

WiBro 시스템에서 고속 데이터 전송 시스템을 위한 효율적인 CP 재편성 알고리즘

Efficient CP Reconstruction Algorithm for High Speed Data Transmission System with WiBro system

김 윤 현*, 허 시 영**, 구 성 완*, 양 재 수***, 김 진 영*
(Yoon Hyun Kim*, Si Young Heo**, Sung Wan Koo*, Jae soo Yang***, and Jin Young Kim*)

Abstract: Cyclic prefix (CP) is one of the most important technique to OFDM system and is reducing inter-symbol interference (ISI) effects in high speed wireless mobile communication system. At the time varying channel condition, however, fixed CP length is not only increasing power consumption but also reducing data transmission rate. So in this paper, we propose the system that has adaptive CP length for high speed data transmission system. We don't control CP length of every symbol but adjust symbol interval depending on channel condition to CP reconstruction.

Keywords: OFDM, Cyclic prefix, Doppler shift, Inter-symbol interference

I. 서론

무선 모바일 통신 시스템에서, 시스템 성능을 저하시키는 요인으로 Doppler effect와 delay spread가 있다. Doppler shift는 송신단, 또는 수신단의 이동으로 인한 반송파 주파수의 천이 현상으로 인한 채널 페이딩을 야기하며, 채널의 멀티 패스 페이딩으로 인한 delay spread는 인접 심볼간의 ISI(Inter-symbol interference)를 유발한다 [1]. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 OFDM(Orthogonal frequency division multiplexing)에 대한 개념이 등장하였다. OFDM은 우선, 고속의 데이터 스트림을 병렬구조의 부반송파 개수만큼 나누어서 전송한다. 병렬구조로 나누어진 각 데이터 스트림은 각각 저속의 심볼 전송율로 변조된다 [2]. 이렇게 저속으로 변형된 데이터 스트림 전송은 Doppler shift에 의한 채널 페이딩 현상을 보상해 준다 [3]. 또한 저속 데이터 스트림을 병렬의 부반송파에 실어서 전송함으로써 고속의 데이터 전송이 가능하다. 또한, OFDM의 큰 특징 가운데 하나로 CP 삽입을 들 수 있다. IFFT(Inverse fast Fourier transform)로 얻어진 각 데이터 블록 마지막 부분의 심볼들을 복사해서 각 데이터 블록 앞에 붙임으로써 delay spread로 인한 ISI를 방지할 수 있다 [4][5].

CP 삽입이 OFDM 시스템 성능향상에 큰 기여를 하지만, 고정된 CP 길이는 시스템에 오버헤드를 유발한다. 예를 들어, 802.11a 무선 랜 시스템에서는 데이터 블록길이의 1/5만큼을 고정 CP로 사용함으로써 시간과

에너지를 CP로 인해 소비 한다 [6]. 그리고 802.16e 시스템에서는 코드율에 따라 가변적으로 CP길이를 조절하지만, CP로 인해 발생하는 시간 및 에너지 측면에서의 직접적인 해결책으로 볼 수 없다. 따라서 본 논문에서는 delay spread 된 수신 신호를 이용하여 CP길이를 가변적으로 변경할 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 가변적인 CP길이의 설정을 위해 멀티 패스 채널을 통해 delay된 수신 신호간의 상관관계 값을 이용하였다 [7]. 우선 delay된 수신 신호들을 분석하여 노이즈 레벨 이하의 수신 파워를 가지는 신호는 배제하였다. 그리고 첫 번째와 마지막 delay된 신호의 상관관계 값을 구해서 몇 번째 심볼에서 최대 상관도를 가지는지 그 값을 구한다. 구해진 값을 다시 송신단에 피드백하여 다음 전송 될 데이터 블록의 CP 값을 조절하였다. 매 심볼마다 CP를 변경하면 데이터 전송 측면에서 이득을 볼 수 있겠지만, 다음에 전송할 심볼의 CP길이가 전 심볼의 채널 상태에 영향을 받아 fading이 심한 채널인 상황에 CP길이가 너무 짧아지는 상황이 발생하면 멀티패스 환경에 따른 에러가 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 채널 상황에 따라서 CP를 조절하는 심볼의 간격을 조절하여 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델에 대해 자세히 설명하였으며, 3장에서는 실험 결과를 보여주고 마지막으로 4장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 제안한 적응형 CP 길이를 갖는 OFDM 시스템을 나타낸다. 제안된 시스템에서 샘플 시간을 0.2us으로 설정하였으며 데이터 블록 크기를 128로 하여 하나의 블록 구간은 25.6us이 된다. 0.2us 시간으로 데이터를 생성하여 OFDM 시스템의 특징 중 하나인 S/P(Serial-to-parallel) 블록을 거쳐서

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 20xx. x. xx.

김윤현 : 광운대학교 전자공학과

(ultrayh1873@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-02, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

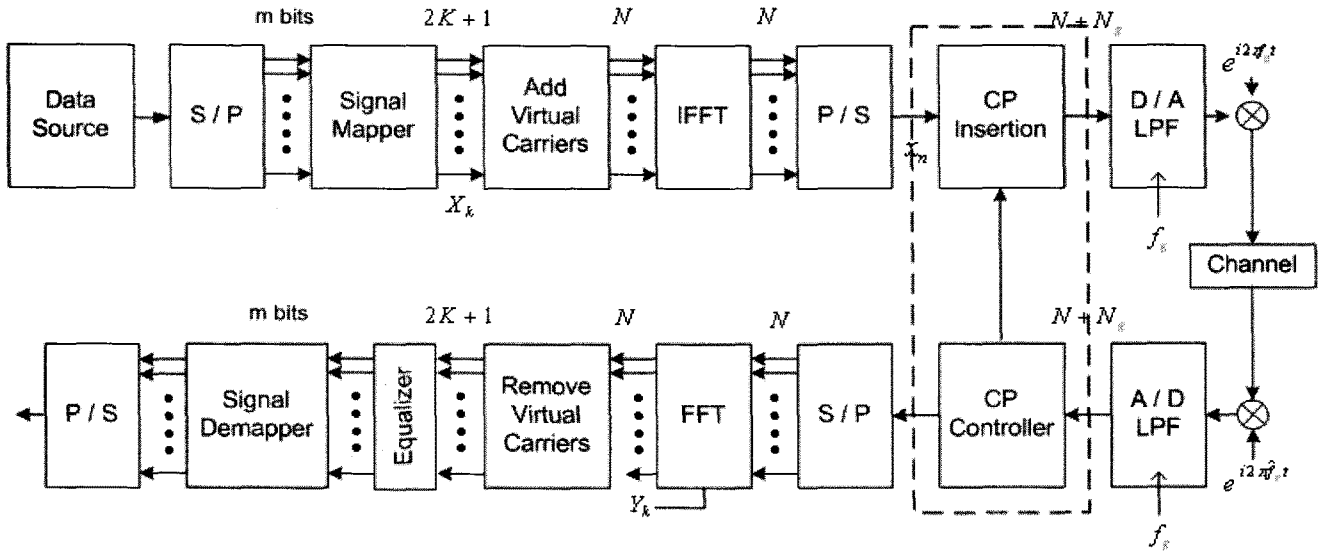


그림. 1 적응형 CP 길이를 갖는 제안된 OFDM 시스템

Fig.1 Proposed OFDM system with adaptive CP length

시스템의 특징 중 하나인 S/P(Serial-to-parallel) 블록을 거쳐서 각각 부반송파에 의해 변조된다. 부반송파에 의해 변조된 데이터 블록들은 IFFT를 거쳐 시간 영역의 식 (1)과 같은 신호가 된다.

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \exp\left\{\frac{2\pi i k}{N}\right\}, \quad 0 \leq i \leq N, \quad (1)$$

여기서 N은 FFT point를 나타낸다. IFFT를 거친 신호들에 신호 데이터 블록의 1/8 길이만큼의 CP를 신호 앞단에 삽입한다.

$$x_n^g = x(n)_N, \quad n = -G, \dots, 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

식 (2)는 CP 가 삽입된 신호를 나타내며 여기서 G 는 CP 길이를 나타낸다. 식(2)의 신호는 채널을 통과하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$r_n(t) = x_n^g(t) * h_n(t) + n(t), \quad (3)$$

여기서 ‘*’ 은 컨볼루션을, n(t)는 AWGN 채널을, $h_n(t)$ 은 Rayleigh 페이딩 채널을 나타내며 다음과 같은 PDF 를 갖는다.

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty. \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (4)$$

멀티패스 채널을 거친 송신 신호들은 반사, 굴절, 회절

등에 의해 여러 지연된 신호들이 유입된다. 그림 1의 CP controller 블록에서 첫 번째로 수신단에 들어온 신호와 지연된 신호들 중 그 신호의 파워가 노이즈 파워 레벨 이상이 되는 마지막 지연된 신호의 상관관계 값을 구하게 된다. 이렇게 구해진 상관관계 값은 송신단의 CP insertion 블록으로 피드백 되어 송신단은 피드백된 상관관계 값에 의해 CP 길이를 조절하게 된다. 본 논문에서는 매 심볼마다 CP 길이를 조절하면 조절된 CP로 인해 다음 심볼의 ISI에 영향을 줄 수 있다는 점을 착안하여 채널 상태에 따라 2심볼 또는 그 이상의 심볼마다 CP 길이를 조절하여 ISI 영향을 최소화 하였다.

또한, 수신단의 움직임에 따른 Doppler 효과를 고려하였다. Doppler 효과에 따른 중심 주파수의 변화와 수신 파워의 감소량을 고려하여 상관관계 값을 계산하였으며 그 계산과정은 다음과 같다. 만약 신호의 중심 주파수를 f_c 라 하고, 송신단과 수신단의 각도를 α , 그리고 최대 Doppler 주파수를 f_m 이라고 하자. 이때 수신된 신호의 주파수 변화는 다음과 같이 표현할 수 있다 [8][9].

$$f = \frac{v}{\lambda} \cos(\alpha) + f_c = f_m \cos(\alpha) + f_c, \quad (5)$$

여기서 v 는 수신단의 이동속도를 $\lambda = c/f_c$ (c : 빛의 속도)를 나타낸다. 만약 $S(f)$ 를 수신 신호의 파워 스펙트럼이라 하면, 주파수에 따른 파워 스펙트럼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S(f)|df|. \quad (6)$$

식(5)에 의해 $|df|$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$|df| = |d\alpha| |\sin \alpha| f_m. \quad (7)$$

또한 식 (5)에서 α 는,

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{f - f_c}{f_m} \right], \quad (8)$$

로 계산되며 다음과 같이 적용 가능하다.

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}. \quad (9)$$

만약 수신된 파워가 균일 분포 $p = 1/2\pi$ 를 갖는다면 수신 신호의 파워 스펙트럼은 다음과 같이 구해진다.

$$S(f) = \frac{1}{8\pi f_m} K \left[\sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{2f_m} \right)^2} \right]. \quad (10)$$

여기서 $K[\cdot]$ 는 1 차 완전 타원 적분형을 나타낸다. [10].

본 논문에서는 수신단의 속도가 20km/h 와 50km/h 일 때의 두 가지 경우에 대해 식 (10)에 의거하여 실험하였다. 또한 지연된 신호는 앞서 언급했듯이, 노이즈 파워 레벨 이상이 되는 마지막 지연된 신호와 첫 번째 지연신호를 택하여 Doppler 효과를 고려하여 상관관계 값을 구하였다. 그림 2 와 3 은 각각 수신단의 속도에 따른 지연된 신호 사이의 상관관계 값을 나타낸다.

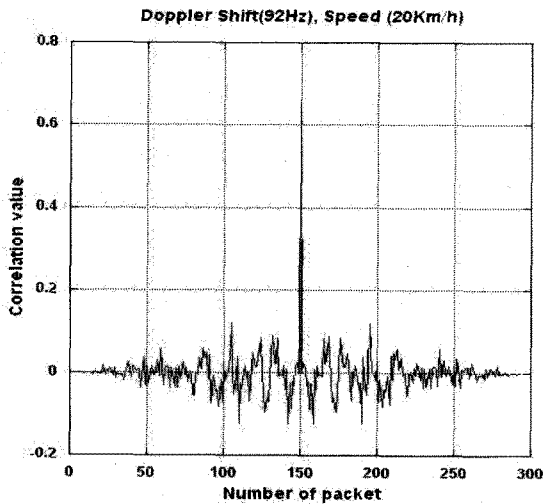


그림 2. 수신된 신호의 상관관계 값 (20km/h)
Fig.2 Correlation value of received signals (20km/h)

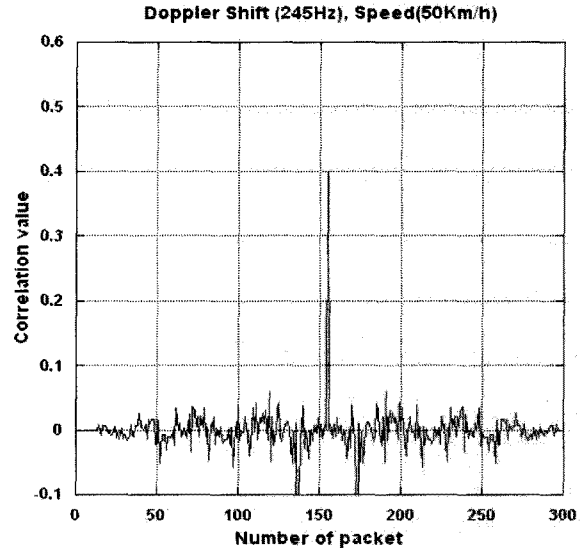


그림 3. 수신된 신호의 상관관계 값 (50km/h)
Fig.3 Correlation value of received signals (50km/h)

그림 2 와 3 에서 보여주듯이 계산된 상관관계 값에 의해서 CP 길이를 조절하며 조절된 CP 값에 의해 송신 / 수신 신호는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\tilde{x}_n^g = x(n)_N, n = -\tilde{G}, \dots, 0, \dots, N-1, \quad (11)$$

$$r_n(t) = \tilde{x}_n^g(t) * h_n(t) + n(t) \quad (12)$$

III. 실험 결과

표 1. 시뮬레이션 파라미터

TABLE I. SIMULATION PARAMETERS

Sampling time	0.2us
FFT Point	128
Block size	25.6us
Speed of vehicle	20km/h, 50km/h
Channel	Rayleigh

위 TABLE I 에 준하여 실험을 하였으며 수신단의 속도에 따른 데이터 전송 속도와 파워 소비 이득에 대한 실험 결과를 다음과 같이 얻을 수 있다.

그림 4 는 수신단의 이동 속도가 20km/h 일 때의 데이터 전송 속도의 이득을 보여준다. 고정된 CP 길이를 사용했을 경우 데이터 전송 속도 이득이 없는 반면, 본 논문에서 제안한 가변적 CP 길이를 적용 했을 경우 그림 4 의 결과에서 보듯이 전송 속도 이득을 가져올 수 있다. 그림 5 은 수신단의 속도가 50km/h 일 때의 데이터 전송속도 이득을 보여준다. 이와 마찬가지로 그림 6 과 7 은 파워 손실의 비교를 나타낸다.

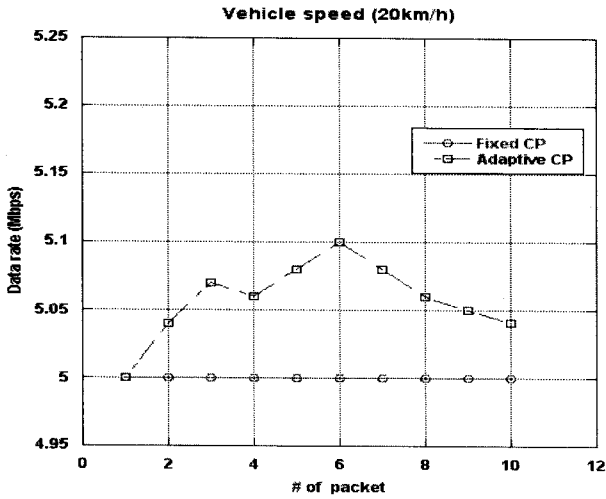


그림 4. 제안된 방법의 데이터 전송율 (20km/h)
Fig. 4 Data rate of proposed scheme (20km/h)

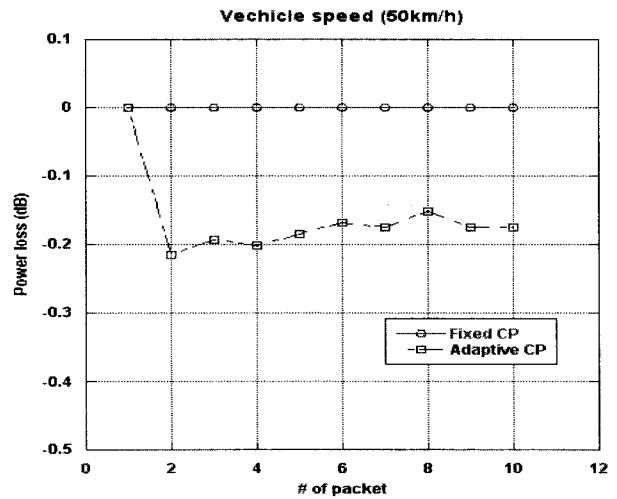


그림 7. 제안된 방법의 파워 손실 (50km/h)
Fig. 7 Power loss of proposed scheme (50km/h)

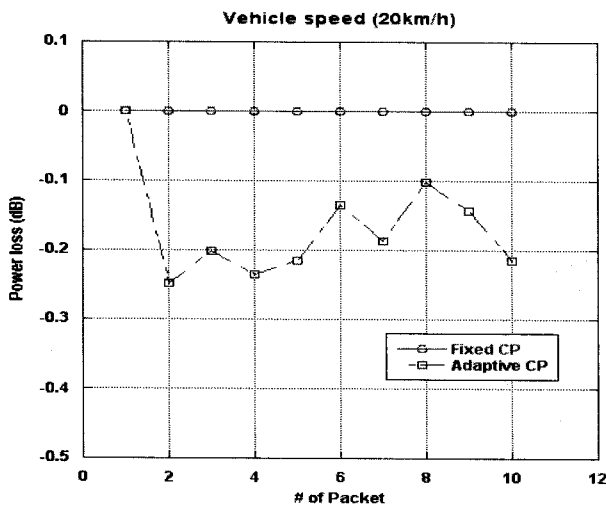


그림 5. 제안된 방법의 파워 손실 (20km/h)
Fig. 5 Power loss of proposed scheme (20km/h)

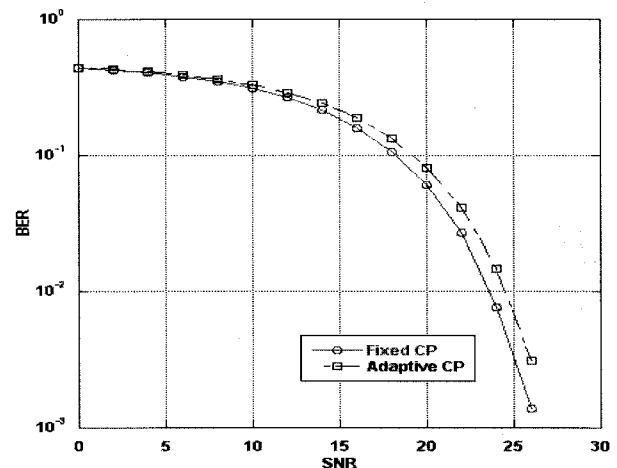


그림 8. BER 성능 비교
Fig. 8 Comparison of BER performance

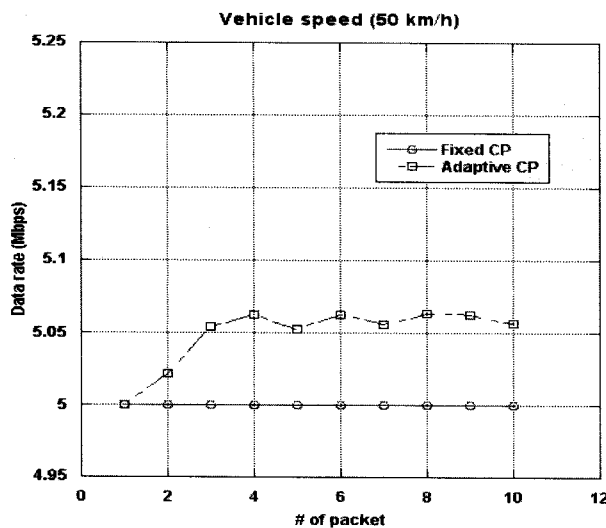


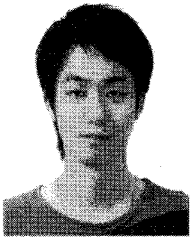
그림 6. 제안된 방법의 데이터 전송율 (50km/h)
Fig. 6 Data rate of proposed scheme (50km/h)

IV. 결론

기존 OFDM 의 문제 중 하나로 고정된 길이의 CP 를 사용함으로써 이로 인해 발생하는 데이터 전송 속도 및 파워 측면에서의 손실이 불가피 하였다. 따라서 본 논문에서는 지연된 신호 사이의 상관관계 값에 따라 CP 길이를 조절하는 방법을 제안하였다. 실험 결과에서 보이듯이 고정된 CP 길이를 사용하는 기존의 OFDM 시스템에 비하여 제안된 적응형 CP 길이를 사용하는 경우 데이터 전송 속도 및 파워 손실 측면에서 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있었다. CP 길이를 조절함으로써 조절된 CP 길이로 인해 연속된 심볼 사이의 ISI 가 발생하여 시스템 성능이 저하되는 문제점은 채널 상태에 따라 CP 길이를 조절하는 심볼 간격을 조절하여 보상하였다.

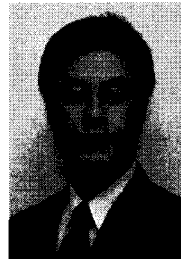
참고문헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice(2nd)*, Prentice Hall, 2002.
- [2] L. Hanzo et al, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*, Wiley, 2003.
- [3] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [4] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 19, pp. 628-634, Oct. 1971.
- [5] J. Chuang and N. R. Sollenberger, "Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 38, no. 7, pp. 78-87, July, 2000.
- [6] A. Santamaria and F. J. Lopez, *Wireless LAN Standard and Applications*, MA: Artech House, 2002.
- [7] T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 49, no. 5, pp. 1893-1906, Sept. 2000.
- [8] P. Robertson and S. Kaiser, "The effects of Doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems," *IEEE Vehicular Tech. Conf.*, vol. 1, pp. 329-333, Sept, 1999.
- [9] D. J. Young and N. C. Beaulieu, "The generation of correlated Rayleigh random variates by inverse discrete Fourier transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 48, pp. 1114-1127, July, 2000.
- [10] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley, 1974.



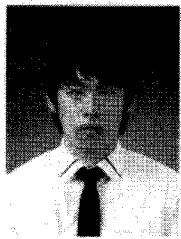
김 윤 현

2006 년 광운대학교 전자공학부 (공학사). 2008 년 광운대학교 전파공학과 (공학석사) 2008 년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 이동통신, 디지털통신, MIMO, OFDM, Cooperative relay.



허 시 영

1995 년 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1997 년 광주과학기술원 기전공학과(공학석사). 1997 년~현재 KT 인프라연구소 책임연구원. 관심 분야는 WiBro 시스템개발, IPv6, 응용서비스 개발



구 성 완

2008 년 광운대학교 전파공학과 (공학사). 2008 년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 석사과정. 관심분야는 디지털통신, VLC, OFDM, MIMO.



양 재 수

1981년 한국항공대학교 통신공학과 (공학사). 1985년 건국대학교 전자공학과 (공학석사). 1993년 미 NJIT 전기 및 컴퓨터공학 (공학박사). 1991년 서울대 MBA 수료. 2006년 ~ 현재 광운대학교 교수. 2007년 ~ 현재 경기도 정보화보좌관. 관심분야는 디지털통신, RFID/USN, 차세대 이동통신.



김 진 영

1998년 서울대 전자공학과 (공학박사). 1998년 ~ 2000년 미국 Princeton University, Research Associate. 2000년 ~ 2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원. 2001년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 교수. 관심분야는 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화.