

Undersampling 기법에 의한 대역통과 AM 신호의 복조시스템 및 응용

손태호, 박종연, 장목순, 김기정, 황준원
강원대학교 전기공학과

Demodulation System and Applications of Bandpass AM Signals by Undersampling Scheme

T. H. Sohn, C. Y. Park, M. S. Jang, K. J. Kim, J. W. Hwang
Dept. of Electrical Engineering, Kangwon National University

<요약>

진폭변조(AM) 신호를 검파하기 위한 디지털 시스템을 실현하기 위해서는 보통 변조된 신호의 최대주파수의 2배 이상되는 주파수로 샘플링해야만 한다. 이러한 경우에 반송파가 커지면 처리할 데이터가 많아지기 때문에 디지털 시스템이 복잡해져 실시간 처리가 어렵게 된다. 본 연구에서는 샘플링 주파수를 대역폭을 기준으로 하여 낮출 수 있는 유용한 두 종류의 복조시스템을 제안하였다. 또한 undersampling한 복조회로에 대한 특성 및 오차를 해석하고 검토하였다.

I. 서론

AM신호를 검파하기 위해서는 일반적으로 원하지 않는 측파대 신호와 DC성분 및 잡음을 제거하는 대역통과 필터와 비선형 요소인 제곱검파기나 또는 정류기를 통한 뒤 저역통과 필터를 거쳐서 변조파를 검출한다. 이런 시스템을 디지털 시스템으로 구성할 때 저역통과 필터를 IIR(Infinite Impulse Response) 또는 FIR(Finite Impulse Resopnse) 디지털 필터로 설계하였을 경우에, 반송파의 주파수가 커질수록 처리할 데이터 양이 많기 때문에 시스템이 복잡해지며 비효율적이다.

기존연구에서는 여기에 대한 방법으로 복소

(complex) 디지털 샘플링 복조기를 구현했으나 샘플링 주파수를 줄일 수 없는 단점을 가졌다[1]. 최근에는 AM과 FM을 복조하기 위해서 "Energy Operator"를 이용하여 undersampling에 의해 샘플링 주파수를 줄일 수 있는 가능성을 보였고, 비선형 필터에 대한 수학적인 유도 및 분석을 제시하였다[2, 3]. 또한 undersampling은 대역통과 샘플링 이론이 만족하는 한 홀수 요소인 $(2n+1)$ 에 의해서 가능하다[4].

본 연구에서는 BPF(Band-Pass Filter)와 비선형 필터인 quadratic 필터[7] 및 간단한 FIR LPF(Low-Pass Filter)로 구성된 두가지 구조의 유용한 복조 시스템을 제안하였고, 이 회로에 대한 특성 및 오차를 해석하고 검토하였다.

II. 복조시스템의 설계

II-1. 검파기의 설계방법

진폭변조된 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s(t) = V_c(1 + m \cdot b(t)) \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

여기에서 V_c : 반송파의 진폭

m : 변조지수(Modulation Index)

$b(t)$: 변조파(Modulating Wave)

f_c : 반송파(Carrier Wave)

기존 논문에서는 식 (1)의 $s(t)$ 로 부터 신호파 $b(t)$ 를 등간격된 5개의 샘플 또는 4개의 샘플을 가지고 검파할 수 있음을 보였다[5, 6]. 본 연구에서는 9개의 샘플을 사용하여 그림 1에서 (i) 6차의 prefilter 로써 FIR Hilbert 대역통과 필터를 설계하였고, (ii) 맨 뒷단에 running sum인 단순한 FIR 저역통과 필터를 직렬 연결한 뒤 검파기의 특성을 해석하였다.

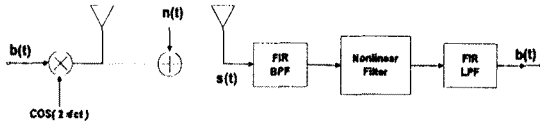


그림 1. 복조시스템의 원리

샘플들 사이의 간격을 T 라고 하고, $\Delta = 2\pi f_c T$ 라고 하면 설계된 검파기 회로는 그림 2와 같으며 다음의 식으로 부터 얻을 수 있다[6, 7].

$$4b^2(t) \cdot \sin^4(\Delta) = (b_2s_5 + b_1s_7 - b_1s_1 - b_2s_3)^2 - (b_2s_4 + b_1s_6 - b_1s_0 - b_2s_2) \times (b_2s_6 + b_1s_8 - b_1s_2 - b_2s_4) \quad (2)$$

여기에서 $s_i = s(t - iT)$, ($i=0, 1, 2 \dots, 8$) 이며 b_1, b_2 는 필터의 계수로 각각 0.1013 및 0.5902이다. 이 식에서 $\sin^4(\Delta) = 1$ 을 만족하는 Δ 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin^4(\Delta) &= \cos^4(\Delta) - 2\cos^2(\Delta) + 1 \\ \cos^2(\Delta) \{ \cos(\Delta) + \sqrt{2} \} \{ \cos(\Delta) - \sqrt{2} \} &= 0 \\ \therefore \Delta &= \frac{(2n+1)\pi}{2} \quad (n : \text{integer}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서 $(2n+1)$ 은 undersampling factor이다.

또한 $2\pi f_c T = \frac{(2n+1)\pi}{2}$ 이므로

$$T = \frac{2n+1}{4f_c} \quad (4)$$

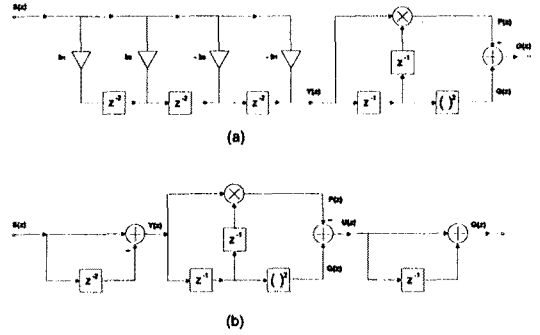


그림 2. 제안된 복조시스템

- (a) 6차 대역통과 prefilter
- (b) FIR 저역통과 postfilter

이 필터의 3dB 대역폭(bandwidth)은 식 (2)로 부터 $\sin^4(\Delta) \leq \frac{1}{2}$ 이므로 이 부등식을 풀면 다음을 얻을 수 있다.

$$\frac{2f_c}{n+0.68} \leq f_s \leq \frac{2f_c}{n+0.32}$$

여기에서 full sampling인 경우 $n=0$ 이며 식 (4)로부터 샘플링 주파수는 반송파의 4배임을 알 수 있다.

II-2. 검파기의 동작원리

그림 2에서 4차의 대역통과 필터는 DC를 포함하지 않는 측파대 신호를 제거시킨다. 그림 3은 제안된 복조기를 통해 검출된 변조파와 반송파의 최대 크기의 1/40 배인 white Gaussian noise와 DC 성분을 섞은 반송파를 입력으로 했을 경우, 그림 2의 제안된 복조시스템을 통해 얻은 변조파를 simulation하여 나타냈다.(이때 $n=40, m=0.5, V_c=4, f_c=710\text{KHz}, f_m=1\text{KHz}, DC=5$ 의 경우임.)

또한 그림 2에서 비선형 필터인 quadratic 필터[7]는 antiphase 성질을 가지며 기본파와 제 2 고조파 성분의 신호를 포함한 0 이상되는 신호 $p(t)$ 와 $q(t)$ 로부터 출력신호 $g(t)$ 를 얻게 된다. 이것은 제곱검파로 $b^2(t)$ 를 검파하여 우리가 원하는 $b(t)$ 를 구할 수 있게 된다. 그림 4는 BPF를 통과한 반송파를 입력으로

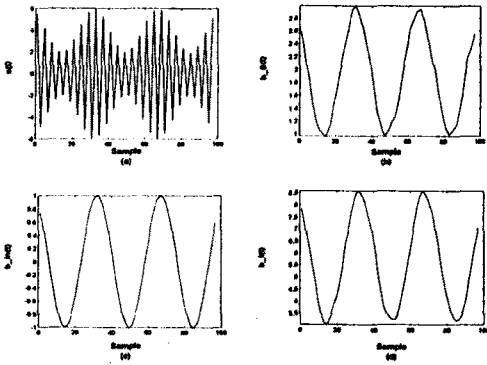


그림 3. AM파와 제안된 복조기를 통과한 변조파들
 (a) AM파 (b) 그림 2 (a)의 출력 신호
 (c) 변조파 (d) 그림 2 (b)의 출력 신호

한 비선형 필터의 $p(t)$, $q(t)$ 및 출력 $g(t)$ 를 그린 것이다.(여기에서 $n=40$, $m=0.5$, $V_c=4$, $f_c=710\text{KHz}$, $f_m=1\text{KHz}$, $DC=5$ 일 때임.)

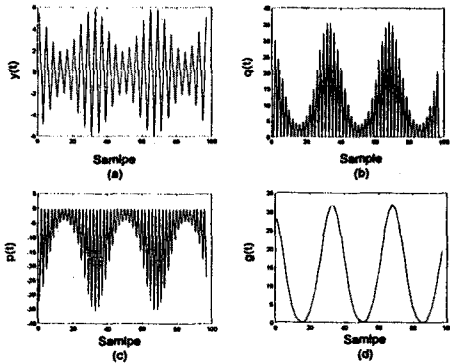


그림 4. 비선형 필터의 출력
 (a) AM파 (b) $q(t)$ 의 출력
 (c) $p(t)$ 의 출력 (d) Quadratic 필터의 출력

III. 검파기의 특성해석

그림 2에서 설계된 6차의 Hilbert 대역통과 필터의 주파수 특성은 다음과 같다.

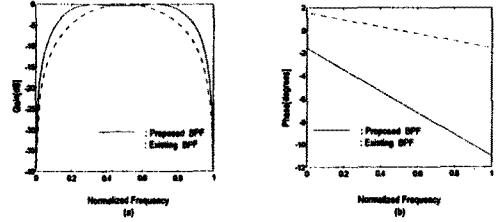


그림 5. 6차-Hilbert 대역통과 필터의 주파수 특성
 (a) 진폭 특성 (b) 위상특성

또한 그림 1에서 변조파 $b(t)$ 와 설계된 복조회로에서 검파된 변조파의 Error를 RMS(Root Mean Square)로 계산하였고, Signal to Error Ratio(SER)[6]에 의해서 샘플링 주파수에 따른 수치해석 결과를 그림 6에 나타내었다. 여기에서 $DC = 4$ 이며 white Gaussian noise의 크기는 각각 반송파 최대 크기의 1/5 배로 하였다.

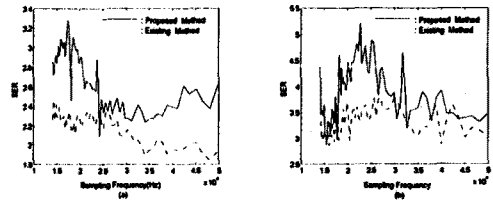


그림 6. 복조시스템에 대한 SER
 (a) 단일 주파수 ($f_m=6\text{KHz}$) 입력의 경우
 (b) 혼성 주파수 ($f_{m1}=8\text{KHz}$, $f_{m2}=1\text{KHz}$, $f_{m3}=500\text{Hz}$) 입력인 경우

IV. 결론

본 연구에서는 샘플링 주파수를 낮출 수 있는 undersampling 기법에 의하여 유용한 2 종류의 복조 시스템을 제안하였다. 첫째로, 전처리 필터로써 DC 성분 및 측파대 신호를 차단하는 4차의 Hilbert 대역통과 필터와 antiphase 특성을 갖는 quadratic 필터를 거쳐 변조파를 검파하는 방법과 둘째로, post 필터로써 간단한 FIR 저역통과 필터를 설계하여 복조시스템을 구성하였다.

가우시안 잡음 및 DC 성분을 섞은 단일 및 혼합 주파수를 각각 입력으로 하여 undersampling 기법으로 제안된 검파기들의 특성 및 오차를 해석하고 모의 실험 결과, 본 연구에서 설계된 복조시스템이 유용함을 보였다.

[참고 문헌]

- [1] T. E. Thiel and C. J. Saulnier, "Simplified Complex Digital Sampling Demodulator", Electronics, Lett. Vol. 26, No. 7, pp. 419~421 March, 1990.
- [2] P. Maragos and et., "On Amplitude and Frequency Demodulation Using Energy Operators", IEEE Trans. Sig. Proc., Vol. 41, No. 4, pp. 1532~1552, April, 1993.
- [3] Alan C. Bovik and Petros Maragos, "Conditions for Positivity of an Energy Operator", IEEE Trans. Sig. Proc., Vol. 42, No. 2, pp. 469~471, Feb. 1994.
- [4] R. G. Vaughan, N. L. Scott, and D. R. White, "The Theory of Bandpass Sampling", IEEE Trans. Signal Process., 1991, vol. 39, No. 9, pp. 1973-1984, Sep. 1991.
- [5] Larkin, K. G., "Neat Nonlinear Algorithm for Envelope Detection in White Light Interferometry", J. Opt. Soc. Am. A. Opt. Image Science, June, 1995.
- [6] K. G. Larkin, "Efficient Demodulator for Bandpass Sampled AM Signals", Electronics, Lett., Vol. 32, No. 2, pp. 101~102 Jan. 1996.
- [7] B. Picinbono, "Quadratic Filters", Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech, Signal Process., pp. 298-301, 1982.