

## 도플러 레이더 시스템용 VCO 설계 및 제작

### Design and Implementation of a VCO for Doppler Radar System

김 용 환\*   김 현 진\*   민 준 기\*   유 형 수\*   이 형 규\*   홍 의 석\*\*  
(Yong-Hwan Kim) (Hyun-Jin Kim) (Jun-Ki Min) (Hyung-Soo Yoo) (Hyung-Kyu Lee) (Ui-Seok Hong)

#### 요 약

본 논문에서는 도플러 레이더 시스템의 신호원이 되는 전압제어 발진기를 설계 및 제작하였다. 제안된 VCDRO는 CPW라인 형태를 이용하여 동조시키는 새로운 방법을 이용하였다. 유전체 공진기 기관 뒷면에 바랙터 다이오드가 실장된  $\lambda/2$  길이를 갖는 CPW 회로를 구현하여 유전체공진기와 커플링을 시켰다. 바랙터 다이오드는 CPW 한쪽 끝에 실장을 하였다. 제안된 CPW 동조회로는 여러 개의 다이오드를 실장 할 수 있어 동조대역폭을 쉽게 늘릴 수 있다. 동조된 전압제어 발진기는 바랙터 다이오드의 전압을 0~15 V 로 가변시 12 MHz 의 동조대역폭을 나타내었다. 제안된 CPW라인으로 동조된 위상고정 유전체 발진기는 10.525 GHz에서 16.5 dBm의 출력을 나타내었으며, 위상잡음은 -115 dBc/Hz@100 kHz, -105 dBc/Hz@10 kHz, -102 dBc/Hz@1 kHz 의 위상잡음 특성을 나타내었다.

#### Abstract

In this paper, a VCDRO(Voltage Control Dielectric Resonator Oscillator) for signal source of doppler radar system is designed and fabricated. The proposed VCDRO is made with new tuning mechanism using CPW line. The coplanar waveguide of  $\lambda/2$  in length with varactor diode is placed on the metallization side under the dielectric resonator and coupled to it. Tuning varactor diode is mounted at one end of the CPW. The proposed circuit tuned by a CPW allows one more varactor diode to be mounted on the optimized CPW, where a greater sensitivity of frequency tuninig is needed. With varying the biasing voltage for the varactor diode from 0 V to 15 V, output frequency tuning of 12 MHz is obtained. The PLDRO exhibits output power of 16.5 dBm with phase noise in the phase locked state characteristic of -115 dBc/Hz at 100 kHz, -105 dBc/Hz at the 10 kHz, and -102 dBc/Hz at 1 kHz offset from 10.525 GHz, respectively.

**Key Words** : VCO(Voltage control oscillator), CPW(Coplanar Waveguide), Dopler Radar, ITS communication system

\* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

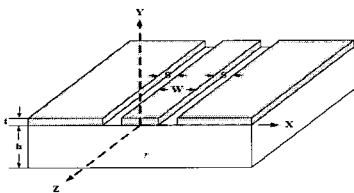
\*\* 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교 수

† 논문접수일 : 2005년 7월 1일

‡ 이 논문은 2004년도 광운대학교 연구원에 의하여 연구되었음.

## I. 서 론

최근 국내 및 전세계적으로 교통량의 증가에 의해 정보통신, 전자제어 등 첨단 기술을 활용한 새로운 교통시스템 개발로서 명명된 지능형 교통시스템(ITS: Intelligent Transport System)의 발전이 가속화 되고 있다. 기존 교통체계의 문제점으로 지적되던 교통체계 구성 요소간 정보 흐름의 단절성을 발달된 정보통신기술을 활용하는 대표적인 무선 통신 수단으로 단거리전용통신(DSRC: Dedicated short Range Communication)이 제시되고 있으며, 최근에는 ADSRC(Advanced DSRC)가 연구되고 있다 [1]. 또한 공항관제 레이더 및 고속 물체의 속도 측정을 위한 도플러 레이더에 대한 국산화 연구가 절실한 실정이다. 이런 도플러 레이더 시스템의 가장 중요한 요소중에 하나가 우수한 성능의 신호원이다. 고성능의 안정된 신호원을 얻기 위해 일반적으로 유전체 공진기를 이용하여 높은 위상잡음 특성을 얻는 발진기를 사용하였으나, 동조 대역폭에 한계가 있다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 주파수 동조를 CPW(Coplanar Waveguide)구조를 이용하였다. 흔히 하이브리드 마이크로파 집적회로와 단일 집적회로의 개발에서 마이크로 스트립은 기판 밑에 금속 접지면을 갖는 구조이며 마이크로 스트립의 불연속은 이미 잘 해석 되어져 있고, 이러한 해석 정보를 이용해 쉽게 마이크로 스트립라인으로 회로를 구현할 수 있다. 그러나, 마이크로 스트립라인은 기판 밑의 접지면과 금속선을 연결하기 위해서 via hole이 필요하다. 이와는 반대로 신호선과 접지면이 동일 평면상에 존재하는 단일 평면 구조의 코플래너 웨이브가이드(Coplanar Waveguide)는



<그림 1> 코플래너 웨이브가이드 구조  
<Fig. 1> Coplanar waveguide structure

회로의 구현이 한쪽만 필요하므로 via hole이 필요 없으며, 구조적인 특징으로 인해 광대역과 대부분의 필드가 슬롯(Slot)에 집중되어 분산(Dispersion)이 적다. 코플래너 웨이브가이드 구조는 1969년 Wen에 의해 제안되었다.

이 구조는 공정의 어려움을 개선하였고, 단일 평면 구조가 직렬과 병렬로 소자를 쉽게 구성할 수 있는 편리성으로 인해 MMIC에 있어서 적합한 구조이다[2].

본 논문에서는 유전체 발진기에 바랙터 다이오드를 결합시켜 위상고정된 발진기를 설계하였으며 10.525 GHz의 기본 주파수를 출력으로 얻도록 하였다. 기존의 마이크로스트립라인으로 바랙터다이오드를 결합하여 발진기의 주파수를 동조시키는 방법대신에 기판 뒷면에 CPW라인과 바랙터다이오드를 결합하여 주파수를 동조시켰다.

## II. 기본이론

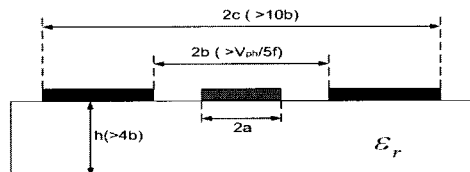
### 1. 코플래너 웨이브가이드 (CPW) 구조

코플래너 웨이브가이드(CPW)는 단일평면 구조로서 초 고주파 및 밀리미터파 전송에 쓰이는 전송선로이다. <그림 >1은 일반적인 코플래너 웨이브가이드 전송선로의 단면구조를 나타내고 있다.

CPW는다음과 같은 장점과 단점을 가진다.

#### 1) 장점

- 접지면과의 연결을 위한 via-hole이 필요하지 않다.
- 다른구조에 비해 상대적으로 분산(Dispersion)이 적다.



<그림 2> 이상적인 CPW 구조의 설계조건  
<Fig. 2> The design condition of ideal CPW structure

- 마이크로스트립 구조에 비해 밀리미터파 대역에서의 손실이 적다.
- 단일 집적 초고주파 회로(MMIC)로의 응용이 용이하다.

2) 단점

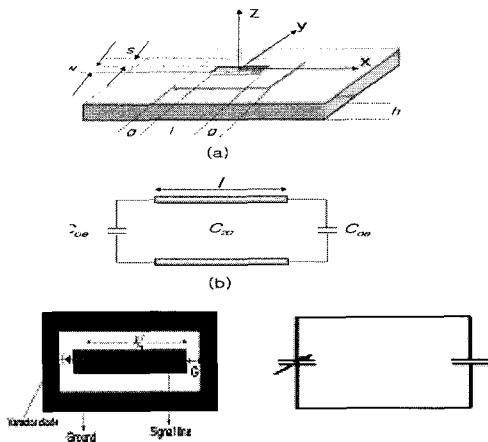
- 구조적 해석이 쉽지 않다.
- 기생모드인 coupled slot-mode 를 억압하기 위해서는 wire-bonding 또는 air-bridge 가 필요하다.

CPW 구조를 이용하여 50ohm을 가지는 특성임피던스 라인을 설계할 때 가장먼저 고려사항은 주파수에 따른 유전체의 두께이다. 신호전류의 누설은 회로의 이웃 부분간에 crosstalk 를 발생시킨다. 신호전류의 누설은 surface mode의 cutoff frequency 를 동작주파수 이상으로 끌어올리는 얇은 기판을 사용하면 방지할 수 있다. 이때 기판의 유전체두께가 접지면간의 거리보다 두 배 이상일 경우 특성임피던스는 유전체의 두께에 독립적으로 작용하게 된다[3]. 이상적인 quasi-TEM모드를 위한 CPW구조의 제한 조건은 <그림 2>와 같다. 여기서,

2a=conductor width 2b=gap to gap width

2c=ground width f=frequency

h=substrate thicjness  $V_{ph}$ =phase velocity



<그림 3>  $\lambda/2$ 길이를 갖는 CPW패턴과 바랙터 다이오드의 결합 및 등가회로  
 <Fig. 3> CPW pattern of  $\lambda/2$  in length with varactor diode and coupling equivalent circuit

<그림 3>은 CPW 패턴과 바랙터 다이오드의 결합을 설명하고 이에 대한 등가회로를 나타내고 있다.

2. 전압제어 발진기의 주파수 동조

전압제어 발진기의 발진 주파수 동조에는 기계적 동조와 전기적 동조방법이 있다.

본 논문에서는 유전체 공진기 결합구조에 한 개의 마이크로스트립과 기판 뒷면에 CPW open end 구조의 패턴을 두어 상호 인덕턴스와 상호 캐패시턴스에 의한 결합을 유도한다. <그림 2>.4 에서 바랙터 다이오드의 전기적 동조 메커니즘을 보이고 있다.

유전체 공진기의 공진 주파수를 전기적으로 변화시키는 동조방법은 다음 식으로 표현된다. 게이트 단자쪽으로 들여다 본 임피던스는  $Z_{in}$  은

$$\sqrt{Z_{in}(1/j\omega C_0)} = Z_0, Z_{in} = \omega \lambda_{CP}^2 \tag{2-1}$$

이며,  $L_t = Z_{C_{00}}^2$  로 치환하면

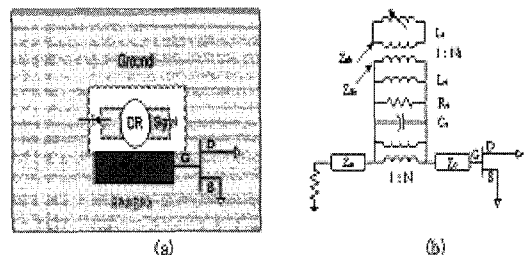
$$Z_{in} = (j\omega L_t / N^2) \tag{2-2}$$

$$L_t = L_t / N^2 \tag{2-3}$$

이며  $N$ 은 이상적인 변압기의 권선비이다. 그리고 총 인덕턴스는

$$L_{et} = L_e // L_t = L_e L_t / (L_e + L_t) \tag{2-4}$$

이다. 따라서 유전체 공진기의 새로운 공진 주파수를 구하면



<그림 4> 튜닝 메커니즘 모델  
 <Fig. 4> Tuning mechanism model

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{et} C_c}} \approx \omega_o (1 + \frac{N_{L1}^2 Z_{c1}^2}{L_{et} C_c}) \quad (2-5)$$

바랙터 다이오드의 캐패시턴스  $C_v$ 는

$$C_v = \frac{C_{j0}}{(1 + W/V_j)^M} \quad (2-6)$$

여기서  $V_j$  : 확산 포텐셜

$C_{j0}$  : zero-bias 접합 캐패시턴스

$M$  : PN 접합에 따른 계수

이므로  $M=1$  인 경우라면 식(2-4)는

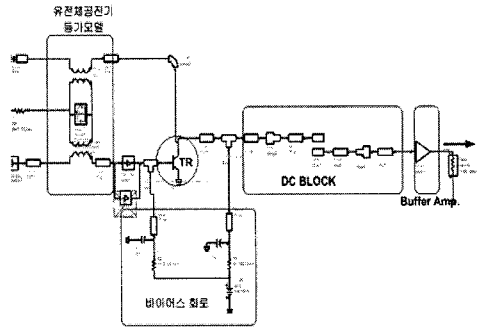
$$\omega = \omega_o \left[ 1 + \frac{N_{L1}^2 (1 + V/V_j)}{L_{et} C_c} \right] \quad (2-7)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_o} \approx \frac{N_{L1}^2 Z_{c1}^2}{L_{et} C_c} \quad (2-8)$$

로 표현되며, 따라서 동조된 새로운 공진 주파수를 얻을 수 있으며 발진기의 주파수를 외부전압에 의해 전기적으로 제어할 수 있다[4-5].

### III. CPW라인으로 동조된 VCO 설계 및 제작

본 논문에서는 발진기 설계를 위해서 초고주파 비선형 설계도구인 HP-EEsof사의 ADS2003A를 이용하여 library에서 지원하는 비선형 모델로 설계를 하였다. Line Calculation을 통해 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스에 해당하는 폭과 파장을 구

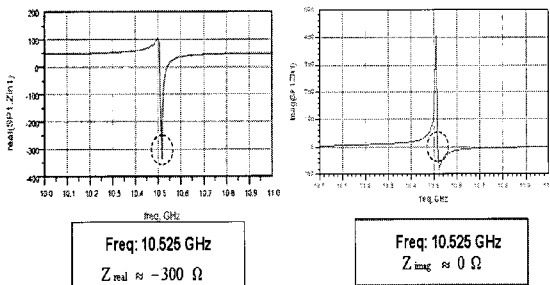


<그림 5> 유전체 공진발진기 회로

<Fig. 5> Schematic of dielectric resonator oscillator

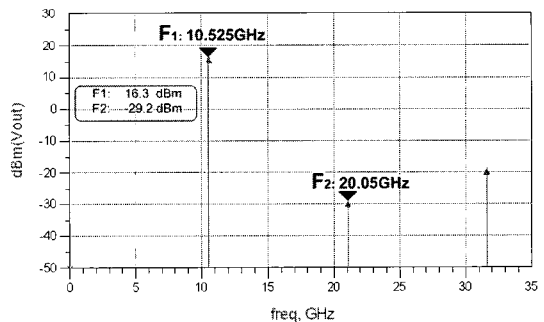
하였으며 공진부는 유전체 공진기 형태로 10.525 GHz에 맞도록 설계하였다. 능동소자로 저 잡음 지수를 갖고 위상잡음을 최소화할 수 있으며 부성저항을 쉽게 얻을 수 있는 NEC사의 2SC5508을 이용하였다. 기판은  $\epsilon_r=2.6$ ,  $H=0.54$  mm,  $T=0.018$  mm 인Chukoh사의 Teflon 기판을 사용하였다. 능동 소자는 위상잡음특성이 좋은 Si BJT를 이용하여 설계하였다.

발진기 형태는 부하 변동에 따른 주파수 안정도가 높은 구조인 병렬 케환형으로 구성하였다. 위상 고정 루프 시스템에서는 전기적 동조가 필요하므로 앞에서 언급한 것처럼 낮은 위상잡음과 빠른 튜닝 속도 특성을 갖는 바랙터 다이오드를 사용하였다. 본 연구에서는 Q값이 높고 전압에 대해 캐패시턴스의 변화가 크고 동조 대역폭이 넓은 M/A com사의 Hyperabrupt 바랙터 다이오드인 package type



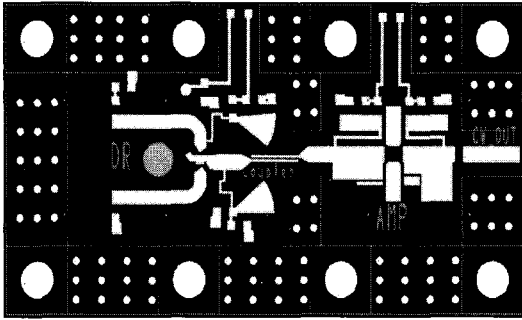
<그림 6> 유전체 공진 발진기의 발진조건

<Fig. 6> Oscillation condition of dielectric resonator oscillator



<그림 7> 유전체 공진 발진기의 전력 스펙트럼

<Fig. 7> Output power spectrum



<그림 8> VCDRO의 레이아웃  
<Fig. 8> Layout of VCDRO

MA46H503을 이용하여 발진 주파수를 동조하였다 [6]. <그림 3>에서는 전압제어 유전체 공진 발진기의 구조를 나타내고 있는데 단일 발진기를 먼저 설계한 후 공진기 부분에 동조 CPW 라인을 추가한 형태이다. 이때 공진기는 대역 통과 필터 특성을 갖게 된다.

초기 발진조건은

$$R_e[Z_{out}] < 0 \quad (3-1)$$

$$I_m[Z_{out}] = -I_m[Z_L] \quad (3-2)$$

발진기를 초기 발진조건에 맞도록 설계한 후 하모닉 밸런스 해석을 통해 기본 주파수 출력특성을 해석하였다. 기본 주파수가 충분한 전력을 가지고 있으므로 방향성 결합기를 이용하면 기본 주파수를 위상고정 루프의 궤환신호로 이용할 수 있다. <그림

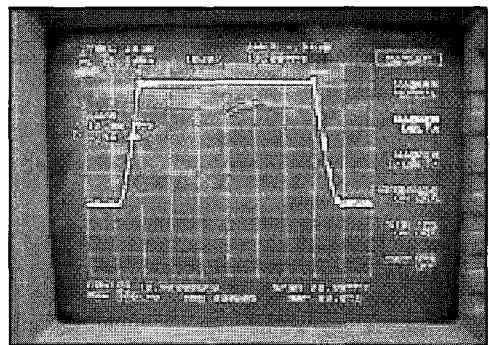
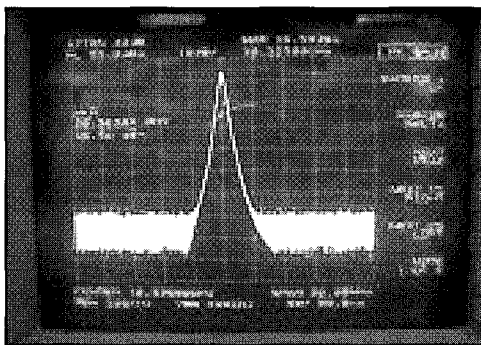
6>은 발진기의 발진조건을 나타낸 것으로 10.525 GHz 주파수에서 발진함을 알 수 있었다.

<그림 7>은 모의실험 결과로 하모닉 밸런스 해석에 의한 고조파 스펙트럼으로 10.525 GHz 주파수에서 16.5 dBm의 출력특성과 약 45 dBc의 2차 고조파 억압특성을 가지고 발진을 하고 있음을 보이고 있다. 모의실험시 buffer amplifier는 ideal amplifier를 삽입하여 설계하였다.

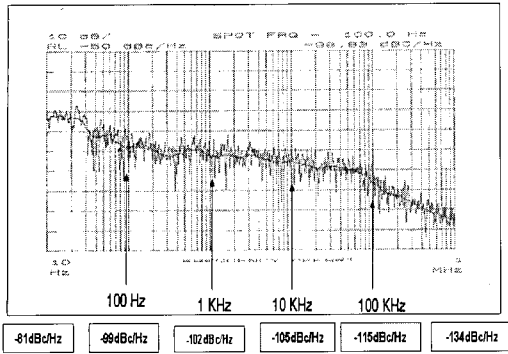
<그림 8>은 실제 설계한 전압제어발진기의 레이아웃이며 유전체공진기 뒷면에 CPW라인과 바랙터 다이오드를 CPW회로 양쪽에 실장하여 유전체공진기를 쉽게 바랙터 다이오드와 결합가능 하도록 설계하였다[7].

#### IV. 실험 및 결과

전압 제어 유전체 공진 발진기의 발진 주파수를 측정하기 위한 장비로는HP8563E를 이용하였다. 사용된 발진기 소자의 바이어스는 약  $V_{ds} = 4V$ ,  $I_{ds} = 18 mA$ 로 하였다. 바랙터 다이오드는 데이터 시트에서 제공하는 인가전압은 2 ~ 20 V이지만 실제 측정할 때에는 0 ~ 15 V까지 가변시키면서 주파수와 출력의 변화를 측정하였다. <그림 9>는 전압제어 유전체 공진 발진기 출력의 전체 스펙트럼 출력을 나타내며 10.525 GHz에서 출력은 16.5 dBm을 나타내었다. <그림 10>은 CPW라인으로 동조된 바랙터 다이오드의 전압을 0 ~ 15 V까지 가변 시켰을 때 대역폭을



<그림 9> 제작된 전압제어 발진기의 출력주파수 특성 <그림 10> 제작된 전압제어 발진기의 동조대역폭  
<Fig. 9> Output power characteristic of fabricated VCO <Fig. 10> Tuning range characteristic of fabricated VCO



<그림 11> Phase noise 특성 측정결과  
<Fig. 11> Measured phase noise characteristic

나타내며 12 MHz의 동조대역폭을 가짐을 나타낸다. <그림 11>은 위상고정시켰을때의 phase noise 측정결과를 나타내고 있다. -115 dBc@100 KHz 및 -105 dBc@10 KHz 의 우수한 성능을 나타내었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 기존의 마이크로스트립라인으로 전압제어 발진기의 주파수를 동조하는 대신 CPW 라인으로 전압제어 발진기의 주파수를 동조 하였다. CPW라인으로 동조된 유전체 발진기는 기존의 마이크로스트립라인을 이용한 방법보다 기판 뒷면에 CPW라인과 바랙터 다이오드의 실장으로 기구물 제작시 주의를 기울여야 한다는 단점은 있으나 유전체 공진기의 위치에 영향을 덜 받고 주파수를 동조할 수 있으며 또한 바랙터 다이오드를 병렬로 쉽게 연결 할 수 있어 동조 대역폭도 좀 더 쉽게 조절 할 수 있는 장점을 지닌다. 앞으로 온도변화에 대한 특성 실험과 온도 보상회로를 연구를 한다면 고안정성과 낮은 위상잡음특성을 필요로 하는 시스템에 사용 가능하리라 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1] K. C. Gupta, R. Grag, and I. Bahl, Microstrip Lines and Slotlines, Artech House, 1996.

<표 1> 유전체 공진 발진기의 성능  
<Table. 1> Performance of VCDRO

구 분	설계사양	측정결과
Frequency	10.525 GHz	10.525 GHz
Out power	>16 dBm	16.5 dBm
위상잡음 (위상고정된 특성)	-90 dBc/Hz @ 1 kHz	-102 dBc/Hz @ 1kHz
	-105 dBc/Hz @ 10 kHz	-105 dBc/Hz @ 10kHz
	-108 dBc/Hz @ 100 kHz	-115 dBc/Hz @ 100kHz
tuning range	0.35 MHz/V	0.8 MHz/V
Tuning voltage	0 ~ 15 V	0 ~ 15 V
Bias condition	4V, 50 mA(max)	4V, 43 mA

[2] D. M. Syahakl and J. B. Davies, "Accurate solution of microstrip and coplanar structures for dispersion and for dielectric and conductor losses," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 27, pp. 694-699, July 1979.

[3] C. P. Wen, "Coplanar Waveguide: A surface strip Transmission Line Suitable for Non-Reciprocal Gyromagnetic Device Application," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 17, pp.1087-1090, Dec. 1969.

[4] D. M. Pozar, Microwave Engineering Second Edition, John Wiley & Sons, 1998.

[5] J. Perez, P. Potrta, and F Sierra, "A comparison of the performance of three phase locked oscillators fabricated at 21 GHz," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 1, pp. 305-308, June 1992.

[6] Alpha Semiconductor Division, Sampling phase detectors, Data Sheet, March 1990.

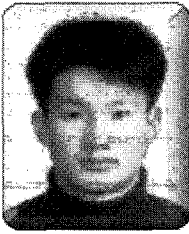
[7] K. Kamogawa, K. Nishikawa, and C. Yamaguchi, " A very wide-tuning range 5 GHz band Si bipolar VCO using three-dimensional MMIC technology, " IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, pp. 1221-1224, June 1997.

〈저자소개〉



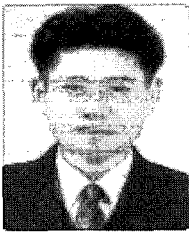
김 용 환 (Yong-Hwan, Kim)

2000년 2월: 광운대학교 전자공학부(공학사)  
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과(공학석사)  
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정



김 현 진 (Hyun-jin, Kim)

2000년 2월: 광운대학교 전자공학부(공학사)  
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과(공학석사)  
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정



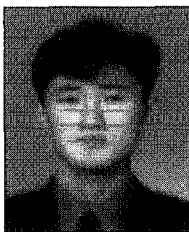
민 준 기 (Jun-ki, Min)

2000년 2월: 광운대학교 전자공학부(공학사)  
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과(공학석사)  
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정



유 형 수 (Hyung-soo, Yoo)

1994년 2월: 명지대학교 전자공학과(공학사)  
2002년 2월: 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)  
2002년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정



이 형 규 (Hyung-kyu, Lee)

2000년 2월: 호원대학교 정보통신공학과(공학사)  
2002년 8월: 광운대학교 전파공학과(공학석사)  
2002년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정



홍 의 석 (Ui-seok, Hong)

1968년 2월: 광운대학교 전자통신공학과(공학사)  
1973년 9월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1982년 11월: 독일 Aachen 공대 전자공학과(공학박사)  
1986년~1987년: 미국 Univ. of Texas 객원교수  
2001년 1월~2001년 12월: 한국통신학회 회장  
2002년 5월~2003년 12월: 한국ITS학회 초대회장  
1992년~현재: 광운대학교 전파공학과 교수