

MIMO 부분간섭 채널에서 멀티미디어 서비스를 위한 무선 네트워크의 성능

노재성*, 조성준**, 김춘길***

요약

CDMA 방식은 미래의 모바일 네트워크를 위한 다중접속 방식으로 많은 주목을 받고 있으며 높은 무선 용량과 유연한 데이터 전송에 대한 장점을 가지고 있다. 그리고 CDMA 방식은 실시간 음성 및 비실시간 데이터 서비스를 제공하는 차세대 멀티미디어 시스템 분야에서 ITU에 제안된 주요 기술이다. 본 논문에서는 무선 채널에서 다중 접속 간섭 및 부분 대역 간섭의 제거와 시스템 채널 용량의 증가를 위해 MIMO-MC/CDMA 시스템의 용량을 평가하였다. 최근에 스펙트럼 효율과 링크의 신뢰도를 증가하기 위하여 다중경로를 이용하는 MIMO 방식이 제안되고 있다. 특히, 본 논문에서는 MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널 용량을 E_b/N_0 , M_c , ρ , B 에 따라서 평가하였다. 얻어진 결과로부터 채널용량을 개선하기 위해서는 신호의 요소들은 서로 무상관이어야 하며 만약 부적당한 공간에 의한 상관과 부분 대역 간섭에 의한 주파수 간섭이 발생하면, MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널 용량은 상당히 감소하게 됨을 알 수 있었다.

Performance of Wireless Network for Multimedia Services in MIMO Partial Band Channel

Jae-Sung Roh*, Sung-Joon Cho**, Chun-Gil Kim***

Abstract

CDMA scheme has received a great deal of attention as a multiple-access method for future mobile networks. Its main advantages are higher radio capacity and the capability of flexible data transmission. And CDMA scheme is a key technology in the proposals submitted to the ITU on next generation multimedia system with integrated services, namely real-time voice services and non real-time data services. In this paper, capacity evaluation of multiple-input multiple-output (MIMO) Multi-Carrier(MC)/CDMA system is considered to mitigate multiple access interference, partial-band interference and enhance system channel capacity in wireless channel. Recently, to increase the spectrum efficiency and the link reliability, MIMO-MC/CDMA scheme is devised to exploit multi-path in a scattering wireless channel. In particular, the channel capacity of MIMO-MC/CDMA system is evaluated according to E_b/N_0 , M_c , ρ , and B . From the results, in order to improve the channel capacity, the signals at various elements must be uncorrelated. If the paths are correlated due to inappropriate spacing and the signals are frequency overlapped by partial band interference, the channel capacity of MIMO-MC/CDMA system becomes substantially smaller.

Key words : MIMO-MC/CDMA

1. 서론

3 세대 이후의 통신 시스템에서는 수십 Mbps의 초고속 데이터 서비스를 우선적으로 고려하고 있다. 이러한 고속 데이터 서비스는 동영상, 주문형 비디오, 파일 다운로드, 무선인터넷 등 모바일 멀티미디어

서비스를 가능하게 한다. 멀티미디어 서비스의 경우에는 서비스 종류에 따라 상향 링크와 하향 링크의 전송 데이터 양에 있어서 차이가 크게 나타날 수 있다. 상향 링크에서는 적은양의 데이터가 이동하지만, 하향 링크의 경우 실시간 동영상의 전송, 파일 다운로드 등 단방향으로 대용량의 데이터가 이동하게 된다.

* 제일저자(First Author) : 노재성

접수일 : 2005년 7월 3일, 완료일 : 2005년 7월 15일

* 서일대학 정보통신전공(jsroh@seoil.ac.kr)

** 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부

*** 한국과학기술원 기초과학과정

따라서 최근에는 이처럼 비대칭적 트래픽 특성을 갖는 데이터를 효율적으로 처리할 수 있는 시스템이 절실히 요구되고 있다.

최근 들어 IT 기술 발전이 급속하게 진행되면서 서비스가 확산되고 있는 인터넷과 무선 기술은 향후 세계 디지털 경제를 좌우하는 견인차 역할을 할 것으로 많은 전문가들은 예측하고 있고 이에 따라 선진국은 물론 우리나라에서도 무선 멀티미디어 기술을 획득해서 미래에 살아남기 위하여 국내 우수 통신사업자 및 제조 업체들간에 치열한 경쟁을 벌이고 있는 중이다. 국내외에서 최근 연구의 주된 관심사는 3G/4G 통신 시스템의 채널 특성 분석 및 시스템의 엔지니어링이다. 따라서 OFDM 및 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 채널 특성에 대한 연구를 수행하는 것이 매우 중요하다. 아울러 채널 추정에 관한 연구도 활발히 진행 중이다. 또한 이렇게 연구된 채널을 바탕으로 차세대 무선 통신 시스템의 성능 분석, 용량 분석, 처리량 분석 등 MIMO 시스템 엔지니어링과 관련된 연구가 주된 관심 분야가 되고 있다.

무선LAN과 멀티미디어 인터넷 서비스의 폭발적인 증가에 따라 고속 무선 데이터 서비스는 차세대 시스템의 주요한 부분으로 부각되고 있다. 고속의 무선 데이터 전송을 요하는 차세대 이동통신 시스템에서는 현재의 시스템이 제공하는 것보다 현저하게 높은 주파수 효율 즉, 채널 용량을 필요로 하고 있다. 과거에 이를 가능하게 하는 방법으로는 사용자 단말기에 다중 수신 안테나를 사용하여 신호 전력 대 잡음 전력비를 증가시키고 간섭을 제거함으로써 전력측면에서 효율적인 무선 데이터 전송을 하는 것이었다. 그러나 현재는 이러한 수신 다이버시티 방법 외에 송신단에서도 다중 안테나 MIMO를 사용하여 시스템 용량의 개선을 도모하는 방법이 연구되고 있다. [1]-[4]. 따라서 본 논문에서는 MIMO 부분 간섭 채널에서 멀티미디어 서비스를 위한 시스템의 성능을 분석한다. 단일 송신 및 수신 안테나를 사용한 통신시스템에서의 채널 용량은 Shannon Hartley의 정리에 의하여 bit/sec/Hz의 단위로 잘 알려져 있다. 또한 단일 송신 안테나와 다중 수신 안테나를 사용한 통신 시스템의 채널 용량에 대한 연구가 여러 가지 통신 파라미터에 따라서 진행되고 있다 [5]-[8]. 그림 1은 MIMO 다중 안테나 시스템의 간단한 예를 나타내고 있다.

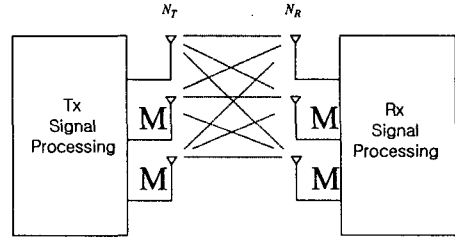


그림 1. MIMO 다중 안테나 구조

MIMO 채널에서의 용량 증대에 대한 연구결과를 통해서 무선 채널에서 채널 용량을 증가시키기 위해서는 신호 사이의 상관성이 없어야 된다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 MIMO 시스템에서는 다중경로 성분 때문에 매우 심한 산란 채널을 형성하게 된다. 따라서 상호 연관된 신호에 의하여 신호 경로 사이가 상관을 이루면서 채널 용량은 상당히 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 다수개의 반송파를 이용한 다중 반송파 CDMA 시스템의 주요 전송 파라미터와 무선 채널의 파라미터를 중심으로 MIMO 다중 반송파 CDMA 시스템의 채널 용량을 분석한다.

2. 채널용량 분석

2.1 다중 안테나 시스템 설계 시 고려사항

4세대 이동통신 시스템에서 다중 안테나 시스템을 적용하는 가장 큰 문제점은 기지국에서는 송수신 안테나의 증가에 따른 RF장비, 케이블 등의 증가이며 단말기에서는 크기, 전력, 비용이 주요 고려 요소로서 제한된 공간에서 낮은 상관을 갖는 안테나 설계, 실제로 존재하는 다양한 전파환경에서의 좋은 성능, 단말기 내의 장비 간 전파간섭을 극복하는 것이 매우 중요하다. 또한, 안테나 설계에서 다중전파 채널 모델링을 최적화하는 것이 중요하다 [9].

4세대 이동통신 시스템에 다중 안테나 기술을 적용하기 위해서는 다음의 문제점에 대하여 연구가 필요하다. 첫째, 시스템의 성능이 다양한 MIMO 채널 환경에 따라서 변화하기 때문에 이에 따른 각각의 환경에 적합한 모델링이 필요하다. 둘째, 실제적으로 다중안테나 시스템이 잘 적용되기 위해서는 채널 상황에 따른 적절한 변조방식, 전력 등과 같은 무선 자원의 이용, 부호화에 따른 연구가 필요하다. 셋째, 시간적인 변화에 따라서 채널 환경이 변할 수 있기 때문에 시변적인 채널 상황에 따라서 정보의 양을 적응적으로 조절하는 기능이 필요하다. 넷째, 시공간 신호처리와 부호화의 결합에 따른 적절한 다이버시티의 정도와 전송율에 대한 연구가 필요하다.

2.2 부분 대역 간섭 채널 모델

본 논문에서는 시스템의 전체 주파수 대역에서 간섭 신호의 점유율에 따른 부분 대역 간섭의 점유율 (B) 모델을 고려하여 채널 모델로 정의하였다.

$$B = W_{\text{부분대역간섭}} / W_{\text{전체대역}} \quad (1)$$

그림 2는 부분대역간섭의 점유율 모델을 나타내고 있다.

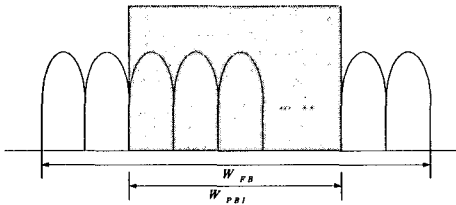


그림 2. 부분대역간섭의 점유율 모델

2.3 MIMO 시스템의 채널 용량

G. J. Foschini 등에 의하여 해석 결과에 의하면 $N_T \geq N_R$ 인 조건에서 MIMO 시스템의 채널 용량을 lower bound로 나타내면 다음과 같다.

$$C_{N_T N_R} > \sum_{k=N_T-N_R+1}^{N_T} \log_2(1 + \gamma / N_T \cdot \chi_{2k}^2) \quad (2)$$

여기서 MIMO 시스템의 lower bound 채널 용량 식에서 χ_{2k}^2 는 chi-square 변수이며 γ 는 수신단에서의 신호전력 대 잡음 전력비를 나타낸다. 그리고 N_T 와 N_R 는 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 수이다. 위 식에서 다음의 조건 ($N_T = N_R = N$, N_T, N_R 이 큰 경우)에는 용량 공식의 lower bound는 다음과 같이 간략화된다.

$$C_{NN} = N[(1 + 1/\gamma) \log_2(1 + \gamma) - \log_2 e] \quad (3)$$

또한 $H = I_N$ 인 병렬전송인 경우의 채널 용량은 위 식 (3)를 변형하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$C_{NN} = N \log_2(1 + \gamma/N) \quad (4)$$

그리고 2개의 수신된 채널 사이에 상관 ρ 가 존재하게 된다면 채널 용량의 수식은 다음과 같이 얻어

진다.

$$C_{NN} = N \log_2(1 + \gamma(1 - \rho)/M) + N \log_2(1 + \gamma N\rho / (N + \gamma(1 - \rho))) \quad (5)$$

2.4 다중 반송파 CDMA

일반적인 다중 반송파 CDMA 시스템의 송신기 구조에서 m번째 사용자의 k번째 정보 심볼은 반송파의 수만큼 복사되고 각각의 PN 부호와 곱해진 후 변조된다. 모든 다중 반송파 변조된 신호는 합쳐진 후 증폭기를 거쳐서 안테나로 전달되며 무선 공간으로 방사된다.

m번째 사용자의 k번째 입력 데이터 심볼이 송신단에 입력되는 경우의 다중 반송파 변조된 CDMA 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$m_m(t) = \sum_{k=0}^{M_c-1} a_m(k) C_m(k) e^{j2\pi(f_0 + k/T)t} \quad (6)$$

여기서 f_0 는 반송파 주파수를 나타내며 시스템의 최대 용량에 해당되는 M_c 명의 사용자가 동시에 사용할 경우 전송되는 다중 반송파 CDMA 신호는 다음과 같다.

$$M(t) = \sum_{m=0}^{M_c-1} \sum_{k=0}^{M_c-1} a_m[k] C_m(k) e^{j2\pi(f_0 + k/T)t} \quad (7)$$

잡음과 다중 사용자 간섭이 존재하는 환경에서 다중 반송파 CDMA를 적용한 시스템에서 등가 신호 대 전체 잡음 전력비 γ_{eq1} 는 다음과 같다.

$$\gamma_{eq1} = \frac{1}{a \cdot \left(\beta + \frac{2\pi^2}{3} \right) + \frac{N_0}{2E_b}} \quad (8)$$

$$a = \frac{U-1}{2M_c^2\pi^2}$$

$$\beta = \sum_{i=1}^{M_c} \sum_{j=1, j \neq i}^{M_c} \frac{3n^2 + j^2}{(n^2 - j^2)^2}$$

여기서 E_b 는 하나의 심볼 구간 T_s 동안에 전송되는 신호의 에너지이고, U 는 다중 사용자의 수, M_c 는 다중 반송파의 수이다.

만약 잡음과 다중 사용자 간섭이외에 부분 대역 간섭이 존재하는 경우에 다중 반송파 CDMA 시스템의 등가 신호 대 전체 잡음 전력비 γ_{eq2} 는 다음과 같다.

$$\gamma_{eq2} = \frac{1}{\alpha \cdot \left\{ \beta + \frac{2\pi^2}{3} \right\} + \frac{N_0 + N_{PBI}}{2E_b}} \quad (9)$$

잡음, 다중 사용자 간섭, 그리고 부분 대역 간섭이 존재하는 환경에서 채널 용량의 수식은 다음과 같이 얻어진다.

$$C_{Total} = B \cdot C_{PBI+AWGN} + (1-B) \cdot C_{AWGN} \quad (10)$$

여기서 B는 식(1)에서 정의한 부분 대역 간섭의 점유율, $C_{PBI+AWGN}$ 와 C_{AWGN} 는 잡음과 부분 대역 간섭이 동시에 존재하는 환경에서의 용량과 잡음만 존재하는 환경에서의 채널용량식이다.

3. 성능 해석

잡음과 부분 대역 간섭이 존재하는 환경에서 MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널 용량을 신호 대 잡음 전력비, 다중 반송파의 수, 다중 접속 사용자의 수, 다중 안테나의 수, 상관도 및 부분 대역 간섭의 점유율 등을 고려하여 분석하여 각 파라미터의 특성을 비교, 분석하였다.

그림 3은 다중 반송파 수와 안테나 사이의 상관에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 신호 전력 대 잡음 전력비는 10 dB, 다중 안테나의 수는 4, 부분 대역 간섭이 존재하지 않는 환경이다. 안테나 사이의 상관관이 커질수록 채널용량은 감소되며 다중 반송파 수가 증가할수록 채널용량은 증가함을 알 수 있다. 하지만 다중 반송파 수가 커짐에 따라 채널용량의 증가폭은 감소됨을 볼 수 있다.

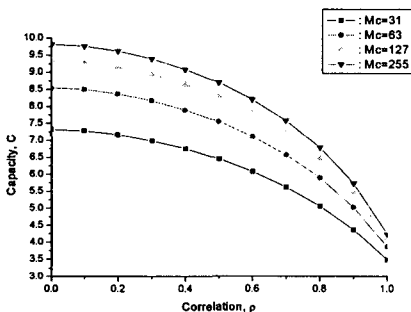


그림 3. 다중 반송파 수와 안테나 사이의 상관에 따른

MC/CDMA 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 10 dB, 다중 안테나의 수=4, 부분 대역 간섭의 점유율=0%)

그림 4는 다중 반송파 수와 안테나 사이의 상관에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 신호 전력 대 잡음 전력비는 10 dB, 다중 안테나의 수는 4, 부분 대역 간섭은 50%로 전체대역의 반에 해당하는 영역을 차지하는 부분 대역 간섭의 영향이 큰 환경이다. 그림 3과 비교하여 전체적인 채널용량은 감소하였다. 또한, 안테나 사이의 상관관이 커질수록 그리고 다중 반송파 수가 감소할수록 채널용량은 감소됨을 확인할 수 있다. 이러한 환경에서도 다중 반송파 수가 커짐에 따라 채널용량의 증가폭은 감소됨을 볼 수 있다.

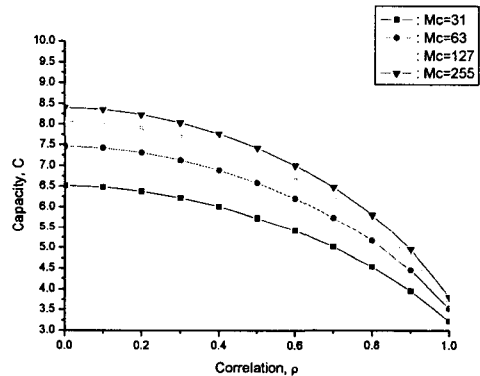


그림 4. 다중 반송파 수와 안테나 사이의 상관에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 10 dB, 다중 안테나의 수=4, 부분 대역 간섭의 점유율=50%)

그림 5는 부분 대역 간섭이 존재하지 않는 환경에서 안테나 사이의 상관관이 0.4인 MC/CDMA 시스템에서 다중 반송파 수와 신호 대 잡음 전력비에 따른 채널용량을 나타내고 있다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 다중 안테나의 수는 4이다. 신호 대 잡음 전력비가 증가함에 따라서 채널의 용량은 증가하였고 또한 다중 반송파 수에 따라서도 용량이 증가하였다. 하지만 신호 대 잡음 전력비의 증가에 따라서 채널용량은 포화되는 현상을 보였으며 다중 반송파 수에 따라서는 균등하게 증가하였다.

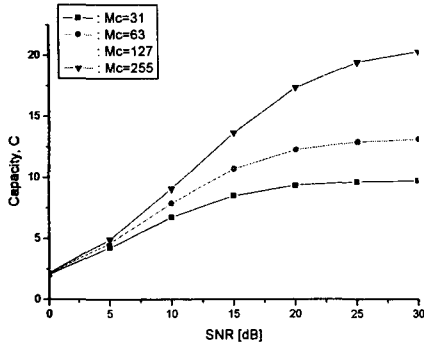


그림 5. 안테나 사이의 상관이 0.4인 MC/CDMA 시스템에서 다중 반송파 수와 신호대 잡음 전력비에 따른 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 다중 안테나의 수=4, 부분 대역 간섭의 점유율=0%)

그림 6은 다중 반송파 수와 안테나 사이의 상관에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 신호 전력 대 잡음 전력비는 10 dB, 다중 안테나의 수는 4, 부분 대역 간섭은 20%로 가정하였다. 그림 3에 비해서 채널 용량은 감소하였지만 그림 4에 비해서는 채널용량은 증가하였다.

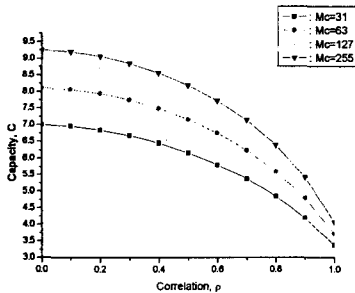


그림 6. 다중 안테나 사이의 상관도와 반송파의 수에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 10 dB, 다중 안테나의 수=4, 부분 대역 간섭의 점유율=20%)

그림 7은 부분 대역 간섭의 점유율과 다중 안테나 사이의 상관도에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비는 10 dB, 다중 안테나의 수는 4개, 그리고 다중 반송파의 수는 63개인 환경이다. 결과에 의하면 부분 대역 간섭의 점유율에 의하여 MC/CDMA 시스템의 채널용량은 많은 변화를 나타

내었다. 특히, 부분 대역 간섭의 점유율이 낮은 영역에서 많은 변화를 나타내고 있으며 부분 대역 간섭의 점유율이 높은 영역에서는 채널용량의 변화는 적음을 보여준다.

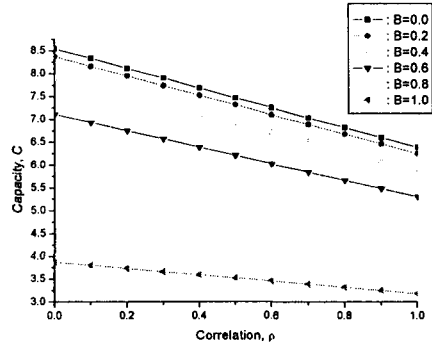


그림 7. 부분 대역 간섭의 점유율과 다중 안테나 사이의 상관도에 따른 MC/CDMA 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 10 dB, 다중 안테나의 수=4, 다중 반송파의 수=63)

4. 결론

본 논문에서는 부분 대역 간섭, 다중 사용자 간섭 환경에서 고속전송 및 시스템 채널 용량의 증가를 위해 다중 안테나 MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널 용량을 부분 대역 간섭의 점유율, 신호 전력 대 잡음 전력비, 다중 반송파의 수, 채널간의 상관도에 따라서 평가하였다.

분석 결과로부터 MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널용량은 부분 대역 간섭의 점유율에 의하여 MC/DMA 시스템의 채널용량은 많은 변화를 나타내었다. 특히, 부분 대역 간섭의 점유율이 낮은 영역에서 많은 변화를 나타내고 있으며 부분 대역 간섭의 점유율이 높은 영역에서는 채널용량의 변화는 적음을 나타내었다. 또한, 신호 대 잡음 전력비가 증가함에 따라서 채널의 용량은 증가하였고, 다중 반송파 수에 따라서도 용량이 증가하였다. 하지만 신호 대 잡음 전력비의 증가에 따라서 채널용량은 포화되는 현상을 보였으며 다중 반송파 수에 따라서는 균등하게 증가함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] C. K. Toh, *Ad-Hoc Mobile Wireless Networks*, Prentice Hall, 2002.
- [2] A. Azzam, N. Ransom, *Broadband Access Technologies*, McGraw-Hill, 1999.
- [3] J. P. Castro, *The UMTS Network and Radio Access Technology*, Wiley, 2001.
- [4] W. Stallings, *Wireless Communications and Networks*, Prentice Hall, 2002.
- [5] M. K. Simon and M. S. Alouini, *Digital Communication Over Fading Channels*, New York: Wiley, 2000.
- [6] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Bell Labs Tech J.*, vol. 1, no. 2, pp. 41-59, Autumn, 1996.
- [7] K. Fazel and G. P. Fettweis, *Multi-Carrier Spread-Spectrum*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [8] M. S. Alouini and A. Goldsmith, "A unified approach for calculating error rates of linearly modulated signals over generalized fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, pp. 1324-1334, Sept. 1999.
- [9] 정우기, *이동통신서비스*, 복두출판사, 2004.

노재성



2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원
항공통신정보공학과 졸업(공학박사)

1992년 3월~1997년 5월 : (주) 한화정보통신 연구원
2000년 9월~현재 : 서일대학 정보통신 전공 조교수
관심분야 : 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷,
멀티미디어 콘텐츠 응용

조성준

한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부 교수
관심분야 : 무선통신, 이동통신

김춘길

한국과학기술원 기초과학과정 교수
관심분야 : 통신시스템 응용