

케이블 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 성능 분석

정회원 박기식*

Performance analysis of OFDM/64QAM system in cable channel

Ki Sik Park* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 케이블 전송 채널 환경에서 Middleton의 A급 임펄스 잡음과 송수신단 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋을 고려하여 OFDM/64QAM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 그리고 주파수 오프셋에 의한 성능 열화를 보상하기 위한 성능 개선 기법으로 적응 등화기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다. 성능 해석 결과, 임펄스 잡음 지수(A, Γ)의 크기에 따라 성능 차이가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었고, 특히 전력선 케이블에서의 임펄스 측정 지수인 $A=0.2$, $\Gamma=0.22$ 인 경우 SNR 값을 19 dB 이상으로 해야 음성 서비스의 QoS(Quality of Service) 조건인 $BER = 10^{-3}$ 을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다. 한편, 주파수 오프셋을 고려한 OFDM/64QAM 시스템의 시뮬레이션 성능 결과를 살펴보면 적응 등화기를 채용함으로써 ICI 성분의 대부분을 제거할 수 있었고 주파수 오프셋이 없는 경우와 유사한 성능을 얻을 수 있었다.

Key Words : OFDM/64QAM, Impulsive Noise, Frequency Offset, Equalizer, Simulation

ABSTRACT

In this paper, we simulated and evaluated the performance of OFDM/64QAM systems under cable transmission channel environment considering Middleton A class impulse noise and carrier frequency offset between transmitter and receiver. Then we evaluated the performance improvement degree by adopting adaptive equalizer for performance improvement scheme. From the performance analysis results, it is known that the performance is significantly varied according to the value of impulse noise index (A, Γ). Particularly, when impulse measuring index of pow 10^{-3} er line cable is such as $A=0.2$ and $\Gamma=0.22$, to achieve the condition of voice service QoS($BER = 10^{-3}$), SNR value must be larger than 19dB. On the other hand, it is also found from the simulation result of OFDM/64QAM systems with frequency offset that most ICI component can be reduced by adopting adaptive equalizer and consequent performance is similar to the performance with no frequency offset.

I. 서 론

최근 유무선 통합 및 통신과 방송이 융합되는 광대역 통합 망(BcN : Broadband convergence Network) 환경에서 초고속 인터넷 서비스와 디지털 방송 서비스를 제공하기 위한 초고속 인프라의 가

입자 망 형태로 광/동축 혼합 망인 HFC(Hybrid Fiber Coaxial)가 부각되고 있다¹⁻⁴⁾. HFC 망은 SO(System Operator)내 지역을 가입자 규모에 따라 여러 개의 셀로 나누어 설치하고, 각 셀은 광 케이블로 연결된 ONU (Optical Network Unit)에서 시작하여 tree and branch 구조를 갖는 동축 케이블로

※ 본 연구는 2007년도 인하공업전문대학 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 인하공업전문대학 정보통신과 (Dept. of Information & Communication Eng., of Inha Technical College), gspark@inhac.ac.kr

논문번호 : 07066-0916, 접수일자 : 2007년 9월 16일

구성된다. 가입자를 셀 단위로 구축하여 광 케이블과 동축 케이블을 통한 초고속 데이터 전송 서비스를 제공하는 기술로 크게 HE(Head End) 장비인 CMTS(Cable Modem Termination System)와 가입자 장비인 CM(Cable Modem)으로 구성된다. 케이블 모뎀은 HFC 형태의 기존 케이블 TV 네트워크를 통해 제공되는 고속 데이터 서비스 기술이며, 서비스 구축비용이 저렴하고 루프 테스트가 필요 없어 서비스 제공이 용이하며 방송/데이터/음성 등 3가지 서비스를 동시에 제공할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 전송 거리 제약이 있는 xDSL과 달리 케이블 사업자와 가입자 사이의 거리가 서비스에 수준에 영향을 주지 않는 장점을 가지나, 현재까지 개발된 케이블 모뎀 기술은 공유 매체 방식이므로 최대 30Mbps의 대역폭을 네트워크에 접속하고 있는 사용자들과 공유하므로, 실제 각 사용자들이 얻을 수 있는 대역폭은 낮아 서비스 품질을 보장하기 어렵기 때문에 가입자 당 서비스 속도를 증가시키기 위한 기술의 개발이 필수적이다. 또한 HFC 망은 가입자 수가 증가할수록 속도 저하로 속도 보장을 위해 셀 분할 또는 신규 셀 구성이 필요하며, 셀 수 증가에 따른 CMTS, ONU 등 장치비 증가로 투자비가 비례적으로 증가한다는 문제점이 초래된다. 따라서 이와 같이 저속도화 되는 문제점을 해결하기 위해 기가급으로 초고속화 시킬 수 있는 새로운 변복조 방식(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 개발 연구가 반드시 필요한 실정이다. OFDM 방식은 변복조시에 고속 푸리에 변환(FFT : Fast Fourier Transform) 알고리즘을 사용하므로 회로의 규모를 작게 할 수 있고, 또한 전송시에 이용되는 서브캐리어의 수를 변화시킴으로써 전송 용량을 가변 시킬 수 있다는 장점이 있다^{5,6)}. 그리고 보호 구간을 설치함에 의해 보호 구간 길이 보다 지연 시간이 작은 지연 성분에 의해 발생하는 ISI(Intersymbol Interference)의 영향을 완전히 제거할 수 있다는 장점이 있다⁷⁾. 또한 OFDM 시스템은 다중경로 페이딩에 강할 뿐만 아니라 부 반송파 간의 스펙트럼 중첩을 허용하므로 대역 효율을 극대화시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 송신단과 수신단의 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋 등이 존재하는 경우, 다수의 부 반송파를 좁은 간격으로 배치하여 전송하는 OFDM 신호는 단일 반송파와 신호에 비해 오히려 복조시 심각한 성능 저하를 유발시킴으로써 성능 개선 기법이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 케이블 전송 채널을 Middleton의

A급 임펄스 잡음과 송수신단 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋을 고려하여 모델링하고 OFDM/64QAM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하고자 한다. 그리고 주파수 오프셋에 의한 성능 열화를 보상하기 위한 성능 개선 기법으로 적응 등화기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

II. 케이블 채널 모델 및 OFDM/64QAM 시뮬레이터 구조

2.1 케이블 채널 모델

케이블 전송 채널에서 OFDM/64QAM 시스템을 사용할 경우, 전력선 케이블에서 발생하는 임펄스 잡음과 송수신단 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋을 고려해야 한다. 그림 1은 임펄스 잡음과 주파수 오프셋을 고려한 케이블 채널 해석 모델이다.

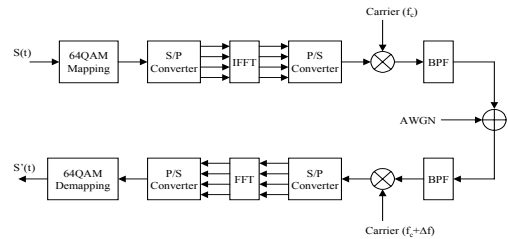


그림 1. 케이블 채널 해석 모델

2.2 OFDM/64QAM 송수신기 구조

FFT를 사용한 OFDM 송·수신기의 기본 블록도를 그림 2에 나타낸다.

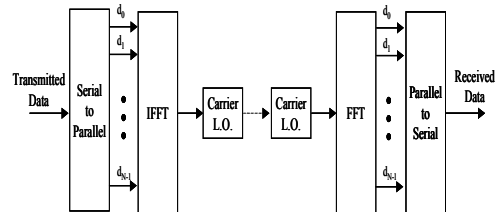


그림 2. OFDM 송·수신기의 블록 다이어그램

그림 2의 OFDM 송신기에서 높은 전송 속도의 입력 데이터는 S/P(Serial to Parallel) 변환부에 의해 낮은 전송 속도의 병렬 데이터로 변환되고, 변환된 출력은 M-ary QAM Mapper를 통해 다시 부호

화 되고 고속 푸리에 역변환(IFFT) 과정을 거쳐서 OFDM 신호가 만들어진다. 그 다음 IFFT 출력을 RF(Radio Frequency) 주파수로 변환하기 위해 반송파 f_c 가 곱해진 신호는 BPF(Band Pass Filter) 거친 후 공간으로 전송된다.

전송된 신호 $s(t)$ 는 다음 식과 같다^[7-9].

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} R [c_{ki} e^{j2\pi f_k (t - iT_s)}] f(t - iT_s) \quad (1)$$

여기서 f_k 는 k 번째 반송파 주파수로서

$$f_k = f_0 + \frac{k}{t_s} \quad (2)$$

가 되며, f_0 는 가장 낮은 반송파 주파수이고 $f(t)$ 는 펄스 파형으로서 다음과 같은 값을 갖는다.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (-t_g \leq t \leq t_s) \\ 0 & (t < -t_g, t > t_s) \end{cases} \quad (3)$$

여기서 t_g 와 t_s 는 보호 구간과 유효 심볼 구간이고, 심볼 주기는 $T_s = t_g + t_s$ 이다. 전송 신호 $s(t)$ 는 심볼 주기가 T_s 인 M-ary QAM 신호들의 합이며 반송파간의 주파수 간격은 $1/t_s$ 이 된다. 전송 신호 $s(t)$ 는 다중 경로 페이딩과 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN)에 의해 방해받게 되어 수신 신호 $r(t)$ 는 다음 식과 같이 된다^[7-9].

$$r(t) = \int_0^{\infty} s(t - \tau)h(\tau, t) + n(t) \quad (4)$$

여기서 $h(\tau, t)$ 는 시간 t 에서의 채널 임펄스 응답이며, $n(t)$ 는 부가성 백색 가우시안 잡음이다. 수신기에서 수신된 신호 $r(t)$ 는 BPF에 의해 필터링되고, 국부 반송파에 의해 IF(Intermediate Frequency)로 변환된다. 그 다음 OFDM 복조를 하기 위해 FFT 과정을 거친 후 P/S 변환부에 의해 높은 전송 속도의 데이터가 복원된다. 식(4)에서 주어진 시간 t 에서의 통신로 임펄스 응답은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다^[7-9].

$$h(\tau; t) = \sum_{l=1}^{M_1+M_2} h_l \delta(\tau - \tau_l) \quad (5)$$

여기서 $\delta(t)$ 는 Dirac의 delta 함수, M_1 은 보호 대역

(guard band)내에 들어온 최대 다중 경로 수, M_2 는 보호 대역과 심볼 주기 내에 들어온 최대 다중 경로 수, h_l 은 l 번째 수신된 신호의 응답 특성, 그리고 τ_l 은 l 번째 경로의 전파 지연을 나타낸다.

2.3 OFDM/64QAM 시뮬레이터

그림 3은 OFDM/64QAM 시뮬레이터의 수신기 블록도를 나타낸다.

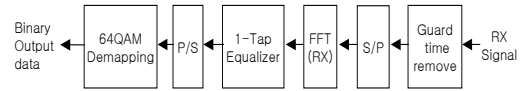
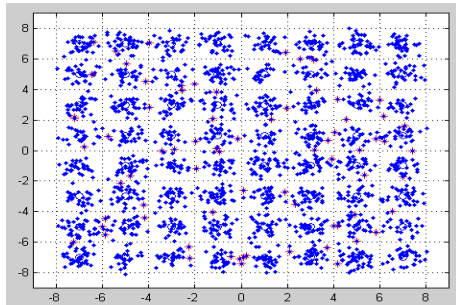


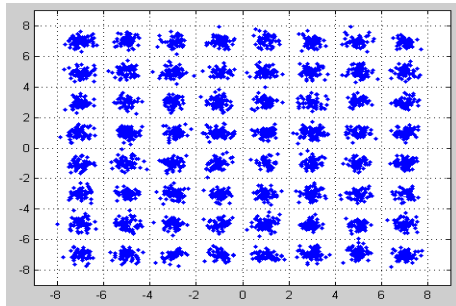
그림 3. OFDM/64QAM 시뮬레이터의 수신기 블록도

그림에서 guard time remove 블록은 채널상의 ISI(Inter-Symbol Interference)와 부 반송파 간의 ICI(Inter-Channel Interference)를 제거하기 위해 송신 단에서 삽입한 guard time(cyclic prefix)을 제거하는 역할을 한다. S/P 블록은 guard time(cyclic prefix)을 제거한 정보 데이터가 포함되어 있는 신호를 FFT(Fast Fourier Transform) 입력에 알맞은 형태로 변환시키기 위해서 직렬 데이터 열을 병렬 데이터 열로 변환시킨다. 단, 병렬 데이터 수는 일반적으로 송신 단에서 사용한 N-point IFFT의 입력 데이터 수와 동일하게 일치시켜야 한다. FFT 블록에서는 FFT 출력 데이터를 만들어내기 위한 알고리즘으로 Radix-2, Radix-4 등의 여러 가지 방법을 사용하고 있으나 부 반송파의 수가 작은 경우에는 계산량 면에서 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있기 때문에 본 논문에서는 Radix-2 알고리즘을 이용한 FFT를 적용한다. 그리고 OFDM 신호는 각각의 부 반송파 신호들이 협대역 특성을 가지므로 주파수 영역에서 부 채널별로 TDL(Tap Delay Line) 구조의 1-tap 등화기를 이용하면 충분히 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있으므로 본 논문에서는 등화기 알고리즘으로 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용한다^[10,11]. 한편 병렬의 데이터는 FFT 블록과 1-tap 등화기를 통과하여 N개의 병렬 데이터 열로 복원된다. 이 병렬의 데이터는 64QAM Demapping 블록으로 들어가기에 앞서 P/S 블록을 통해 직렬의 데이터로 변환된다. 64QAM Demapping 블록은 송신 단에서 적용한 64QAM Mapping에 대한 역의 과정으로 각 수신 신호점에 대응되는 6개의 이진 데이터로 변환시킨 출력을 내보낸다.

그림 4는 SNR(Signal to Noise Ratio)이 13[dB]와 17[dB]인 경우 수신된 신호에 대한 성좌도를 시뮬레이션한 결과이다. SNR이 17[dB]인 경우 상대적으로 잡음에 의해 분산되는 신호 점들이 송신 신호에 대한 성좌점에 집중하게 되는 것을 알 수 있다.



(a) OFDM/64QAM 성좌도 ($E_s/N_0 = 13\text{dB}$)



(b) OFDM/64QAM 성좌도 ($E_s/N_0 = 17\text{dB}$)

그림 4. AWGN 환경에서 복조된 64QAM 신호의 성좌도

Ⅲ. 케이블 채널에서 OFDM/64QAM 시스템의 성능

표 1은 본 논문의 시뮬레이션에서 적용한 해석 모델 파라미터이다.

그림 5와 그림 6은 Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델을 이용하여 임펄스 잡음 파라미터에 따른 전송방식별 시스템 성능을 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 임펄스 잡음지수의 크기에 따라 성능차이가 뚜렷이 나타남을 알 수 있고, 강한 임펄스 잡음($A=0.01, \Gamma=0.001$) 환경에서는 SNR 값을 크게 높일지라도 음성 서비스의 QoS(Quality of Service) 조건인 $BER = 10^{-3}$ 을 만족시킬 수 없음을 알 수 있다. 그리고 낮은 SNR에서는 강한 임펄스 잡음($A=0.01, \Gamma=0.001$)보다 약한 임펄스 잡음($A=0.2, \Gamma=0.22$)에서 성능이 더욱 열화됨을 알 수

있다. 이는 임펄스 잡음의 특성으로 강한 임펄스 잡음 환경에서는 임펄스 전력은 크지만 빈번하게 발생하지 않고, 약한 임펄스 잡음 환경에서는 비록 임펄스 전력은 상대적으로 작지만 훨씬 빈번하게 발생하므로 낮은 신호 전력에서 BER 성능에 더 큰 영향을 미치게 되기 때문이다. 결론적으로 전력선 케이블에서의 임펄스 측정지수인 $A=0.2, \Gamma=0.22$ 인 경우에서 우수한 BER 성능을 나타냄을 알 수 있었고, SNR 값을 19 dB 이상으로 해야 음성 서비스의 QoS(Quality of Service) 조건인 $BER = 10^{-3}$ 을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Values
Modulation type	64QAM
Required information bit rate	51.84[MHz]
Subcarrier spacing	540[KHz]
OFDM signal bandwidth	9.18[MHz]
Number of carriers	16
The points of FFT/IFFT	32
Main carrier frequency	8[GHz]
FFT algorithm	Radix-2 FFT algorithm
Equalizer algorithm	LMS algorithm

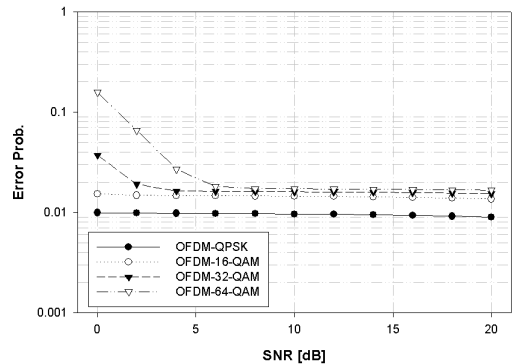


그림 5. Impulsive Noise 환경에서 OFDM 변조방식별 성능 비교($A=0.01, \Gamma=0.001$)

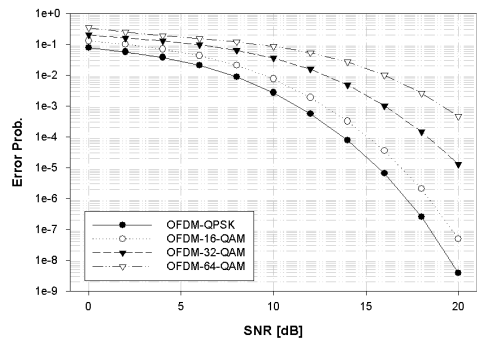


그림 6. Impulsive Noise 환경에서 OFDM 변조방식별 성능 비교($A=0.2, \Gamma=0.22$)

그림 7과 그림 8은 송수신단 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋의 영향을 고려한 OFDM/64QAM 시스템의 오율 성능을 나타낸다. 그림 7에서 정규화된 주파수 오프셋이 0.01인 경우, 비트오율 10^{-3} 을 달성하기 위해 필요한 SNR 값은 이상적인 경우에 비해서 약 1 dB 정도의 값이 추가로 요구되는 것을 알 수 있다. 또한 주파수 오프셋이 증가할수록 ICI의 증가로 인하여 SNR 손실이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 주파수 오프셋이 존재하는 경우 성능 개선 기법으로 등화기를 채용한 경우의 성능 그래프를 나타내고 있다. 결과 그래프로부터 주파수 오프셋이 0.01~0.05인 경우 적응 등화기를 채용함으로써 ICI 성분의 대부분을 제거하여 주파수 오프셋이 없는 경우와 가까운 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

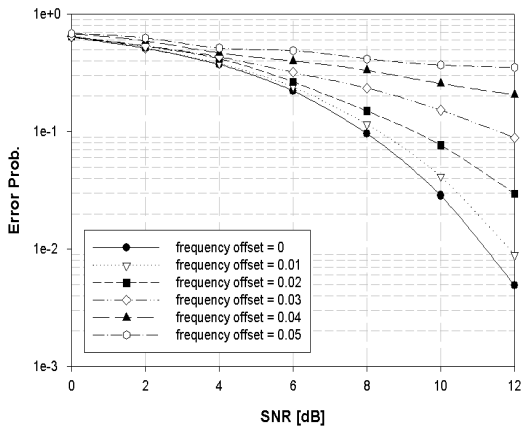


그림 7. 주파수 오프셋 환경에서 OFDM/64QAM 시스템의 부호오율성능

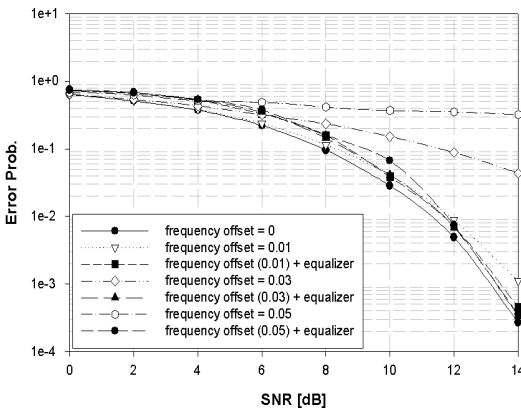


그림 8. LMS 등화기를 적용한 OFDM/64QAM 시스템의 부호오율 성능

IV. 결 론

본 논문에서는 케이블 전송 채널 환경에서 Middleton의 A급 임펄스 잡음과 송수신단 국부 발진기에서 발생하는 주파수 오프셋을 고려하여 OFDM/64QAM 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 그리고 주파수 오프셋에 의한 성능 열화를 보상하기 위한 성능 개선 기법으로 적응 등화기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다. 성능 해석 결과, 임펄스 잡음 지수(A, Γ)의 크기에 따라 성능 차이가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었고, 특히 전력선 케이블에서의 임펄스 측정 지수인 $A=0.2, \Gamma=0.22$ 인 경우에서 우수한 BER 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 SNR 값을 19 dB 이상으로 해야 음성 서비스의 QoS(Quality of Service) 조건인 $BER = 10^{-3}$ 을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다. 한편, 주파수 오프셋을 고려한 OFDM/64QAM 시스템의 시뮬레이션 성능 결과를 살펴보면 적응 등화기를 채용함으로써 ICI 성분의 대부분을 제거할 수 있었고 주파수 오프셋이 없는 경우와 유사한 성능을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] “디지털 케이블 TV 산업 현황과 전망,” 제14권 4호, 정보통신정책연구원
- [2] “디지털 케이블 TV 사업진입 방안,” Korea Digital Cable Media Center, 2003. 06.
- [3] “DMB, 데이터 방송 및 DMC 등 디지털 방송에 관한 종합 계획,” 방송위원회, 2003. 02.
- [4] “디지털 방송산업 종합발전계획 수립,” 정보통신정책연구원, 2001. 09.
- [5] O. Edfors, M. Sandell, J.-J. van de Beek, D. Landstrom and F. Sjöberg, “An introduction to orthogonal frequency division multiplexing”, *Research Report TULEA 1996, Division of Signal Processing, Lulea University of Technology*, 1996.
- [6] J. A. C. Bingham, “Multicarrier modulation for data transmission : An idea whose time has come”, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [7] S. Hara, M. Mouri, M. Okada, and N. Morinaga, “Transmission performance analysis of multicarrier modulation in

- frequency selective fast Rayleigh fading channel”, *Wireless Personal Commun.*, vol. 2, pp. 335-356, Jan.-Feb. 1996.
- [8] M. Okada, S. Hara, and N. Morinaga, “Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems,” *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.
- [9] S. Hara, K. Fukui, M. Okada, and N. Morinaga, “Multicarrier modulation technique for broadband indoor wireless communication,” *Proc. 4th Int. Symp. PIMRC*, pp. E1.2.1-E1.2.5, 1993.
- [10] N. Kataoka, R. Kohno, “Adaptive Equalizer for Multi Carrier Communication System,” *Technical Report of IEICE, SST 97-74*, pp.1-6, Dec. 1997. (in Japanese)
- [11] Y. Zhao, “A Countermeasure Against Frequency Offset in Orthogonal Frequency Multiplexing Communication System,” *Technology*. ISBN : 951-22- 2913-7 ; ISSN : 0356-5087, Espoo, Finland.

박 기 식 (Ki Sik Park)

정회원



1991년 2월 한국항공대학교
항공통신정보공학과 공학사
1991년 3월~1993년 2월 일본 교
토대학교 광통신연구실 연수
1996년 8월 한국항공대학교 대학
원 공학석사
2000년 2월 한국항공대학교 대학

원 공학박사

2001년 3월~현재 인하공업전문대학 정보통신과 부교수
<관심 분야> 이동 통신, 무선 통신