H-대역(220~325 GHz) 주파수를 이용한 1.485 Gbps 비디오 신호 전송 송수신기

H-Band(220~325 GHz) Transmitter and Receiver for an 1.485 Gbit/s Video Signal Transmission

정 태 진 · 이 원 희

Tae Jin Chung · Won-Hui Lee

요 약

H-대역(220~325 GHz)의 주파수 범위에서 동작하는 송신기와 수신기를 구현하였으며, 1.485 Gbps 비디오 신호 전송을 국내 최초로 시연하였다. H-대역의 RF front-end는 쇼트키 배리어 다이오드 기술을 이용한 서브 하모닉 믹서, 주파수 3배기, 대각선 혼 안테나로 구성하였다. 송신 및 수신 캐리어 주파수는 H-대역 중에서 246 GHz를 사용하여 구현하였고, 서브 하모닉 믹서의 LO 주파수는 각각 120 GHz, 126 GHz이다. 변조 방식은 ASK (Amplitude Shift Keying), IF 주파수는 5.94 GHz이며, 수신기는 헤테로다인 구조와 ZBD(Zero Bias Detector) 두 방식 모두를 이용하여 envelop 신호를 검출하는 방식이다. HD-SDI 형식을 갖는 1.485 Gbps 비디오 신호를 송신기 출력 20 μ W에서 약 5 m까지 성공적으로 HDTV로 전송하였다.

Abstract

An 1.485 Gbit/s video signal transmission system using the carrier frequency of H-band(220~325 GHz) was implemented and demonstrated for the first in domestic. The RF front-end was composed of Schottky barrier diode sub-harmonic mixers(SHM) and frequency triplers, and diagonal horn antennas for transmitter and receiver, respectively. The transmitted carrier frequency of 246 GHz was implemented in the H-band, and LO frequencies of H-band SHM is 120 GHz and 126 GHz for transmit and receive chains, respectively. The modulation scheme is ASK(Amplitude Shift Keying) where IF frequency is 5.94 GHz and the envelop detection was used in heterodyne receiver architecture, and direct detection receiver using ZBD(Zero Bias Detector) was implemented as well. The 1.485 Gbit/s video signal with HD-SDI format was successfully transmitted over wireless link distance of 5 m and displayed on HDTV at the transmitted average output power of 20 μ W.

Key words : Transceiver, H-Band, 1.485 Gbps Video Transmission, Heterodyne, ZBD, Subharmonic Mixer, ASK

I. 서 론

전세계적으로 멀티미디어 무선 전송서비스는 수요가 폭발적으로 증대되고 있으며, 이러한 수요를

충족하기 위하여 무선 데이터 전송 속도를 향상시키려는 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 현시점에서 무선 데이터 속도의 급속한 성장 추세를 고려하면 10년 이내에 15 Gbps급의 데이터 속도가 필요

「본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002056, 테라헤르츠 대역 전파환경 및 무선전송 플랫폼 기술연구].」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI))

· 논 문 번 호 : 20101102-158

· 교 신 저 자 : 이원희(e-mail : whlee07@etri.re.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 12월 15일

할 것으로 예측된다^[1]. 초고속 데이터 전송을 실현하기 위해서는 초 광대역의 주파수 대역폭이 필요하며, 초 광대역은 캐리어 주파수가 100 GHz 이상인 전자파 스펙트럼 즉, 테라헤르츠 영역(0.1~10 THz)에서 용이하게 확보할 수 있다. 최근, 테라헤르츠 전자파를 이용한 초고속 무선 통신 시스템에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이미 시연 시스템이 등장하였다.

독일의 TCL(Terahertz Communications Lab.)은 쇼트키 다이오드 서브 하모닉 믹서를 이용하여 300 GHz에서 6 MHz 대역폭을 갖는 아날로그 비디오 신호를 최대 22 m까지 전송하였다. 송신 출력은 50 μ W이고, 무선 링크에 26 dBi 이득 혼 안테나와 폴리에틸렌 렌즈(14 dB 이득 향상)를 사용하였다^[2]. 일본의 NTT는 UTC-PD(Uni-Traveling Carrier Photo Diode)를 이용한 포토닉 송신기와 쇼트키 다이오드 검출기(detector)를 이용하여 250 GHz에서 8 Gbps 전송 속도를 구현하였으며, 변조기는 광의 강도(intensity)를 ASK 방식으로 변조하였으며, 송신 출력 26 μ W에서 50 cm 거리까지 데이터를 전송하였다^[3]. 일본의 오사카 대학은 송신기와 수신기의 구조가 NTT와 동일한 방식을 이용하여 300~400 GHz에서 최대 데이터 전송 속도 2 Gbps까지 전송하였다. 송신 출력은 10 μ W에서 전송 거리는 50 cm이다^[4]. 독일의 Fraunhofer IAF는 RF Front-end를 모두 35 nm HEMT 기술을 이용한 Tx 및 Rx MMIC를 개발하였으며, 214 GHz에서 64QAM 변조 방식을 적용하여 60 cm 거리에서 HDTV에 신호를 전송하였다. 최초의 디지털 신호 전송이었으며, MMIC는 기본파 믹서, 주파수 2배기, LNA로 구성된다^[5].

본 논문에서는 H-대역(220~325 GHz)의 캐리어 주파수를 이용한 1.485 Gbps 비디오 신호(SMPTE 292 M 표준) 무선 전송 송수신 시스템의 구현과 무선 링크 성능 시험 결과를 소개하고자 한다. 본 시스템에 사용한 RF Front-end는 수동 소자인 쇼트키 다이오드 서브 하모닉 믹서(SHM), 주파수 3배기 및 대각선 혼 안테나로 구성된다. 본 구현 시스템에서는 H-대역 주파수 중에서 246 GHz의 캐리어 주파수를 사용하였으며, 송신기 및 수신기의 SHM LO 주파수는 각각 120 GHz, 126 GHz이고, LO 주파수는 40 GHz 및 42 GHz의 PLO 모듈의 출력을 주파수 3배기에 의해 발생시켰으며, IF 주파수는 5.94 GHz이다.

변조 방식은 ASK(Amplitude Shift Keying)이며, 수신 신호의 복원은 IF 대역에서 쇼트키 다이오드를 이용한 Envelope Detection에 의하여 이루어진다. 1.485 Gbps 비디오 신호의 전송 실험 결과, 송신기 출력 전력이 20 μ W일 때 5 m 거리에서 양호한 영상이 HDTV로 성공적으로 전송되었음을 확인하였다. 자유 공간의 손실을 보상하기 위하여 송신기 및 수신기의 대각선 혼 안테나 앞에 폴리에틸렌 렌즈를 부착하였다. 본 실험 시스템은 PLO 모듈의 출력 주파수만 변경하면 H-대역 내의 어떠한 캐리어 주파수도 용이하게 구현될 수 있다. 예를 들면 PLO 출력 주파수를 50 GHz로 설정하면 송신기 출력 주파수는 300 GHz $\pm$ IF가 된다. 이 경우 무선 링크 성능은 캐리어 주파수의 증가에 따라 저하될 것이다.

II. 테라헤르츠 송수신기 설계

2-1 테라헤르츠 무선 링크 설계 파라미터

테라헤르츠 대역의 무선 링크는 현재의 반도체 기술 수준에서 볼 때 mW급 이상의 신호 출력을 얻는데 한계가 있기 때문에 링크 버짓의 마진(margin)이 거의 없다. 또한, 테라헤르츠 대역의 주파수 스펙트럼을 통신 분야에 활용하는 주요 이유는 기존의 낮은 밀리미터파 대역보다 가용한 주파수 대역폭이 월등히 넓기 때문에 10 Gbps 이상의 초고속 무선 전송 시스템에서 ASK 변조 방식과 같은 아주 간단한 구조로 구현이 용이하기 때문이다. 본 송수신 시스템 구현에는 ASK 변조 방식을 사용하였으며, 1.485 Gbps 비디오 신호를 전송하기 위하여 송신 대역폭을 3 GHz로 제한하였다. 송신기의 출력 전력은 쇼트키 다이오드 기술을 이용한 수동 믹서의 변환 손실($\sim$ 10 dB)을 고려하여 최대 50 μ W로 설계하였다. 240 GHz 대역에서 자유 공간 손실은 1 m 거리에서 80 dB이며, 수분(H₂O)에 의한 대기 전파 감쇠는 무시할 수 있을 정도로 작아서 무시하였고^[6], 무선 링크의 손실을 보상하기 위하여 혼 안테나 이외에 직경 5 cm, 초점 거리 15 cm인 폴리에틸렌 렌즈를 사용하였다. 표 1에 무선 링크 설계 파라미터를 요약하였으며, 링크 마진은 5 dB로 설계하였다.

2-2 송신기 및 수신기 설계 및 제작

표 1. 무선 링크 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of wireless link.

링크 파라미터	규격	비고
Carrier freq.(fc)	245.94 GHz	H-band (220~325 GHz)
Link distance(d)	1~10 m	
Modulation	ASK	
Data rate(Rb)	1.485 Gbps	NRZ Signal
Bit Error Rate(BER)	10^{-12}	
Transmission(BW)	3 GHz	ASK Modulation
Max. Tx Power(Ptx)	50 μ W	-13 dBm
Free Space Loss	80/100 dB	@ d=1 m/10 m
Antenna Gain(Gtx=Grx)	25 dBi	Diagonal Horn
Added Lens Gain	14 dB	PE Lens
Implementation Loss	2 dB	대기감쇠 포함
Receiver Noise Figure	10 dB	
AWGN Noise Power	-79.2 dBm	@BW=3 GHz
Receiver Output SNR	20.2 dB 이상	@BER= 10^{-12} for ASK
Desired Link Margin	5 dB 이상

그림 1. 송신기 구조

Fig. 1. Transmitter architecture.

송신기는 그림 1과 같이 이중 변환(double conversion) 구조를 사용하였으며, IF 주파수는 5.94 GHz 이다.

RF Front-end는 H-대역 쇼트키 다이오드 서브 하모닉 믹서, 주파수 3배기(Tripler, 110~170 GHz), 120 GHz 대역 통과 필터(BPF), 대각선 혼(diagonal horn) 안테나로 구성된다. 혼 안테나의 이득은 25 dBi이고, 3 dB 빔 폭은 10°이다. 120 GHz BPF를 제외한 부품들은 모두 상용품(VDI, USA, www.virginiadiodes.com)을 사용하였다. 서브 하모닉 믹서의 LO 주파수

(a) 제작된 5.94 GHz ASK 변조기 외형

(a) Photograph of manufactured 5.94 GHz ASK modulator

(b) 1.485 Gbps NRZ 신호

(b) 1.485 Gbps NRZ signals

(c) ASK 변조기의 출력 스펙트럼

(c) Output spectrum of ASK modulator

그림 2. 5.94 GHz ASK 변조기의 측정

Fig. 2. Measurement of 5.94 GHz ASK modulator.

는 RF 주파수의 1/2이며, LO 전력 레벨 4 mW에서 DSB(Double Sideband) 변환 손실은 -10 dB 정도이다. 송신 출력 50 μ W를 얻기 위하여 ASK 변조기 출력은 500 μ W(-3 dBm)로 설계하였다. 그림 2(a)는 제작된 5.94 GHz ASK 변조기 외형이며, 그림 2(b)는 1.485 Gbps NRZ 신호의 파형을 나타내며, 5.94 GHz 캐리어 주파수로 변조된 신호 출력의 3 dB 감쇠된

(a) 송신 스펙트럼 측정 블록도
(a) Measurement set-up for transmission spectrum

(b) 송신 출력 스펙트럼
(b) Transmission output spectrum

그림 3. 송신 출력 스펙트럼의 측정
Fig. 3. Measurement of transmitted output spectrum.

신호의 스펙트럼은 그림 2(c)에 나타내었으며, 파워 미터로 측정한 평균 전력은 -6 dBm이다.

그림 3은 테라헤르츠 송신기의 출력 측정을 위한 장치 구성도와 측정된 스펙트럼을 나타낸다. 스펙트럼 분석기는 Agilent E4440A 모델의 외부에 H-대역 확장 믹서/다이플렉서 모듈로 구성되어 있으며, -30 dBm 입력 신호에 대하여 220 GHz에서 -93.7 dBm이 측정된다. 그림 3(b)의 스펙트럼에서 마커 레벨은 -64 dBm-CL(30)=-94 dBm인데, 이는 246 GHz에서 대략 -27 dBm 정도이다. 서브 하모닉 믹서의 변환 손실은 약 11 dB이고, 246 GHz에서 송신기 평균 출력력은 -17 dBm(20μ W)이다.

그림 4(a)는 120 GHz/126 GHz Tx/Rx LO 신호 발생기 모듈의 블록도이고, 그림 4(b)는 제작된 40 GHz PLO 모듈이다. 50 MHz의 기준 발진기를 사용하여 2.5 GHz의 Phase-locked 신호를 발생시키고, Tx LO는 40 GHz, Rx LO는 42 GHz 신호로 만든 다음 110~170 GHz 주파수 3배기와 120 GHz 도파관 BPF로 구

(a) LO 신호 발생기 모듈의 블록도
(a) Block diagram of LO signal generator module

(b) 제작된 40 GHz PLO 모듈
(b) 40 GHz PLO module

(c) 40 GHz PLO의 출력 스펙트럼
(c) Output spectrum of 40 GHz PLO

그림 4. 40 GHz PLO 모듈의 측정
Fig. 4. Measurement of 40 GHz PLO module.

현하였다. 40/42 GHz 신호 레벨은 100 mW(20 dBm)이고, 주파수 3배기 효율은 주파수에 따라 3~5 %이다. 서브 하모닉 믹서의 LO 입력 레벨은 4 mW이다. 그림 4(c)는 40 GHz PLO의 출력 스펙트럼 측정 결과이며, 위상 잡음 측정 결과는 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz 오프셋 주파수에서 각각 -70 , -88 , -105 dBc/Hz로 측정되었고, 120 GHz에서는 $20\text{Log}(3)=9.7$ dB의 성능 저하가 생긴다. ASK 변조 방식의 장점은 PSK 계열

(a) 제작된 120 GHz 도파관 BPF
(a) 120 GHz waveguide BPF

(b) 120 GHz 도파관 BPF의 삽입 손실 측정 결과
(b) Insertion loss measurement result of 120 GHz waveguide BPF

그림 5. 120 GHz 도파관 BPF의 측정

Fig. 5. Measurement of 120 GHz waveguide BPF(No data in the out-of-band).

보다 위상 잡음에 덜 민감하다.

그림 5(a)는 제작된 120 GHz 도파관 BPF이다. 5단의 원통형 공진기로 이루어져 있고, 측정 방법은 파워미터를 이용한 loss 측정 방법을 이용하였다. 파워미터는 ELVA-1 DPM 모델을 이용하였다. 그림 5(b)는 측정된 BPF의 결과이다. 중심 주파수 119 GHz, 삽입 손실 1.3 dB, 대역폭은 5 GHz이다.

수신기는 그림 6(a)와 같이 헤테로다인(Heterodyne) 방식과 그림 6(b)와 같은 쇼트키 다이오드 검출기(ZBD: Zero Bias Detector) 두 방식을 모두 설계 및 제작을 하였다.

일반적으로 헤테로다인 수신기가 직접 검출 수신기보다 수신 감도가 20~30 dB 높으나, 직접 검출 수신기는 LO 모듈이 없기 때문에 하드웨어가 매우 간단하고 소형 경량인 장점이 있다. 헤테로다인 수신기의 RF Front-end 부품은 송신기와 동일하며 H-대역 모듈도 상용품을 사용하였다. ZBD 모듈의 성능

(a) 헤테로다인 수신기의 블록도
(a) Block diagram of heterodyne receiver

(b) 직접검출(ZBD) 수신기의 블록도
(b) Block diagram of ZBD receiver

그림 6. 수신기의 블록도

Fig. 6. Receiver block diagram.

(a) 헤테로다인 수신기의 BB/IF 모듈
(a) BB/IF module for heterodyne receiver

(b) ZBD 수신기의 BB 모듈
(b) BB module for ZBD receiver

그림 7. 헤테로다인 수신기의 BB/IF 모듈 및 ZBD 수신기의 BB 모듈

Fig. 7. BB/IF module of heterodyne receiver and BB module of ZBD receiver.

은 TSS(Tangential Sensitivity)가 -44 dBm, NEP(Noise Equivalent Power)는 $100 \text{ pW} / \sqrt{\text{Hz}}$, Responsivity는 $2,500 \text{ V/W}$ 이다. 그림 7은 제작된 헤테로다인 수

(a) 송신기와 헤테로다인 수신기
(a) Transmitter and heterodyne receiver

(b) 송신기와 직접검출 수신기
(b) Transmitter and direct detection(ZBD) receiver

그림 8. 송신기와 수신기
Fig. 8. Transmitter and receiver.

신기의 BB/IF 모듈과 ZBD 수신기 BB 모듈의 외형이다.

헤테로다인 수신기의 IF 입력 레벨의 범위는 $-45 \sim -15$ dBm이고, 직접 검출 수신기의 BB 입력 레벨 범위는 $-62 \sim -25$ dBm이다. 그림 8(a)는 제작된 송신기(좌)와 헤테로다인 수신기(우)의 외형이고, 그림 8(b)는 제작된 송신기(좌)와 직접검출 수신기(우)의 외형이다.

III. 비디오 신호 전송 실험

3-1 시험장치 구성

비디오 신호 전송 시스템은 그림 9와 같이 테라헤르츠 송신기와 수신기로 구성되고, 송신 및 수신 혼 안테나 사이에 무선 링크의 이득을 증대시키기 위하여 렌즈를 설치하였다. 개인용 컴퓨터(PC)의 DVI 출력을 DVI-to-HD-SDI 변환기를 통하여 NRZ(Non-Return-to-Zero) 형식의 1.485 Gbps HD-SDI 신호(SMPTE292M 표준)로 변환하여 송신기의 데이터 입력으로 인가하고, 테라헤르츠 수신기의 출력 신호는

그림 9. 비디오 신호 전송 시스템
Fig. 9. Test-bed for video signal transmission system.

HD-SDI-to-DVI 변환기를 통하여 PC 모니터 또는 HDTV에 접속하였다. Direct Detection 수신기는 H-band ZBD를 사용하였으며, ZBD 모듈의 DC 출력을 기저대역 모듈을 통하여 HD-SDI-to-DVI 변환기에 연결하였다.

3-2 성능 측정 결과 분석

헤테로다인 수신기의 성능 측정 결과를 그림 10에 나타내었으며, 그림 10(a)는 1.485 Gbps 비디오 신

(a) 1.485 Gbps 기준 신호 (b) 수신 eye diagram
(a) 1.485 Gbps standard signal (b) Received eye diagram

(c) HDTV 수신 영상
(c) Received video images by HDTV

그림 10. 헤테로다인 수신기의 측정 결과
Fig. 10. Measurement results of heterodyne receiver.

표 2. 링크 성능 분석

Table 2. Link performance analysis.

Parameter	Unit	Values	Remarks
1. Transmitter			
IF Power	dBm	-6	0.251 mW
SHM Conv. Gain	dB	-11	Measured Data
Tx RF Power	dBm	-17	0.020 mW
2. Channel			
Carrier Frequency	GHz	246	
Link Distance	m	4.7	
Free Space Loss	dB	93.71	
Tx Antenna Gain	dBi	25	
Rx Antenna Gain	dBi	25	
Lens Gain	dB	28	
3. Receiver			
Rx RF Power	GHz	-32.71	
SHM Conv. Gain	m	-11	Measured data
Rx IF Power	dB	-43.71	
Minimum IF Power	dB	-45	
Link Margin	dB	1.29	1.485 Gbps

호의 기준 eye diagram이고, 그림 10(b)는 4.7 m 거리에 위치한 헤테로라인 수신기로 수신된 신호의 eye diagram이며, 그림 10(c)는 HDTV에 전송된 화면이다.

표 2는 실험 결과의 링크 성능 분석을 나타내었다. 측정된 서브 하모닉 믹서의 conversion gain은 -11 dB이고, IF power는 -6 dBm이며, Tx RF power는 -17 dBm(20 μ W)이다. 이 때 채널(channel)의 링크 거리는 4.7 m가 측정되었으며, 링크 마진 1.3 dB를 고려하면 최대 5 m까지 전송 가능하다. 현재의 시스템은 서브 하모닉 믹서의 과도한 IF power 입력에 의한 파괴를 막기 위해 IF Power를 -6 dBm으로 제한하였으나, 서브 하모닉 믹서의 IF 최대 입력 전력인 -3 dBm으로 높였을 때 링크 거리는 10 m 정도까지 확장될 수 있다.

그림 11(a)는 직접 검출(ZBD) 수신기의 측정된 수신 eye diagram이고, 그림 11(b)는 비디오 대역폭(video bandwidth)이다. 3 dB 대역폭은 400 MHz, 10 dB 대역폭은 1 GHz, 15 dB 대역폭은 1.5 GHz이다. 그림 11(c)는 직접 검출 수신기의 성능 시험 결과로

(a) ZBD 수신기의 수신 eye diagram

(a) Received eye diagram of ZBD receiver

(b) ZBD 수신기의 비디오 대역폭

(b) Video Bandwidth of ZBD receiver

(c) ZBD 수신기의 eye diagram과 BER

(c) Eye diagram and BER of ZBD receiver

그림 11. ZBD 수신기의 측정 결과

Fig. 11. Measurement results of ZBD receiver.

eye diagram과 BER 측정 결과, 1.2 Gbps까지 전송이 가능함을 확인하였다. 268 Mbps에서 영상 전송을 시

표 3. 국외 테라헤르츠 무선 전송 시스템 시연 결과 비교

Table 3. Comparisons of terahertz communication Demo system performances.

성능 규격	일본 NTT	일본 오사카대	독일 TCL	본 논문
주파수대	250 GHz	300~400 GHz	300 GHz	H-band 240 GHz
송신 출력	26 μ W	10 μ W	50 μ W	20 μ W
전송 속도	8 Gbps	2 Gbps	6 MHz BW	1.485 Gbps
전송 거리	50 cm	50 cm	10 m	5 m
시연 연도	2009년	2009년	2008년	2010년
송신기 방식	Photonics	Photonics	Electronics	Electronics

협해 본 결과, 렌즈가 없는 경우 전송 거리는 3.5 cm 이었고, 렌즈를 사용한 경우는 전송 거리가 1 m 이었다.

표 3은 현재까지 국내외에서 시연한 테라헤르츠 무선 전송 시스템의 성능을 비교 요약한 것이다.

일본은 송신기 방식으로 UTC-PD를 이용한 광전 변환 기술을 유일하게 적용하고 있으나, 선진 각국은 50 nm, 35 nm의 HEMT 소자 기술을 이미 이용하여 전자 방식(all electronics) MMIC를 개발하고 있다. 본 논문의 결과는 2010년 10월에 시연을 하였으며, 국외 시연 결과와 비교하였을 때 국제 동등 이상의 수준으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 H-대역의 주파수 범위에서 동작하는 송신기와 수신기를 구현하였다. H-대역의 RF front-end는 서브 하모닉 믹서, 주파수 3배기, 대각선 혼 안테나로 구성하였고, 서브 하모닉 믹서의 LO 주파수는 송신에서 120 GHz, 수신에서 126 GHz를 이용하였다. 변조 방식은 ASK이며, IF 주파수는 5.94 GHz이다. 수신기는 헤테로다인 구조와 직접 검출 구조를 이용하였다. 헤테로다인 수신기 구조로 HD-

SDI 형식을 갖는 1.485 Gbps 비디오 신호를 송신기 출력 20 μ W에서 약 5 m까지 전송하였고, 직접검출 수신기 구조로는 비디오 대역폭 1.2 Gbps까지 전송 가능함을 확인하였으며, 렌즈를 포함한 시스템으로 비디오 대역폭 268 Mbps에서 1 m까지 전송하였다. 본 논문에서의 테라헤르츠 비디오 전송 시스템은 국제 동등 이상의 수준으로 일본에 비해 송신기 구조가 매우 간단한 특징이 있으며, 독일 시스템에 비해 비디오 전송 대역폭이 넓은 특징을 갖는다. 현재 본 1.485 Gbps 비디오 전송 시스템을 바탕으로 향후 10 Gbps Ethernet 신호를 전송할 수 있는 송수신기를 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Piesiewicz et al., "Short-range ultra-broadband terahertz communications: concepts and perspectives", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 49, no. 8, pp. 24-39, Dec. 2007.
- [2] C. Jastrow et al., "300 GHz transmission system", *Electronics Letters 31st*, vol. 44, no. 3, pp. 213-214, Jan. 2008.
- [3] H. J. Song et al., "8 Gbit/s wireless data transmission at 250 GHz", *Electronics Letters 22nd*, vol. 45, no. 22, pp. 1121-1122, Oct. 2009.
- [4] T. Nagatsuma, Y. Kado, "Towards 100- Gbit/s wireless using terahertz waves", *2nd International Workshop on Terahertz Technology 2009*, 2I-C2 (invited talk), Nov. 2009.
- [5] I. Kallfass, A. Tessimann, H. Massler, P. Pahl, and A. Leuther, "An all-active MMIC-based chip set for a wideband 260~304 GHz receiver", *Proceedings of the 5th EuMIC2010*, pp. 53-56, Sep. 2010.
- [6] 정태진, "테라헤르츠 대역 주파수에서 근거리 무선통신 응용을 위한 채널 모델 및 무선 링크 성능 분석", 한국전자과학회논문지, 20(9), pp. 868-882, 2009년 9월.

정 태 진

1979년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소 연구원
1983년 3월~1984년 7월: 대우중공업(주) 대리
1990년 2월: 한국과학기술원 전기

및 전자공학과 (공학석사)

2004년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1984년 9월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 책임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 RF/IF 시스템 설계, 통신시스템 기저대역(BB) 모델 설계

이 원 희

2000년 2월: 건국대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)

2003년 2월: 건국대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)

1998년 3월~1999년 2월: 건국대학교 전자정보통신공학과 교육조교

1999년 9월~1999년 12월: 전자부품

연구원 고주파재료연구센터 위촉연구원

2002년 8월~2008년 1월: LG전자 디지털어플라이언스연구소 책임연구원

2008년 1월~2009년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 Post Doc.

2009년 8월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원

[주 관심분야] 마이크로스트립 안테나 및 공진기 필터 설계, 통신 채널 모델링, 테라헤르츠파 RF/IF 시스템 설계