

방향성 전송을 사용하는 셀룰러 이동 통신 시스템을 위한 간섭량 예측 방안 및 시스템 레벨 시뮬레이션을 통한 성능 분석

이용섭 · 정길영*

Adaptive Interference Estimation For Cellular Mobile Communication Systems Using Directional Transmission and Performance Evaluation Based on System-Level Simulations

Woongsup Lee · Kil-Young Sung*

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong
650-160, Korea

요 약

현재 셀룰러 이동통신 시스템이 직면한 가장 큰 문제인 데이터 트래픽 폭증 수용문제를 효율적으로 해결하기 위한 방안으로써 스몰셀 및 단말간 통신 등 다양한 기술 등이 제안되고 있다. 이러한 데이터 트래픽 폭증 문제를 해결하기 위한 방안중 하나로써 기지국의 전송 파워를 서비스 받는 단말로 집중시키는 방향성 전송이 고려되고 있다. 본 연구에서는 셀룰러 이동통신 시스템에서 방향성 전송을 고려한 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발하였고 방향성 전송이 사용될 때의 어려움중 하나인 간섭 예측을 해결하기 위한 새로운 간섭 예측방안을 제안하였다. 본 시뮬레이터를 이용하여 제안된 적응적 간섭 예측 방안의 성능을 확인하였고 방향성 전송이 셀룰러 이동통신 시스템에서 활용될 때의 성능을 살펴보았다. 이를 통해 방향성 전송이 셀룰러 이동통신 시스템의 수율을 130% 이상 향상시킬 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

To cope with the explosive growth of traffic which is considered as one of the most biggest threat to current mobile communication systems, various solutions such as small cell and device-to-device communication have been exploited. Directional transmission in which transmission power of base station is focused onto the direction where the mobile station is located, can be used to increase throughput of the system. In this work, we develop a system-level simulator for cellular mobile communication systems using directional transmission and adaptive interference estimation scheme for directional transmission has been proposed. By using the developed simulator, the performance of cellular mobile communication systems with directional transmission is examined. Moreover, it is shown that the overall throughput of cellular system can be improved by utilizing directional transmission.

키워드 : 방향성 전송, 시스템 레벨 시뮬레이터, 성능분석

Key word : Directional Transmission, System-Level Simulator, Performance Evaluations

접수일자 : 2014. 07. 31 심사완료일자 : 2014. 08. 25 게재확정일자 : 2014. 09. 05

* **Corresponding Author** Kil-Young Sung(:kysung@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9175)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 650-160, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.9.2117>

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. 서 론

최근 스마트 폰 및 태블릿 피시의 보급으로 인해 모바일 트래픽이 기하급수적으로 증가하고 있다[1, 2]. Cisco 사의 측정에 따르면 2013년에만 전 세계 모바일 트래픽이 81% 증가하였으며 10년 후에는 모바일 트래픽이 현재의 10배 이상 증가할 것이라고 예측 하고 있다[1]. 이렇게 급증하는 모바일 트래픽을 효율적으로 서비스해주기 위해서 Small Cell Network, Heterogeneous Network, Device-to-Device (D2D) Communication, Beamforming, Coordinated Multi-Point transmission/reception (CoMP)와 같은 새로운 기술들이 제안되었다 [3, 4].

셀룰러 모바일 시스템에서 용량을 효율적으로 늘릴 수 있는 방안으로써 방향성 전송(directional transmission)의 사용을 고려해 볼 수 있다[5, 6]. 방향성 전송에서는 전방향으로 신호를 전송하는 것이 아니라 서비스를 받는 단말방향으로 전송 파워를 집중하여 전송함으로써 방향성 이득(directional gain)을 얻을 수 있고 주변 노드에게 미치는 간섭의 양을 줄임으로써 모바일 시스템의 수율을 효율적으로 증가시킬 수 있다. 또한 전송 파워를 좁은 범위에 집중시켜서 동시에 다수의 단말에게 서로 간섭을 미치지 않고 데이터를 전송함으로써 다중화 이득을 얻을 수 있다. 따라서 셀룰러 모바일 시스템에서 방향성 전송을 사용함으로써 시스템의 수율을 획기적으로 증가시킬 수 있을 것이고 현재 이동통신 시스템의 모바일 트래픽 문제를 해결하는데 일조할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 시스템 레벨 시뮬레이터 개발을 통한 성능 분석을 통해서 방향성 전송에 의한 셀룰러 시스템의 성능 향상을 확인하였다. 또한 방향성 전송을 사용할 때 나타날 수 있는 문제인 간섭측정 문제를 해결하기 위한 적응적 간섭 측정 방안을 제안하였다.

본 논문의 II장에서는 방향성 전송을 사용하는 셀룰러 모바일 시스템 구조를 제시하고, III장에서는 방향성 전송을 사용할 때의 간섭 측정 문제를 설명하고 이를 해결하기 위한 적응적 간섭 측정 방안을 제안한다. 다음으로 IV장에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 기반으로 방향성 전송을 사용할 때의 셀룰러 모바일 시스템의 성능을 분석하고, 마지막으로 V장에서 본 논문을 마무리 한다.

II. 셀룰러 모바일 시스템에서 방향성 전송

본 연구에서는 셀룰러 기지국이 서비스 받는 단말 방향으로 전송 파워를 집중하여 전송하는 방향성 전송 대해서 고려하였다[3, 4]. 이러한 방향성 전송은 다수 안테나를 사용하거나 방향성을 갖는 안테나를 사용함으로써 수행할 수 있다. 그림 1에 방향성 전송의 동작에 대해서 나와 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 방향성 전송에서는 특정 지역으로 전송 파워를 집중시키므로 서로 떨어져있는 다수의 단말들에게 동시에 데이터를 전송할 수 있다. (전송 파워를 충분히 좁은 지역에 집중시킴으로써 user 1과 user 2가 동시에 서비스 받을 수 있다.)

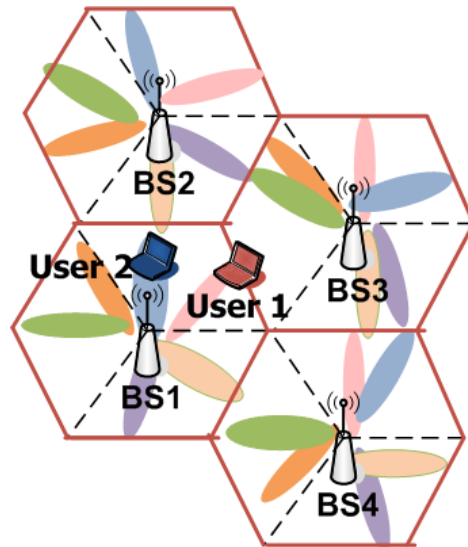


그림 1. 방향성 전송 동작 방안
Fig. 1 Operation of Directional Transmission

그림 2에서 볼 수 있듯이 방향성 전송을 이용하여 3 가지 이득을 얻을 수 있다. 우선 단말 방향으로 전송 파워를 집중시킴으로써 방향성 이득을 얻을 수 있다. 예를 들어 3dB 대역폭을 반으로 줄임으로써 3dB의 이득을 얻을 수 있다[8]. 또한 서비스 받는 유저 방향으로만 전송 파워가 집중되기 때문에 인접 기지국으로부터 오는 셀 간 간섭이 감소할 수 있다). 마지막으로 동시에 여러 유저들을 서비스해줌으로써 얻어지는 다중화 이득이 있다.

특히 방향성 전송에서는 side-lobe로 누설되는 전송

파워를 -20dB 이하로 만들어 줄 수 있고 이를 통해서 하나의 기지국이 간섭을 거의 미치지 않으면서 동시에 다수의 단말에게 데이터를 전송해 줄 수 있다.



그림 2. 방향성 전송의 이득
Fig. 2 Benefits of Using Directional Transmission

III. 방향성 전송에서 간섭 측정 이슈

셀룰러 모바일 시스템에서 단말 스케줄링 및 전력제어를 위해서 주기적으로 단말들의 채널 환경 및 간섭 환경을 측정해야 한다. 이를 위해서 기지국들은 파일럿 신호를 전송하고 단말은 파일럿 신호 측정을 통해 신호 세기와 간섭량을 예측하여 기지국에 알려주게 된다. 모바일 시스템에서 방향성 전송을 사용하더라도 파일럿 신호의 경우 기지국에 속한 모든 단말들이 받아야 하기 때문에 전방향 전송을 사용해야 한다. 이 경우 단말들은 파일럿 신호 측정값을 이용하여 방향성 전송이 사용될 때의 신호 세기를 예측할 수 있다.

하지만 전방향으로 전송되는 파일럿 신호를 측정하여 실제 단말의 예상 간섭량을 예측하기는 어렵다. 이는 실제 데이터 전송에서 주변 기지국들이 단말 방향으로 전송파워를 집중하여 전송하기 때문에 전방향으로 전송파워를 보내는 파일럿을 이용해서는 간섭량을 예측하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 신호 세기는 파일럿 신호를 통해서 측정하고 간섭량은 실제 데이터 전송에서 측정된 값을 평균하여 예측하는 방안을 제시하였다. 즉 t 시간에서 데이터 전송에서 측정된 간섭량이 $I_m(t)$ 이고 t시간에서 예측된 간섭량이 $I_e(t)$ 라 할 때 t+1 시간에서 예측되는 간섭량 $I_e(t+1)$ 은 $\alpha \cdot I_e(t) + (1-\alpha) \cdot I_m(t)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 α 값은 조정 인자가 된다. 제안한 방안을 통해서 방향성 전송을 사용하는 셀룰러

모바일 시스템에서 간섭의 양을 효율적으로 예측할 수 있다.

본 연구에서 구현한 시스템 레벨 시뮬레이터에서 proportional fair (PF) 스케줄링을 통해서 데이터 전송을 스케줄링할 경우 파일럿을 이용해서 간섭 측정을 하였을 때는 6.21 bps/Hz의 대역 효율값을 얻을 수 있었지만 앞서 제안한 간섭 예측 방안을 사용했을 경우 ($\alpha = 0.9$ 로 설정) 6.95 bps/Hz의 대역 효율값을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉 제안한 간섭 예측방안을 통해서 좀 더 정확하게 간섭 예측 및 스케줄링이 가능하였고 12%의 수율을 향상시킬 수 있었다. 이후 IV 장의 성능 분석에서는 본장에서 제안한 간섭 측정 방식을 사용하였다.

IV. 성능분석

4.1. 시뮬레이션 환경

본 연구에서는 셀룰러 모바일 시스템에서 방향성 전송을 사용할 때의 성능을 측정하였다. 이를 위해서 셀룰러 시스템의 대역 효율값과 Jain's fairness index를 관찰하였다. 셀 안의 단말의 수가 N명이고 각 단말 i의 전송률이 R_i 라 할 때 Jain's fairness index는 아랫수식과 같이 나타낼 수 있다. Jain's fairness index는 공평도 정도를 나타내는 척도로 이 값이 1에 가까울수록 공정하게 자원이 나눠졌다는 것을 나타낸다.

$$\frac{(\sum_{i=1}^N R_i)^2}{N(\sum_{i=1}^N R_i^2)}$$

본 연구에서는 IEEE 802.16e 환경을 기반으로 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터에 사용된 파라미터들은 표 1과 같다[9]. 본 시뮬레이터에서는 링크레벨 추상화를 이용하여 PHY 레이어 특성을 모델링하였다.

1) 단말의 위치에 따라서 인접 셀에서 오는 간섭이 오히려 증가할 수도 있으나 효율적 스케줄링을 통해서 이러한 현상을 막을 수 있다.
2) 본 연구에서는 제안 방안의 성능을 가장 좋게 만드는 α 값을 여러 시뮬레이션을 통해서 구해서 사용하였다. 이론적 분석에 기반을 둔 α 의 최적화에 대해서 다루지 않고 이 문제를 추후연구 주제로 남겨두었다.

즉 각 SINR에서 특정 MCS 레벨에서의 Packet Error Rate (PER) 값을 링크 레벨 시뮬레이션을 통해서 측정하고, 시스템 레벨 시뮬레이터에서는 각 링크의 SINR 및 MCS를 이용해서 미리 계산된 PER값을 사용하였다 [9]. 링크레벨 추상화에 사용된 링크 레벨 시뮬레이터는 IEEE 802.16e 환경을 기반으로 구현되었으며 표준에 맞게 8가지 MCS 레벨을 고려하였고 Pedestrian 환경에서 링크 테이블을 계산하였다. NLOS path-loss 모델 및 Rayleigh multipath 페이딩을 고려하였다[4, 6]. 시뮬레이션에서 각 단말들은 Poisson Point Process (PPP)에 따라서 전체 면적에 위치시켰다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation Parameter

| Parameter | Value |
|----------------------------|------------------------------------|
| Channel bandwidth | 10 MHz |
| DL subchannel | PDSCH |
| Multipath fading model | NLOS: Rayleigh channel |
| BS transmission power | 46 dBm |
| Noise power | -174 dBm |
| Number of users per sector | 10 |
| Path-loss model | IMT-R M.2135 urban macro model [7] |
| Shadow fading | 6dB |
| Target PER | 1% |
| Scheduling | Proportional Fairness |
| Cell layout | 7-cell 구조, 3-sector |
| Cell radius | 250m |
| Antenna configuration | 8 x 1 |
| α | 0.9 |

본 연구에서는 방향성 전송의 이득을 측정하기 위해서 그림3과 같이 4가지 환경을 고려하였다.

우선 기지국의 각 섹터에서 기존의 120도 전송 안테나를 사용한 conventional 방안을 고려하였다. 120도 전송 안테나를 사용할 때 3dB 대역폭은 70도로 설정하였고 최대 감쇄는 -20dB로 설정하였다. 따라서 각도 θ 에 따른 안테나 패턴 $A(\theta)$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$A(\theta) = -\min\left(12\left(\frac{\theta}{70}\right)^2, 20\right)$$

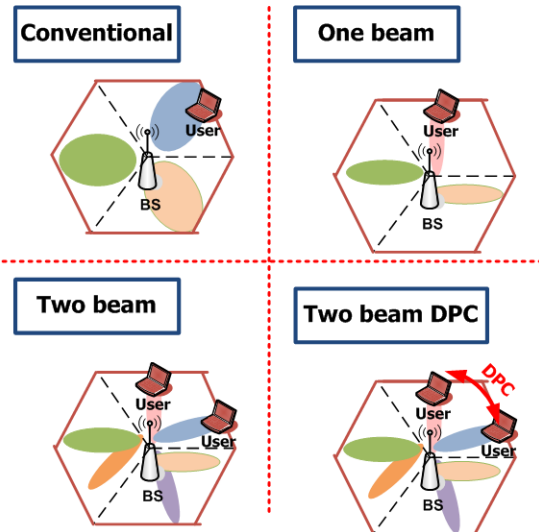


그림 3. 시뮬레이션에서 고려한 전송 방안
Fig. 3 Directional Transmission Which Is Considered in the Simulator

다음으로 각 기지국의 섹터마다 8개 안테나를 활용하여 방향성 전송을 수행하는 방안을 고려하였다. 이때 Rabiner의 선형 최적화 방법을 응용하여 sidelobe의 level을 최소화 하였고 이를 통해서 빔의 좌우 20도 밖으로 sidelobe 누출이 -20dB 이하가 되도록 안테나를 구성하였다. 이 때 얻어진 안테나 패턴은 아래의 그림과 같다.

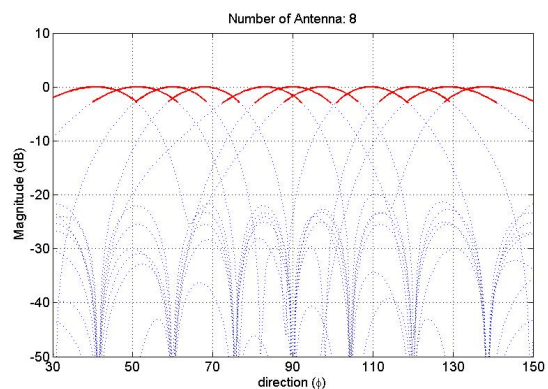


그림 4. 방향성 전송을 사용할 때 안테나 패턴
Fig. 4 Antenna Pattern When Directional Transmission Is Utilized

방향성 전송을 활용하는 전송방안에서는 하나의 섹터에서 하나의 유저에게만 데이터를 전송하는 one beam case를 고려했고 하나의 섹터에서 2명의 단말에게 동시에 전송해주는 two beam case 또한 고려하였다. 마지막으로 하나의 섹터에서 동시에 데이터를 받는 두 단말들이 dirty paper coding (DPC)를 사용해서 서로에게 간섭을 미치지 않게 만든 two beam DPC case를 고려하였다. DPC를 사용한 경우 같은 섹터내의 두 단말은 서로에게 간섭을 미치지 않는다고 가정하였다. Two beam case와 Two beam DPC case에서는 서비스 받는 두 단말에게 기지국의 전송파워를 반으로 나누어 각각에 할당하였다. (Equal power allocation)

4.2. 시뮬레이션 결과

4가지 방향성 전송 환경에서 대역 효율값이 그림 5에 나와 있다.

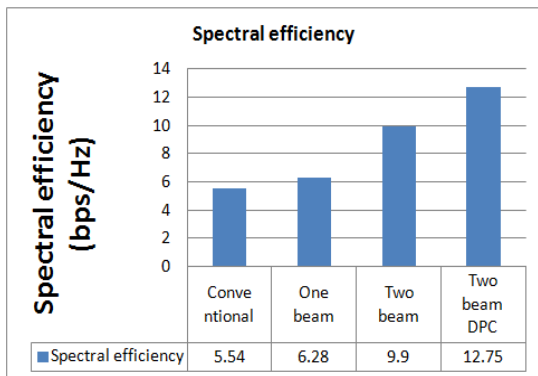


그림 5. 시스템 레벨 시뮬레이터에서 측정된 대역 효율값
Fig. 5 Spectral Efficiency Results from System Level Simulator

그림 5의 결과에서 볼 수 있듯이 conventional 방안에 비해서 방향성 전송의 사용을 통해 대역 효율값을 최대 130% 향상시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 conventional case와 one beam case의 대역 효율값 비교를 통해서 방향성 전송의 방향성 이득 및 간섭 감소에 의한 성능 향상을 볼 수 있는데 이러한 성능 향상이

13%로 그리 크지 않음을 볼 수 있다. Two beam case와 one beam case의 성능 비교를 통해서 동시에 다수의 단말을 서비스 해주는 다중화 이득을 확인할 수 있는데 이 값이 56%³⁾로 상당히 큰 것을 확인할 수 있다. 즉 방향성 전송을 사용할 때는 다중화이득이 방향성 이득에 비해서 훨씬 더 큰 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 two beam DPC case와 two beam case를 비교함으로써 섹터 내부에서 동시에 2명의 단말을 서비스할 때 발생하는 간섭의 영향을 파악할 수 있다. 섹터 내부의 간섭을 DPC를 이용해서 제거해줌으로써 성능이 26% 향상되는 것을 볼 수 있는데 이는 섹터 내부의 간섭이 대역 효율값에 큰 영향을 미친다는 것을 나타낸다. 즉 동시에 같은 섹터로부터 서비스 받는 단말간 간섭을 줄이는 것이 방향성 전송을 사용하는 셀룰러 모바일 시스템의 성능 향상의 핵심이 될 것이라는 것을 파악할 수 있다.

그림 6에는 4가지 방향성 전송 환경에서 Jain's fairness index가 나와 있다.

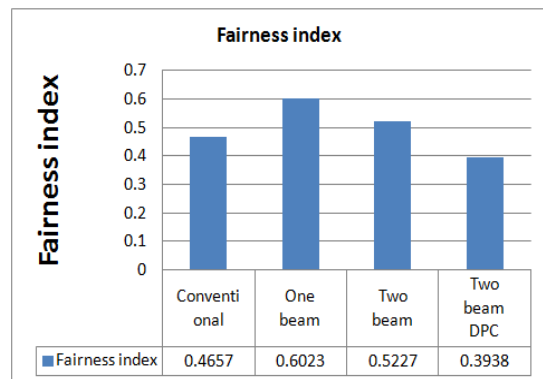


그림 6. 시스템 레벨 시뮬레이터에서 측정된 Jain's fairness index
Fig. 6 Jain's Fairness Index Results from System Level Simulator

그림 6의 결과에서 볼 수 있듯이 conventional 방안에 비해서 방향성 전송의 사용을 통해 fairness index를 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 앞의 그

3) 2명의 유저를 동시에 서비스 해줌에도 대역 효율값이 2배로 늘어나지 않는 것은 각 user에게 할당되는 전송파워가 반으로 줄고 두 유저간 간섭의 영향 때문이다.

림 5의 결과와 달리 각 섹터에서 한명의 유저만을 서비스해주는 one beam case의 fairness index가 제일 높은 것을 확인할 수 있는데 이는 서비스 받는 단말에게 할당되는 파워가 크고 간섭이 줄어들므로 outage가 되어서 서비스를 받지 못하는 단말의 수가 줄어들기 때문이다.

V. 결 론

본 연구에서는 셀룰러 모바일 시스템에서 방향성 전송을 사용하는 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발하였고 시뮬레이터를 이용하여 셀룰러 모바일 시스템에서 방향성 전송의 성능을 분석하였다. 또한 방향성 전송에서 간섭 측정 문제를 해결하기 위해서 적응적 간섭 측정 방안을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해서 방향성 전송을 기반으로 셀룰러 시스템의 수율 및 fairness 정도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 특히 다양한 시뮬레이션 환경에서의 성능 분석을 통해 방향성 전송의 이득을 세분화하여 분석하였다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2014-044-003-002, 국가 공공안전서비스를 위한 LTE기반 재난통신 시스템 단말 개발]



이웅섭(Woongsup Lee)

2006년 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사
2011년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 인지 라디오 시스템, 스마트 그리드

REFERENCES

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018," Feb. 2014.
- [2] J. Huh, "An era of mobile-data explosion, how to prepare?," *KT Digieco Focus*, pp. 1-18, Jul. 2011.
- [3] Small Cell Forum, <http://smallcellforum.org>
- [4] W. Lee, and H. Lee. "Performance evaluation of coordinated multi-point transmission and reception in indoor mobile communication systems," *Journal of information and communication convergence engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 167-172, Sep. 2013.
- [5] S. Pyun, H. Widiarti, Y. Kwon, D. Cho, and J. Son, "TDMA-based channel access scheme for V2I communication system using smart antenna," *VNC 2010*, pp.209-214, Dec. 2010.
- [6] W. Lee, and D. Cho, "Downlink power control scheme for smart antenna based wireless systems," *VTC 2010 Spring*, pp.1-5, May. 2010.
- [7] IEEE 802.20, "IEEE 802.20 Channel Models Document," IEEE 802.20 PD-08r1, Jan. 2007, [online]. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/>
- [8] "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMTAdvanced," ITU, Geneva, Switzerland, Report ITU-R M.2135, 2008.
- [9] K. C. Beh, A. Doufexi and S. Armour, "Performance evaluation of hybrid ARQ schemes of 3GPP LTE OFDMA system," in *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2007*, pp. 1-5, Sep. 2007.

방향성 전송을 사용하는 셀룰러 이동 통신 시스템을 위한 간섭량 예측 방안 및 시스템 레벨 시뮬레이션을 통한 성능 분석



성길영(Kil-Young Sung)

1980년 경북대학교 전자공학과 학사
1985년 건국대학교 전자공학과 석사
2000년 부경대학교 전자공학과 박사
현재 경상대학교 정보통신공학과 교수

※관심분야 : VLSI Array, Computer Architecture, Image Compression