

OCHM 시스템에서 전확산에 의한 충돌 분산 기법

종신회원 권 재 균*, 정회원 정 방 철**, 윤 경 수*, 종신회원 성 단 근***

Collision Dispersion Based on Orthogonal Pre-Spreading in Orthogonal Code Hopping Multiplexing

Jae Kyun Kwon* *Lifelong Member,*

Bang Chul Jung**, Kyungsu Yun* *Regular Members,* Dan Keun Sung*** *Lifelong Member*

요 약

OCHM(orthogonal code hopping multiplexing) 방식은 시스템의 직교 부호 채널 수보다 훨씬 많은 숫자의 저활성도 채널을 수용하기 위해 고안되었다. 본 논문에서는 OCHM 시스템에서 발생하는 심볼 충돌에 의한 열화를 줄이기 위해 직교 전확산(pre-spreading)에 기반한 충돌 분산 기법을 제안한다. 제안된 방식은 채널 복호 과정에서 요구 신호대잡음비를 대폭 개선한다. 또한 본 방식은 OFDM에 기반한 주파수 도약인 OFHM 시스템에도 적용될 수 있다.

Key Words : OCHM, orthogonal code hopping multiplexing, pre-spreading, collision

ABSTRACT

A collision dispersion scheme based on orthogonal pre-spreading is proposed to reduce the effect of collisions that occur in orthogonal code hopping multiplexing(OCHM). The OCHM scheme was previously proposed to accommodate a significantly larger number of low-activity bursty channels than the number of orthogonal codewords. The proposed scheme greatly reduces the required SNR in channel decoding. In addition, the proposed scheme can be applied to OFHM based on OFDM.

1. 서 론

무선에서 패킷 서비스의 비중은 점점 증가하고 있으며, 많은 경우에 저활성도(low activity)와 bursty 특성을 지니고, 특히 양방향 중에서 하향링크에 많은 트래픽을 유발하는 게 일반적이다. CDMA 시스템에서 하향링크는 제한된 숫자의 직교 부호 채널을 가지고 있는데, 여기에 전용(dedicated) 채널 개념으로 다수의 저활성도 사용자를 할당하게 되면 부호 채널 이용률도 미비해지고 많은 사용자가 할당되지도 못한다. 따라서 다수의 저활성도 사용자의 경우에는 공유(shared)

채널 개념으로 접근된다. 공유 채널의 경우에는 채널 할당 및 해제를 위해 다수의 제어 정보가 필요한데, 활성도가 낮아질수록 그리고 그에 따라 사용자 수가 늘어날수록 제어 정보의 양으로 인해 시스템 효율이 급격히 저하될 수 있다. 일반적으로 공유 채널 개념은 HSDPA나 1xEVDO 시스템 등에서 적은 숫자의 높은 데이터율 사용자를 스케줄링을 통해 서비스하도록 고안되었다.

이에 반해 이전에 제안된 OCHM(orthogonal code hopping multiplexing)^{[1],[2]} 방식은 다수의 낮은 데이터율 저활성도 사용자를 동시에 수용하기 위한 것이

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-C1090-0902-0013)

* 영남대학교 전자정보공학부(jack@yumail.ac.kr, kadbonow@yumail.ac.kr)

** KAIST IT융합연구소(bcjung@kaist.ac.kr) *** KAIST 전기및전자공학부(dksung@ee.kaist.ac.kr)

논문접수 : KICS2009-07-296, 접수일자 : 2009년 7월 16일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 4일

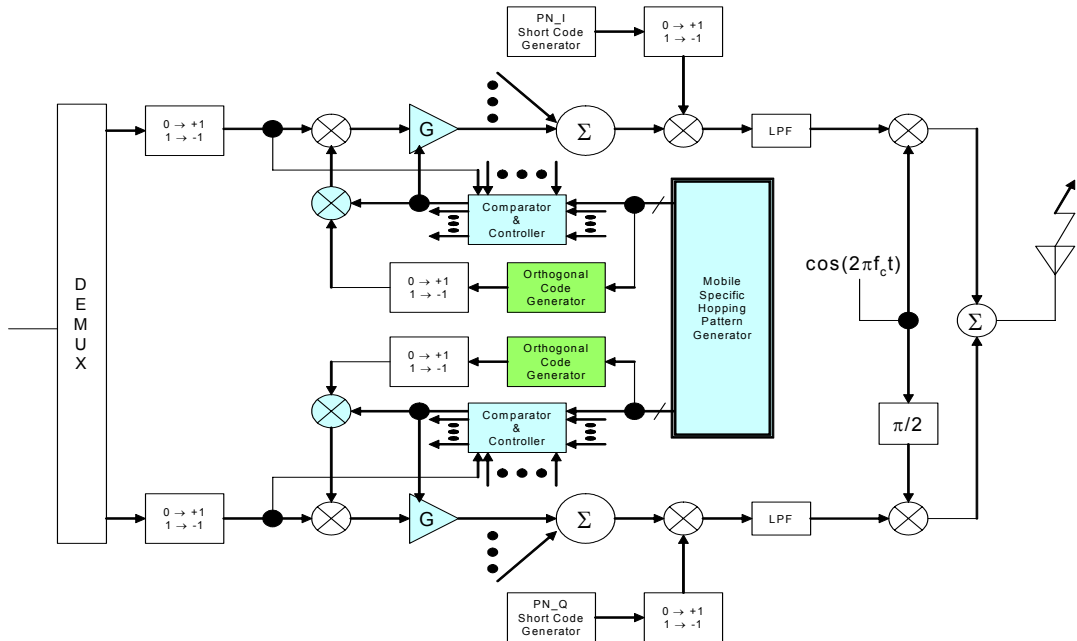


그림 1. OCHM의 송신단 구조

다. OCHM은 피드백이나 스케줄링을 최소화하고, 하 링크에서 기지국이 통계적 다중화를 통해 다수 사용자의 데이터를 보내고 싶을 경우마다 스케줄링 없이 그대로 보내는 것이다. 사용자의 수가 직교 부호 채널의 수보다 많으므로 각 사용자에게 직교 부호를 배타적으로 할당할 수는 없고, 할당을 위한 빈번한 제어 정보 없이 공유를 하여야 하므로 각 사용자는 사용자별로 정해진 부호 도약 패턴을 통해 심볼을 받는다. 기지국은 각 사용자의 부호 도약 패턴을 따라, 보낼 데이터가 있으면 그대로 심볼을 실어 보낸다. 두 명 이상의 사용자 심볼이 동시에 같은 직교 부호로 송신되어야 하는 경우에 기지국은 이 사실을 인지할 수 있고 이를 심볼 충돌이라 한다. 심볼 충돌이 발생했을 때 기지국은 충돌한 심볼들의 값을 비교하여 심볼 값들이 동일하면 그대로 보내고(시너지; synergy), 심볼 값들이 다르다면 아무 것도 보내지 않고 0을 보낸다(천공; perforation). 천공의 경우는 잘못된 정보를 전달하는 데에 에너지를 낭비하지 않기 위함이고, 시너지의 경우는 한 단위의 에너지로 복수의 사용자에게 수신 에너지를 전달하는 것이다. 그림 1은 OCHM 방식의 송신단 구조이며, 도약패턴생성기(hopping pattern generator)와 비교제어기(comparator & controller modules)가 부가적으로 들어있다. 도약패턴생성기는 사용자별 도약 패턴을 만들고, 비교제어기는 충돌 사

용자 심볼 값들을 비교하여 처리한다. 천공과 시너지를 통해 충돌 문제를 어느 정도 해결함에도 불구하고 충돌로 인해 채널 부호 측면에서 일정 부분의 부호화 심볼이 손상되어 부호율이 높아지는 효과를 통해 요구 신호대잡음비가 올라가는 열화는 피할 수 없다. 이러한 OCHM 방식에 대해 여러 방면으로 관련 연구^{[3]-[10]}가 수행되었다.

특히 심볼 충돌에 의한 열화를 완화시키기 위한 방법으로 심볼 충돌 환경으로 인해 신호 성상도가 변경되는 것을 고려하여 채널 복호기로 들어가는 대수우도비(log-likelihood ratio) 계산을 변경^{[4], [6]}하여 에러율 성능을 향상시켰다. 그리고 트래픽 부하에 따라 채널 부호율을 조절하여 충돌 확률에 의한 열화와 부호화 이득 사이의 절충점을 제시하는 연구^[5]가 있었다. 이외에 BPSK/QPSK에 한정되었던 OCHM 방식을 16QAM 환경으로 확장한 경우에 대해 충돌 확률을 줄이기 위한 연구^[7]와 심볼 도약을 사용자별로 그룹화하여 충돌 확률 자체를 줄이기 위한 연구^[10]가 있었다.

OUCHM에서 각각의 충돌은 충돌 대상 사용자들의 해당 충돌 심볼들에 영향을 줄 수 있다. 복호화 성능 측면에서 하나의 심볼이 완전히 영향을 받는 것보다 그 영향이 여러 심볼로 분산되는 것이 좀 더 바람직하므로, 본 논문에서는 한 사용자의 심볼들에 대해 전확산(pre-spreading)을 먼저 수행한다. 전확산이라는 용

어를 쓴 것은 심볼들이 전확산된 후 CDMA의 직교 부호 확산을 다시 거치기 때문이다. 전확산을 통해 여러 심볼이 퍼져서 섞이게 되고, 충돌 발생 시 한 심볼이 완전히 영향을 받는 게 아니라 여러 심볼이 조금씩 영향을 받게 된다.

OCHM은 원래 CDMA 시스템을 대상으로 제안되었지만, 통계적 다중화를 위한 심볼 도약 및 충돌 개념을 통해 직교 자원을 이용하는 거의 모든 시스템에 적용할 수 있다. OCHM에서 각 사용자의 심볼은 그 사용자의 정해진 유사 랜덤 부호 도약 패턴에 따라 전송되고, 여러 사용자의 부호 도약 패턴이 충돌할 수 있다. 도약 패턴을 직교 부호가 아닌 OFDM의 서브캐리어에 적용할 수도 있고, 그러한 시스템을 FH(frequency hopping)-OFDMA^[11] 또는 OFHM(orthogonal frequency hopping multiplexing)이라 부를 수 있겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전확산을 통한 충돌 분산 기법을 설명하고, 3장에서는 모의 실험을 통해 전확산의 성능을 검증하며, 그에 따른 결론을 4장에서 맺는다.

II. 시간 축에서의 전확산 (pre-spreading)

그림 2는 기존 충돌 상황과 제안된 충돌 분산 기법을 비교하여 보여준다. 각 네모 박스는 하나의 심볼을 의미하고, x-마크는 충돌에 의한 심볼 손실 가능성을 표시한다. 그림 2(a)에서 각각의 충돌은 한 심볼의 완전한 손실 - OCHM 시스템에서 천공(perforation)으로 표시함 - 을 야기할 수 있지만, 충돌 분산 기법을 이용하면 충돌에 의한 심볼 손실은 그림 2(b)와 같이 부분적인 손실들로 확산된다. 이를 위해 전확산(pre-spreading)과 이에 관련된 역확산(despreading)이 추가적으로 필요해지며, 그림 2의 예에서 전확산 계수(pre-spreading factor), N_{SF} 는 4로 생각하였다.

그림 3은 제안된 기법을 위해 송신단에서 추가적으로 요구되는 블록도를 나타낸 것이다. 심볼들은 N_{SF} 개 단위의 그룹으로 묶이고, 한 그룹 내의 심볼들은 동시에 병렬적으로 전확산된다. 여기서는 편의상 직교 전확산에 Walsh 부호를 이용하였다. 전확산 후 각 심볼은 (+1) 또는 (-1)의 값을 가지는 N_{SF} 개의 심볼로 바뀐다. 전체 송신 전력을 맞추기 위해 $1/\sqrt{N_{SF}}$ 를 곱하는

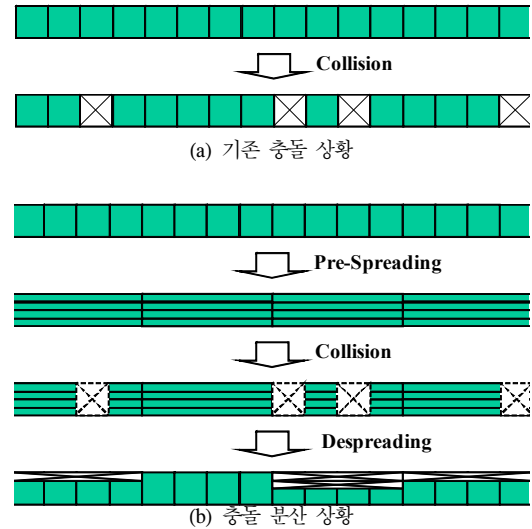


그림 2. 충돌 분산의 개념도

정규화가 필요하다. 마지막으로 N_{SF} 개의 병렬 스트림을 더하여 부호 도약(code hopping) 단계로 넘어간다. 수신단에서는 각 심볼은 N_{SF} 개의 심볼로부터 역확산에 의해 복구될 수 있다.

전확산 후에 심볼 매핑 A 는 BPSK의 경우이더라도 $-\sqrt{N_{SF}}$ 에서 $+\sqrt{N_{SF}}$ 까지 변하는 값을 가질 수 있다. 이는 다음 식에서 각 A_i 가 (+1) 또는 (-1)의 값을 같은 확률로 가짐으로 인한다.

$$A = \frac{1}{\sqrt{N_{SF}}} \sum_{i=1}^{N_{SF}} A_i \quad (1)$$

이러한 다양한 값을 가진 심볼들이 충돌했을 때 송신단에서 전송 심볼의 값을 어떻게 할지에 대해서는 많은 방식이 있을 수 있겠으나, 여기서는 전송 심볼로 충돌 심볼들의 중간값(평균값)을 이용하기로 한다.

III. 모의실험 결과

시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

- 데이터 변조: BPSK / QPSK
- 무선 채널: AWGN
- 부호 도약 패턴: 미지정 (random)

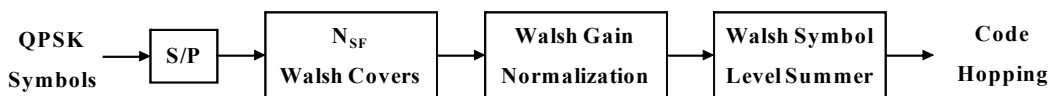


그림 3. 송신단의 추가 블록도

- 채널 부호: 3G 시스템에 일반적인 터보 부호 (RSC- type PCCC)
- 채널 복호: SOVA^[12] 알고리즘
- 성능 척도: 1%^[13] 블록에러율 (BLER)
- 부호 블록 크기: 1,024비트
- 부호율: 1/2
- 시뮬레이션 회수: 포인트당 부호 블록 10,000개
- 세 사용자 이상이 동시에 충돌하는 경우는 두 사용자가 충돌하는 경우보다 확률이 매우 낮으므로, 충돌은 두 사용자 사이에서만 일어난다고 가정했다.

OCHM에서 일반적으로 충돌 확률 P_c 가 증가할수록 성능 열화는 심해진다. 그러나 본 제안 방식에서 직교 전확산을 통해 심볼 충돌이 분산되면, 성능 열화는 효과적으로 완화된다. 그림 4는 몇 가지 전확산 계수 N_{SF} 에 대해, 충돌 확률과 1% 블록에러율을 위한 요구 E_b/N_0 사이의 관계를 나타낸다. $N_{SF}=256$ 인 전확산의 경우 $N_{SF}=1$ 인 기존 방식에 비해, 충돌 확률이 0.4일 때 0.9dB, 충돌 확률이 0.6일 때 2.3dB만큼 요구 E_b/N_0 을 줄여준다. OCHM 시스템에서 충돌에 의해 요구 E_b/N_0 이 증가하는데, 제안하는 기법은 증가분의 25% 정도를 보상함을 볼 수 있다. 그래프의 세로축 값을 고정해서 보면, 시스템이 수용할 수 있는 요구 E_b/N_0 이 5dB일 때, $N_{SF}=256$ 인 전확산은 시스템의 수용 가능한 충돌 확률 범위를 0.32에서 0.4로 늘려준다고도 할 수 있으며, 이는 채널 활용률 0.1인 64개 직교 부호 채널 시스템에서 수용 가능한 사용자 수를 247명에서 327명으로 증대시키는 효과를 가진다.^[1] 시뮬레이션에서 N_{SF} 값은 1에서 256까지의 범위로 변화시켰다. 1,024비트를 부호율 1/2로 부호화하므로 N_{SF} 는 2,048정도까지 가능하지만, 큰 N_{SF} 값은 $o(n)$ 으로 복잡도를 증가시킨다. 그리고 전확산 계수 N_{SF} 가 증가할수록 성능 향상의 증가분은 줄어들게 된다. 따라서 적당한 값의 N_{SF} 를 시뮬레이션을 통해 선택할 수 있다.

본 결과를 다른 충돌 완화 방식과 비교해 보면 대수우도비 변환에 의한 방식^[4]의 경우에, 충돌 확률 0.4, 0.6과 대응되는 천공 확률 0.23, 0.37에 대해 요구 E_b/N_0 을 0.2dB 이내로 줄여줄 수 있다. 이에 비해 본 결과의 0.9dB, 2.3dB 감소는 훨씬 우수한 결과이고, 기존 대수우도비 변환 방식은 충돌 확률로 환산했을 때 0.7 이상이 되어야 1dB 이상의 이득이 생긴다.

본 기법의 전확산은 직교 부호를 이용하므로 전확

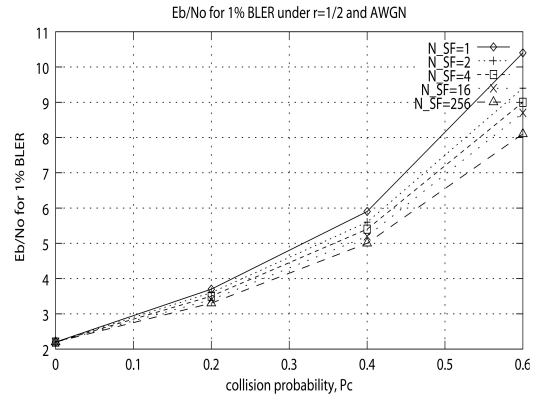


그림 4. 충돌 분산에 의한 요구 E_b/N_0 감소

산 구간 내에서 채널이 변하지 않는 것이 가장 좋다. chip rate 3.84Mcps, 확산 계수 64인 CDMA 시스템에서 $N_{SF}=256$ 을 사용한다면, 전확산이 퍼지는 시간 구간은 $\frac{1}{3.84 \times 10^6} \times 256 \times 64 \approx 4.27ms$ 정도가 된다.

coherence time을 최대 도플러 천이의 역수로 보았을 때, 4.27ms 이상이 되려면 2.1GHz 대역에서 단말의 속도가 33.5m/s 이하인 것으로 이는 120km/h에 해당하여, 대부분은 문제가 없지만 4G 기준인 고속철도에는 맞지 않아서, N_{SF} 는 128이나 그 이하를 사용하면 문제가 없다. 만약 높은 속도와 큰 N_{SF} 값을 동시에 이용하여 심볼 확산 내에서 페이딩을 겪게 된다면 등화(equalization)를 통해 보상해야 하나 이는 바람직하지 않다.

IV. 결 론

본 논문에서는 OCHM 시스템에서 요구 신호대잡음비를 열화시키는 충돌의 영향을 완화하였으며, 그 방법은 하나의 심볼을 완전하게 훼손할 수 있는 심볼 충돌의 영향을 전확산을 통해 여러 심볼로 분산시키는 것이다. 그 결과 심볼 충돌이 있음에도 충돌 후 모든 심볼이 최소한 부분적으로는 살아남게 되어 부호율 및 채널 복호 측면에서 이득이 생긴다. 본 논문에서는 편의상 전확산을 위해 Walsh 부호를 이용하였고, 모의실험 결과 전확산 계수 256, 충돌 확률 0.6에 대해 요구 E_b/N_0 을 2.3dB 감소시키는 결과를 얻었다. 큰 전확산 계수는 높은 성능 향상을 주지만, 반면 복잡도와 함께 채널 변화에 좀 더 취약해질 수 있다. 본 논문은 CDMA 시스템을 대상으로 하였지만, OFDM에 통계적 다중화를 위한 주파수 도약을 적용한 OFDM 시스템에도 전확산은 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

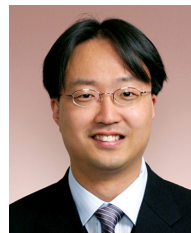
- [1] Suwon Park and Dan Keun Sung, "Orthogonal Code Hopping Multiplexing," *IEEE Communications Letters*, Vol. 6, No. 12, pp. 529-531, Dec. 2002.
- [2] Sung Ho Moon, Suwon Park, Jae Kyun Kwon, and Dan Keun Sung, "Capacity Improvement in CDMA Downlink with Orthogonal Code Hopping Multiplexing," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 55, No. 2, pp. 510-527, Mar. 2006.
- [3] Jae Kyun Kwon, Suwon Park, Dan Keun Sung, and Mun Geon Kyeong, "Performance Comparison of Orthogonal Code Hopping Multiplexing (OCHM) and HDR Schemes in Synchronous Downlink," *Proceeding of WCNC 2002*, Orlando, U.S.A., pp. 200-205, Mar. 2002.
- [4] Jae Kyun Kwon, Suwon Park, and Dan Keun Sung, "Log-Likelihood Ratio (LLR) Conversion Schemes in Orthogonal Code Hopping Multiplexing," *IEEE Communications Letters*, Vol. 7, No. 3, pp. 104-106, Mar. 2003.
- [5] Jae Kyun Kwon, Suwon Park, Dan Keun Sung, and Heesoo Lee, "Adaptive Code Rate for Orthogonal Code Hopping Multiplexing(OCHM) in Synchronous Downlink," *Proceeding of WCNC 2003*, New Orleans, U.S.A., pp. 855-859, Mar. 2003.
- [6] Jae Kyun Kwon, Suwon Park, and Dan Keun Sung, "Collision Mitigation by Log-Likelihood Ratio (LLR) Conversion in Orthogonal Code Hopping Multiplexing," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 55, No. 2, pp. 709-718, Mar. 2006.
- [7] Sung Ho Moon, Jae Kyun Kwon, and Dan Keun Sung, "Synergy/Perforation Control for 16QAM in Orthogonal Code Hopping Multiplexing," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 56, No. 4, pp. 1704-1715, July 2007.
- [8] Bang Chul Jung and Dan Keun Sung, "Performance Analysis of Orthogonal Code Hopping Multiplexing Systems with Repetition, Convolutional, and Turbo Codes," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 57, No. 3, pp. 932-944, Mar. 2008.
- [9] Bang Chul Jung, Sung Soo Cho, and Dan Keun Sung, "Performance Comparison of Downlink Capacity Improvement Schemes: Orthogonal Code Hopping Multiplexing vs. Multiple Scrambling

Codes," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 58, No. 2, pp. 670-681, Feb. 2009.

- [10] Sung Ho Moon, Suwon Park, Jae Kyun Kwon, Junsu Kim, and Dan Keun Sung, "Group Mode Hopping for Collision Mitigaion in Orthogonal Code Hopping Multiplexing,," *IEEE Trans. on VT*, (accepted for publication).
- [11] Bang Chul Jung and Dan Keun Sung, "Random FH-OFDMA System Based on Statistical Multiplexing," *Proceeding of VTC 2005 Spring*, Stockholm, Sweden, June 2005.
- [12] J. P. Woodard and L. Hanzo, "Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview," *IEEE Trans. on VT*, Vol. 49, No. 6, pp. 2208-2233, Nov. 2000.
- [13] Qualcomm, 1xHDR: *1x Evolution (1xEV) Airlink Overview*, Aug. 2000.

권 재 군 (Jae Kyun Kwon)

중신회원



1996년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 공학사 수학
과 부전공

1998년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 공학석사

2003년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학박사

2003년 8월~2006년 8월 한국전자통신연구원 선임
연구원

2006년 9월~현재 영남대학교 전자정보공학부 전임
강사, 조교수

<관심분야> 셀간간섭, OFDM/CDMA 무선접속, 무
선측위, LED통신, 부호도약 시스템

정 방 철 (Bang Chul Jung)

정회원



2002년 2월 아주대학교 전자공
학부 공학사

2004년 8월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 공학석사

2008년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 공학박사

2008년 2월~2009년 8월 KAIST
IT융합연구소 선임연구원

2009년 9월~현재 KAIST IT융합연구소 연구교수

<관심분야> Cognitive Radio, Compressed Sensing,
Interference Alignment, 무선자원관리

윤 경 수 (Kyungsu Yun)

정회원



2007년 2월 영남대학교 전자공학과 공학사

2007년 9월~현재 영남대학교 전자공학과 석사 과정

<관심분야> 무선측위, OFDM 무선접속, 셀간간섭, LED통신, 부호도약 시스템

성 단 근 (Dan Keun Sung)

종신회원



1975년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사

1982년 8월 M.S. degree in Dept. of Electrical and Computer Engineering, the University of Texas, Austin

1986년 5월 Ph.D. degree in Dept. of Electrical and Computer Engineering, the University of Texas, Austin

1986년~현재 KAIST 전기및전자공학과 교수

<관심분야> 무선자원관리, 이동통신 시스템 및 네트워크, 유무선 IP네트워크, 트래픽 제어, ad hoc 네트워크, UWB 네트워킹 등