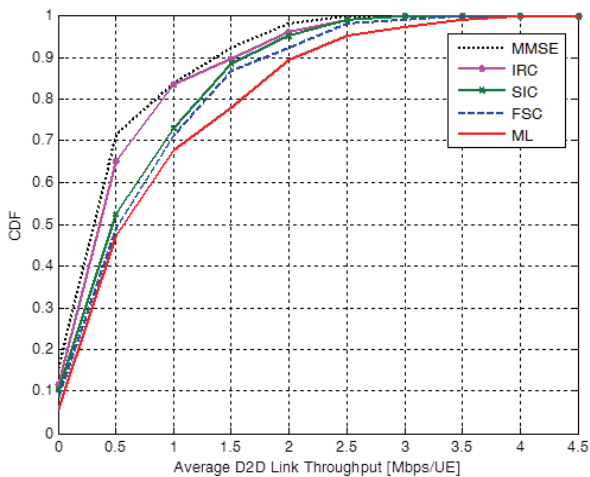


그림 14. D2D 링크의 평균 전송률  
Fig. 14. Average throughput of D2D link.

을 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 SINR 성능 향상이 커진다.

그림 14와 15는 각각 향상된 수신기에 따른 D2D 링크의 전송률과 스펙트럼 효율을 나타낸다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 단말과 D2D 단말이 상호링크 주파수 대역을 공유할 때, 셀룰러 또는 D2D 단말로부터 간섭의 영향을 줄이기 위하여 새로운 하이브리드 수신기 FSC 를 제안하였다. 제안한 수신기는 IRC와 SIC 를 결합하여 간섭을 억제 및 제거 할 수 있다. 시스템 레벨 시뮬레이션은 3GPP LTE-A 시스템의 20MHz 대역을 기반으로 이루어 졌으며, 시뮬레이션 결과 제안한 수신기를 통해 기존 수신기보다 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율 측면에서 셀룰러와 D2D 링크의 성능 향상을 가져다주는 것을 확인하였다.

## REFERENCES

- [1] Mohammad Zulhasnine, Changcheng Huang, Anand Srinivasan, "Efficient Resource Allocation for Device-to-Device Communication Underlying LTE Network," IEEE 6thWiMob,Oct.2010.
- [2] H. Wang and X. Chu, "Distance-constrained

- resource-sharing criteria for device-to-device communications underlying cellular networks,” *IET Electron. Lett.*, vol. 48, no. 9, pp. 528-530, Apr. 2012.
- [3] Hongnian Xing, and Sami Hakola, “The Investigation of Power Control Schemes for a Device-to-Device Communication integrated into OFDMA Cellular System,” 2010 IEEE 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September 2010.
- [4] Hyunkee Min, Woohyun Seo, Jemin Lee, Sungsoo Park, and Daesik Hong, “Reliability Improvement Using Receive Mode Selection in the Device-to-Device Uplink Period Underlying Cellular Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, VOL. 10, NO. 2, Feb. 2011.
- [5] Sungsoo Park, Keukjoon Bang, and Daesik Hong, “Beamforming and User Scheduling for Device-to-Device Underlying Cellular Networks,” *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea* Vol. 49, NO. 2, pp. 9-16, February 2013
- [6] Woojin Kim and Seong Kyu Choi, “Interference Alignment for device to device communication in MIMO cellular network,” 2012 Fall Conference of The Institute of Electronics Engineers of Korea, November 2012.
- [7] 3GPP TR 36.866, “Study on Network-Assisted Interference Cancellation and Suppression (NAICS) for LTE,” V12.0.1, March 2014.
- [8] [R4-131291, “Discussion on Reference IC/IS Receivers for NAICS”, Chicago, IL, US, 15-19 Apr., 2013.
- [9] 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.
- [10] Yousuke Sano, Yusuke Ohwatari, Nobuhiko Miki, Akihito Morimoto, and Yukihiko 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.
- [11] 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.
- [12] Ravi Narasimhan, “Error Propagation Analysis of V-BLAST With Channel-Estimation Errors”, *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, VOL. 53, NO. 1, JANUARY 2005.
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 3GPP TR 36.814, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9), V9.0.0

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 석박사  
통합과정

<주관심분야: 이동통신, MIMO-OFDM, 3D MIMO>



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



김 한 중(학생회원)  
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