

논문 2007-44SC-6-4

# 이동 통신용 RF 디지털 스펙트럼 분석기 설계

## ( Design of RF Digital Spectrum Analyser for Mobile Communication )

우 광 준\*

( Kwang-Joon Woo )

## 요 약

주파수 스펙트럼 분석은 한정된 대역폭을 갖는 통신 시스템에서 변조 신호, Distortion, 및 잡음 등을 측정케 하여 그 성능 분석을 위하여 매우 중요하다. 이와 같은 주파수 스펙트럼 분석은 Fourier Transform방법에 의존하는바 Fourier Transform방법은 Radix-2 DIT DFT인 FFT 알고리즘에 의하여 시간영역 입력신호를 A/D 컨버터에 의해 샘플링한 이산 입력신호에 대하여 수학적 변환 과정을 통하여 주파수 스펙트럼의 분석을 수행한다. 본 연구에서는 디지털 스펙트럼 분석기를 TMS320F2812 DSP를 기본 프로세서로 하며 65MSPS의 성능을 갖는 AD9244 A/D 컨버터를 사용하여 H/W를 구성하였으며, FFT 알고리즘을 수행하기 위한 S/W모듈은 C28X 기반 S/W모듈을 사용하였다. 이와 같이 고성능 DSP에 기반을 둔 주파수 스펙트럼 분석기의 구성은 이동통신 무선 중계기 단위로서 실시간으로 주파수 스펙트럼의 분석을 가능하게 하여 각 채널의 서비스 품질 및 서비스 여부를 실시간으로 감시할 수 있는 Server 시스템의 핵심기능을 제공하였다.

## Abstract

It is important to analyse the frequency spectrum for the measurement of modulated signal, distortion, and noise. The frequency spectrum analysis is performed by the execution of Radix-2 DIT DFT i.e. FFT algorithm. The discrete input signal converted by A/D converter from the input signal in time domain is mathematically transformed to the frequency spectrum by FFT algorithm. In this study, we design the digital spectrum analyser by the hardware based on the TMS 320F2812 DSP and AD9244 converter, and by the software based on the C28x S/W modules. We can timely analyse the frequency spectrum in mobile communication system by the digital frequency analyser based on the high performance DSP and S/W modules. This real-time analysing capability is the important performance in the internet-based mobile communication server system.

**Keywords :** DSP-based digital spectrum analyser, FFT algorithm, Mobile communication

## I. 서 론

신호분석은 시간영역에서 Amplitude/Power 분석과 주파수 영역에서 Amplitude/Power를 분석하는 두 가지 방법이 있다. 이들 중 주파수 영역에서의 신호 분석인 스펙트럼 분석은 한정된 대역폭을 갖는 통신에 있어서 매우 중요하다. 통신 시스템/소자의 성능 분석을 위해 변조신호의 주파수 성분인 스펙트럼을 분석함으로써 변조신호, Distortion, 잡음 등을 측정할 수 있다.

변조신호를 측정함으로써 시스템이 적절히 동작하며 정보가 정확히 전송되는지를 알 수 있으며, Distortion의 측정은 통신에서 송/수신 모두에게 중요하며 송신단 출력에서 과도한 고조파 Distortion은 통신 Band와 간섭을 일으키며 수신단의 전치증폭기는 신호 Crosstalk를 막기 위하여 Intermodulation Distortion이 없어야 하며, 잡음은 능동회로 또는 소자 등에서 발생되며 시스템/Device의 성능을 특징짓는데 Noise Figure와 신호대 잡음비(SNR)의 측정은 중요한 요소이다.

상기와 같이 스펙트럼 분석은 통신 시스템의 성능 분석을 위해 매우 중요하며, 이와 같은 스펙트럼 분석방법은 아날로그 방법인 Sweep방식과 디지털 방식인 Fourier Transform 방식이 있다.

\* 정희원, 단국대학교 공학대학 전자공학과  
(Dept. of Electronic Eng., Dankook University)  
※ 이 연구는 2006학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.  
접수일자: 2007년10월5일, 수정완료일: 2007년11월7일

Sweep 방식은 Swept-tuned Receiver 이며 Superheterodyne 기술에 기반을 두고 있다. 이 방식은 PLL을 가지고 Down Conversion을 할 수 있고 고정 BPF의 RBW (Resolution Bandwidth)를 정하며 PLL의 주파수를 하나하나 옮겨가면서 스펙트럼을 RBW BPF에 통과시키고 이를 Log Amp. 에서 Power를 읽는 방법으로 분석할 전체 스펙트럼을 RBW로 쪼개어 분석해준다.

이에 반하여 Fourier Transform 방식은 Radix-2 DIT (Decimation in Time) DFT (Discrete Fourier Transform) 인 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘<sup>[1~3]</sup>에 의하여 시간영역 입력신호에 대하여 A/D 컨버터에 의해 디지털 샘플링한 이산 입력신호를 수학적 변환과정을 통하여 주파수 영역에서 스펙트럼으로 분석한다.<sup>[4~5]</sup> 이러한 스펙트럼 분석방법은 A/D 변환기를 포함하여 DSP(Digital Signal Processor)의 팔목할 만한 발전을 통해 스펙트럼분석 성능을 비약적으로 발전시켰다.

따라서 본 연구에서는 디지털 스펙트럼 분석기를 고성능 DSP인 TMS320F2812<sup>[6]</sup>를 사용하고 A/D컨버터는 65MSPS의 성능을 갖는 AD9244를 사용하여 H/W를 구성하였으며, FFT 알고리즘을 수행하기 위한 S/W 모듈은 C28X기반 S/W모듈<sup>[7]</sup>을 사용하였다.

이와 같이 고성능 DSP에 기반을 둔 스펙트럼 분석기의 구성은 이동통신 무선 중계기 단위로서 실시간으로 주파수 스펙트럼 분석을 가능하게 하여 각 채널의 서비스 품질 및 서비스 여부를 실시간으로 감시할 수 있는 Server 시스템의 핵심기능을 제공하였다.

## II. 이론적 배경

시간영역의 함수를 주파수 영역의 함수로 변환하기 위해서는 연속함수에 대해서는 Fourier Transform(FT)를, 이산함수에 대해서는 Discrete Fourier Transform(DFT)을 수행하여 주파수 분석을 행할 수 있다.

연속함수  $f(t)$ 에 대한 FT는 다음 식과 같이 정의된다.

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \exp(-j2\pi ft) \cdot dt \quad (1)$$

여기서

$$\exp(\pm j\phi) = \cos \phi \pm j \sin \phi \quad (2)$$

한편 이산함수  $x(n)$ 에 대한 DFT 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \exp(-j2\pi kn/N) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot w_N^{kn} \quad ; k=0 \dots N-1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $k$ 는 변환성분의 Harmonic Number이며, Twiddle Factor는 아래와 같이 정의된다.

$$w_N^{kn} = \exp(-j2\pi kn/N) \quad (4)$$

입력 시퀀스를 복소수로 가정하며 복소수 DFT는 2개의 N Point 시간영역 신호를 취하여 2개의 N Point 주파수영역 신호를 생성한다.

DFT의 연산 횟수를 줄이기 위하여 개발된 FFT 알고리즘은 Radix-2 DIT(Decimation in time) FFT 와 Radix-2 DIF(Decimation in Frequency) FFT 알고리즘인 DIF FFT가 있다. DIT FFT를 고찰하기 위하여 DFT의 식을 다음과 같이 한다.

$$\begin{aligned} X_1(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot \exp(-j2\pi nk/N) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot w_N^{nk} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$w_N^2 = \exp(-j2\pi 2/N) = \exp(-j2\pi/(N/2)) = w_{N/2}^1 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} w_N^{k+(N/2)} &= w_N^k \cdot w_N^{N/2} = w_N^k \cdot \exp(-j2\pi(N/2)/N) \\ &= w_N^k \exp(-j\pi) = -w_N^k \end{aligned} \quad (7)$$

상기관계식을 DFT식에 적용하여 짝수번호 시퀀스와 홀수번호 시퀀스로 나눌 수 있다.

$$\begin{aligned} X_1(k) &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_{2n} \cdot w_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_{2n+1} \cdot w_N^{(2n+1)k} \\ &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_{2n} \cdot w_N^{2nk} + w_N^k \sum_{n=0}^{(n/2)-1} x_{2n+1} \cdot w_N^{2nk} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $w_N^{2nk} = w_{N/2}^{nk}$  이므로

$$X_1(k) = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_{2n} \cdot w_{N/2}^{nk} + w_N^k \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_{2n+1} \cdot w_{N/2}^{nk} \quad (9)$$

상기식의 우측 항은 (N/2) Point DFT (짝수번호, 홀수번호)로 이루어져 있으며 간단히 하기식과 같이 표현된다.

$$X_1(k) = X_{11}(k) + w_N^k \cdot X_{12}(k) \quad ; k=0,1,\dots,N-1 \quad (10)$$

$X_{11}(k)$ ,  $X_{12}(k)$ 를 위와 같은 방법으로 다시 나누면 하기와 같다

$$\begin{aligned}
 X_{11}(k) &= \sum_{n=0}^{(N/4)-1} x_{4n} \cdot w_{N/2}^{2nk} + \sum_{n=0}^{(N/4)-1} x_{4n+2} \cdot w_{N/2}^{(2n+1)k} \\
 &= \sum_{n=0}^{(N/4)-1} x_{4n} \cdot w_{N/4}^{nk} + w_{N/2}^k \cdot \sum_{n=0}^{(N/4)-1} x_{4n+2} \cdot w_{N/4}^{nk}
 \end{aligned} \tag{11}$$

$X_{12}(k)$ 도 상기와 같이 동일한 방법으로 분해하면 모두  $(N/4)$  Point DFT 로 나눌 수 있다. 이와 같이  $N$  Point FFT를 수행하려면  $N=2^r$ 로 정하고 각 계산 단계를  $r = \log_2 N$ 개로 나눌 수 있으며 상기와 같은 계산을 Butterfly 계산이라고 한다.

한편  $N$  Point 실수 시퀀스인  $g(n)$ 의  $N$  Point DFT는  $(N/2)$  Point 복소수 DFT의 계산으로 구할 수 있다.

$N$  Point 실수 시퀀스를 식(12), (13)과 같이 2개의  $(N/2)$  Point 시퀀스로 나누면 :

$$x_e(n) = g(2n) \quad n=0:(N/2)-1 \tag{12}$$

$$x_o(n) = g(2n+1) \quad n=0:(N/2)-1 \tag{13}$$

또한  $x(n)$ 을  $(N/2)$  Point 복소수 시퀀스라 하면,

$$x(n) = x_e(n) + jx_o(n) \quad n=0:(N/2)-1 \tag{14}$$

짝수번호 실수 입력  $g(2n)$ 은  $x(n)$ 의 실수부를 형성하고 홀수번호 실수 입력  $g(2n+1)$ 은  $x(n)$ 의 허수부를 형성한다.

특히 DFT에 의해 실제 신호를 취급할 때 나타나는 Spectral Leakage현상은 해석상의 문제를 야기한다. 이는 주파수 성분이 DFT의 제1고조파의 정수배일 때 모든 Leakage 성분은 sinc함수의 영(null) 부분에 일치하나, 주파수 성분중 어느 하나라도 두 bin(샘플 주파수로 규준화한 규준화 주파수) 사이에 존재하면 Spectral Leakage가 발생한다.

이러한 결과는 더 작은 피크 응답 특성과 구형과 원도우(Rectangular Window)의 스펙트럼에서의 부엽(Side Lobe)피크에 해당하는 바람직하지 않은 특성이 발생한다.

이러한 Spectral Leakage를 감소시키기 위해서는 구형과 원도우(Rectangular Window)와 다른 낮은 부엽(Side Lobe)의 스펙트럼 특성을 갖는 원도우 함수(Window Function)를 사용한다.

주엽(Main Lobe)의 대역폭이 좁고 부엽(Side Lobe)의 보다 낮은 레벨을 갖는 스펙트럼 특성을 위하여 구

형과 원도우 함수(Rectangular Window Function)외에도 Hanning, Hamming, Blackman, 그리고 Kaiser 함수 등을 사용한다.

### III. 디지털 스펙트럼 분석기 설계

디지털 스펙트럼 분석기는 기본적으로 시간영역의 입력신호를 A/D컨버터에 의해 샘플링한 이산 입력신호를 FFT란 수학적 변환과정의 수행을 통하여 주파수 영역에서의 스펙트럼으로 신호를 분석한다. 이러한 디지털 스펙트럼 분석방법은 핵심기능을 수행하는 A/D 변환기를 포함하여 DSP와 FFT의 실행 S/W 모듈의 괄목할만한 발전을 통하여 스펙트럼 분석 성능을 비약적으로 발전시켰다.

따라서 본 연구에서는 이동 통신용 디지털 스펙트럼 분석기를 고성능 DSP인 TMS320F2812를 근간으로 A/D컨버터는 65MSPS의 성능을 갖는 AD9244를 사용하고 주파수 Down Conversion을 위하여 PLL기능의 LMX2326 Frequency Synthesizer를 사용 H/W를 구성하였으며, FFT 알고리즘을 수행하기 위한 S/W는 C28x 기반 S/W 모듈을 사용하였다.

C28X 에 기반을 둔 S/W에서 공급되는 복소수 FFT 모듈은 Radix-2 DIT를 사용하며,  $N$  Point 복소수 FFT의 계산흐름은 다음의 다섯 단계에 걸쳐 이루어진다.

- 1st Step :  $N$ 개의 데이터 샘플을 비트역순 (bit-reversed order)으로 배열한다. (Shuffling)
- 2nd Step :  $N$ 개의 데이터 시퀀스를 원도우 한다. (Windowing)
- 3rd Step : 복소수 입력의 허수부를 "0"으로 한다. (Zeroing)
- 4th Step :  $N$  Point Radix-2 FFT를 계산한다.
- 5th Step : Magnitude Square를 계산한다.

이동 통신용 주파수는 수신용  $f_{RX} = 1765 \pm 20$ [MHz]이고 송신용  $f_{TX} = 1855 \pm 20$ [MHz]이다. 여기서 1765 MHz 및 1855 MHz는 각각 송·수신용 캐리어 Frequency이며,  $\pm 20$ MHz는 각각 Signal Frequency Bandwidth이다.

수신용 Signal Frequency에 대한 FFT를 수행하기 위하여 Sampling Frequency가 80MHz이상인 A/D 컨버터를 필요로 하는 문제점 등으로 인하여  $1765 \pm$

20[MHz] 수신용 주파수를 두개의 영역으로 나누어 각 영역에 대하여 FFT과정을 수행하였다.

첫 번째 과정은  $1755 \pm 10$ [MHz] 영역에 대한 FFT 과정을 수행하기 위하여 PLL Frequency Synthesizer를 이용 1755[MHz]의 Center Frequency를 23.4배 Down Conversion하여 Local Frequency 75[MHz]로 하였다. 이때 Signal Frequency Bandwidth는  $\pm 10$ [MHz] 즉 20[MHz]이므로 Nyquist 조건을 만족하기 위하여 A/D 컨버터의 Sampling Frequency  $f_s \geq 40$ [MHz]이므로 본 실험에서는  $f_s = 60$ [MHz]로 하였다.

두 번째 과정은  $1775 \pm 10$ [MHz]영역에 대한 FFT 과정을 수행하기 위하여 1775[MHz]의 Center Frequency를 23.67배 Down Conversion하여 75[MHz]의 Local Frequency로 하였다.

이와 같이 수신용 주파수에 대하여 두개의 영역으로 나누어 각 영역에 대하여  $N = 2048$  Points로 하여 복소수 FFT 알고리즘을 수행하였다. 이때 두 번의 FFT결과에 의하여 수신용 Signal Frequency Bandwidth 전 영역으로 Spectrum 분포를 도출할 때 1765[MHz]에 대한 첫 번째 FFT의 Spectrum과 두 번째 FFT의 Spectrum의 결과를 일치시키기 위하여 첫 번째 FFT의 Center Frequency인 1755[MHz]의 Spectrum과 두 번째 FFT의 Center Frequency인 1775[MHz]의 Spectrum의 결과를 고려하였다.

이와 같이 송신용 주파수에 대해서도  $1855 \pm 20$ [MHz]를 두 개의 영역 즉  $1845 \pm 10$ [MHz] 영역과  $1865 \pm 10$ [MHz] 영역으로 나누어 각각의 영역에 대하여  $N = 2048$  Points로 하여 복소수 FFT를 수행하였다.

한편 Spectral Leakage 문제를 해결하기 위하여 가장 이상적인 Window 함수는 Kaiser Window를 들 수 있으나 이는 1종 Bessel 함수를 계산해야 하는 어려움으로 인하여 이에 가장 근접한 특성을 보이는 Blackman Window를 채용함으로써 Leakage를 최소화하고 Amplitude Accuracy를 높일 수 있게 하였다.

IV. 실험 및 고찰

TMS320F2812 DSP를 기반으로 한 H/W와 FFT 알고리즘을 수행하기 위하여 C28x 기반 S/W모듈을 사용하여 설계된 이동 통신용 디지털 스펙트럼 분석기는 (주)텔콤코리아가 설계하여 구축한 인터넷망을 이용한 Server 시스템(그림 1)중 2nd Level인 Module의 핵심적인 기능 즉 1st Level인 이동통신용 RF중계기들의 스펙트럼 분석 기능을 수행하였다.

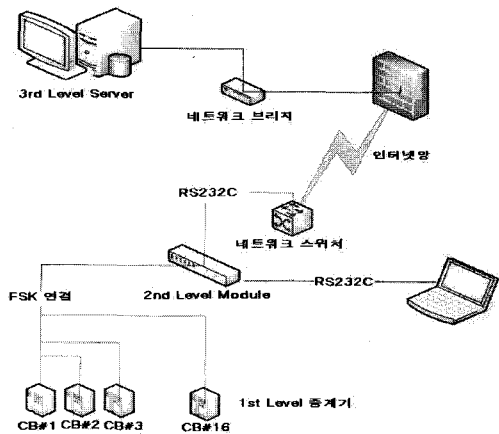


그림 1. 이동통신 Server 시스템  
Fig. 1. Server system for mobile communication.

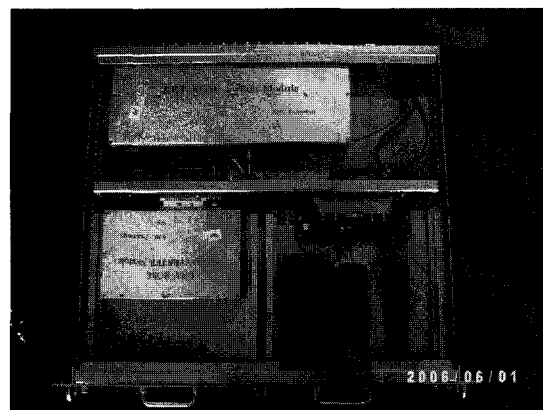


그림 2. 2nd level module의 H/W 구성  
Fig. 2. Hardware structure of 2nd level module.

그림 2에 그림1의 2nd Level Module의 H/W구성을 나타내었다. 그림 2의 상단에 위치한 Switch Module은 16개의 PCS 중계기로부터 송·수신 신호를 선택하여 하단 좌측에 위치한 DSP/Converter Module 즉 본 논문에서 설계한 스펙트럼 분석기에 의해 하기와 같은 기능들을 수행함으로써 통신 서비스 여부 및 서비스 품질에 관한 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 하였다. 하단 우측에는 Power Supply를 보여주고 있다.

1. RF 스펙트럼 분석 기능

그림 3에 송신용 주파수 스펙트럼을 전체영역  $1855 \pm 20$ [MHz]에 걸쳐서 측정된 화면이다. 좌측상단에 Reference  $-20$ dBm이 표시되었으며 우측하단에는 측정 중인 Span영역의 Total Power와 Channel Power가 표기되었다. 중앙화면에는 Center Frequency 1855[MHz], 설정범위 40[MHz]에 대한 주파수 스펙트럼과 Channel Power를 나타내었다.

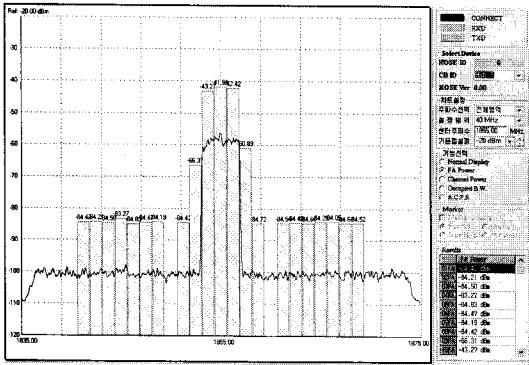


그림 3. RF 스펙트럼 분석  
Fig. 3. RF spectrum analysis.

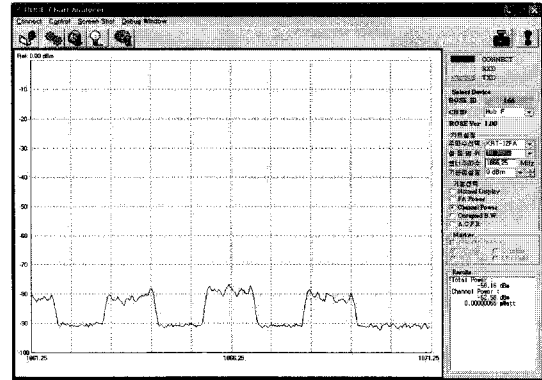


그림 5. 채널 파워 측정  
Fig. 5. Channel power measurement.

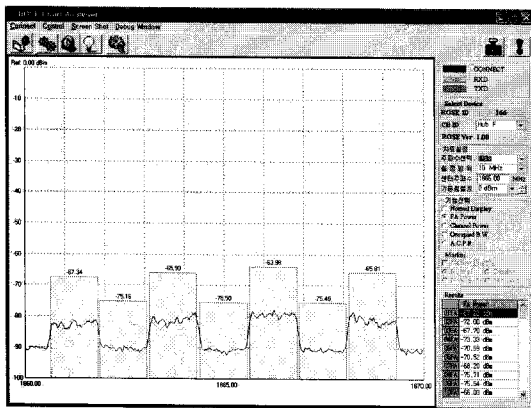


그림 4. FA 출력 측정  
Fig. 4. FA power measurement.

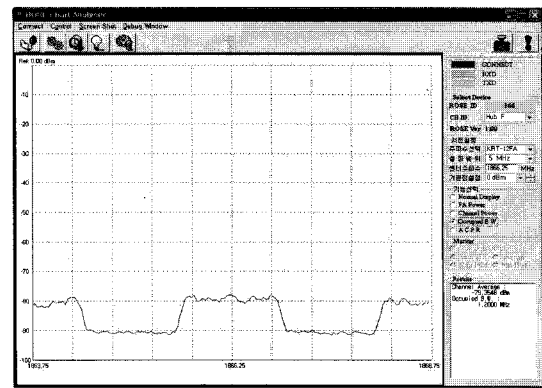


그림 6. 점유 대역폭 측정  
Fig. 6. Occupied bandwidth measurement.

## 2. FA 출력 측정 기능

그림 4에 송신용 주파수  $1865 \pm 5$ [MHz] 영역에서 각 FA별 출력을 측정한 화면이다. 좌측상단에 Reference 0dBm이 표시되었으며, 우측하단에는 FA별 Power를 표기하였다. 중앙화면에는 Center Frequency 1865[MHz], 설정범위 10[MHz]영역에서 FA별 출력이 그래프로 표시되었다.

## 3. 채널 파워 측정 기능

그림 5에 송신용 주파수  $1866.25 \pm 5$ [MHz] 영역의 채널 파워를 측정한 화면이다. 좌측 상단에 Reference 0dBm이 표시되었으며 우측하단에는 Total Power -58.16dBm과 채널 파워 -62.58dBm이 표기되었다. 중앙화면에는 Center Frequency 1866.25[MHz], 설정범위 10[MHz]에 대한 스펙트럼 파형이 그래프로 표시되었다.

## 4. Occupied Bandwidth 측정 기능

그림 6에 송신용 주파수  $1866.25 \pm 2.5$ [MHz]영역의 점유 대역폭을 측정한 화면이다.

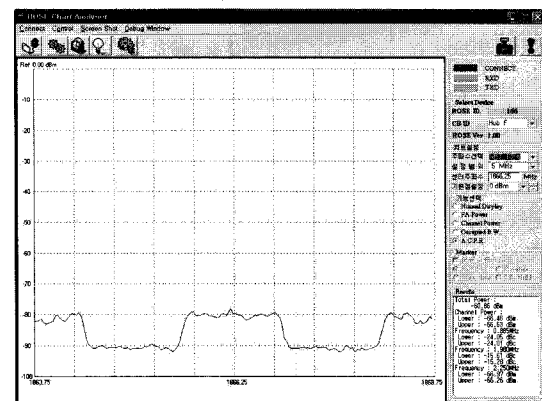


그림 7. ACPR 측정  
Fig. 7. ACPR measurement.

좌측 상단에 Reference 0dBm이 표시되었으며, 우측 하단에는 채널 파워 평균값 -79.3548dBm과 점유 대역폭 1.2000MHz가 표기되었다. 중앙화면에는 Center Frequency 1866.25[MHz], 설정범위 5[MHz]에 대한 스펙트럼 파형이 표시되었다.

## 5. ACPR 측정 기능

그림 7에 송신용 주파수  $1866.25 \pm 2.5$ [MHz] 영역의

RF 신호의 ACPR를 측정된 화면이다. 좌측 상단에 Reference 0dBm이 표시되었으며 우측하단에는 ACPR 값이 표기되었다. 중앙화면에는 Center Frequency 1866.25[MHz], 설정범위 5[MHz]영역에서의 스펙트럼 파형과 ACPR 측정 포인트를 그래프로 표시하였다.

## V. 결 론

스펙트럼 분석은 통신시스템의 성능분석을 위해서 매우 중요하며 이의 실현방법으로는 Sweep방법과 Fourier Transform방법이 있다. Fourier Transform방법은 Radix-2 DIT DFT인 FFT 알고리즘에 의하여 시간영역 입력신호에 대하여 A/D컨버터에 의해 디지털 샘플링한 이산 입력신호에 대하여 수학적 변환과정을 통하여 스펙트럼 분석을 수행한다.

이러한 디지털 스펙트럼 분석은 A/D컨버터를 포함하여 DSP의 괄목할 만한 발전을 통하여 스펙트럼 분석 성능을 비약적으로 발전시켰다.

본 연구에서는 디지털 스펙트럼 분석기를 고성능 DSP인 TMS320F2812를 기본 프로세서로 하여 A/D컨버터는 65MSPS의 성능을 갖는 AD9244를 사용하여 H/W를 구성하였으며, FFT 알고리즘을 수행하기 위한 S/W모듈은 C28X기반 S/W모듈을 사용하였다.

이와 같이 고성능 DSP에 기반을 둔 스펙트럼 분석기의 구성은 이동통신 무선 중계기 단위로서 실시간으로 주파수 스펙트럼의 분석을 가능하게 하여 각 채널의 서비스품질 및 서비스 여부를 실시간으로 감시 할 수 있는 Server 시스템의 핵심기능을 제공하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이승래, 성평모, “4-점 리버스 자켓 변환을 이용한 N-점 고속 푸리에 변환” 한국통신학회논문지, 01-4 Vol26, No4B, 418~422쪽, 2001년
- [2] 곽훈성, “고속 푸리에 변환 기법에 의한 사이즈믹 모델링과 역모델링에 관한 연구” 한국과학재단 연구 보고서, 1~43쪽, 1988년
- [3] 최영윤, “푸리에 변환의 새로운 산술적 알고리즘 개발에 관한 연구” 한국과학재단 연구 보고서, 1~51쪽, 1993년
- [4] 이석배, 윤홍식, 최재화, “FFT에 의한 한반도 일원에서의 중력지오이드 결정”, 한국측지학회지, 제 14권 제1호, 49-58쪽, 1996년
- [5] 한필규, 이채수, 박양우, 엄태억, “고속푸리에 변환을 이용한 계층적 위상기반 3차원 객체 추출 기

법” 대한 전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제 24권 제 1호, 145~148쪽, 2001년

- [6] Texas Instruments, “TMS 320C/F28X DSP Controllers : Reference Guide”
- [7] Texas Instruments Inc., “FFT Library : Module user's Guide C28X Foundation Software” , May 2002.

## 저 자 소 개



우 광 준(정회원)

1974년 한양대학교 전자공학 졸업

1977년 동 대학원 전자공학 석사

1980년 Strasbourg I 대학교 전자  
제어공학 D.E.A.

1883년 국립 그르노블 폴리테크닉  
인스티튜트 전자계측공학

Docteur Ingenieur.

1983년~현재 단국대학교 전자공학과 교수

<주관심분야 : 프로세스 제어, 시스템 네트워크>