

멀티밴드 UWB 시스템의 무선성능 분석에 관한 연구

정희원, 최 석*, 김길겸, 박준호, 김학선

A Study on the RF performance analysis for Multi-band Ultra Wide Band Systems

Seok Choi*, Gil-Gyeom Kim, Jun-Ho Kwack, Hak-Sun Kim *Regular Members*

요 약

통신 시스템의 무선성능 요구조건 분석은 시스템의 성능을 예측하는 중요한 지표이다. 아직 표준안이 제정되지 않은 UWB(Ultra Wide Band) 시스템은 명확한 시스템 성능 요구조건을 유도하기 어렵다. 또한, 기존의 UWB 시스템과 멀티밴드 UWB 시스템의 무선성능 요구조건 분석에는 차이점이 있다. 이러한 차이점을 본 논문을 통해 분석하였으며, 이를 바탕으로 도출한 멀티밴드 UWB 시스템의 성능 요구조건을 본 논문에 기술하였다. 멀티밴드 UWB 시스템은 Sub-Band의 수에 따라 Throughput, 송신 최대 전력, 수신감도 등이 변화하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 멀티패스의 영향으로 PRF(Pulse Repetition Frequency)를 변경하면 Link Margin은 증가하여 멀티패스 에너지 손실(Multi-path Energy Loss)에 대한 보상으로 멀티패스 마진(Multi-path Link Margin)이 발생하는 것을 알 수 있었으며 멀티패스 마진에 따라 수신신호 감도 및 간섭신호에 대한 저항성이 변화하는 것을 모의실험을 통하여 분석하였다.

Key Words: UWB, Ultra-Wideband, UWB system performance

ABSTRACT

The analysis of RF performance requirement conditions on communication system is critical indicator to predict the performance of system. UWB(Ultra Wide Band) system which the standard is not established yet is difficult to derive the precise system performance requirement condition. Also, there are differences between conventional UWB system and multi-band system about RF performance requirement condition. In this thesis, the differences are analyzed and performance requirement conditions of multi-band UWB system are described on the basis of the differences. Throughput, maximum transmit power, and sensitivity of multi-band UWB system is varied with respect to the number of Sub-Bands. In addition, because of Multi-path effect, if PRF(Pulse Repetition Frequency) is changed, the Multi-path link margin is happened to compensate for Multi-path Energy Loss which is contributed by increasing of the Link Margin. According to Multi-path Margin, the variation of the resistance with respect to sensitivity and interference signal is observed and analyzed through the simulation.

I. 서 론

세계적으로 무선 통신 시장이 지속적으로 확장됨에 따라 필수적인 핵심 기술들의 개발도 상당히 빠

르게 진행되고 있다. 이러한 과정에서 주파수 자원의 고갈과 함께 다양한 무선 통신 서비스에 필요한 시스템 구성 및 서비스 비용들도 증가되고 있어 기존 무선통신 방식으로 이러한 문제를 극복하는데

* 한밭대학교 정보통신전문대학원 (choiseok@hanbat.ac.kr)
 논문번호: 030321-0801, 접수일자: 2003년 08월 04일
 ※본 연구는 삼성종합기술연구원의 지원으로 수행되었음.

한계가 나타나고 있다. UWB(Ultra-Wideband) 시스템은 기존 무선통신방식의 기술적 제한을 극복할 수 있는 최적의 시스템이다.

지난 2002년 2월 14일 FCC(Federal Communications Commission)는 UWB 시스템을 중심 주파수의 20%이상 Fractional Bandwidth 또는 500MHz이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의^[1,2]하였다. 초기의 UWB 시스템은 7.5GHz의 단일 대역을 사용하는 시스템이었으나, 현재는 대역폭을 유연성 있게 사용하며 시스템 구현이 비교적 용이한 멀티 밴드 시스템으로 발전하고 있다.

UWB에 선도적인 기업인 Intel, Samsung, Philips, Wisair, Time Domain등은 UWB Multi-band Coalition을 결성하여 멀티밴드 UWB 시스템의 표준화에 힘쓰고 있다.^[3]

본 논문은 멀티밴드 UWB 시스템의 성능 요구조건 도출과 멀티패스에 대한 영향 분석을 IEEE 802.15 TG3a CFP 문서^[4]를 토대로 연구가 수행되었다.

본 논문의 구성은 II장에서는 멀티밴드 UWB 시스템의 일반적인 개념에 대해 설명하고, III장에서는 멀티밴드 UWB 시스템 성능 요구조건을 송신 최대전력에서 유도하여 분석한다. IV장에서 멀티패스 및 간섭 신호의 영향에 의한 수신감도의 변화를 분석을 한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 멀티밴드 UWB 시스템의 개념

기존의 7.5GHz 대역폭을 사용하여 통신을 했던 것과 달리 멀티밴드 UWB 시스템은 7.5GHz의 대역폭을 500~700MHz 단위로 나누어 멀티밴드로 사용한다. 이때 사용되는 신호의 종류는 임펄스를 제외한 어떠한 종류의 신호라도 상관없다. 임펄스는 신호의 특성상 푸리에 변환을 하면 주파수 도메인 상에서 수 GHz의 점유대역폭을 갖기 때문이다. 이는 다른 대역의 신호들에게 간섭신호 및 ISI(Inter Symbol Interference)로 작용을 한다.

그림 1은 -10dB 레벨로 500MHz 대역폭을 갖는 15개 채널이 할당된 멀티밴드 UWB를 표현하고 있다. 각 채널은 FCC의 전파규정을 만족하며, 할당된 대역 내에서 다른 시스템들 간의 Co-existence를 충족시키기 위해 간섭이 되는 대역(IEEE 802.11a)을 멀티밴드 UWB 시스템에서 채

널을 할당하지 않거나 간섭신호의 여부에 따라 채널을 할당한다.

그림 2은 멀티밴드 UWB 시스템에 사용되는 신호를 도시하였다. 신호를 각 대역폭에 맞는 형태로 만들어 각각의 멀티밴드 시스템 구조에 유리한 변조방식을 통해 전송한다. 이들 변조방식과 인터리빙 및 코딩기법은 UWB 신호를 버스트에러(burst error)에 강인하게 해주며, ISI와 멀티패스에 저항력을 갖게 해준다.

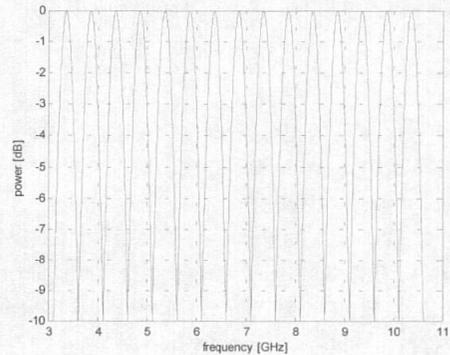


그림 1 멀티밴드 UWB의 스펙트럼

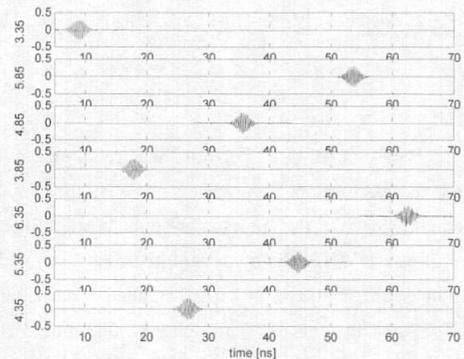


그림 2 멀티밴드 UWB 시스템의 변조신호

그림 3은 멀티밴드 UWB 시스템에 사용되는 전형적인 송수신기의 구조를 표현하였다. RF front-end 단은 기존 UWB 시스템과 같은 성능을 갖는 소자로 구성되며, 특징적인 소자는 다수의 채널을 생성하는 멀티 캐리어 발생기(Multi-Carrier Generator)이다. 이 멀티 캐리어 발생기는 베이스밴드에서 변조된 신호와 혼합되어 각 채널로 제공된다.

또한, 그림 3에 도시된 멀티밴드 UWB 시스템은 송신단에 Throughput을 Sub-Band로 나누어 보내므로 ADC(Analog to Digital Converter)의 샘플링 주파수도 낮아지고, 그로인한 전력소모도 줄어든다.

변조신호의 종류에 따라 수신단의 구조가 parallel arm 또는 serial arm로 구성된다. 일반적으로 parallel arm으로 구성하면 시스템의 복잡성(Complexity)이 증가하게 되는 단점이 있다. 그러나 parallel arm으로 시스템이 구성되어도 반도체기술의 발달로 0.13um 이나 0.18um CMOS 공정을 사용하면 하나 또는 두개의 칩(Chip)으로 송, 수신기를 구현할 수 있다.^[5]

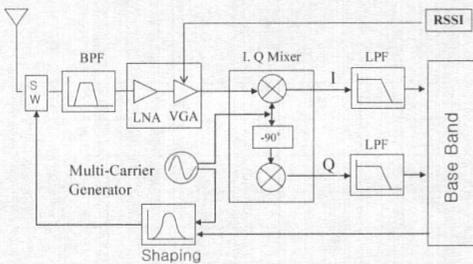


그림 3 멀티밴드 UWB 시스템의 전형적인 송,수신기 구조

멀티밴드 UWB 시스템은 Sub-Band로 신호를 송, 수신하기 때문에 각 채널당 송신하는 신호의 PRF(Pulse Repetition Frequency)를 제어하여 멀티패스와 ISI에 강한 특성을 갖는다. 또한, 코딩기법을 사용하여 각 피코넷들 간의 간섭신호를 막고 다중접속을 가능하게 하여, 채널 용량을 증가 시킬 수 있다.

III. 시스템의 성능 요구 조건 분석

1. 시스템 성능 파라미터 결정

멀티밴드 UWB 시스템에서 요구되는 성능 조건을 산출하기 위해 시스템에서 제공되는 송신단의 최대 전력 크기와 수신단의 최소 전력 크기를 분석하고 IEEE 802.15 TG3a에 제안된 문서에 근거하여 멀티밴드 UWB 시스템의 파라미터들에 대해서 분석해 보았다.

표 1. 시스템 성능 파라미터

Fc: 4.3GHz	Code Rate: 1/2
NF: 7dB	Coding: QPSK-8TCM
BW: 500MHz	
Distance: 10m	Eb/No: 3.6dB ^[6]
Sub-Band: 7	Imp. Loss: 3dB

본 시스템에서 제시하는 사양은 표 1과 같고 그 파라미터로 모의실험 통하여 멀티밴드 UWB 시스템 성능분석을 도출한다.

2. 멀티밴드 UWB 시스템 성능분석

시스템 성능분석을 위해서는 송신단의 최대 전력 레벨을 구해야한다. 기존 UWB 시스템에서는 각 나라마다 정해진 대역의 유효 등방성 복사 전력으로부터 유도해 낼 수 있으며, 식(1)과 같이 기술된다.

표 2. 규정에서 제시한 전계강도 및 유효 등방성 복사 전력 (EIRP)^[7]

	대역	전계강도	EIRP
국내	1~10 GHz	35μV/m	-66.58dBm
FCC		500μV/m	-41.25dBm

$$P_t = EIRP (1MHz) + 10\log(BW) \quad [dBm] \quad (1)$$

그러나, 멀티밴드 UWB 시스템에서는 사용하는 Sub-Band의 수에 따라 전체 스펙트럼의 크기가 결정되므로 송신 평균전력은 Sub-Band의 수에 의해 결정되고, 송신 최대 전력은 평균전력에 Sub-Band의 수를 로그(log)취한 후 더한 값이 되며, 이는 식(2)와 식(3)에 기술하였다.

$$P_{ave} = EIRP (1MHz) + 10\log(BW) \quad [dBm] \quad (2)$$

$$P_t = P_{ave} + 10\log(N_{Sub}) \quad [dBm] \quad (3)$$

여기서 BW는 Sub-Band 대역폭의 합을 의미하고 N_Sub는 Sub-Band의 수를 나타낸다. 송신단의 안테나에서 방사된 송신 최대 전력이 자유공간에서 전파경로 손실을 갖고 수신단의 안테나에 도달하게 된다. 수신된 전력레벨과 표 1에 기술된 파라미터를 근거로 멀티밴드 UWB 시스템 성능 요구조건을 분석한다.

수신 전력을 산출하기 위해서 IEEE 802.15 TG3a에 제안된 전파경로 손실모델을 적용하였으며, 최대 거리는 10m로 설정하였다. 또한, 본 논문에서 각 안테나의 이득 Gt와 Gr는 0dBi로 가정 하였다.

이때, 수신된 전력은 최대 송신전력과 안테나의 이득, 전파 경로손실의 차로 표현될 수 있으며, 식(4)와 같이 표현된다.

$$Pr = Pt + Gt + Gr - L1 - L2 \quad [\text{dBm}] \quad (4)$$

여기서 P_t , P_r 은 최대 전송 전력과 최소 수신 전력이고, G_t , G_r 은 각각 송, 수신단 안테나의 이득을 나타낸다. 또한, 전파경로 손실을 의미하는 L_1 , L_2 는 각각 $20 \log_{10} [4\pi f_r/c]$ (@1 meter)와 $20 \log_{10} [d]$ (@d meter)로 표현된다.

표 1에 기술된 파라메타로 멀티밴드 UWB 수신단의 잡음지수(NF), 수신잡음 레벨(P_n), 수신감도(Sensitivity)를 계산할 수 있다. 수신잡음 레벨은 Sub-Band내 Throughput에 의해 결정되고 수신감도는 Link Margin이 클수록 증가하는 것을 알 수 있다.

$$N(\text{Received Noise Power per Bit}) = 10\log(kT) + 10\log(Rc) \quad [\text{dBm}] \quad (5)$$

$$P_n(\text{Average Noise Power per Bit}) = N + NF \quad [\text{dBm}] \quad (6)$$

여기서 k 는 볼츠만 상수 1.38×10^{-23} J/k, T 는 절대온도 290 K로 정의하고, 채널의 Throughput을 나타내는 Rc 는 Code Rate \times Mod(Bits/Sym) \times PRF에 의해 표현된다.

그러므로, 식(5), 식(6)로부터 수신감도와 Link Margin을 도출해낼 수 있다.

$$\text{Sensitivity} = Pr - \text{Link Margin} \quad [\text{dBm}] \quad (7)$$

$$\text{Link Margin} = Pr - P_n - S - I \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

여기서 S 는 E_b/N_0 이고 I 는 Implementation Loss를 나타낸다.

지금까지, 본 논문에서 도출한 멀티밴드 UWB 시스템 성능 요구조건을 요약하면 표 3과 같다.

IV. 멀티패스 및 간섭신호 영향 분석

송신 안테나에서 방사되어 수신 안테나로 수신되는 전파는 전파환경에 의해 크게 좌우된다. 송신된 전파가 수신안테나에 직접 전파되지 않고 여러 사물이나 건물 등 전파환경의 영향을 받아 다중경로를 통해 간접 전파되어 수신감도의 저하를 가져오는 현상을 “멀티패스”라 정의한다.

Throughput과 멀티패스는 밀접한 연관성을 갖는다. Throughput은 식(5)에 정의된 Rc 에 의해 유도할 수 있는데, PRF(Pulse Repetition Rate)가 높을수록 Throughput이 높음을 의미한다.

표 3 멀티밴드 UWB 시스템 성능 요구조건

Mode	1	2	3	
Throughput	112	224	504	Mbps
distance	10	10	10	meter
fc	4.3	4.3	4.3	GHz
Sub-Band	7	7	7	
P_t	2.6	2.6	2.6	dBm
P_r	-62.6	-62.6	-62.6	dBm
P_n	-95.0	-91.9	-88.4	dBm
Sensitivity(min)	-88.4	-85.3	-81.8	dBm
Link Margin	25.8	22.8	19.3	dB
Rc	16	32	72	Mbps
Code Rate	0.5	0.5	0.5	
Mod(Bits/Sym)	2	2	2	
PRF	16	32	72	MHz

그림 4는 High PRF 조건에서 수신신호와 멀티패스의 영향을 도식화한 것이다. f_1 은 간섭신호가 수신신호에 직접영향을 미쳐 충돌이 발생하는 경우를 의미한다. f_5 는 멀티패스나 간섭신호가 다중경로를 통해 수신되어 수신신호에 영향을 미쳐 수신 감도의 저하 또는 수신 신호들 간의 충돌을 야기하는 것을 의미한다.

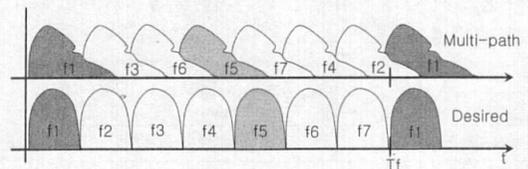


그림 4 High PRF에서 멀티패스의 영향

그림 5는 Low PRF 조건에서 수신신호와 멀티패스와의 영향을 도식화한 것이다. f_1 은 간섭신호가

수신신호에 직접영향을 미쳐 충돌이 발생하는 경우를 의미한다. 그러나, High PRF 조건과는 달리 Low PRF는 PRF의 비율을 감소시켜 멀티패스나 간섭신호가 수신신호에게 영향을 주는 요인을 저하시켜 수신감도를 안정화하고 수신시스템 소자(ADC)의 전력소모를 감소시키는 효과가 있다.

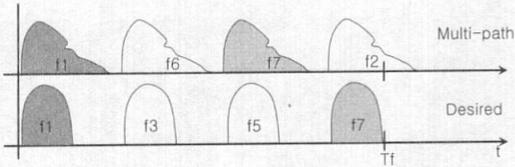


그림 5 Low PRF에서 멀티패스의 영향

윗 식(8)의 Link Margin(AWGN)로부터 멀티패스 마진(Multi-path Link Margin)을 유도할 수 있다. 이 멀티패스 마진은 멀티패스에 대해 얼마만큼 수신신호의 Quality를 보장할 수 있는지에 대한 척도를 나타낸다.

$$\text{Multi-path Link Margin} = \text{Link Margin} - \text{Multi-path Energy Loss} \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

여기서 Link Margin의 S는 윗 식(8)에서 Eb/No로 정의하였으며, 이는 베이스밴드의 코딩기법에 종속적이다. 본 논문에서는 Trellis Coded Modulation(8 states) - QPSK, 1/2 Coding Rate을 이용하여 3.6dB의 Eb/No를 유도하였다. 멀티패스 에너지 손실(Multi-path Energy Loss)은 전파환경에 따른 손실계수로 정의할 수 있으며, 본 논문에서는 10dB^[8]로 계산되었다.

그림 6은 PRF와 멀티패스 마진(Multi-path Link Margin)의 상관성에 대해 분석한 그래프이다. 16MHz Low PRF 조건에서는 15.8dB의 멀티패스 마진을 얻을 수 있다. 반면, 32MHz와 72MHz High PRF의 조건에서는 각각 12.8dB와 9.3dB로 멀티패스 마진이 감소한 것으로 분석되었다.

그림 7은 수신감도에 PRF와 Throughput이 미치는 영향을 분석한 그래프이다. 72MHz High PRF와 19.3dB Link Margin의 조건에서는 -81.8dBm의 수신감도를 얻는다. 그러나, 16MHz Low PRF와 25.8dB Link Margin의 조건에서는 -88.4dBm로 수신감도가 6.6dB 증가한 것으로 분석되었다.

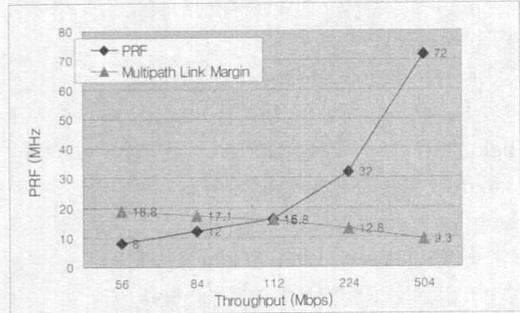


그림 6 PRF와 멀티패스 마진 상관관계

일반적으로 Low PRF 상태가 High PRF 상태보다 Link Margin이 높다. 그러므로, 식(7)을 감안할 때 Link Margin의 증가는 수신감도 향상을 가져오는 결과를 의미한다.

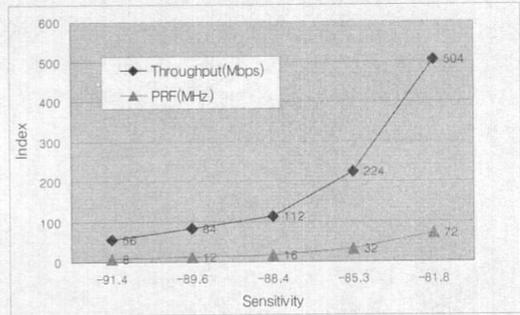


그림 7 PRF와 Throughput이 수신감도에 미치는 영향

7 Sub-band의 Throughput이 각각 112Mbps, 224Mbps, 504Mbps로 증가했을 때 수신감도는 각각 -88.4dBm, -85.3dBm, -81.8dBm으로 감소되었다. Throughput은 식(5)에 의해 잡음레벨의 척도가 되며, Pn(Average Noise Power per Bit)에 의해 식(8)에 대입되어 Link Margin의 파라메타가 된다.

V. 결론

IEEE 802.11은 최대 380Mbps의 Throughput을 지원하는 IEEE 802.11n이라는 새로운 무선네트워크 표준을 제정하려 하고 있다. 이와 같이 근거리 무선 통신 시스템 시장은 점점 고속 전송율과 그에 따른 QoS를 원하고 있다.

본 논문에서는 근거리 무선통신 시스템 시장에서 고속의 전송율을 지원하며 비교우위를 차지하는 멀티밴드 UWB 시스템의 무선 성능 요구조건을 분석

했으며, 이는 종전의 UWB 시스템과는 다른 방법으로 계산되었다.

또한, 멀티패스가 일어나는 전파환경에서 수신신호의 감도개선에 영향을 미치는 요소를 분석했으며, High PRF에서 Low PRF로 변경할 때 Link Margin은 증가하여 멀티패스 에너지 손실(Multi-path Energy Loss)에 대한 보상으로 멀티패스 마진(Multi-path Link Margin)이 발생하는 것을 알 수 있었으며 멀티패스 마진에 따라 수신신호 감도 및 간섭신호에 대한 저항성이 변화하는 것을 모의실험을 통하여 알 수 있었다.

기존 UWB 시스템에서 멀티패스는 최소 성능 요구분석에서 고려되지 않아 정확한 시스템 성능분석이라 할 수 없다. 그러나 본 논문에서는 멀티패스에 대한 영향도 고려함으로써 최소 성능 요구조건을 도출해 냈으며 그에 따른 멀티패스 마진을 유도해 냈다.

이 분석결과는 보다 많은 멀티패스와 간섭신호에 대한 연구가 진행된다면, 더욱 정확한 멀티밴드 UWB 시스템의 성능을 예측하는데 충분한 자료로 활용 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] *Revision of part 15 of the Commission's rules regarding ultra wideband transmission systems.*
- [2] *IEEE 802.15-02/133r1 :Ultra-Wideband Tutorial*, March 11, 2002.
- [3] <http://www.uwbmultiband.org>
- [4] *03031r6P802-15_TG3a-PHY-Selection-Criteria*
- [5] *03105r0P802-15_TG3a-General-Atomics-CFP-Presentation*
- [6] *03099r0P802-15_TG3a-Discrete-Time-CFP-Presentation*
- [7] 김길겸, 최 석, 김학선, "Ultra Wide Band 무선 시스템 성능분석에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, 제 28권 제 3A호, pp.157-165, March, 2003
- [8] *03107r3P802-15_TG3a-Institute-for-Infocomm-Research-CFP-Presentation*

최 석(Seok Choi)

준회원



2002년 2월 : 한밭대학교
정보통신공학과 졸업
2002년 3월~현재 :
한밭대학교 정보통신
전문대학원 석사과정

<주관심분야> UWB ,RF 시스템 설계 및 제작

김 학 선(Hak-Sun Kim)

정회원



1986. 2: 한국항공대학교
전자공학 (공학사)
1990. 2: 한국항공대학교
대학원 전자공학과
(공학석사)
1993. 8: 한국항공대학교
대학원 전자공학과
(공학박사)

1993.3-현재: 한밭대학교 정보통신 컴퓨터 공
학부 부교수

<주관심분야> UWB , RF 시스템 설계 및 제작,

MMIC 설계, 이동통신 단말기 RF
Block 설계/제작/측정. 이동통신 시스
템 시뮬레이션 및 부품 설계 및 제작

김 길 겐(Gil-Gyeom Kim)

준회원



2001년 2월 : 한밭대학교
전자공학과 졸업
2000년 10월 ~ 2002년 2월:
(주)아이뉴정보통신
기술연구소 팀장
2002년 3월~현재 :
한밭대학교 정보통신
전문대학원 석사과정

<주관심분야> UWB, RF 시스템 설계 및 제작,
디지털 통신시스템

곽 준 호(Jun-Ho Kwack)

준회원



2001년 2월 : 한밭대학교
전자공학과 졸업
2002년 3월~현재 :
한밭대학교 정보통신
전문대학원 석사과정

<주관심 분야> 이동통신 단말기 RF 시스템 분석/
설계/제작, 이동통신 RF 시스템 시뮬레이션