

위성통신안테나 추적제어를 위한 DSP 기반의 협대역신호 전력 검출기

DSP based Narrow-Band Signal Power Detector for Tracking Control of Satellite Antenna

김 원 호*

Won-Ho Kim*

요 약

본 논문은 협대역의 위성통신 수신신호 전력을 측정하여 이동형 위성통신 안테나를 추적제어하기 위한 DSP 기반의 협대역 위성통신 신호전력 검출기를 제안한다. 기존의 아날로그 검출방식에 의한 협대역 위성통신 신호전력 검출기는 위성 전파경로 상에서 발생하는 반송파의 중심주파수 천이로 인해 고정된 아날로그 필터대역을 통과하여 검출되는 신호 전력의 오차가 심하고 전송 신호의 대역폭 가변에 따른 아날로그 필터의 대역폭을 변경하기가 용이하지 않다. 따라서 이러한 반송파 주파수 천이에 영향 받지 않고 가변 하는 신호 대역폭에 대응하는 필터를 실시간으로 프로그래머블하게 지원하기 위하여 DSP 기반의 협대역 디지털 위성통신 신호전력 검출기를 제안하였다. 제안된 협대역 위성통신 신호전력 검출 알고리즘은 FFT를 이용하여 주파수 천이된 협대역 위성통신 신호의 주파수를 탐색하고 프로그래머블한 디지털 필터를 선택하여 필터링한 다음, 일정구간 주기로 신호전력을 계산하여 12비트 해상도로 출력하는 기능을 가진다. TMS320C5402 DSP 칩을 기반으로 설계 제작된 신호전력 검출기의 실제 시험을 통하여 제시된 요구기능과 규격을 만족하면서 동작함을 검증하였고 실용성을 확인하였다.

Abstract

This paper presents DSP based narrow band satellite communication signal power detector for tracking control of mobile satellite antenna system. An analog filter based conventional power detector has poor performance due to frequency drift of carrier. Also, it is very difficult to change an analog filter bandwidth according to changed bandwidth of transmitted signal. To solve these difficulties, we proposed DSP based signal power detector, which is easy to change bandwidth of filter and to match shifted frequency of carrier. The proposed signal power detector consists of a FFT function to measure frequency drift of carrier, a programmable filter bank function to limit of received signal bandwidth and a power calculation function to measure power of filtered signal in 12-bit linear scale. Test results of implemented signal power detector, based on TMS320C5402 DSP, showed that it satisfied required functions and performances and properly operated.

Keywords : Satellite Communication System, Antenna Tracking, DSP, Signal Detector

I. 서 론

위성을 이용한 통신 및 방송 시스템은 광대역과 동보성을 가지는 단방향 또는 양방향 서비스를 제공할 수 있는 통신수단으로서 점차 이용이 증대되고 있다. 이러한 위성통신 및 방송서비스는 고정서비스에서 이동서비스로의 요구가 확대되고 있는 추세이며 이러한 이동서비스를 지원

할 수 있는 시스템의 기술개발과 서비스개발이 활성화 되고 있다. 기존의 위성통신 시스템은 두 지점의 단말국간 음성 및 데이터 통신이 주를 이루었으나 특정 데이터를 동시에 지역적으로 넓게 퍼진 단말 사용자들에게 방송하는 서비스들이 활발히 개발되고 있으며 양방향 서비스를 위한 시스템으로 확장되고 있다.[1-3] 고정된 단말에서는 수동으로 설치되고 측정 장비를 이용한 위성 안테나 설정에서 추적제어 동작은 필요하지 않다. 그러나 증대되고 있는 이동형 위성통신 단말의 안테나는 단말의 움직임에 따라 위성에 대한 지향성을 유지하기 위하여 추적제어 기능

* 공주대학교 전기전자공학부

접수 일자 : 2006. 6. 26 수정 완료 : 2006. 9. 20

논문 번호 : 2006-3-13

은 필수적으로 요구된다. 이동형 위성통신 안테나의 추적 제어를 위한 일반적인 방법은 위성으로부터 수신되는 통신 신호의 전력이나 신호레벨을 측정하고 측정된 신호전력이나 신호레벨이 커지는 방향으로 안테나를 제어하는 방식이 사용되고 있다. 그림 1은 일반적인 이동형 위성 안테나 시스템의 구성도를 나타내며 위성튜너, 신호전력(신호레벨) 검출기, 추적제어기, 위성안테나로 구성된다. 위성튜너(Tuner)는 위성 안테나로부터 입력되는 RF (Radio Frequency) 신호를 Low-IF (Intermediate Frequency) 신호로 하향 변환하는 기능을 수행한다. 신호전력 또는 신호레벨 검출기는 수신신호의 전력이나 신호레벨을 측정하여 추적제어기로 전달하며 추적제어기는 이 전력이나 신호레벨 값에 따라 위성 안테나의 방향을 위성에 지향성을 가지도록 안테나 구동기를 제어한다.[4],[5]

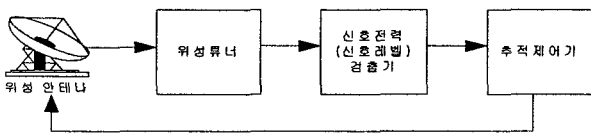


그림 1. 이동형 위성 안테나 시스템의 구성도

Fig. 1. Architecture of satellite mobile antenna system.

기존의 이동형 안테나 시스템에 적용된 아날로그 방식의 신호레벨 측정회로는 그림 2와 같다. 하향 변환된 Low-IF 신호를 IF 대역제한필터로 필터링하고 다이오드 기반의 포락선(Envelope) 검출기를 사용하여 신호레벨을 측정한다. 또는 IF 대역제한필터, 자승기와 적분기로 구성된 전력검출기 (Power Detector)를 사용하여 측정된 신호전력 값을 DA변환하여 추적제어기 프로세서로 전달하고 이 값을 이용하여 위성안테나를 추적제어 한다.[5] IF 대역제한필터는 신호대역외의 잡음을 제거하는 기능을 가지며 아날로그 필터의 중심주파수와 대역폭은 특정값으로 고정되어 있다.

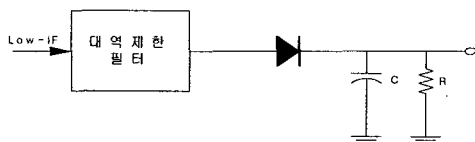


그림 2. 다이오드 기반의 신호레벨 검출기

Fig. 2. Diode based signal level detector.

전술한 아날로그 검출방식은 DBS 위성방송 신호나 광대역 위성통신 신호일 때는 주파수 천이의 영향이 상대적으로 큰 문제가 되지 않으나 신호의 대역폭이 수십 kHz 인 협대역 위성통신 신호일 때는 보통 위성링크 상에서 $\pm 100\text{kHz}$ 이내로 나타나는 주파수 천이로 인해 검출되는 신호 전력의 값이 부정확하거나 아예 검출되지 않아 이동형 위성통신 안테나의 추적제어 신호로 사용하기에는 적합하지 않다. 이런 현상의 주 요인은 반송파의 중심 주파

수가 천이된 상태로 수신 되는데 검출기에서 중심주파수가 고정된 아날로그 IF 대역제한 필터를 통과한 수신신호 전력의 열화현상은 피할 수가 없다. 또한, 전송되는 신호의 대역폭이 변경되면 이에 대응하여 신호전력 검출기의 IF 대역제한 필터폭을 변경해야 되는데 아날로그 방식으로는 물리적인 필터 절체에 의해서만 가능하다. 이러한 제한요소가 있는 아날로그 검출방식을 실시간으로 융통성 있게 가변시키면서 수신신호의 전력을 정확하고 신속하게 측정할 수 있도록 DSP(Digital Signal Processor) 기반의 디지털 방식에 의한 검출방식을 제안함으로써 문제점들을 개선하고자 한다. 제안된 검출방식은 주파수 천이된 반송파의 중심주파수는 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 중심 주파수를 탐색 결정하고 탐색된 중심 주파수에 매칭되는 디지털 필터를 선택하여 필터링 한 다음 수신신호의 전력을 측정하는 방식이다. 이 방식은 위성링크 전파 과정에서 발생하는 주파수 천이에도 영향을 받지 않으면서 수신신호에 매칭되도록 필터링하고 필터링된 신호의 전력을 충실하게 측정함으로써 기존의 아날로그 방식에서 발생하는 문제점을 제거시켜 줌으로서 이동형 위성통신 안테나의 추적제어 성능을 크게 향상시킬 수 있는 수단을 제공할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 반송파의 중심 주파수 천이 값의 변동이 신호의 대역폭에 비해 상대적으로 크고 전송되는 신호 대역폭이 가변 하는 조건하에서도 수신되는 신호의 전력을 충실하게 측정하여 안테나 추적제어 성능을 개선시키기 위한 DSP 기반의 협대역 위성통신 신호전력 검출방식을 제안하고, 설계 제작된 신호전력 검출기와 신호발생기를 사용하여 기능과 성능을 시험하고 확인한 결과를 기술한다.

II. 신호전력 검출기의 요구규격

이동형 협대역 위성통신 시스템의 안테나 추적제어를 위한 신호전력 검출기의 요구규격은 다음과 같다.

- IF 중심 주파수: 400kHz
- 신호 대역폭: 30kHz
- 주파수 천이량 : $\pm 100\text{kHz}$ 이내
- 입력신호의 종류: Pure Carrier(시험용) 또는 BPSK/QPSK 변조 신호
- ADC 주파수: 3.2MHz
- 전력 갱신주기: 1ms
- 전력 출력포맷: 12비트, 선형스케일

수신되는 위성통신 신호의 IF 중심 주파수는 400kHz 이고 검출대상 위성통신 신호는 30kHz 대역폭을 가진다. 위성의 움직임과 단말의 이동에 의한 도플러 천이와 위성과 지구국의 발진기 주파수 변동을 포함한 상향 및 하향 위성링크에서 발생하는 중심주파수 천이 량은 $\pm 100\text{kHz}$

이내의 값을 가진다. 신호전력 검출기로 입력되는 수신 신호 종류는 자체시험을 위한 무변조된 순수 반송파(Pure Carrier) 또는 BPSK/QPSK 변조신호이다. ADC 샘플링 주파수는 신호의 중심주파수 가변을 고려하여 3.2MHz로 한다. 수신신호의 전력 측정값은 1ms 주기로 측정하여 갱신하고 출력 포맷은 12비트의 선형 스케일로 만들어 추적 제어 프로세서로 전달한다.

III. DSP 기반의 신호전력 검출기

제안하는 DSP기반의 협대역 위성통신 신호전력 검출기의 기능 구성도는 그림 3과 같다.

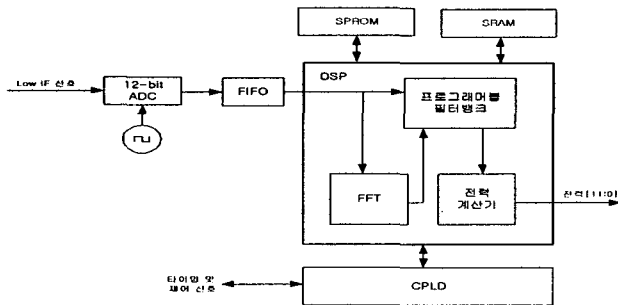


그림 3. 협대역 위성통신 신호전력 검출기의 기능 구성도
Fig. 3. Functional block diagram of narrow band satellite communication signal power detector.

위성통신 신호전력 검출기의 DSP 기능은 수신되는 신호의 중심주파수 천이 량을 계산하는 FFT 기능, 천이되어 입력되는 주파수에 대응하는 디지털 대역통과필터를 선택하고 수신 신호를 필터링하는 프로그래머블 필터뱅크 기능, 필터의 출력신호를 사용하여 신호의 전력을 계산하여 12비트 해상도로 출력하는 전력계산기 기능으로 이루어진다. FFT 기능은 256 샘플 단위로 식(1)과 같은 식에 의해 계산하고 수신신호의 중심주파수를 검출한다.[6]

$$X_N(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (1)$$

프로그래머블 필터뱅크에서는 30kHz 대역통과 필터가 그림 4와 같이 배치된다. 각 필터의 계수 값을 DSP 메모리에 테이블로 저장하였다가 FFT 기능에 의해 검출된 중심주파수와 매칭되는 필터를 선택하여 수신신호를 필터링한다. 설계된 필터뱅크는 수신신호 대역폭(30kHz)의 1/2인 15kHz 간격으로 필터를 구성하고 최대 ±125kHz 이내의 주파수 천이를 고려하여 160kHz~640kHz 대역을 지원하도록 설계한다. 필터뱅크의 필터선택은 검출된 중심주파수의 값이 특정필터의 중심주파수 ± 7.5kHz(신호대역폭의 1/4) 이내에 위치하는 필터를 수신신호 대역통과필터로 선택한다.

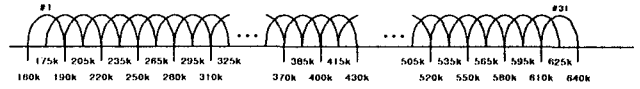


그림 4. 프로그래머블 필터뱅크의 구성도
Fig. 4. Diagram of programmable filter bank.

설계한 30kHz 대역통과 FIR 필터의 이득특성과 위상특성은 그림 5와 같으며 FIR 필터의 설계는 매트랩(Matlab)의 FDS 툴 박스를 사용하였다.[7] 필터의 탭수는 65개이고 샘플링 주파수는 3.2MHz, 해밍창을 이용하여 설계하였다. 신호의 대역폭이 가변되더라도 용이하게 프로그램 수정에 의해 필터뱅크를 추가하거나 기능 요구사항에 따라 여러 개의 필터뱅크를 미리 설계하여 구현할 수 있으며 DSP의 메모리 크기에만 제한을 받는다.

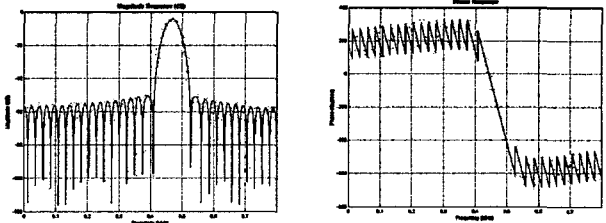


그림 5. 30kHz 대역통과 필터의 이득과 위상 응답
Fig. 5. Magnitude and phase response of 30kHz band-pass filter.

전력계산기 기능은 필터링된 수신 신호의 전력을 32샘플 단위로 식(2)를 이용하여 평균값을 계산하고 12비트의 이진수 값으로 출력한다.

$$POWER_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} r(m)^2 \quad (2)$$

IV. 설계 및 구현

그림 3과 같은 기능구성도를 실현하기 위한 하드웨어와 DSP 프로그램의 설계 및 구현은 다음과 같다. DSP는 TI사의 TMS320VC5402PGE100 칩을 사용하였으며 DSP칩의 주요 특징은 다음과 같다.[8]

- 10ns 명령어 사이클, 고정소수점 연산 DSP
- 16k x 16 dual access on-chip RAM
- 40-bit ALU, 17x17 하드웨어 곱셈기
- 최대 1M x16-bit 외부 프로그램 메모리 공간
- 144-pin LQFP 패키지
- 3.3V 전원

DSP의 소프트웨어는 1ms 주기로 인가되는 외부 인터럽트 신호에 의해 순차적으로 FFT, 디지털 필터링, 신호

의 전력계산 동작을 그림 6과 같은 동작 흐름도에 의하여 무한반복 동작을 수행한다. 인터럽트 서비스 루틴(ISRO)의 동작은 외부 타이머에 의해 1ms 주기로 인가되는 하드웨어 인터럽트 트리거 신호가 인가될 때 마다 시작하며 인터럽트 플래그(IF0)를 세트하는 동작을 수행한다. 세트된 인터럽트 플래그는 메인 프로그램의 주기적인 동작 시작을 트리거하며 메인 프로그램의 순차적인 동작이 완료되면 세트된 인터럽트 플래그는 클리어 된다.

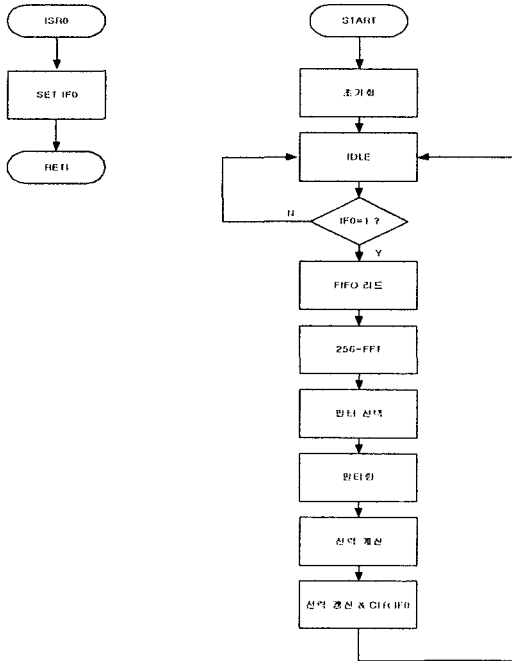


그림 6. DSP 소프트웨어 동작 흐름도
Fig. 6. Flow chart of DSP software operation.

ADC(Analog to Digital Converter)기능은 수신되는 Low-IF신호를 샘플링하고 12비트로 변환하는 기능을 수행하며 최대 10Msps 변환성능을 가지는 National Semiconductor사의 ADC12010CIVY칩을 사용하였다. 설계에 적용된 ADC 샘플링 주파수는 3.2MHz이고 12비트 오프셋 이진수(off-set binary) 값으로 양자화 한다.

FIFO(First In First Out) 메모리 기능은 ADC 출력을 버퍼링 하였다가 DSP로 입력하는 기능을 수행한다. Cypress 사의 CY7C4255V-15AC칩을 사용하며, 8k x 18 크기를 가지고 동기방식으로 동작하며 최대 66 MHz 동작 속도를 지원한다.

SPROM(Serial Programmable ROM)과 SRAM(Static RAM)은 DSP의 프로그램과 필터뱅크의 계수 값을 테이블로 저장하는 기능을 가진다. SPROM은 ATMEL사의 AT25HP512칩을 사용하며 512k(65,536 x 8) 크기를 가진다. SRAM은Cypress사의 CY7C1041CV33칩을 사용하며 4Mbit (256kx16) 크기를 가진다.

CPLD는 신호전력 검출기 동작에 필요한 제어 및 타이밍 신호를 발생하는 기능이 구현된 프로그래머블 로직 게

이트 칩이다. Xilinx사의 XC95288XL-6PQ208C칩을 사용하였으며, 주요 특징은 다음과 같다.[9]

- 6ns pin-to-pin 로직 지연
- 동작 주파수: 최대 208MHz
- 288 macrocells with 6,400 usable gates
- 208-pin PQFP 패키지
- 3.3V 전원

설계 제작된 위성통신 협대역신호 전력검출기의 보드는 그림 7과 같다.

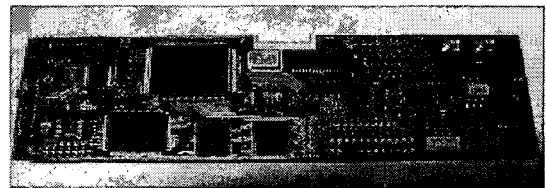


그림 7. 설계 제작된 위성통신 협대역신호 전력검출기 사진
Fig. 7. Photo of implemented narrow-band satellite communication signal power detector.

V. 실험 및 결과

제시된 요구규격을 만족하는지 검증하기 위해 신호발생기를 이용하여 주파수 천이를 반영한 순수 반송파 신호를 인가하고 이를 FFT하여 천이된 중심주파수를 탐색한 다음, 매칭되는 대역통과 필터를 선택하여 필터링하고 신호의 전력을 계산하는 위성통신 협대역신호 전력검출기의 동작을 확인하였다. 기능과 동작 확인은 TI DSP 에뮬레이터와 소프트웨어 개발 툴(CCS)을 이용하여 확인하였다.[10] 그림 8은 DSP 에뮬레이터를 이용한 하드웨어 시험 결과 화면이다. 그림 8의 오른쪽 하단 그래프는 3.2MHz로 샘플링 되어 입력되는 468.75kHz (중심주파수 400kHz로부터 68.75kHz 천이된 정현파) 순수 반송파의 샘플 값을 DSP 프로그램에 의해 리드하여 그래프로 나타낸 것이고, 왼쪽 상단 그래프는 리드한 샘플 값을 FFT하여 주파수 값으로 표시한 그래프이다. 입력되고 있는 468.75kHz 정현파 신호의 주파수 성분을 보여주고 있다.

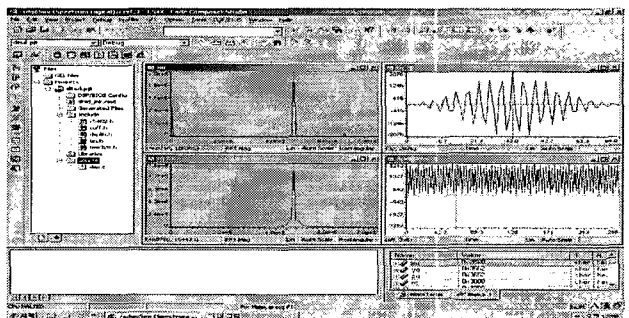


그림 8. TI DSP 에뮬레이터를 이용한 시험 결과 화면
Fig. 8. Test results picture by using TI DSP emulator.

오른쪽 상단 그래프는 FFT에 의해 입력되는 신호의 중심 주파수가 결정되어 선택된 30kHz 대역통과 필터(중심주파수 475kHz)의 임펄스 응답 그래프이다. 왼쪽 하단 그래프는 선택된 대역통과 필터를 통과한 출력신호를 FFT하여 표시한 그래프이다. 필터링에 의해 직류성분과 고조파 성분이 제거된 것을 확인할 수 있다. 필터의 선택은 그림 9와 같이 FFT 검출주파수가 필터의 중심주파수 $\pm 7.5\text{kHz}$ (신호대역폭의 1/4) 이내에 위치하는 필터(중심주파수 =475kHz)가 선택되었다. 아울러 2장에서 제시한 요구규격을 만족하는가를 검증하기 위해 입력되는 정현파 신호의 주파수를 $400\text{kHz}\pm 100\text{kHz}$ 범위로 가변하면서 실험을 한 결과 FFT 기능에 의해 중심 주파수를 정확하게 검출하였으며 이 중심 주파수에 매칭되는 대역통과필터를 선택하여 신호를 필터링하고 필터링된 신호의 전력을 12비트 값으로 계산하여 출력하였다.

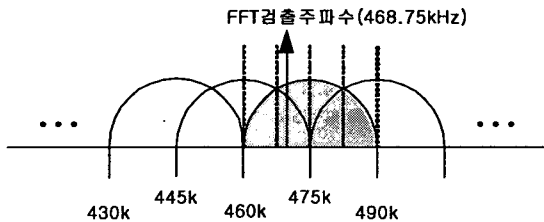


그림 9. 선택된 대역통과 필터
Fig. 8. Selected pass-band filter.

VI. 결론

본 논문에서는 협대역의 위성통신 수신신호 전력을 측정하여 이동형 위성통신 시스템의 안테나 추적 제어에 사용하기 위한 DSP 기반의 협대역 위성통신 신호전력 검출 방식을 제안하고 설계 제작하여 기능과 성능을 검증하였다. 제안된 협대역 위성통신 신호전력 검출 방식은 FFT를 이용한 주파수 검출기능, 검출된 주파수에 대응하는 필터의 선택과 수신신호의 대역제한 필터기능, 필터링된 신호의 전력을 12비트 해상도로 계산하여 안테나 추적제어기로 제공하는 기능으로 구성되며 기존의 아날로그 방식에 비해 반송파 주파수 천이에 영향 받지 않고 신호의 전력을 충실하게 측정할 수 있으며 가변 하는 신호 대역폭에 융통성 있게 실시간으로 대응할 수 있어 이동형 위성통신 안테나 시스템의 추적제어를 위한 전력검출기로 적합한 것으로 사료된다. TMS320C5402 DSP 칩을 사용하여 설계 구현된 전력검출기와 신호발생기를 이용한 실제 시험을 통하여 제시된 요구기능과 성능규격을 만족함을 검증하였고 실용성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Yun-Jeong Song, Pan-Soo Kim, Deock-Gil Oh, Soon-Ik Jeon, Ho-Jin Lee, "Development of mobile broadband interactive satellite access system for Ku/Ka band", International Journal of Satellite Communications and Networking, vol.24, no.2, pp. 101-117, March-April 2006.
- [2] H.Hkinnemoen, R.Leirvik, J.Hetland, H.Fanebust, V.Paxal, "Interactive IP network via satellite DVB RCS", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol.22, No.3, pp.508-517, Apr.2004.
- [3] J.Neale, R.Green, J.Landovskis, "Interactive channel for multimedia satellite networks", IEEE Communications Magazine, pp.192-198, March 2001.
- [4] C.Densmore, V.Jamnejad, "A satellite tracking K and Ka band mobile vehicle antenna system", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol.42, no.4, November 1996.
- [5] R.Giubilei, "Analysis of a satellite antenna tracking loop driven by BPSK modulated signals", International Journal of Satellite Communications, 15, 1997.
- [6] Chi-Tsong Chen, Digital Signal Processing-Spectral Computation and Filter Design, Oxford University Press, 2001.
- [7] Signal Processing Toolbox User's Guide, The MathWorks, 2006.
- [8] TMS320C5402 DSP User's Guide, Texas Instrument, 2006.
- [9] XC95288 CPLD User's Guide, Xilinx, 2006.
- [10] Code Composer Studio(CCS) User's Guide, Texas Instrument, 2006.



김 원 호 (Won-Ho Kim)
1985년 경북대 전자공학과(공학사)
1987년 경북대 전자공학과(공학석사)
1999년 충남대 전자공학과(공학박사)

1989년 12월 ~ 1999년 8월 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원
1999년 9월 ~ 2005년 2월 천안공대 전자과 조교수
2005년 3월 ~ 현재 공주대학교 공과대학 전기전자공학부 부교수
※주관심분야 : 영상 및 통신신호처리, 위성멀티미디어통신시스템, 비상통신시스템