

다중 대역 CDMA 신호에 대한 대역통과 표본화의 적용

장민용, 임성빈, 김종훈
승실대학교 정보통신전자공학부

Application of Bandpass Sampling to Multiple Band CDMA Signals

Minyong Jang, Sungbin Im, Chonghoon Kim
School of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea
E-mail : sbi@nuri.net

요약

본 논문에서는 다중 대역통과 표본화 이론에 기반하여 1.9GHz IS-95신호와 2.2GHz IMT-2000 신호를 하나의 ADC(analog to digital converter)를 사용하여 동시에 표본화하고 디지털 처리를 수행하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다. 일반적인 방법으로는 본 논문에서 고려하는 두 신호를 동시에 표본화하기 위해서는 표본화 주파수가 최소한 1GHz 이상의 고속의 ADC를 사용해야 한다. 그러나 현재 ADC의 기술은 광대역의 신호를 직접 디지털화하기에는 아직 미흡하다. 반면에 대역통과 표본화 이론은 기존의 상용 ADC와 기존의 RF 시스템을 이용하여 다른 대역에 위치한 두 신호를 통합처리 할 수 있는 기반을 제공하고 있다. 본 논문에서는 이러한 대역통과 표본화 이론에 기반을 두고 상용 ADC를 사용하여 표본화 시스템을 구현하여 IS-95신호와 IMT-2000 신호를 표본화하고 이를 컴퓨터에서 디지털 필터를 이용하여 두 신호를 분리하는 실험을 통하여 다중 대역통과 표본화의 적용 가능성을 검증하였다.

1. 서론

현재 이동 통신은 2세대와 3세대 규격이 혼재하는 상황에 있으며 최근 들어 이러한 다중 규격을 수용할 수 있는 단말기 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구의 주된 방법으로 소프트웨어 라디오 기술을 기반으로 하고 있다. 소프트웨어 라디오 기술은 첨단 디지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 기반으로 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선통신 규격을 통합·수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다. 소프트웨어 라디오 기술은 크게 소프트웨어에 의하여 재구성이 가능한 하드웨어와 이 하드웨어를 특정 규격 내지 특정 목적의 통신 송수신 시스템으로 바꾸어 주는 소프트웨어 모듈들로 구성된다 [1]. 따라서 소프트웨어 라디오는 단일 송신 및 수신 하드웨어 플랫폼에 소프트웨어 모듈만을 변경함으로써 다양한 무선 규격을 하나의 시스템으로 수용할 수 있다. 이러한 소프트웨어 라디오 기술에서 단일 하드웨어 플랫폼

이론이 다양한 규격을 수용하기 위해서는 광대역 특성을 갖추고 있어야 한다. 특히 하나의 광대역 RF 단을 사용하여 여러 주파수 대역의 신호를 수용할 수 있는 것이 가장 이상적이나 현실적으로 광대역 주파수 특성을 갖는 RF 소자의 개발 및 RF 모듈의 구현은 아직 기술적으로나 경제적으로 해결해야 할 많은 문제를 갖고 있는 단계이다. 또한 고속 디지털 소자의 개발 역시 눈부신 발전을 이루어 왔지만 소프트웨어 라디오 기술이 추구하는 궁극적인 목표를 이루기에는 부족한 상태이다.

이러한 현실적인 상황을 고려하여 본 논문에서는 기존의 단말기들에서 사용되는 상용 RF소자들을 이용하면서 대역통과 표본화 이론을 기초로 2세대 및 3세대 CDMA 신호를 동시에 수신하여 디지털 신호로 변환할 수 있는 단말기의 RF단 및 디지털 IF 구조를 제안한다. 또한 이 구조의 타당성을 상용 ADC 소자를 사용한 실험을 통하여 검증하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 절에서는 대역 통과 표본화 이론을 설명하고 3절에서는 기존의 IMT-2000 및 IS-95 단말기의 RF/IF 수신단의 구조를 소개하고 두 신호를 통합 처리할 수 있는 수신단의 구조를 제안한다. 4절에서는 이 제안된 구조의 타당성을 검증하기 위해 수행된 실험 결과를 제시하고 5절에서 결론을 맺는다.

2. 대역 통과 표본화 이론

2.1 단일 대역통과 표본화

대역통과 표본화는 변조 신호를 과표본화(undersampling)함으로써 발생하는 인위적인 aliasing에 의해서 주파수를 천이시키는 방법이다 [2,3]. 이 천이 과정은 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} F_{IF} = \text{rem}(F_C, F_S) & \text{if } \text{fix}\left(\frac{F_C}{F_S/2}\right) = \text{even} \\ F_{IF} = F_S - \text{rem}(F_C, F_S) & \text{if } \text{fix}\left(\frac{F_C}{F_S/2}\right) = \text{odd} \end{cases} \quad (1)$$

위의 식에서 F_C 는 반송파 주파수이며 F_{IF} 는 aliasing에 의해 천이되는 중간 주파수를 나타내며 F_S 는 표본화 주

* 본 연구는 2000년도 국가지정 연구실 사업의 지원으로 수행되었습니다.

과수를 나타낸다. 식 (1)에서 $\text{fix}(\cdot)$ 는 절사를 의미하며 $\text{rem}(a,b)$ 는 a 를 b 로 나눈 나머지를 나타낸다. 식 (1)은 중간주파수를 표본화 주파수의 함수로 표시할 수 있음을 보여주고 있다. 이 과정과 관련하여 고려되어야 할 사항은 반송파 주파수에 변조된 정보가 차지하는 정보 대역폭 (BW_f)이다. 정보 대역폭의 전체가 반드시 표본화 대역폭안으로 천이 되어야 한다. 이것을 보장하기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$0 < F_{IF} - \frac{BW_f}{2} \quad (2)$$

$$F_{IF} + \frac{BW_f}{2} < \frac{F_s}{2} \quad (3)$$

만약 위의 조건을 만족하지 못하는 경우 신호 스펙트럼이 자신의 스펙트럼과 겹쳐지는 간섭현상이 발생한다. 위의 조건을 만족하는 경우에 있어서는 Shannon의 표본화 이론에서 요구하는 반송파 주파수의 2배의 표본화 주파수를 사용하지 않아도 되는 장점을 갖게 된다. 또한 이것은 ADC이후의 디지털 소자의 데이터 처리율이 반송파 주파수보다는 상대적으로 작은 정보대역폭에 비례하게 되는 이점을 제공한다.

대역 통과 표본화를 구현하기 위해서는 여러 가지 중요한 하드웨어적 요구 사항을 만족하여야 한다. 첫 번째로는 ADC의 표본화 주파수는 상당히 낮지만 ADC의 아날로그 입력 대역폭이 RF 주파수를 수용할 수 있어야 한다. 즉 표본화 aperture가 상당히 작아야 한다. 두 번째로는 반송파 주파수를 중심으로 위치하는 대역통과 필터의 특성이 매우 우수하여야 한다. 이 필터는 정보 대역외에 존재하는 모든 잡음 및 간섭을 제거하여 표본화 대역에서의 우수한 신호대잡음비를 제공하여야 한다. 따라서 고주파 협대역 신호에 대해서는 상당히 큰 Q를 갖는 필터가 요구된다.

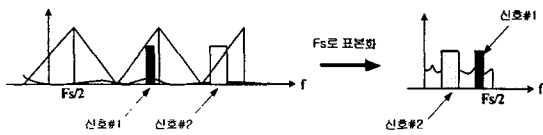


그림 1. 서로 다른 두 신호의 대역 통과 표본화의 주파수 영역에서 표현.

2.2 다중 신호의 대역통과 표본화 [4]

서로 다른 반송파 주파수를 갖는 2개의 신호를 표본화하고자 하는 경우 이상적으로는 위의 대역 통과 표본화를 이용하여 두 신호간의 주파수 차에 두 배되는 표본화 주파수를 사용하여 처리할 수 있다. 그러나 두 신호간의 주파수 차가 큰 경우에 있어서 현실적으로 불가능하다. 이런 문제의 대안으로 표본화 주파수를 적당히 선택하여 각각의 신호가 대역 통과 표본화를 거쳐 표본화 대역으로 정보 대역이 천이하도록 하는 방법이 있다. 이 경우 천이된 두 정보대역은 표본화 대역 안에서 겹치지 않아야 한다. 이 조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$|F_{IF_1} - F_{IF_2}| \geq \frac{BW_{f_1} + BW_{f_2}}{2} \quad (4)$$

위의 식에서 F_{IF_1} 과 F_{IF_2} 는 각 신호가 천이된 중간 주파수를 나타내며 각 신호의 정보대역은 BW_{f_1} 과 BW_{f_2} 로 표시하고 있다. 그림 1에서 이 과정을 주파수

영역에서의 해석을 보여주고 서로 다른 대역에 있는 신호 1과 2가 표본화 주파수 F_s 로 표본화되는 경우 우측의 그림처럼 각각의 정보 대역은 표본화 대역 내로 이동하게 된다. 다중 신호의 대역 통과 표본화에서는 표본화 주파수의 선택이 매우 중요하다. 가능한 최소 표본화 주파수는 원하는 신호의 정보 대역들의 총합에 두 배에 해당되는 주파수이지만 식 (1)에서 (4)에 이르는 조건을 만족하여야 하므로 실제로는 표본화 주파수는 상당히 높아진다.

3. 통합 단말기의 수신 RF/IF단의 구조

본 절에서는 소프트웨어 라디오 기술을 기반으로 2세대 및 3세대의 단말기를 통합하는 경우에 있어서 단말기의 RF/IF단의 실현 가능성이 있는 구조를 제안하고자 한다. 그림 2는 현재 사용되고 있는 IS-95 규격의 단말기에서 수신단의 RF/IF구조를 보여 주고 있다. 그림 2에서 약 1.9 GHz의 반송파를 갖는 신호는 안테나를 거쳐 RF 대역 통과 필터 (RF BPF)를 통과후 믹서 및 IF 대역 통과 필터 (IF SAW)를 거치며 중간 주파수인 85.38MHz로 천이된다. 이 중간 주파수의 신호를 기저대역 신호로 바꾸기 위하여 중간 주파수 대역에서 다시 한번 믹서를 사용하여 하향 변환을 하면서 I와 Q 채널의 기저대역 신호로 복조 후 기저대역 신호 처리부에 입력된다. 일반적으로 기저대역 신호 처리부에서는 두 개의 ADC를 사용하여 입력된 아날로그 기저대역 신호를 디지털 신호로 변환하여 복조를 수행한다.

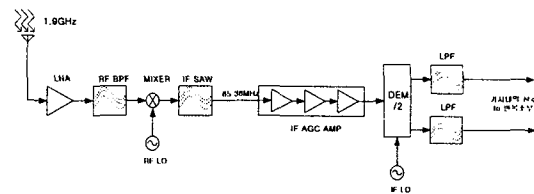


그림 2. IS-95 단말기의 수신 RF/IF단 구성도.

그림 3은 한국전자통신연구소에서 개발한 IMT-2000 멀티미디어 단말기의 수신 RF/IF단의 구성도를 보여 주고 있다. 그 구성 및 기능은 IS-95 단말기와 매우 유사하다. 차이점은 수신 신호의 반송파 주파수가 각각 1.9 GHz와 2.2 GHz라는 점이고 중간 주파수가 IS-95단말기에서는 85.38 MHz인 반면에 IMT-2000에서는 159.95 MHz라는 점이다.

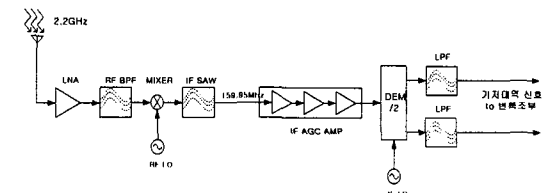


그림 3. IMT-2000 멀티미디어 단말기의 수신 RF/IF단 구성도.

위의 두 구조를 소프트웨어 라디오 기술을 기반으로 통합하는 경우, 그림 4에 도시된 것과 같이 하나의 광대역 안테나로부터 수신된 신호를 직접 대역 표본화하여 디지털 신호로 바꾸는 것이 이상적이다. 그러나 현실적으로 400MHz 이상 광대역 LNA (low noise amplifier) 및 기타

RF 소자를 사용하는 것이 불가능하며 특히 상용 ADC의 아날로그 입력 대역폭이 이를 수용할 수 없는 상황이다.

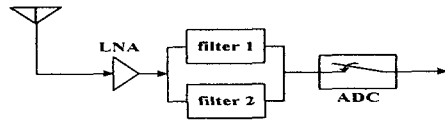


그림 4. IS-95와 IMT-2000의 통합 수신단의 이상적인 구조.

본 논문에서는 기존의 상용 RF 소자 및 ADC를 사용할 수 있는 그림 5의 구조를 제안하고자 한다. 그림 5에 나타난 것처럼 안테나로부터 각각의 중간 주파수로 하향 변환까지는 기존의 구조를 사용하고 각각의 중간 주파수의 신호를 상용 ADC를 사용하여 다중 대역 통과 표본화를 수행한다. 디지털 IF 신호로 변환된 신호는 ADC 다음 단계에 설치된 디지털 기저대역 신호처리부에서 복조를 수행한다. 이 디지털 기저대역 신호처리부는 FPGA (field programmable gated array) 및 DSP (digital signal processor) 등과 같이 소프트웨어적으로 재구성이 가능한 소자로 구성되는 경우 해당 규격의 소프트웨어 모듈을 다운로드함으로써 다양한 규격의 신호를 처리할 수 있다. 추가적인 규격의 업그레이드가 필요한 경우 하드웨어의 변경없이 소프트웨어 모듈만을 업그레이드하여 사용할 수 있다.

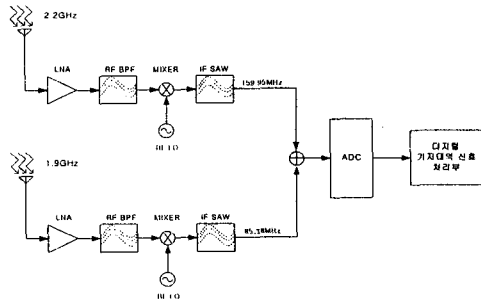


그림 5. 제안된 통합 수신단의 구조.

그림 5의 구조에서 표본화 주파수는 식(1)에서 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. 표 1은 표본화 주파수를 1 MHz 단위로 증가하며 13 MHz에서 50 MHz까지 검색하여 적용이 가능한 표본화 주파수를 보여주고 있으며 해당 주파수로 표본화하는 경우 IS-95 신호와 IMT-2000 신호가 표본화 대역내에 위치하는 중간 주파수를 제시하고 있다.

4. 실험 결과

본 실험에서는 IS-95 신호와 IMT-2000 신호를 상용 ADC를 사용하여 다중 대역 통과 표본화를 수행하고 여기서 채취된 데이터를 컴퓨터 상에서 디지털 필터링하여 두 신호를 분리하므로써 위에서 제안된 구조의 타당성을 확인하고자 한다. 실험 장치의 구성은 그림 6에 도시하였다. 그림 6에 나타난 것처럼 두 개의 CDMA 신호 발생기 (HP E4404B)를 이용하여 중심 주파수 85 MHz의 IS-95 신호와 중심 주파수 175 MHz의 IMT-2000 신호를 발생시켰다. 이 두 신호의 크기는 모두 -10 dBm으로 설정하였다. 이 두 신호를 combiner를 사용하여 합치고 상용 ADC인 Analog Devices 사의 AD9042를 사용하여 표본화할 수 있었다. AD9042는 12 bit ADC로서 최대 표본화 주파수는 41 Msample/sec이며 아날로그 입력 대역폭은

100 MHz 이다.

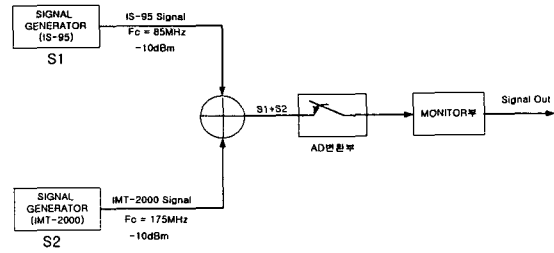


그림 6. 다중 대역 통과 표본화 실험 장치의 구성도.

먼저 주어진 중심 주파수와 각각의 정보 대역폭에 대하여 식 (1)에서 (4)를 이용하여 표본화 주파수와 천이된 중간 주파수를 계산하여 표 2에 정리하였다. 이 표와 사용된 ADC의 표본화 주파수를 고려하여 표본화 주파수를 40 MHz로 선택하였다. 이 표본화 주파수에 대하여 IS-95 신호의 경우 중간 주파수가 5 MHz이며 IMT-2000의 신호의 경우 중간 주파수가 15 MHz이다.

그림 7은 스펙트럼 분석기를 사용하여 combiner 다음 단계에서 출력되는 신호의 스펙트럼을 측정된 결과이다. 그림에서 나타난 것처럼 두 신호는 약 90 MHz가 떨어져 위치하고 있으며 두 신호간의 전력 차는 약 5.47 dB이다. 그림 8은 ADC를 통하여 표본화된 디지털 신호를 컴퓨터 상에서 FFT를 사용하여 스펙트럼을 계산하여 도시한 것이다. 표 2에 나타난 것과 같이 IS-95 신호의 중간 주파수는 5 MHz에 위치하고 있으며 IMT-2000 신호는 15 MHz에 위치하고 있다.

그림 9는 그림 8에 도시된 신호에 대하여 디지털 저역 통과 필터를 사용하여 IS-95 신호만을 필터링한 결과를 보여주며 그림 10은 그림 8에 도시된 신호에 대하여 디지털 대역 통과 필터를 사용하여 IMT-2000 신호를 분리한 결과를 보여 주고 있다.

본 실험 결과는 다중 대역 통과 표본화 이론의 타당성을 증명하고 있다. 또한 이 결과는 논문에서 제안하고 있는 수신기의 RF/IF단의 구조가 소프트웨어 라디오 기술을 적용한 IS-95/IMT-2000 통합 단말기에서 사용이 가능함을 뒷받침하고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 다중 대역 통과 표본화 이론에 기반하여 1.9GHz IS-95신호와 2.2GHz IMT-2000 신호를 하나의 상용 ADC를 사용하여 동시에 표본화하고 디지털 처리를 수행하는 방법을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다. 또한, 이러한 실험의 결과에 기반하여 IMT-2000과 IS-95 신호를 동시에 수용할 수 있는 통합 단말기에 적용할 수 있는 RF/IF 수신단의 구조를 제안하였다. 이 구조는 기존의 경제성을 갖는 RF/IF소자를 이용하여 RF/IF단을 구성하고 여기에 대역 통과 표본화 이론을 기반하여 상용 ADC를 사용하여 표본화함으로써 현실적으로 구현이 가능하도록 하였다.

참고 문헌

- [1] W. Tuttlebee, "Software radio: Developments in Europe," *Proc. 1st Int'l Software Radio Workshop*, pp. 49-70, Rhodes, Greece, June 1998.
- [2] G. Hill, "The benefits of undersampling," *Electron. Design*, pp. 69-79, July 1994
- [3] Vaughan, R. G. Scott, N. L. White, and D. Rod, "The theory of bandpass sampling," *IEEE trans. Signal Processing*, vol.39, pp. 1973-1984, Sept. 1991.

- [4] D. M. Akos, M. Stockmaster, J. B.Y. Tsui and J. Caschera, "Direct bandpass sampling of multiple distinct RF signals", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, no. 7, pp. 983-988, July.1999.

표 1. 적용 가능한 표본화 주파수 및 중간 주파수.

표 본 화 주 파 수 (F_s) (단위: MHz)	중간 주파수(F_{IF}) (단위: MHz)	
	IS-95	IMT-2000
22.00	2.62	5.95
26.00	7.38	3.95
28.00	1.38	8.05
30.00	4.62	9.95
33.00	13.62	5.05
39.00	7.38	3.95
42.00	1.38	8.05
44.00	2.62	16.05
47.00	8.62	18.95
48.00	10.62	15.95
50.00	14.62	9.95

표 2. 적용 가능한 표본화 주파수 및 중간 주파수.

표 본 화 주 파 수 (F_s) (단위: MHz)	중간 주파수(F_{IF}) (단위: MHz)	
	IS-95	IMT-2000
21	1	7
24	11	7
28	1	7
33	14	10
36	13	5
38	9	15
40	5	15
41	3	11
42	1	7
47	9	13
48	11	17
49	13	21

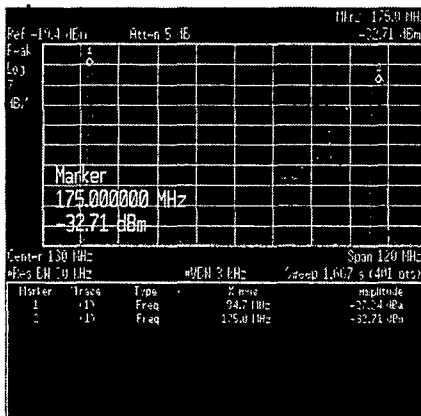


그림 7. Combiner의 출력을 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정된 결과.

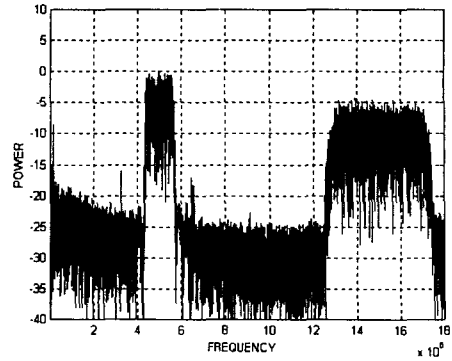


그림 8. 다중 대역 통과 표본화된 디지털 신호의 스펙트럼.

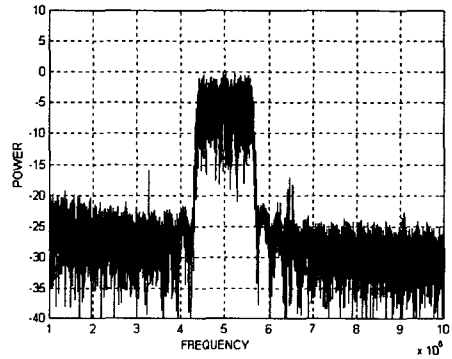


그림 9. 다중 대역 통과 표본화된 디지털 신호를 저역 통과 필터링하여 얻은 IS-95 신호의 스펙트럼.

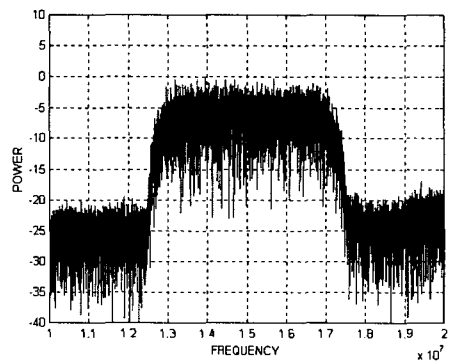


그림 10. 다중 대역 통과 표본화된 디지털 신호를 대역 통과 필터링하여 얻은 IMT-2000 신호의 스펙트럼.