

# 3GPP LTE 시스템에서 셀간 간섭관리를 위한 주파수 할당 기법

정회원 조 경 국\*, 김 상 구\*, 종신회원 윤 동 원\*

## Frequency allocation method for an inter-cell interference management on 3GPP LTE systems

Kyongkuk Cho\*, Sanggoo Kim\* *Regular Members*, Dongwon Yoon\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 3GPP LTE 시스템에서 셀 주변부 및 하위 5%의 사용자 전송률을 높이기 위한 새로운 주파수 할당 기법을 제안한다. 단일 안테나 전송 방식(SISO: Single Input Single Output)에서 셀 주변부의 사용자 전송률을 늘리기 위하여 여러 가지 셀간 간섭 관리에 대한 연구가 활발히 진행되었으나, 간섭 관리 알고리즘 적용 방식이 실제 구현에 있어 상당히 복잡한 점이 있다. 제안하는 알고리즘은 모든 셀 영역에 동일한 주파수 할당 방식을 적용할 수 있어 운용의 복잡도를 낮추고, 셀 주변부의 사용자 전송률을 늘리도록 한다. 시스템 레벨 시뮬레이션(SLS: System Level Simulation)을 통하여 제안하는 알고리즘의 셀 주변부 및 하위 5% 사용자 전송률을 비교 분석한다.

**Key Words** : ICI, 3GPP LTE, ICI-Avoidance, Frequency allocation, User throughput

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new frequency allocation method for improvement of edge and low 5% user throughputs. Although many kinds of inter cell interference mitigation methods have been proposed, those have still high complexity of implementation. The proposed algorithm has lower complexity and higher edge user throughput than conventional algorithms since the same frequency allocation method is applied in all cell. Finally, we analyze and compare the edge and low 5% user throughputs using a system level simulation (SLS).

### 1. 서 론

3GPP LTE 시스템에서 사용하고 있는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) 전송방식은 단말의 요구 사항에 맞추어 주파수 자원을 효율적으로 배치되어야 높은 전송 시스템의 이득을 갖게 된다. 3GPP LTE 시스템은 셀룰라 통신 인프라 구조를 사용함으로써 항상 셀 간 간섭이 발생하게 되며, 특히 주파수 재사용률 1일 경우에 셀 경계에 위치

한 단말기의 신호대 간섭잡음비는 주위 인접 셀에서 오는 간섭 신호로 인하여 크게 저하된다. 이에 따라 셀룰라 시스템의 성능 향상을 위한 전송 전력 관리와 인접 셀의 주파수 자원 충돌을 최소화하는 기법들이 연구되어 오고 있다<sup>[1,2]</sup>. 셀간 간섭을 관리하는 기술은 간섭 랜덤화, 간섭 제거, 간섭 회피 및 조정 기법으로 나누어진다. 이 중에서 간섭 회피 및 조정 기법은 근본적으로 간섭을 줄일 수 있는 알고리즘으로 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[3-5]</sup>.

※ 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 NSL 사업으로부터 지원받아 수행되었습니다. (2009-0082437)

\* 한양대학교 융합전자공학부 (dwyoon@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-03-096, 접수일자 : 2010년 3월 8일, 최종논문접수일자 : 2010년 6월 28일

주파수 간섭 회피의 가장 기본적인 알고리즘은 단말기와 서비스 기지국과의 거리 및 위치에 따라 전송 전력 관리함으로써 전체 셀 내의 주파수 자원의 간섭을 감소시키는 기법이다. 즉, 셀 중심부에 있는 단말기는 상대적으로 낮은 전송 전력으로 송수신하고 셀 경계 부분에 위치하고 있는 단말기는 최대 전송 전력으로 통신함으로써 전체 사용자에게 통신 서비스를 제공하면서 주파수 간섭을 낮추도록 하고 있다<sup>6)</sup>. 이러한 주파수 간섭 조정 방법은 주파수 재사용률 1이 아니거나 전체 주파수 영역 가운데 한정된 부분만을 할당해야 하는 문제점들이 내재되어 있다. 이를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 주파수 재사용률 1을 유지하면서 주파수 할당이 제한되지 않는 알고리즘을 제안하여 셀 경계에 위치한 단말에 대한 전송률 (throughput)을 높이고, 셀 경계 단말들의 리소스 할당 공평성(fairness)을 향상하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 종래의 기술들에 대한 문제점을 살펴보고, 이를 해결하기 위하여 제안하는 알고리즘에 대하여 설명한다. III장에서 제안된 알고리즘의 성능분석을 통하여 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 셀간 간섭 조정 및 회피 기술

본 장에서는 셀간 간섭 조정 및 회피기술의 문제점에 대하여 알아보고 이를 해결하기 위한 주파수 할당 알고리즘에 대하여 연구한다.

### 2.1 Simens 방식

이 기술은 그림 1과 같이 셀 중심부와 셀 주변부로 나누어 주파수 자원을 할당한다. 모든 셀 중심부에는

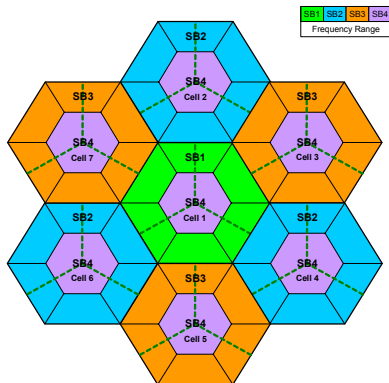


그림 1. 지멘스 알고리즘  
Fig. 1. Simens Algorithm

전체 주파수 영역(SB1~SB4)에서 SB4 영역을 할당하고 셀 주변부에는 셀 번호에 따라 SB1 ~ SB3가 주파수 자원이 할당된다. 이에 따라 각각의 셀 주변부에는 SB1~SB3 중 하나의 SB 영역만 할당되게 된다<sup>7)</sup>. 이는 셀 중심부의 할당 자원인 SB4 영역은 모든 인접 중심 셀에서 같은 주파수 자원을 사용함으로써 간섭 조정 방식이 적용되지 않는 주파수 자원 구간이 발생한다.

또한, 모든 셀의 섹터는 SB1~SB3 중 하나의 SB와 공통의 SB4의 주파수 자원만을 사용하고 있다.

이 구성에 따라 셀 주변부의 간섭을 줄일 수 있지만 모든 섹터별 주파수 재사용률 1이 되지 않기 때문에 주파수 자원 효율 및 전체 전송률이 떨어지게 된다.

### 2.2 ETRI 방식

Simens 알고리즘의 문제점을 보완하여 주파수 재사용률의 문제점을 해결한 기술으로써 기본적인 개념도는 그림 2에 나타내었다. 전체 주파수 자원은 총 3개 또는 4개(그림 2에서는 총 3개)로 분할된다<sup>8)</sup>. 여기에서 W1과 S1의 주파수 영역은 동일하며, W번호에 따라 기지국에서의 전송 전력을 번갈아 가며 낮추어 특정 시간의 셀간 간섭을 최소화으로 발생시킨다. 셀 중심부에 W1, 셀 주변부에 S2, S3 주파수 영역이 할당되면, 중심 셀에 인접 해 있는 주변 6개 셀 주변부에는 S1 주파수 영역이 할당되고, 주변 6개 셀의 중심부에는 W2, W3 주파수 영역이 번갈아 가며 할당된다<sup>9)</sup>.

이 기술은 각 섹터 별 주파수 재사용률이 항상 1 (가운데 셀의 경우 : W1, S2, S3)을 유지시킴으로써 Simens 알고리즘에 비하여 셀 주변부의 전송률 뿐만 아니라 전체적인 시스템 전송 성능을 개선하고 있다. 하지만 이러한 셀 전체 및 주변부의 성능향상을 위해

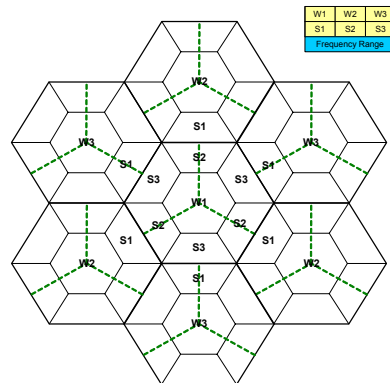


그림 2. 한국전자통신연구원 알고리즘  
Fig. 2. ETRI Algorithm

서 각 셀마다 주파수 할당 방법을 다르게 적용해야 하고, 특정 시간의 간섭을 최소로 하기 위하여 각 셀의 전송 전력을 조절해야 하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하게 된다.

2.3 제안하는 알고리즘

본 기술은 앞 절에서 살펴본 알고리즘에서 나타난 문제점들을 해결하고 보다 낮은 셀간 간섭 효과를 갖도록 한다. 또한 주파수 할당 기법에 있어서 종래 기술들에 비해 보다 유연하고, 모든 셀에 일관된 주파수 할당 방법을 적용 할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 본 논문에서 제안하는 주파수 자원 할당 방법은 그림 3과 같이 셀 전체 주파수 영역을 6개의 subband {A, B, C, D, E, F}로 나누고 각 섹터별에 따라 6 subband를 크게 2개의 그룹으로 분류한다. 알파 섹터는 {E, F, A}와 {B, C, D}, 베타 섹터는 {A, B, C}와 {D, E, F}, 감마 섹터는 {C, D, E}와 {F, A, B}로 각각 할당한다. 셀 내부의 중심부와 주변부의 경계에서 숫자를 기준으로 각 그룹 내에 3개의 subband를 할당한다. 그림 3에서 보듯이 첫 번째 그룹은 1번을 기준으로 시계 방향의 “wrap-around”방식으로 할당하며, 두 번째 그룹은 2번을 기준으로 반시계방향의 “wrap-around”방식으로 자원을 할당한다. 이 방식으로 진행한다면 셀 중심부는 알파 섹터의 경우 {A, B}, 베타 섹터는 {C, D}, 감마 섹터는 {E, F}로 구성된 주파수 영역이 할당되게 된다. 셀 주변부이면서 두 개의 섹터가 만나게 되는 셀 경계는 서로 동일한 subband가 되도록 한다. 동일 셀내의 인접 섹터간에 동일한 subband가 배치됨에 따라 섹터 다이버시티 softer combining 기법을 용이하게 적용할 수 있다.

알파 섹터의 셀 중심부는 {A, B}, 외부 셀 경계부는 {D, F}, 알파-베타 내부 셀 경계는 {E}, 알파-감마 내부 셀 경계는 {C}가 된다. 나머지 베타, 감마 섹터

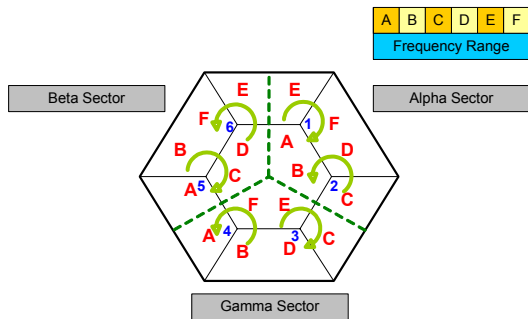


그림 3. 제안된 주파수 할당 방안  
Fig. 3. Proposed frequency allocation method

에 대한 것도 동일한 규칙으로 진행된다. 또한 내부 셀 영역의 주파수 자원은 항상 {A, B, C, D, E, F}가 되어 모든 주파수 자원을 사용할 수 있으며, 각 섹터별 주파수 자원도 모두 사용하게 되어 섹터별 주파수 재사용률이 항상 1이 유지하게 된다. 본 기술에 대한 중심 셀과 1-st Tier 셀로 구성된 셀룰러 시스템 구성도는 그림 4와 같이 표시된다.

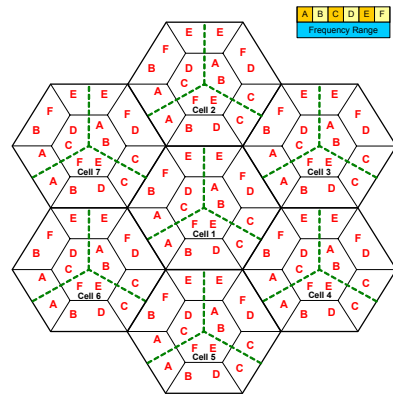


그림 4. 1-st Tier 구성도  
Fig. 4. 1-st Tier configuration

III. 모의 실험

본 장에서는 다양한 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 비교 및 분석한다.

3.1 제안하는 알고리즘

표 1에는 3GPP LTE 시스템 파라미터가 표시되어 있다. 시스템 레벨 시뮬레이션(SLS) 기반의 모의실험은 그림 5와 같이 2-tier 19셀 시스템이며, 전송 대역

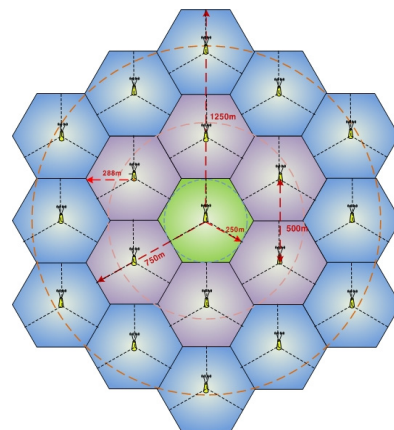


그림 5. 19셀, 2-Tier 셀 구성도  
Fig. 5. 19 cell, 2-Tier cell configuration

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Assumption
<b>OFDM Parameters</b>	
Transmission bandwidth	20 MHz
FFT size	2048
Subcarrier separation	15 kHz
# of useful subcarriers per OFDM symbol	1200
# of subcarriers in a resource block	12
# of physical resource blocks	100 (1200/12)
<b>System Parameters</b>	
Cellular Layout	Hexagonal grid, 2tier, 3 cell per site
Inter-site distance	500 m
Distance-dependent path loss	$L=128.1+37.6\log_{10}(R)$ , R in kilometers
Shadowing correlation	0.5 (between cells) 1.0 (between sectors)
Penetration loss	20 dB
Antenna pattern (horizontal) (For 3-sector cell sites with fixed antenna patterns)	$A(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right]$ $\theta_{3dB}=70$ degrees, $A_m=20$ dB
Carrier frequency	2.7/2.6 GHz for DL/UL
Channel model	SCM Urban Macro (AS=15)
UE speeds of interest	3 km/h
UE distribution	sector area randomly
Total eNodeB Tx Power	46 dBm
Scheduler	PF (frequency domain)
Link mapping	Capacity
eNodeB/UE antenna gain	14 dB
UE noise figure	9 dB
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
CQI delay	3 TTI
Scheduling algorithm	Proportional Fairness
Subcarrier mapping	Localized
Packet combining method in hybrid ARQ	Chase combining
Traffic model	Full queue traffic
Receiver type	MMSE (baseline)
Channel estimation error	Ideal (baseline)

폭은 20MHz이다. UE(User Equipment)는 각 섹터당 24명을 영역별 임의로 분포하고 있다. 120도 지향성 안테나 사용하며, 전송 방식은 단일 안테나 전송 방식으로 가정한다.

### 3.2 모의 실험 결과 및 분석

모의 실험은 3GPP LTE 시스템의 기본적인 비 주파수 재사용 기법(Non-FFR)과 제안된 주파수 재사용

기법(FFR)의 사용자 전송률을 비교 및 분석한다. 모의 실험 결과는 셀 전체, 셀 주변부 및 하위 5%에 따른 각각 사용자 전송률을 도출한다. 그림 6에는 전체 셀 사용자 전송률에 대한 CDF를 나타내었다.

그림 6의 결과로, 셀 중심부의 전송 전력을 전체 평균 전력 대비 3dB로 높일 경우, 약 22Mbps로 가장 높은 셀 사용자 전송률을 갖는 것을 볼 수 있다. 이 경우에는 기존의 비 주파수 재사용 기법에 비하여 셀 중심부의 전송률이 높아지지만, 셀 주변부의 사용자 전송률은 낮아짐을 확인 할 수 있다.

반면에 셀 중심부의 전송 전력을 각각 전체 평균 전력 대비 0dB, -3dB, -5dB 줄인 경우에는 상대적으로 셀 중심부의 사용자 전송률은 낮아지지만 셀 주변부의 사용자 전송률이 높아지기 때문에 셀간 간섭 회피의 효과 및 사용자 간의 자원 할당 공평성이 높아졌음을 확인할 수 있다.

그림 7에는 셀 주변부의 사용자 전송률의 CDF를 나타내었다. 그림에서 +3dB인 경우에 셀 전체 사용자 전송률은 높지만 0dB 대비 셀 주변부 사용자 전송률이 약 25% 정도 낮아지게 된다. -3dB, -5dB의 경우에 셀 전체 사용자 전송률이 기존의 기법 대비 7~12% 정도 줄었지만, 현저하게 떨어졌던 셀 주변부의 사용자 전송률이 약 12~20%까지 높아짐을 확인할 수 있다.

그림 8에는 Simens, ETRI, FFR 방식별 하위 5% 사용자 전송률의 CDF를 나타내었다. 0dB 전송 전력을 갖는 제안된 기법은 기존의 비 주파수 재사용 기법에 비해 셀 주변부 성능이 약 7% 정도 향상됨을 확인하였다. 또한 Simens 방식과 ETRI 방식보다는 각각 약 4%, 2% 성능이 향상되었다.

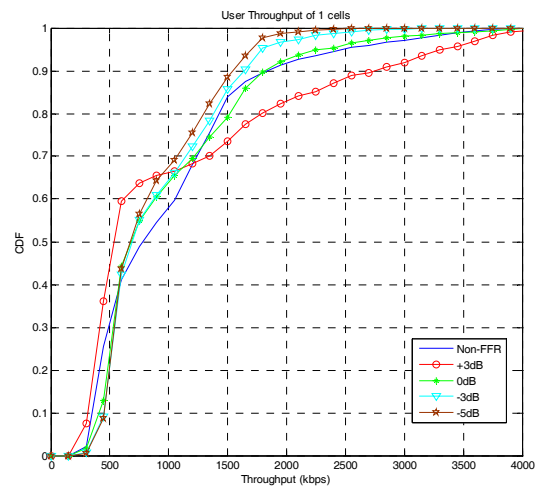


그림 6. 전체 셀 사용자 전송률  
Fig. 6. Cell User Throughput

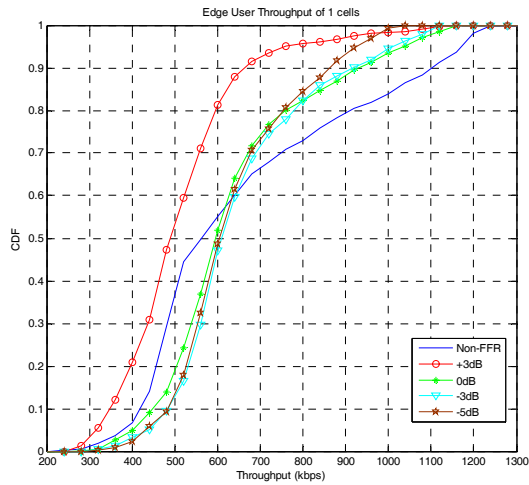


그림 7. 셀 주변부 사용자 전송률  
Fig. 7. Cell Edge User Throughput

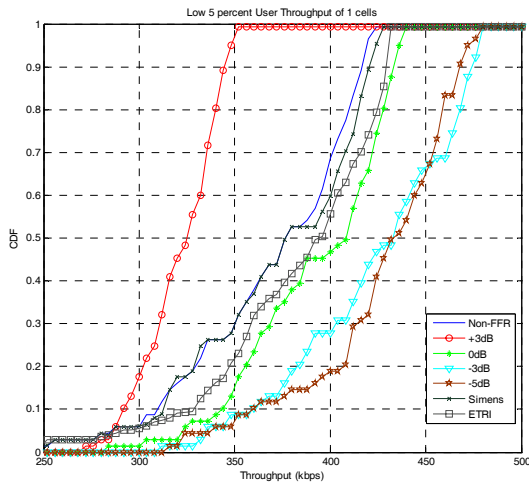


그림 8. 하위 5% 사용자 전송률  
Fig. 8. Low 5% User Throughput

전송 전력 변화가 있는 경우에는 모의 실험 결과가 모두 기존의 비 주파수 재사용 기법보다 약 15% 정도 향상됨을 볼 수 있다. 기존 방식과 제안한 방식과의 셀 평균, 사용자당 평균 데이터율을 표 2에 나타내었으며, 제안하는 방식에서 전송전력을 조절한 경우의 모의 실험결과를 표 3에 요약하여 나타내었다.

한 개 셀 전체의 사용자 전송률과 셀 전체, 셀, 셀 중심부, 셀 주변부 및 하위 5%의 사용자 전송률의 평균을 나타내었다. Simens와 ETRI 방식의 경우, 셀 주변부의 성능은 소폭 낮아진 반면, 하위 5%의 성능은 크게 향상되지 않음을 확인하였다.

표 2. 방식별 모의 실험 결과  
Table 2. Simulation results for modes

(단위 : kbps)

구분	Non-FFR	FFR	Simens	ETRI
셀 전체 전송률	21422	21016	21242	21104
셀 단위				
중심부	1071	1050	1062	1055
주변부	1737	1718	1726	1720
평균 5%	737	716	730	722
하위 5%	368	392	376	383

표 3. 전송 전력별 모의 실험 결과  
Table 3. Simulation results for transmission powers

(단위 : kbps)

구분	Non-FFR	FFR (+3dB)	FFR (0dB)	FFR (-3dB)	FFR (-5dB)
셀 전체 전송률	21422	22008	21016	19037	18109
셀 단위					
중심부	1071	1133	1050	981	932
주변부	1737	2324	1718	1319	1092
하위 5%	737	538	716	812	853
하위 5%	368	321	392	423	426

## V. 결론

본 논문에서는 3GPP LTE 이동통신 시스템에서 셀 주변부의 사용자 전송률을 높이기 위한 새로운 주파수 할당 기법을 제안하고 그 성능을 비교 분석하였다. Simens, ETRI 방식은 제안하는 기법 보다 셀 주변부의 성능은 소폭 낮아진 반면, 하위 5%의 성능은 크게 향상되지 않았으며, 전송전력을 조절한 경우의 그 차는 더 커짐을 확인하였다.

셀 중심부의 전송 전력을 3dB 높였을 경우에는 기존의 비 주파수 재사용 기법 대비 셀 중심부와 셀 경계부에서 우수한 사용자 전송률을 가지는 것을 확인하였다. 또한 전송 전력을 조절하지 않았을 경우에는 셀 중심부의 성능이 소폭 저하되지만, 하위 5%의 성능이 개선됨을 볼 수 있었다. 전송 전력을 각각 -3dB, -5dB로 낮추었을 경우, 전체 셀 사용자 전송률이 낮아졌지만 셀 주변부 및 하위 5%의 전송률이 개선되었다.

제안된 알고리즘은 3GPP LTE Advanced 시스템에서도 적용 가능하며, 자원 할당 공정성에서도 셀 주변부의 사용자들에게 보다 높은 기회와 신뢰성있는 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 통하여, 셀 주변부 및 하위 5%의 성능 열화 문제를 해결할 수



있는 기초 방안이며 향상된 기법들이 추후 기대된다.

WG1 #42, London, U.K., Aug. 2005.

### References

- [1] R1-050833, LG Electronics, “Interference mitigation in evolved UTRA/ UTRAN”, 3GPP RAN WG1 #42, London, U.K., Aug. 2005.
- [2] R1-040572, Alcatel, “OFDM with interference control for improved HSDPA coverage”, 3GPP RAN WG1 #37, Montreal, Canada, May. 2004.
- [3] X. Mao, A. Maaref, and K. H. Teo, “Adaptive Soft Frequency Reuse for Inter-cell Interference Coordination in SC-FDMA based 3GPP LTE Uplinks”, in *Proc. of IEEE Globecom*, Nov. 30 - Dec. 4 2008.
- [4] J. Ellenbeck, H. Al-Shartri, and C. Hartmann, “Performance of Decentralized Interference Coordination in the LTE Uplink”, in *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) Fall*, Sept. 20-23 2009.
- [5] X. Fan, S. Chen, and X. Zhang, “An Inter-Cell Interference Coordination Technique Based on Users Ratio and Multi-Level Frequency Allocations”, in *Proc. of IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom)*, Sept. 21-23 2007.
- [6] R1-050272, Alcatel, “OFDM air interface with QoS at cell edge”, 3GPP RAN WG1 #40bis, Beijing, China, Apr. 2005.
- [7] R1-050599, Siemens, “Interference mitigation-considerations and results on frequency reuse,” 3GPP RAN WG1 Ad Hoc on LTE, Sophia Antipolis, France, June 2005.
- [8] R1-050808, ETRI, “Inter-cell interference management in practical environments”, 3GPP RAN WG1 #42, London, U.K., Aug. 2005.
- [9] R1-050896, QUALCOMM Europe, “Description and simulations of interference management technique for OFDMA based E-UTRA downlink evaluation”, 3GPP RAN

조 경 국 (Kyongkuk Cho ) 정회원  
한국통신학회논문지 제32권 제7호

김 상 구 (Sanggoo Kim)

정회원



2007년 2월 한국외국어대학교  
전자공학과  
2009년 2월 한양대학교 전자  
컴퓨터통신공학과 석사  
2009년 3월~현재 한양대학교  
전자컴퓨터통신공학과 박사  
과정

<관심분야> 이동통신, 우주통신, 위성통신

윤 동 원 (Dongweon Yoon)      종신회원  
한국통신학회논문지 제31권 제9C호