

시분할 이중화 상향 링크 셀룰러 네트워크에서 사용자의 간섭 환경을 고려한 적응적 스케줄링 기법

조문제 · 이웅섭 · 김성환 · 류종열 · 반태원*

Adaptive scheduling scheme considering users' interference environment in TDD uplink cellular networks

Moon-Je Cho · Woongsup Lee · Seong Hwan Kim · Jongyeol Ryu · Tae-Won Ban*

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

요 약

서빙 기지국과의 자기 신호 채널 이득이 가장 큰 사용자를 선택하여 자원을 할당하는 기존의 max SNR 방식은 간섭 영향이 크지 않은 환경에서 우수한 성능을 나타내며, 서빙 기지국과의 자기 신호 채널 이득과 함께 사용자가 인접 셀의 기지국에 야기하는 간섭을 함께 고려하여 자원을 할당하는 max SGIR 방식은 간섭이 큰 환경에서 뛰어난 성능을 나타낸다. 이처럼, 기존의 자원할당 방식들은 각기 다른 간섭 환경에서 최적의 성능을 나타낸다. 본 논문에서는 이러한 기존 방식의 단점을 극복하기 위하여 적응적 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 방식은 max SNR 기법에 따라서 사용자를 선택하며, 선택된 사용자 발생 간섭량이 특정 임계치보다 클 경우 max SGIR 방식에 따라서 새로운 사용자가 선택된다. Monte-Carlo 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과에 따르면 제안 방식은 다양한 간섭 환경에서 기존의 방식들 대비 항상 우수한 성능으로 최대 30%의 성능향상을 보였다.

ABSTRACT

A conventional max SNR scheme, which allocates uplink resources to the user with the highest gain of desired signal channel with a serving base station (BS), exhibits excellent performance in low interference environments. On the other hand, max SGIR scheme, which allocates resources by considering both the desired signal channel gain and users' interference generating to neighboring BSs, outperforms the max SNR in high interference environments. The conventional two scheduling schemes exhibit optimal performance in different interference environments. Thus, we propose an adaptive scheduling scheme in order to overcome disadvantages of the conventional schemes. In the proposed scheme, a user is selected by max SNR and then the user's generating interference is compared with a pre-determined threshold value. If the generating interference is larger than a pre-determined threshold, then a user is re-selected by max SGIR policy. Monte-Carlo simulation results reveals that the proposed scheme outperforms the conventional schemes in various interference environments.

키워드 : 상향링크 무선 네트워크, 간섭, 신호 대 발생 간섭 비, 스케줄링

Key word : Uplink Cellular Wireless Networks, Interference, SGIR, Scheduling

Received 14 June 2017, Revised 15 June 2017, Accepted 22 June 2017

* Corresponding Author Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.8.1480>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

오늘날의 이동통신 네트워크에서는 급격히 증가하고 있는 모바일 인터넷 트래픽을 한정된 주파수 자원으로 효과적으로 서비스하기 위하여 네트워크의 밀집도가 증가하고 있으며, 이러한 추세는 차세대 이동통신 네트워크에서 더욱 가속화될 것으로 예상된다[1-3]. 네트워크의 밀집도가 높아질수록 면적당 기지국 수가 증가하여, 인접 셀 간 간섭의 영향으로 주파수 효율성은 나빠진다. 하향 링크에서는 송신기인 기지국의 위치가 고정되어 있고 모든 자원 할당을 스스로 제어할 수 있으므로, 이러한 간섭 상황에 쉽게 대처할 수 있다. 반면에, 상향 링크에서는 송신기인 단말의 위치가 변하고 전송 제어를 담당하는 기지국과 분리되어 있어 간섭 상황에 대처하기가 더욱 어려우므로, 하향 링크에 비해 간섭으로 인한 성능 저하가 더욱 심각하다[4]. 이러한 간섭 문제를 해결하기 위하여 상향 링크 네트워크에서 다양한 스케줄링 기법에 대한 연구가 진행되었다[5-7]. 상향 링크에서 단말이 인접 셀에 유발하는 간섭을 전혀 고려하지 않고, 오직 서빙 기지국과 연결된 자기 채널 정보만을 고려하여 채널 이득이 가장 높은 단말을 선택하여 자원을 할당하는 max SNR (signal-to-noise ratio) 스케줄링 방식이 가장 일반적이다. max SNR 방식은 간섭이 적은 환경에서 뛰어난 성능을 보이지만, 간섭의 영향이 큰 환경에서는 전체 네트워크 성능이 심각하게 저하되는 문제점을 안고 있다[5]. 간섭이 심각한 환경에서 성능이 저하되는 max SNR 방식의 단점을 극복하기 위하여 min INR (interference-to-noise-ratio)과 max SGIR (signal-to-generating interference ratio) 스케줄링 방식이 제안되었다 [6, 7]. min INR (interference-to-noise-ratio) 스케줄링 방식은 max SNR 방식과는 반대로, 서빙 기지국과의 채널 이득을 전혀 고려하지 않고 단말이 인접 셀로 야기하는 총 간섭량이 가장 적은 단말을 선택하여 자원을 할당한다[6]. 이 방식은 단말의 서빙 기지국과의 채널 정보를 전혀 고려하지 않으므로 성능이 개선되는 환경이 매우 제한적이며 성능 개선 효과도 크지 않다. max SGIR 스케줄링 방식은 단말이 연결된 서빙 기지국과의 채널 이득과 그 단말이 인접 셀에 야기하는 총 간섭량의 비율이 가장 큰 단말을 선택하여 자원을 할당한다[7]. 이 방식은 단말의 채널 상태가 좋거나 인접 셀에 야기하는 간섭량이 작을수록 선택

될 확률이 높아진다. 즉, max SGIR은 max SNR과 min INR을 결합한 방식이다. max SGIR 방식은 간섭이 심각한 상황에서 min INR방식의 단점을 보완하여 보다 나은 성능을 나타내지만, 간섭이 심각하지 않은 환경에서는 여전히 max SNR 보다 성능이 낮다.

이처럼 max SNR과 max SGIR 방식은 서로 다른 간섭 환경에서 최적의 성능을 나타내므로, 간섭 환경에 따라 두 방식을 적응적으로 운용한다면 기존 방식들의 문제점을 보완할 수 있다. 본 논문에서는 단말이 처한 간섭 환경에 따라 자원 할당 정책을 적응적으로 적용하는 적응적 스케줄링 기법을 제안한다. 제안한 적응적 스케줄링 방식은 먼저 max SNR 스케줄링 방식으로 단말을 선택하고 선택된 단말이 인접 셀로 야기하는 간섭량을 확인한다. 선택된 단말의 발생간섭량이 미리 결정된 임계치를 초과할 경우에만 max SGIR 방식으로 다시 단말을 선택하여 상향 링크 자원을 할당한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 논문에서 고려하는 네트워크와 채널 모델을 설명하고, 적응적 사용자 스케줄링 기법을 제안한다. III장에서 제안 방식의 평균 전송률의 합을 분석한 후 기존 방식들의 성능과 비교한다. 마지막으로, IV장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델 및 제안 방식

본 논문에서는 상향링크 다중 셀 시나리오를 충실히 반영할 수 있는 Interfering Multiple-Access Channel (IMAC) 모델을 고려한다. K 개의 셀이 존재하는 TDD 네트워크를 가정하며, 각 셀에는 하나의 기지국과 N 명의 사용자가 존재한다. 모든 기지국과 사용자는 단일 송·수신 안테나를 가진다. 그림 1은 기지국이 3개이고

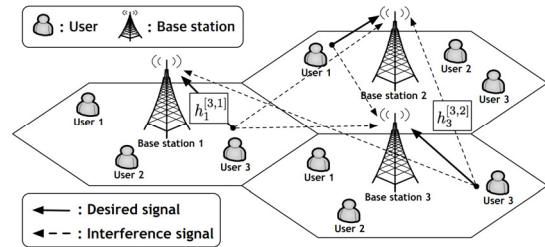


Fig. 1 TDD-based uplink cellular communication network. $K=3$ and $N=3$.

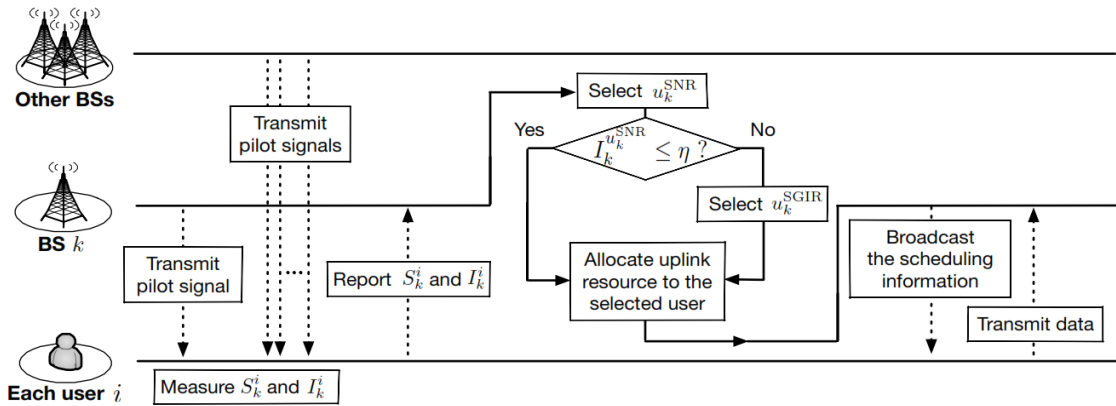


Fig. 2 Overall procedure of proposed scheme

각 기지국 당 사용자가 3명인 네트워크를 예시적으로 나타낸다. 각 기지국은 해당 셀 내에 있는 사용자들의 전송 제어만을 수행한다. $h_k^{[i,j]}$ 는 셀 k 에 있는 사용자 i 와 기지국 j 간의 채널 벡터를 나타내며 $j, k \in \{1, \dots, K\}$ 이고 $i \in \{1, \dots, N\}$ 이다. 여기서 모든 채널 벡터들은 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안 분포를 따르며 상호 독립이라고 가정한다. 모든 채널 벡터들은 전송 블록 동안 일정하게 유지되며, 매 전송 블록마다 독립적으로 그리고 확률적으로 변하는 블록 페이딩 환경을 가정한다. 모든 사용자의 전송 전력은 P , 백색 가우시안 잡음 밀도는 N_0 으로 표기하며, P/N_0 는 신호대잡음비 (Signal to Noise Ratio:SNR)로 정의한다.

max SNR 스케줄링 방식은 인접 셀 간의 상호 간섭은 전혀 고려하지 않고 서빙 기지국이 수신하는 신호 세기가 가장 큰 사용자를 선택하며, max SGIR 스케줄링 방식은 각 사용자의 자기 신호 세기와 발생 간섭을 모두 고려하여 SGIR 지수가 가장 큰 사용자를 선택한다. 기지국 수가 적고 낮은 SNR 환경에서는 간섭의 영향이 제한되므로 자기 신호 세기로 사용자를 선택하는 max SNR 스케줄링 방식이 효과적이다. 그리고 기지국 수 혹은 SNR이 증가할수록 간섭의 영향이 커지므로 max SNR보다 max SGIR이 우수한 성능을 나타낸다. 제안 방식은 max SNR로 선택된 사용자의 발생 간섭량이 특정 임계치를 초과하면 max SGIR로 다시 사용자 선택함으로써 max SNR과 maxSGIR의 장점을 동시에 취할 수 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 적응적 스케줄링 방식의 신호 전달 절차를 나타낸다. 먼저, 모

든 기지국들이 고유의 파일럿 신호를 전송함으로써 네트워크내의 모든 사용자들은 자신의 서빙 기지국과 주변의 모든 기지국으로부터 수신되는 채널 정보를 측정할 수 있다. TD-LTE 시스템의 상용화로 타당성이 검증된 시분할 이중화 방식의 상-하향 링크의 채널 대칭성 (reciprocity)에 따라서 각 사용자가 측정하향 링크 채널 정보는 상향 링크 채널 정보와 동일한 것으로 가정할 수 있다. 따라서, 셀 k 에 있는 사용자 i 가 데이터 전송 시에 서빙 기지국 k 가 수신할 수 있는 신호의 세기는 다음과 같이 계산되며

$$S_k^i = P|h_k^{[i,k]}|^2, \quad (1)$$

셀 k 에 있는 사용자 i 가 주변의 모든 기지국에 발생시키는 간섭의 총량은 다음과 같이 계산된다.

$$I_k^i = \sum_{j=1, j \neq k}^K P|h_k^{[i,j]}|^2 \quad (2)$$

각 사용자는 (1)과 (2)와 같이 계산된 자신의 신호 세기와 발생 간섭 총량을 자신의 서빙 기지국으로 피드백한다. 각 기지국은 N 명의 사용자들로부터 피드백 받은 정보를 바탕으로 두 단계를 통해 사용자를 선택한다. 먼저, 기지국 k 는 N 명의 사용자 중에서 수신 신호 세기가 가장 큰 사용자를 다음과 같이 선정하고,

$$u_k^{SNR} = \arg \max_{i \in \{1, \dots, N\}} P|h_k^{[i,k]}|^2, \quad u_k^{SNR} \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

선택된 사용자 u_k^{SNR} 의 발생 간섭량 I_k^{SNR} 을 미리 정해진 임계치 η_I 와 비교한다. I_k^{SNR} 의 발생 간섭 총량이 임계치 이하일 경우 ($I_k^{SNR} \leq \eta_I$), 기지국은 u_k^{SNR} 에게 상향 링크 자원을 할당하며, u_k^{SNR} 의 발생 간섭량이 임계치를 초과할 경우 ($I_k^{SNR} > \eta_I$), 기지국은 다음과 같이 SGIR 값이 가장 큰 사용자를 새롭게 선정하여 상향 링크 자원을 할당한다.

$$u_k^{SGIR} = \arg \max_{i \in \{1, \dots, N\}} \frac{P|h_k^{[i,k]}|^2}{I_k^i} \quad (u_k^{SGIR} \in \{1, \dots, N\}) \quad (4)$$

여기서 시스템 파라미터인 η_I 는 최소한의 발생 간섭 총량을 나타내는 미리 결정된 임계치로 exhaustive search를 통해 결정된다.

III. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 다중 셀 기반의 TDD 상향 링크 네트워크에서 제안한 방식의 성능을 분석하기 위해 Monte-Carlo 기반의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 Shannon의 주파수 효율성 공식을 적용하여 제안 방식에서 기지국들이 얻을 수 있는 평균 전송 효율[bps/Hz]의 합을 분석하였으며, 이를 기존의

max SNR과 max SGIR 스케줄링 방식의 성능과 비교하였다.

그림 3은 기지국이 2개이고 기지국당 20명의 사용자가 존재할 때 다양한 SNR 값들에 대한 제안 방식과 기존 방식의 평균 전송률의 합을 나타낸다. SNR이 3dB 이하일 경우에는 셀 간 간섭의 영향이 크지 않아서 셀 간 간섭을 고려하지 않고 자기 신호 채널의 크기만으로 자원을 할당하는 max SNR 방식의 성능이 더욱 우수하며, SNR이 높아질수록 셀 간 간섭의 영향이 커지므로 자기 신호 채널 이득과 발생 간섭량을 모두 고려하는 max SGIR 방식의 성능이 더욱 우수하다. 반면에, 본 논문에서 제안하는 방식은 간섭 상황에 따라서 적응적으로 스케줄링을 수행함으로써 전 SNR 영역에서 가장 우수한 성능을 나타낸다.

그림 4는 SNR이 0dB이고 셀당 사용자 수가 20일 때 전체 기지국 수에 따른 평균 전송률의 합을 나타낸다. 기지국 수의 범위는 기존 기법들의 성능 효과를 극대화시킬 수 있는 범위로 정하였다. 기지국 수가 많아질수록 셀 간 간섭의 영향이 커지므로 자기 신호 채널과 함께 발생 간섭을 동시에 고려하여 자원을 할당하는 max SGIR 방식의 전송률이 max SNR 방식보다 높다. 구체적으로, 기지국의 수가 2일 경우에는 max SNR 방식이 우수하며, 기지국의 수가 3 이상일 경우에는 max SGIR 방식이 우수하다. 반면에, 제안 방식은 기지국 수에 관계없이 항상 가장 높은 전송률을 나타냄을 확인할 수 있다.

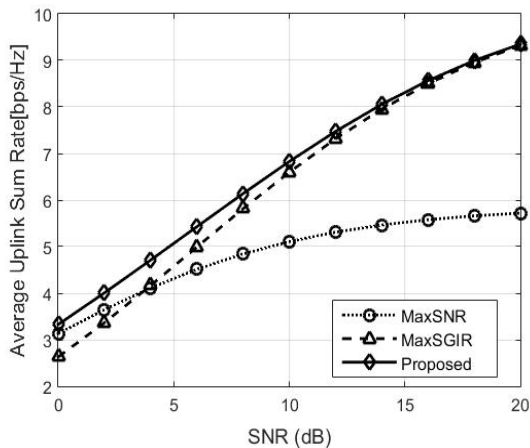


Fig. 3 Average sum-rates for varying SNR when $K=2$ and $N=20$.

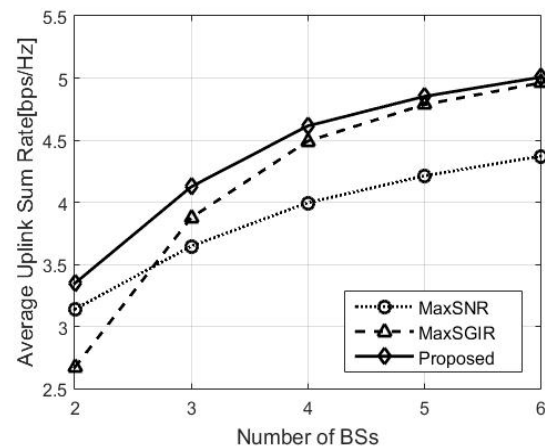


Fig. 4 Average sum-rates according to number of BSs when $N=20$ and $SNR=0dB$.

그림 5와 그림 6은 SNR이 0dB이고 기지국의 수가 각각 2와 3일 때의 평균 전송률의 합을 나타낸다. 사용자의 범위는 기존 기법들의 최적의 성능이 잘 나타나는 범위로 정하였다. $K=2$ 일 때는 max SNR 방식이 max SGIR 방식보다 우수하며, $K=3$ 일 때는 max SGIR 방식의 성능이 더욱 우수하다. 반면에, 제안 방식은 기지국과 사용자의 수에 관계없이 기존 방식보다 항상 높은 평균 전송률의 합을 보여준다. 특히 그림 5에서 제안 기법은 max SNR 방식에 비해 최대 30% 그리고 max SGIR에 비해 최대 10%의 성능 향상을 보였다.

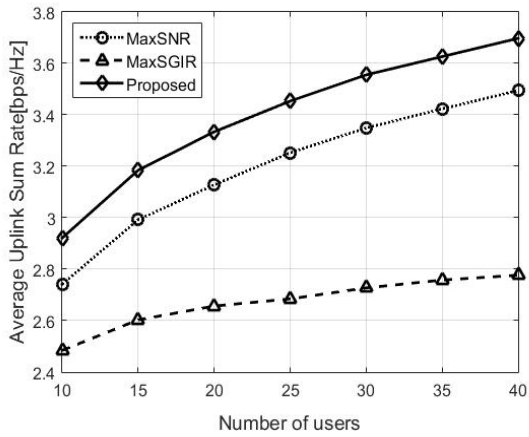


Fig. 5 Average sum-rates for varying the number of users when $K=2$ and SNR=0dB.

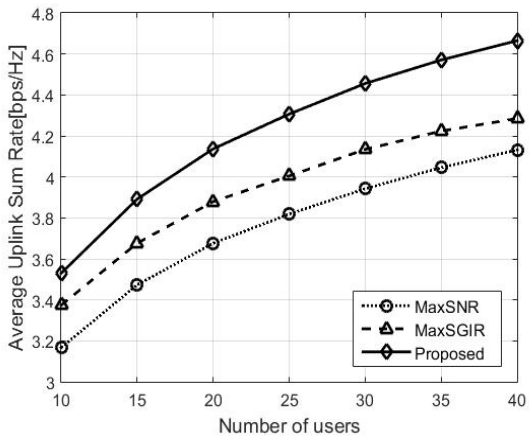


Fig. 6 Average sum-rates for varying the number of users when $K=3$ and SNR=0dB.

IV. 결론

본 논문에서는 상향 링크 셀룰러 네트워크에서 사용자가 인접 셀에 발생시키는 간섭을 고려하여 사용자를 적응적으로 선택하여 상향 링크 자원을 할당하는 적응적 스케줄링 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 적응적 스케줄링 기법은 우선 max SNR 기반으로 사용자를 선택한 후, 그 사용자가 인접 셀에 발생시키는 간섭의 총합이 특정 임계치를 초과할 경우에만 max SGIR 기반으로 사용자를 다시 선택하여 자원을 할당한다. 이렇게 사용자를 간섭 환경에 따라서 적응적으로 선택하여 상향 링크 자원을 할당함으로써 특정한 간섭 환경에서 성능이 감소되는 기존 스케줄링 방식들의 문제점을 해결하였다. 다양한 환경에서 시뮬레이션을 통하여 제안 방식의 평균 전송률의 합을 분석하였으며, 이를 기존의 max SNR 과 max SGIR 스케줄링 방식의 성능과 비교하였다. 성능 분석 결과에 따르면, 제안 방식은 기지국과 사용자 수 그리고 SNR 등과 같은 다양한 환경 변수들에 관계없이 항상 기존 방식보다 우수한 성능으로 최대 30% 성능향상을 보였다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by ICT R&D program of MSIP/IITP. [2015-0-00820, A research on a novel communication system using storage as wireless communication resource]

REFERENCES

- [1] C. Yang, J. Li and M. Guizani, "Cooperation for spectral and energy efficiency in ultra-dense small cell networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 1, pp. 64-71, Feb. 2016.
- [2] S. Deb and P. Monogioudis, "Learning-Based Uplink Interference Management in 4G LTE Cellular Systems," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 23, no. 2, pp. 398-411, Apr. 2015.
- [3] S. Sun, Q. Gao, Y. Peng, Y. Wang and L. Song, "Interference management through CoMP in 3GPP

LTE-advanced networks,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 1, pp. 59-66, Feb. 2013.

[4] G. Boudreau, J. Panicker, N. Guo, R. Chang, N. Wang and S. Vrzic, “Interference coordination and cancellation for 4G networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 4, pp. 74-81, Apr. 2009.

[5] W. Y. Shin, D. Park, and B. C. Jung, “Can one achieve multiuser diversity in uplink multi-cell networks?,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 60, no. 12, pp. 3535-3540, Dec. 2012.

[6] B. C. Jung and W. Y. Shin, “Opportunistic Interference Alignment for Interference-Limited Cellular TDD Uplink,” *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 148-150, Feb. 2011.

[7] B. Lee, H. Je. O.S. Shin, and K. B. Lee, “A novel uplink MIMO transmission scheme in a multicell environment,” *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 8, no. 10, pp. 4981-4987, Oct. 2009.



조문제(Moon-Je Cho)

2012년 8월 경상대학교 정보통신공학과 학사
 2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정
 ※관심분야 : 이동통신, 신호처리, 다중인테나, 사용자 스케줄링



이용섭(Woongsup Lee)

2011년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
 2012년 2월~2013년 2월 한국과학기술원 박사후 연구원
 2013년 2월~2014년 2월 독일 FAU 박사후 연구원
 2014년 3월~현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 인지 라디오 시스템, 스마트 그리드, 빅 데이터 분석, 딥러닝



김성환(Seong Hwan Kim)

2013년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
 2013년 8월~2016년 2월 맥길대학교 박사후 연구원
 2016년 3월~국립경상대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 사물인터넷



류종열(Jong Yeol Ryu)

2014년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2014년 4월~2016년 8월 싱가포르기술디자인대학교 박사후 연구원
 2016년 9월~국립경상대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야 : 보안 통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템, 사용자 릴레이 통신 등



반태원(Tae-Won Ban)

2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
 2000년 2월~2012년 8월 KT 네트워크부문
 2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수
 ※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유