

논문 2009-46TC-8-3

OFDM 기반의 4G 셀룰러 시스템을 위한 인접 셀간의 간섭 조정 기법

(Inter-Cell Interference Coordination Scheme for OFDM-based 4G Cellular Systems)

윤길상*, 이정환*, 조인식*, 서창우*, 유철우**, 황인태***

(Gil-sang Yoon, Jeong-hwan Lee, In-sik Cho, Chang-woo Seo, Cheol-woo You, and In-tae Hwang)

요약

앞으로 다가올 4G 셀룰러 시스템에서는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 가장 핵심적인 기술이다. 그러나 셀룰러 시스템 환경에 적용된 OFDM은 인접 셀간의 간섭문제가 심각하게 발생하고 있다. 본 논문에서는 셀룰러 시스템 환경에 적용된 OFDM 기법의 문제점인 인접 셀간의 간섭을 줄이고 4G 시스템 환경에도 적용할 수 있는 ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) 기법을 제안하였다. 그리고 최종적으로 제안된 기법의 성능은 모의실험 결과를 통해 분석한다. 모의 실험은 3GPP LTE (Long-Term Evolution)의 시스템 레벨 시뮬레이션을 기준으로 간략화하여 수행하였다. 그 결과 약 4dB 정도의 Geometry 성능 향상을 확인할 수 있었다.

Abstract

OFDM is a key technology for 4G cellular systems in the future. But when OFDM is used in cellular system environment, it has severe inter-cell interference problems. In this paper, we propose an ICIC scheme that can reduce inter-cell interference for OFDM-based 4G cellular systems. and we analyze the efficiency of the proposed scheme. Simulation is carried out according to the simplified 3GPP LTE system level simulation parameters. We have confirmed the improvement of Geometry efficiency about 4dB at the results.

Keywords : ICIC, LTE, OFDM, 4G

I. 서론

이동 통신 기술은 고품질의 대용량 서비스에 대해 고속 지원을 요하는 통신 시장을 만족시키기 위해 끊임없이 발전해왔다. 그 중 조만간 우리 앞에 현실로 다

가올 4세대 이동 통신 환경은 이동통신 중 100Mbps 급, 정지 중 1Gbps 급의 데이터 전송 속도를 요구하는 차세대 무선 통신으로 유선과 무선, 통신과 방송 등을 통합하여 언제 어디서나 임의의 정보기기로 고속의 네트워크에 접속을 가능하게 하는 것을 목표로 하고 있다^[1-2].

4세대 이동통신의 기술로써 많은 기술들이 제안되고 검토되고 있다. 그 중 OFDM 기술이 4세대 이동통신의 목표를 달성하기 위한 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 그러나 4세대 핵심 기술로써 부각되는 OFDM 기술은 셀룰러 환경 하에서 사용될 시 여러 가지 극복해야 할 문제점을 가지고 있다. 그 중 반드시 해결해야 할 대표적인 문제점이 주파수 재사용 효율과 셀 경계 성능

* 학생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과
(Chonnam National University)

** 정회원, 명지대학교 통신공학과
(Myongji University)

*** 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과
(Myongji University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
IITA-2009-(C1090-0903-0008)

접수일자: 2009년4월9일, 수정완료일: 2009년8월10일

향상이다.

그에 대한 해결점으로 셀간 간섭 완화 기법이 있는데 이는 크게 셀간 간섭 조정 기법, 셀간 간섭 랜덤화 기법, 셀간 간섭 제거 기법으로 분류할 수 있다^[3~8].

본 논문에서는 이와 같은 주파수 재사용 효율과 셀 경계 성능 향상을 셀간의 간섭 조정 기법을 통해 해결하고자 하였다. 다음 장부터 최종 알고리즘까지 논리적 전개가 계속될 것이며 최종 알고리즘 도출 후 모의 실험 결과를 살펴보도록 할 것이다.

II. 기본 정의 및 원리

제안된 셀 간의 간섭 조정 기법을 살펴보기 전에 제안된 기법에서 사용될 기본적인 정의와 원리는 다음과 같다.

먼저 FBS(Frequency Bandwidth Set)에 대한 정의가 필요하다. 그 중 첫 번째 parameter 값으로 B(i)가 정의된다. B(i)는 특정 용도로 i번째 eNB에 대하여 지정되어 있는 주파수 대역이다. 그리고 이는 정기적, 혹은 비정기적으로 변경 가능하며 B(i)의 지정 방법은 각 eNB가 여러 가지 주변 셀 정보를 바탕으로 스스로 선정하거나 eNB 자신이 속한 "Central eNB"에 의해 할당 받을 수 있는 두 가지 방법을 갖는다. 다음으로 BW(i)는 B(i)의 대역 크기로 정의되며 BW(i)는 특정 크기를 단위로 이용하여 간접적으로 표현할 수 있다. 이 때 사용하는 특정 단위를 "FBW_B"라고 정의하고 Ω를 해당 "cell/sector/eNB"에 할당된 사용가능한 전체 대역으로 정의한다. 이렇게 정의된 FBS는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

여기서 SB_i는 B(i)의 해당 주파수 대역의 시작점을 나타내고 EB_i는 해당 주파수 대역의 끝나는 지점을 나타낸다.

다음으로 특정 용도에 맞게 bandwidth의 성질을 나

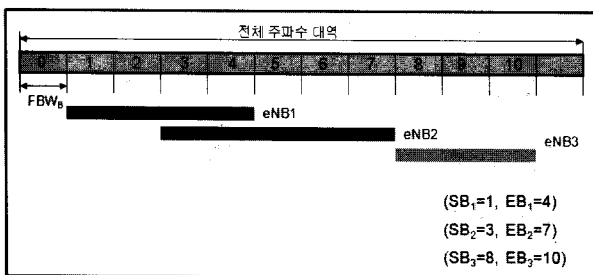


그림 1. Frequency Bandwidth Set의 정의
Fig. 1. The Definition of Frequency Bandwidth Set.

타내는 U_i를 정의 하면, U_i는 몇 가지 성질을 미리 정해 놓고 해당 정보를 B(i)정보와 함께 eNB간 주고 받을 수 있다. 그 예로 신호 bandwidth와 제한 bandwidth로 성질을 정하면 특정 용도에 맞게 각 bandwidth를 사용할 수 있다.

마지막으로 결과 분석 및 성능 평가에 사용될 Geometry에 대한 정의가 필요하다. Reuse set에서 사용되는 Geometry는 식 1과 같이 정의되며 정의식을 보면 직관적으로 알 수 있듯이 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) 과 비슷한 성능 평가 방법임을 알 수 있다^[3].

$$G_{(i,j)} = \frac{C_{serving}}{N + \sum C_{non-serving,color \neq j}} \quad (1)$$

여기서 C는 전력의 세기, N은 noise 전력의 세기이고, 그에 따른 i는 serving cell, j는 셀간 간섭 조정에 의해 회피가 가능한 인접 cell이다.

III. 셀간의 간섭 조정 기법 제안

이번 장에서는 셀간 간섭 조정 기법의 하나인 FFR(Fractional Frequency Reuse) 기법을 기본으로 시작하여 논리적 전개를 통해 최종적인 기법을 제안하고자 한다^[3]. 물론 최종적으로 제안된 기법에 대한 검증은 모의 실험을 통해 확인을 하게 된다.

1. Proposed Algorithm 1

첫 번째 알고리즘의 frequency reuse set 결정 방법은 먼저 serving cell의 ICU(inner cell user)는 전체 대역을 모두 사용할 수 있고 serving cell의 CEU(cell edge user)는 제한 bandwidth로 지정된 대역을 사용할 수 없도록 하여 cell edge의 간섭을 줄이게 된다. 이로써 inner cell에서는 전체 대역을 모두 사용함으로써 최대 성능을 이끌어 낼 수 있다. 그림 2와 그림 3을 통해 확인한다.

설명의 편의를 위해 'cell 1'의 관점에서 분석하도록 하자. 이후의 모든 알고리즘 분석 또한 'cell 1'의 관점으로 이루어 질 것이다.

그림 2의 A부분을 보면 ICU가 전체 대역을 사용할 수 확인할 수 있다. 그에 대한 실질적인 할당은 그림 3을 통해 확인할 수 있는데 PRB(Physical Resource Block) 할당이 inner cell에 모두 되도록 하였다. 이로

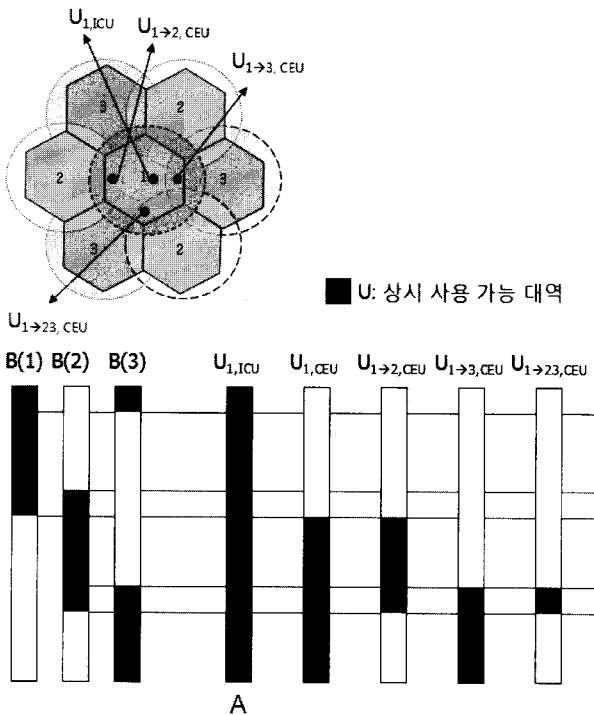


그림 2. 제안된 알고리즘 I의 Frequency Reuse Concept
Fig. 2. The Frequency Reuse Concept of Proposed Algorithm I.

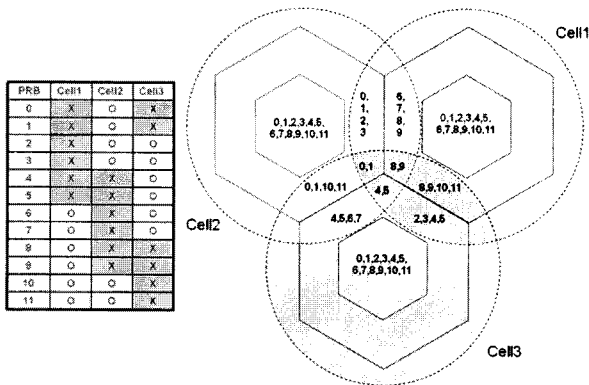


그림 3. 제안된 알고리즘 I의 개념도
Fig. 3. The Illustration of Proposed Algorithm I.

인해 inner cell의 추가된 1, 2, 3, 4, 5에 해당하는 PRB는 이웃 cell의 CEU가 사용할 수 있는 PRB로 interference를 피하기 위해서는 적정의 전력만을 사용하도록 제한하여야 한다. 그러나 6, 7, 8, 9, 10, 11에 해당하는 부분들은 interference로부터 비교적 자유로운 영역으로 높은 전력을 사용하는 것이 가능하다.

이와 같은 첫 번째 알고리즘은 이후 전개될 알고리즘의 논리적 기본으로 사용될 것이다.

2. Proposed Algorithm II

두 번째 알고리즘은 선택적 사용 가능 영역 추가를 통해 CEU의 사용 가능한 bandwidth를 높이고자 하는 방법이다. 물론 선택적 사용 가능 영역이라는 부분이 추가됨으로써 interference 발생 요소가 발생하기 때문에 해당 영역을 사용할 때는 interference cancellation을 이용하여 자유롭게 이용하거나 또는 X2 interface를 통해 Monopoly Indication으로 signaling을 한 후 어느 한 cell 만이 독점적으로 이용할 수 있다.

두 번째 알고리즘에 의해 정의되는 선택적 사용 가능 영역은 식 2와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 C_{1-2,CEU} &= B(1) \cap B(2) \\
 C_{1-3,CEU} &= B(1) \cap B(3) \\
 C_{1-23,CEU} &= B(1) \cap [B(2) \cup B(3)]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

그림 4에서 추가되는 선택적 사용 가능영역을 확인할 수 있으며 그림 5를 통해 cell들 간의 interference 관계를 알 수 있다. 'cell 1'의 관점에서 봤을 때 전체적으로 CEU의 사용가능한 PRB가 늘어났음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 5의 빨간 색으로 표시된 0, 1, 4, 5와 같은 경우는 interference가 최대 1개 존재하는 영역으

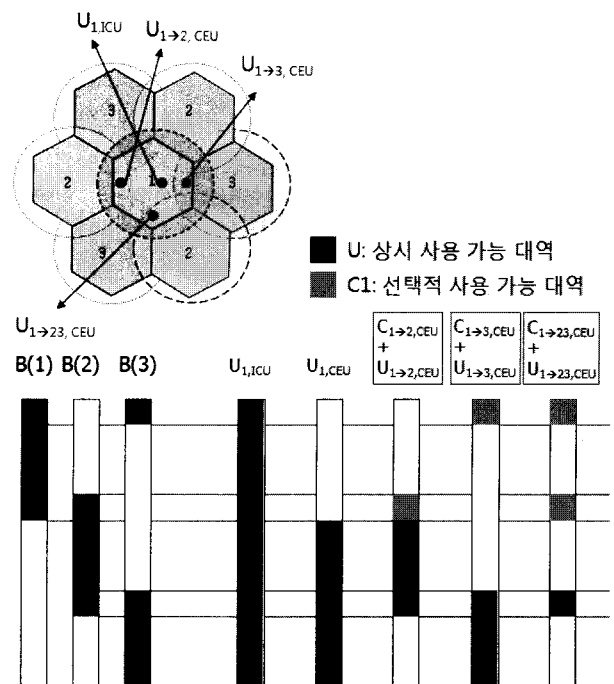


그림 4. 제안된 알고리즘 II의 Frequency Reuse Concept
Fig. 4. The Frequency Reuse Concept of Proposed Algorithm II.

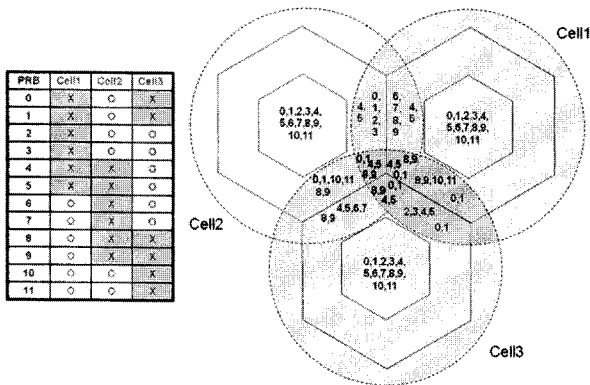


그림 5. 제안된 알고리즘 II의 개념도
Fig. 5. The Illustration of Proposed Algorithm II.

로 비교적 손쉬운 관리가 가능하다. 그러나 검은 색으로 표시된 지역은 최대 2개의 interference가 존재하는 영역으로 간섭 조정 및 관리가 어려울 뿐만 아니라 Geometry 성능에 악영향을 끼칠 것이다. 이와 같은 점을 보완하고자 다음 알고리즘을 제안하게 되었다.

3. Proposed Algorithm III

최종 알고리즘인 세 번째 알고리즘은 첫 번째 알고리즘처럼 ICU의 최대 PRB를 확보하면서 두 번째 알고리즘의 장점인 CEU의 PRB 확보 또한 가능하게 하는 알고리즘이다. 기본적으로는 두 번째 알고리즘과 동일한 frequency reuse set 결정 방법을 따른다. 그러나 두 번째 알고리즘은 interference 발생 영역 증가로 인해 Geometry 성능이 열화되는 단점을 가지고 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 추가되는 선택적 사용 가능 영역의 정의가 수정이 되었다. 2개의 interference가 작용하는 부분에 대한 정의를 수정하였다. 이에 대한 정의는 식 3과 같이 간단하게 정의 될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_{1-2,CEU} &= B(1) \cap B(2) \\
 C_{1-3,CEU} &= B(1) \cap B(3) \\
 C_{1-23,CEU} &= B(1) \cap B(2) \cap B(3)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

이와 같은 간단한 정의 식의 수정으로 Geometry 성능 열화는 피하면서 CEU의 bandwidth를 확장할 수 있게 되었다. 그림 6과 그림 7을 통해 2개의 interference가 존재하는 영역이 없음을 확인할 수 있으며 그림 7의 A 부분의 PRB 할당이 바뀌었음을 알 수 있다.

우선 최종 알고리즘이 Geometry 향상을 가져오면서 최대 data rate를 가질 수 있도록 설계되었음을 이론적으로 확인하였다. 그러나 Geometry 성능은 논리적 전

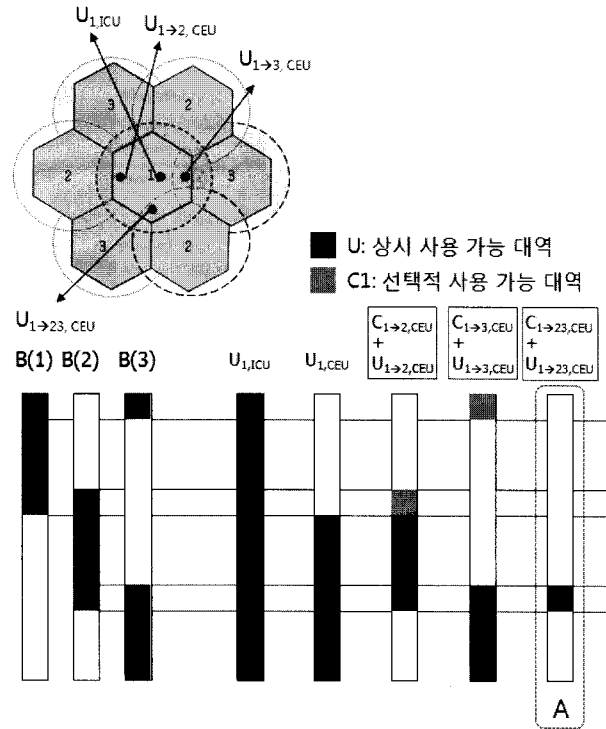


그림 6. 제안된 알고리즘 III의 Frequency Reuse Concept
Fig. 6. The Frequency Reuse Concept of Proposed Algorithm III.

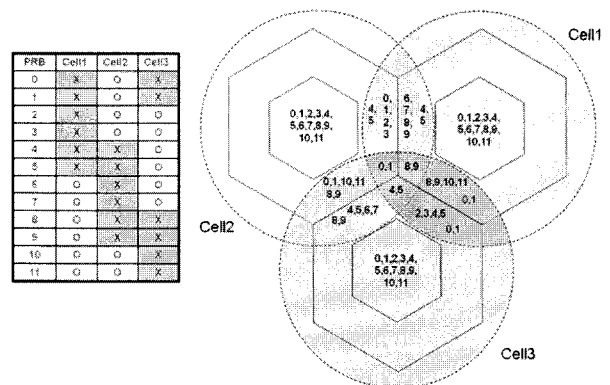


그림 7. 제안된 알고리즘 III의 개념도
Fig. 7. The Illustration of Proposed Algorithm III.

개로는 검증이 어렵다. 그리고 Geometry 성능이 검증되지 않는다면 최대 data rate 또한 유지될지는 의문이다. 그래서 다음 장에서 모의실험 결과를 통해 Geometry 성능에 대한 실험적인 검증이 이루어진다.

IV. 모의실험 결과

모의실험은 LTE (Long Term Evolution) 표준을 따라 간략화한 시스템 레벨 시뮬레이션으로 이루어졌다^[9].

표 1. 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터
Table 1. The System Level Simulation Parameters.

Parameter	Value
Cell Structure	Hexagonal grid, 3-tier, 19 cell sites, 3 sector per site
Antenna	BS: 1, MS: 1
PRB	Freq. BW=900 kHz Time Duration=1 msec
Center Freq.	2.0 GHz
Bandwidth	10.8 MHz
Cell Radius(R) =ISD/ $\sqrt{3}$	$500/\sqrt{3} \approx 289$ m → Interference limited Micro Cell
Path Loss	$L=128.1+37.6\log_{10}(R)$, R in kilometers ^[9]

주요 parameter 값들은 표 1과 같다. 시스템 레벨 시뮬레이션으로 본 논문의 최종 제안 알고리즘을 Geometry 성능으로 검증 및 분석을 하게 될 것이다.

* ISD: Inter Site Distance

최종적으로 제안된 알고리즘은 기본 제안 알고리즘을 제시하고 이를 논리적인 수정 및 보완을 통해 제안된 알고리즘이다. 물론 제안된 알고리즘이 논리적인 부분으로 전개가 되었기 때문에 이를 검증해 줄 근거가 필요하다. 이에 대한 자료로 본 논문에서는 Geometry

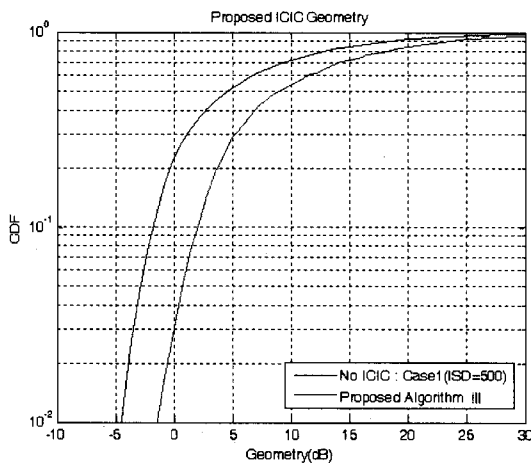


그림 8. 제안된 알고리즘 III의 Geometry 성능
Fig. 6. The Geometry Performance of Proposed Algorithm III.

성능이 제시되었으며 그림 8과 같은 성능을 보였다. 그 결과 제안된 알고리즘의 성능이 CDF 10^{-1} 기준으로 약 4dB 정도의 향상을 보였다.

이와 같은 결과는 제안된 알고리즘이 최대의 전송 용량을 확보하면서도 간섭 조정을 통해 Geometry 성능이 보장됨을 의미한다. 즉, 제안된 알고리즘은 Geometry 성능 이득을 통해 충분한 인접 셀간의 간섭 제거 효과를 보였으며 알고리즘 제안 시 고려하였던 최대 전송률의 고유 특성으로 최대 전송 용량까지도 확보하는 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반의 4G 셀룰러 시스템에 적용 가능한 셀간 조정 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 최대한 최대 전송 용량을 보장하면서 셀간의 간섭을 줄이도록 제안되었으며 모의실험을 통해 분석하였다. 모의실험 결과, 제안된 알고리즘의 간섭 조정을 통해 Geometry 성능의 향상을 확인하였다.

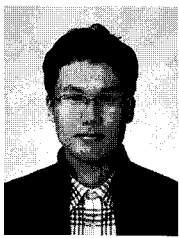
본 알고리즘은 4G 시스템에서 요구되고 있는 최대 전송률과 셀 경계 성능의 보장 및 향상 문제의 해결 방안으로 적용 가능한 기법 중의 하나라고 판단되고 또한 기본 알고리즘에 불가하므로 추가적인 기법 및 연구가 진행된다면 더욱 더 근접한 해결 방안이 될 것이다.

참고 문헌

- [1] 3GPP, "Requirement for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)," TR 25. 913.
- [2] 3GPP, "Requirement for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)," TR 36.913
- [3] 3GPP, "Description and simulation of interference management technique for OFDMA based E-UTRA downlink evaluation," R1-050896, London, United Kingdom, August 29-September 2, 2005, Qualcomm.
- [4] 3GPP, "Interference Coordination in new OFDM DL air interface," R1-050407, Athens, Greece, May 9-13, 2005, Alcatel.
- [5] 3GPP, "Soft Frequency Reuse Scheme for UTRAN LTE," R1-050507, Athens, Greece, May9-13, 2005, Huawei.
- [6] 3GPP, "Inter-cell Interference Handling for E-UTRA," R1-050764, London, UK, August

- 29-September 2, 2005, Ericsson.
- [7] 3GPP, "Standard aspects of Interference coordination for E-UTRA," R1-051051, San Diego, USA, October 10-14, 2005, LG Electronics.
- [8] 3GPP, "Interference Mitigation by Partial Frequency Reuse," R1-060670, Denver, USA, February 13-17, 2006, Siemens.
- [9] 3GPP, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)," TR 25.814.

저 자 소 개



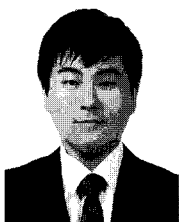
윤길상(학생회원)
2008년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2008년~전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학 중.

<주관심분야 : 이동통신, 무선통신>



이정환(학생회원)
2008년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2008년~전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학 중.

<주관심분야 : 이동통신, MIMO 시스템>



조인식(학생회원)
2009년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2009년~전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학 중.

<주관심분야 : OFDM, MIMO 시스템>



서창우(학생회원)
2009년 상명대학교
정보통신공학과 학사.
2009년~전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학 중.

<주관심분야 : OFDM, MIMO 시스템>



유철우(정회원)
1993년 연세대학교
전자공학과 학사.
1995년 연세대학교
전자공학과 석사.
1999년 연세대학교
전자공학과 박사.

1999년~2003년 LG전자 책임 연구원.
2003년~2004년 EoNex 책임 연구원.
2004년~2006년 삼성전자 책임 연구원.
2006년~명지대학교 통신공학과 교수.
<주관심분야 : New Multiple Access schemes, Adaptive Resource Allocation, AMC, MIMO systems, advanced FEC, Relay schemes for 4G communication systems>



황인태(정회원)
1990년 전남대학교
전자공학과 학사.
1992년 연세대학교
전자공학과 석사.
2004년 연세대학교
전기전자공학과 박사.

1992년~2006년 LG전자 책임 연구원.
2006년~전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템, mobile terminal system for next generation, physical layer software for mobile terminal, efficient algorithms for AMC, MIMO and MIMO-OFDM, Relaying scheme for wireless communication>