
크레인의 이동거리 측정을 위한 무선 송수신기 설계 및 평가

김태수* · 오인열** · 전중창***

Design and Estimation of Cordless Transmitter & Receiver for Measurement of Crane Moving Range

Tae-Soo Kim* · Inn-Yeal Oh** · Joong-Chang Chun***

요 약

본 논문에서 제안하는 크레인의 이동거리 측정시스템은 전파의 위상 및 크기를 이용하여 거리를 인식하는 기술이다. 제안하는 기술은 거리측정용 무선송수신기를 설계하고, 측정시스템을 구현하며, 송수신된 900Mhz 대 RF 신호로부터 중간주파수인 450Khz 의 아날로그 데이터를 디스크에 저장한다. RF 측정결과 9.3 dBm의 출력과 96 dBc@10Khz의 위상 잡음특성을 얻었고 얻어진 RF 신호에 대한 450 KHz 데이터를 디지털신호처리를 통하여 거리 정보를 얻는 것이다. 측정된 거리의 평가를 위해서 실제거리와 측정된 거리를 비교 분석하고, 또한 평균처리 및 진폭특성을 통한 측정오차 제거 방법을 제시하였다. 최종 거리 측정결과 Ref. 신호에 비하여 10m-30m거리에 대하여 0.12, 그리고 5m 이내의 근거리 실험에서 위상오차가 0.00422이었으나, 진폭특성을 보완하여 4m에서 2.4E-04의 오차를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, the measurement system of crane moving range is concerned with range recognition technology using phase and magnitude of radio wave. By the proposed technology, we design the radio transmitter and receiver and realize the measurement system, and save the data in disk that is earned from 900Mhz RF signal, middle frequency 450Khz of analog signal. As a result of RF measurement, we got 9.3 dBm of RF output and 96 dBc@10Khz of Phase noise. Range information is earned the data through digital signal processing of IF signal. For the estimation of range measured, we analyze the difference between real range and measurement range, and also suggest the method to remove the measurement error using average processing and amplitude properties. A result is 0.12 and 0.00422 deviation in 10m-30m and within 5m respectively, and then 2.4E-04 deviation in 4m by using compensation of level characteristics lately.

키워드

크레인 이동거리, 디지털신호처리, RF 송수신기, 위상 및 진폭특성

I. 서 론

철강공정의 철강 구조물을 옮기는 Crane의 자동 제어

를 위한 위치 인식 뿐 만아니라 물류의 자동화, 군사용 전투 로봇, 재난 구호용 로봇의 제어, 재난시 소방관의 위치인식, 의료 분야, 유비쿼터스를 이용한 실내의 사람

* 위덕대학교 정보통신공학부

접수일자 : 2006. 10. 2

** 한국정보통신대학교 IT공학부

*** 진주산업대학교 전자공학과

위치 인식 등에 대한 연구와 이들에 대한 응용에 관심이 집중되고 있다.

위치인식은 거리측정이 기본이다. 즉, 정확한 거리를 측정할 수 있으면 임의의 위치에 있는 대상물의 위치를 4점의 정보로부터 구할 수 있게 된다. 따라서 지금까지 거리측정 방법으로는 레이저에 송수신기에 의한 방법, 초음파 센서에 의한 방법, 레이다에 의한 방법 등이 주로 다루어져 왔다.[1],[5] 그러나 레이저에 의한 방법은 외부의 광선에 의한 산란 현상으로 외부 환경에 민감하게 작용하며 또한 적진성인 광의 특성에 따른 제약을 많이 받아왔다. 또한 초음파 센서에 의한 방법이 많이 다루어지고 있지만 이 또한 온도나 습도에 의한 방해나 장애물에 대한 오차를 유발하여 이를 극복하기 위하여 고가의 장치가 필요하게 된다. 따라서 저가이면서 여러 가지 장애요소를 극복할 수 있는 전파에 의한 거리측정 및 위치인식 방법을 검토하고, 본 연구를 추진하게 되었다.[5],[6]

본 논문에서는 900Mhz 대역 RF를 이용하여 송수신된 아날로그 데이터를 신호처리 프로세서를 통해 출력되는 위상변화 특성을 이용하여 크레인의 이동거리를 측정할 목적으로 위상응답특성의 분석을 행하였다. 또한 분해능의 개선을 위하여 거리가 멀어짐에 따라서 감소되는 주파수 진폭 특성도 거리 추정에 이용한다.

본 논문에서는 우선 두 송수신기의 거리를 측정하기 위하여 900Mhz 대역 RF 모듈과 CPU를 내장한 송수신기를 구현한다. 여기서 송수신기는 두 가지 종류로 분류하여 제작한다. 하나는 컴퓨터와 연결되어 알고리듬을 수행 할 수 있는 송수신기로 450Khz 주파수의 신호를 출력하게 되며, 두 번째로 900Mhz대의 주파수를 송수신하는 장치로 이 장치는 지속적으로 전파를 발사하게 된다.

다음은 송수신기의 RF모듈에서 2차 IF(450Khz) 중간주파수대역 아날로그 신호를 선택하여 신호처리 프로세서에 의해 처리하여 얻어진 위상응답 특성 데이터의 분석을 통해 두 송수신기 간의 멀어진 거리의 추정을 행한다.[4-7]

II. 거리측정시스템

2.1. H/W세부 설계 및 구현

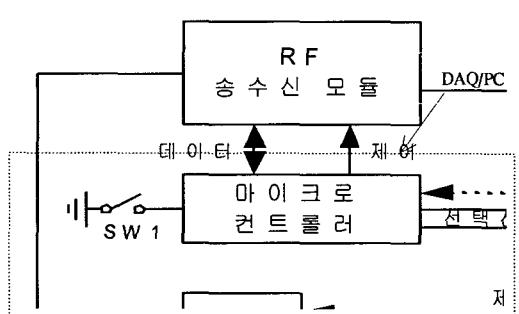


그림 1. 수신기 내부 구조도
Fig. 1. Receiver Inner Scheme

거리의 정확한 측정이 될 수 있도록 RF 구조와 IF 구조에 대한 H/W 구조와 방식을 설계하였다. 즉 정확한 측정이 되도록 하기 위해 2차 IF 신호(450 KHz)를 바로 분석하는 개념으로 접근하였으며, RF 송수신 모듈은 알려진 거리에 대한 Ref. 신호(A)를 기준으로 거리 측정을 원하고자하는 신호(B)를 수신하는 방법으로 하였다.

무선으로 거리를 측정하는데 있어서 문제점은 전파환경이 주변 환경의 변화에 민감하게 동작한다는 것이다. 이 때문에 진폭 감지 방법으로 거리를 측정하는데 무리가 따른다. 이에 신호의 위상 변화량으로써 거리를 측정하는 방법으로 접근하면서 동시에 진폭 감지 방법을 보조 값으로써 지원되도록 하며, 이러한 동작은 Ref. 신호(A)와 더불어 측정되도록 H/W를 구조화함으로써 무선 신호의 문제점을 해결하도록 하였다.

거리 측정 동작을 일반적인 ISM 대역인 900 Mhz 대역에서 동작 시켰다. 동작에 대해서는 거리 측정을 요구할 때는 스위치(SW1)를 통해 입력 받으며, Ref. 신호(A)와 측정 신호(B)를 일정 시간동안 차례로 입력 받게 된다. 각각의 입력 받는 신호는 선택선 A와 선택선 B로 어느 신호가 입력 받는지를 신호처리 프로세서에 알려줌으로써 수신신호를 구분할 수 있도록 하여 메모리에 저장시키게 되고, 분석을 통해 측정된 값을 디스플레이에 나타내도록 DAQ 장비 및 PC를 이용하여 처리하였다.

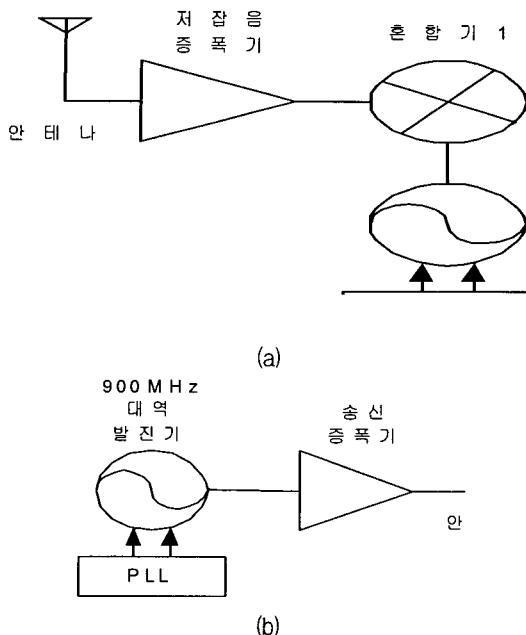


그림 2. RF 송수신부 내부 구조도 (a) RF 수신부
내부 구조도 (b) RF 송신부 내부 구조도
Fig. 2. RF Transmitter-Receiver Inner Scheme (a) RF Receiver Part Inner Scheme (b) RF Transmitter Part
Inner Scheme

RF 송수신기 모듈에서 그림 2의 (a) 그림에 나타낸 것처럼 수신부 내부 구조도는 2차 IF(Intermediate Frequency)를 갖도록 하여 주파수 선택도를 높여서 정확한 450 KHz 신호를 얻게 하는 구조를 가지고 있다.

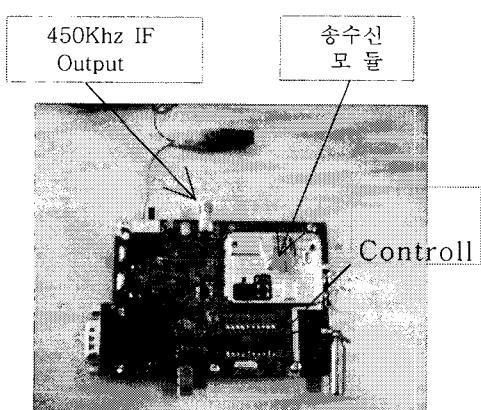


그림 3. RF 송수신기 구현도
Fig. 3. RF Transmitter-Receiver Implementation

또한 저잡음 증폭기를 통해 좋은 수신 감도를 유지하도록 조정 하였으며, 안테나 정합이 고려되도록 접근하여 크레인 범위 내에서 문제없이 거리 측정이 이루어지도록 하였다. 일반적으로 송신 출력과 더불어 수신 감도는 안테나 이후 바로 첫 단의 정합이 중요한 의미를 갖는다.

수신 가능한 신호의 크기는 식(1)과 같다. 여기서 B 는 대역폭이며, F 는 잡음지수, X 는 잡음대비 신호의 크기이다.

$$P_{i,mds} [dBm] = -174 \text{ dBm} + 10lB + F(dB) + X(dB) \quad (1)$$

식 (1)에서 볼 수 있는 것처럼 수신 감도를 높이고자 한다면 수신기의 잡음지수가 중요하다. 시스템의 잡음지수는 식(2)와 같이 정해진다. 여기서 F_1, F_2, F_3 각각은 안테나로부터 첫단의 잡음지수, 두 번째단의 잡음지수, 세 번째단의 잡음지수를 각각 의미한다. 그리고 G_1 은 첫 단의 이득, G_2 는 두 번째단의 이득이 된다. 식(2)에서 볼 수 있는 것처럼 수신감도는 안테나에 인접한 첫 장치의 잡음지수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 이 때문에 송신 출력에도 문제가 되지 않으면서도 잡음지수가 작도록 안테나 정합을 접근하였다.

$$F_o = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \quad (2)$$

그림 2의 (b) 그림은 송신부 내부 구조도이다. 송신부는 정확한 주파수와 저 위상잡음을 갖도록 하는데 역점을 두고 회로를 조정하여 신호를 얻었으며, 이렇게 조정된 송신부 장치를 두 개 이용하여 각각 Ref. 신호와 측정신호를 송출하도록 하였다. 그림 3은 그림 1의 설계에 따른 구현도를 나타낸다.

2.2. 거리측정 알고리듬

위상을 통한 측정 거리를 구하는 방법으로 아날로그 신호 $x(t)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (3)$$

여기서, A 는 진폭, ω 는 각주파수, ϕ 는 위상을 나타

낸다.

이 아날로그 신호를 A/D변환 후의 Discrete 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(nT) = A \cos(\omega nT + \phi) \quad (4)$$

이여, 여기서 T 는 샘플링주기로 아날로그 주파수 450Khz인 경우에 약 1Mhz로 샘플링하면 샘플링 주기 T 는 1.0E-06[sec]이다.

$x(nT)$ 를 FFT 알고리듬 처리를 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.[2]-[3] 즉,

$$X(\omega T) \Leftrightarrow FFT[x(nT)] \quad (5)$$

$X(\omega T)$ 의 실수부 $X_R(\omega T)$ 과 허수부 $X_I(\omega T)$ 에 대하여 크기 $|X|$ 와 위상 Θ 는 $|X| = \sqrt{X_R^2 + X_I^2}$, $\Theta(\omega T) = \tan^{-1}(X_I / X_R)$ 으로 계산된다. 여기서 $\omega = 2\pi f$ 이므로 $f = 450$ KHz에서 기준이 되는 위상성분 Θ 를 알 수 있고, 거리의 증가에 따라서 Θ 가 변화되기 때문에 거리를 예측할 수 있다.

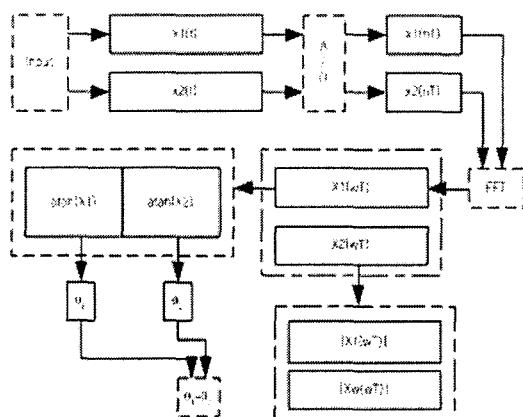


그림 4. 위상특성에 의한 거리계산 흐름도
Fig 4. Range Calculation Flow Chart by Phase Properties

이동 단말(HeadSet1)에서 기지 단말(BaseSet)에 수신된 위상을 θ_1 으로 정의하고, 단위길이인 고정 단말(HeadSet2)에서 기지 단말(BaseSet)에 수신된 위상을 θ_1^1

이라 놓으면, 기준 상대 위상(θ_r)은 $(\theta_r) = |\theta_1 - \theta_1^1|^\circ$ 이다. 그리고 위상의 기준 상대위상과 거리 L_1, L_2 의 차에 대한 기울기를 α 라 놓으면

$$\alpha = \frac{|(\theta_2 - \theta_1^2) - \theta_r|}{L_2 - L_1} \quad (6)$$

과 같이 나타낼 수 있고, 대상 물체까지의 거리(L_i)는 다음 식으로 계산된다. 즉

$$L_i = \frac{|(\theta_i - \theta_1^i) - \theta_r|}{\alpha} \quad (7)$$

이러한 거리계산을 하기위한 알고리듬을 그림 4에 나타낸다.

III. 실험 및 결과

실험을 위해서 그림 3에 나타낸 바와 같이 Baseset을 제작하여 설치하였다. 또한 Baseset이 동작하도록 Headset을 두 셸을 제작하여 Baseset을 구동하도록 하였으며, 그림 4에 나타낸 알고리듬을 이용하여 계산을 행하였다. 또한 신호처리 보드는 NI사 PCI6250을 사용하였다.[7]

900 Mhz 대역 RF를 사용한 거리 측정을 위해서는 무엇보다도 정확한 주파수와 위상잡음 특성을 유지해야 한다. 그림 5는 목적한 914.9875 Mhz를 PLL Locking하여 얻은 레벨 및 안정도 출력 결과이다. 얻은 레벨은 계측기 보호를 위해 10 dB 감쇄기를 넣어서 측정하였기 때문에 9.3 dBm의 정확한 출력 결과를 얻도록 조정하여 ISM 규정 내에서 원거리 측정 가능토록 한 결과이며, 안정도 결과로써 0.1 PPM의 결과를 얻어 정확한 주파수 발생을 하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 위상 잡음 결과도이며, 10 KHz Offset 지점에서 96 dBc의 훌륭한 결과를 얻었다. 96 dBc의 위상잡음 특성 결과로 거리 측정 분석력을 높여 정확한 거리 측정이 되도록 실험을 행하였다.

신호처리 프로세서를 이용한 위상응답 특성을 구하기 위해서 각각 Headset1, Headset2에서 보낸 신호별로

Baseset에서 위상을 구하여 분석을 행하였다. 서론에서 언급했듯이 무선으로 거리를 측정하는데 있어서 문제점은 전파환경이 주변 환경의 변화에 민감하게 동작하기 때문에 신호의 진폭을 감지하는 방법으로 거리를 측정하는데 무리가 따른다. 이에 신호의 위상 변화량으로써 거리를 측정하는 방법으로 접근하면서 동시에 신호 진폭을 감지 방법을 보조 값으로써 지원되도록 하였다.

위상응답에 대한 오차 실험결과를 표 1에 나타낸다. 여기서 위상차는 그림 4에 나타낸 거리계산 알고리듬에서 Baseset과 Headset에서 얻어진 위상특성의 차이다. 시스템의 특성상 측정할 때마다 위상의 변화가 발생하기 때문에 두 장치로부터의 위상 차이로부터 응답특성을 얻는 방법을 통하여 상대적인 거리추정을 행하였다.

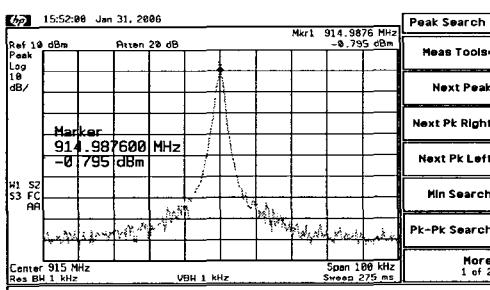


그림 5. 레벨 및 안정도 출력 결과
Fig 5. Output Result of Level and Stability

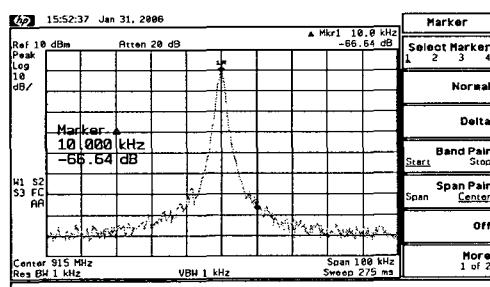


그림 6. 위상잡음 출력 결과
Fig 6. Output Result of Phase Noise

표 1. 위상응답 특성 오차
Table. 1 Phase Response Property Error

구분	거리	10 m	20 m	30 m
위상차		3.38033	2.15023	0.30493
Ref.		3.38033	1.89618	0.41203
위상 오차		0.0	0.25405	0.1071

이 실험에서 위상응답 특성에 대하여 원점을 포함한 4개 지점에서 평균처리를 행하여 얻을 결과 Ref. 신호에 비하여 0.12의 오차범위를 얻을 수 있었다. 그 결과를 표 1에 나타낸다. 또한 비평균 및 평균처리에 대한 특성을 그림 7과 그림 8에 각각 나타낸다. 그림 8은 그림 7에 비하여 데이터를 10회 연속해서 받아 들여 평균하여 얻은 결과이다.

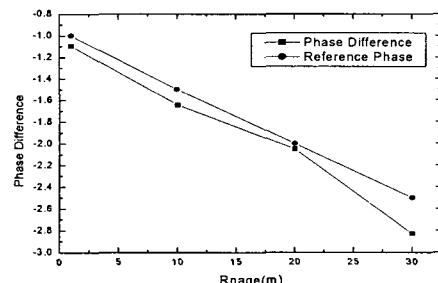


그림 7. 비평균 위상차(10m 이상)
Fig 7. Non Average Phase Variance(over 10m)

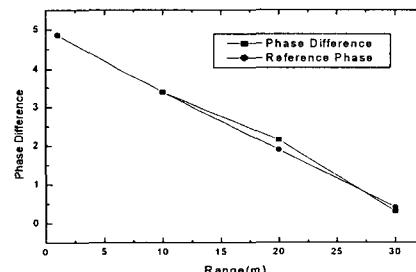


그림 8. 평균 위상차(10m 이상)
Fig 8. Average Phase Variance(over 10m)

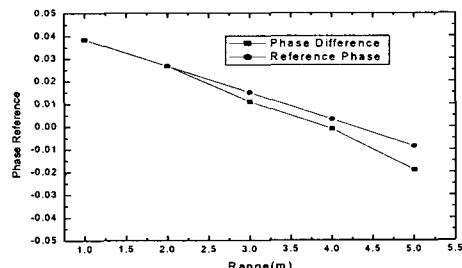


그림 9. 평균 위상차(5m 이내)
Fig 9. Average Phase Variance(within 5m)

다음으로 5m이내의 거리에서 측정하여 얻은 결과를 그림 9와 그림 10에 각각 나타낸다. 그림 9에서는 1m-5m의 평균위상차의 경우 0.00422의 오차를 갖는다. 이 오차를 보다 정확하게 보완하기 위하여 진폭특성을 이용한다. 진폭특성을 이용한 결과가 그림 10이다.

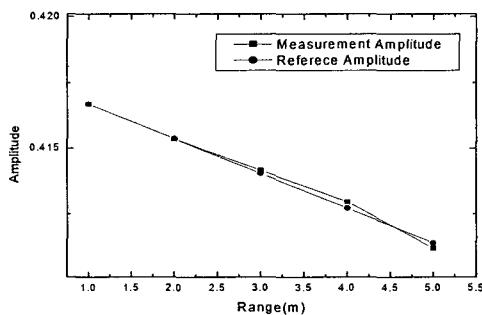


그림 10. 평균 진폭(5m 이내)
Fig. 10. Average Amplitude(within 3m)

그림 10의 특성을 얻기 위해서 10회의 위상 평균처리와 5회의 진폭특성의 보정처리를 행하였고, 그 결과 4m에서의 오차를 2.4E-04로 줄일 수 있었다. 거리가 6m 이상 되는 경우에는 주변의 건물이나 장애물의 영향으로 반사파가 발생하여 거리가 증가하는 경우에 진폭이 감소되어야 하나, 반대로 증가되는 경우가 발생하여 본 실험에서는 6m이상의 경우는 결과에 포함시키지 않았다. 또한 수차에 걸친 평균처리와 진폭특성의 보정처리를 하지 않으면 양호한 특성을 얻기 어려웠는데, 이는 DAQ 장치가 신호 주파수의 2배를 겨우 넘는 범위의 낮은 사양이어서 신호처리에 한계가 있었다.

IV. 결 론

송수신기의 아날로그 상에서 900Mhz 대역 RF를 사용한 거리 측정을 위해서는 무엇보다도 정확한 주파수와 위상잡음 특성을 유지해야 한다. 이에 따라 914.9875 Mhz를 PLL Locking하여 9.3 dBm의 정확한 출력 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 위상 잡음 결과로 10Khz Offset 지점에서 96 dBc의 훌륭한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 A/D변환을 실행하여 위상응답 특성 및 진폭응답 특성으로부터 얻은 거리추정 결과 원점을 포함한 4개 지점에서

평균 처리하여 얻을 결과 Ref. 신호에 비하여 10m-30m 거리에 대하여 0.12, 그리고 5m 이내의 근거리 실험에서 위상오차가 0.00422이었으나, 진폭특성을 보완하여 4m에서 2.4E-04의 오차를 얻을 수 있었다. 따라서 위상응답 특성을 활용하여 거리를 추정하였고, 위상 만 이용한 경우의 오차를 줄이기 위하여 진폭특성을 이용하여 근거리에서는 측정오차를 줄일 수 있었다. 향후 송수신장치의 보다 정밀한 개발 및 DAQ 장치의 보완, 그리고 알고리듬 개선을 통하여 정확한 거리 추정이 가능하리라 기대한다.

참고문헌

- [1] M. Nowogrodzki, R. Kipp, D. Mawhinney, "Radar Instruments: Sensors for Industrial Applications", RCA Engineers, Vol. 27. No. 5, pp. 23-29. Oct., 1982
- [2] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, "Discrete Time Signal Processing", pp. 582-585, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989
- [3] A. Papoulis, "The Fourier Integral and its Applications", New York : McGraw-Hill, 1962
- [4] 최영환, "각속도 적분 사이로의 불규칙 오차 특성 분석", 유도무기 학술대회논문집, pp.143~148, 1997.
- [5] 김정목, 임종수, 전중창, 김태수, 안광호, 이승학, "YIG-VCO를 사용한 산업용 마이크로파 거리계의 개발", 한국전자파학회논문집, Vol.11, No.1, Jan. 2000
- [6] 김태수, 오인열, 전중창, "900Mhz 대역 RF를 이용한 거리측정 시스템의 주파수특성 분석", 한국해양정보통신학회 2006년도 춘계종합학술대회, Vol.10, No.1, pp.997-1000, 2006
- [7] National Instruments, DAQ Quick Start Guide, , N.I. Corp., pp. 16-31, Feb. 2005

저자소개



김 태 수(Tae-Soo Kim)

1987년 경북대 전자공학과(학사)
1991년 요코하마국립대 전자정보공
학과(공학석사)

1995년 요코하마국립대 전자정보공학과(공학박사)
1996년 ~ 현재 위덕대학교 정보통신공학부 부교수
※ 관심분야: 디지털신호처리, 영상인식, 수치해석, 휴면
인터넷페이스, 회로이론, 무선LAN



오 인 열(Inn-Yeol Oh)

1993년 광운대 전자공학과 (학사)
1996년 광운대 전자공학과(공학석사)
2003년 광운대 전자공학과(공학박사)

1996년 ~ 1999년 (주)LG정보통신 중앙 연구소 이동통신단
연구원
2003년 ~ 2005년 (주)햄팩스GSM/CDMA단말기개발팀장
2005년 ~ 2006년 위덕대학교 정보통신공학부 전임강사
2007년 ~ 현재 한국정보통신대학교 IT공학부 연구조교수
※ 관심분야: 이동통신시스템 및 부품연구, 디지털방송
및 LMDS 기술, 고출력 증폭기 선형화 기술



전 중 창(Joong-Chang Chun)

1984년 경북대 전자공학과 (학사)
1991년 포항공대 전자전기공학과
(공학석사)

1995년 포항공대 전자전기공학과(공학박사)
2003년 ~ 현재 진주산업대학교 전자공학과 부교수
※ 관심분야 : 마이크로파센서 시스템, 마이크로파회로
수치해석, 능동 배열 안테나, 무선 이동통신