

---

# 음성대역에서 FIR필터에 의한 최대 채널화에 관한 연구

김성철\* · 박경호\*

A study for maximum channelizing by FIR filter in voice band

Seong-Cheol Kim\* · Kyung-Ho Park\*

## 요 약

현재 정보사회는 다양한 정보를 멀티미디어 환경에서 이용자가 편리한 서비스를 제공받게 된다. 이러한 신호를 처리하는데 디지털화는 필수적이다. 또한 부족한 주파수의 자원을 효율적으로 이용하는 필터 기술 또한 더욱 요구되어지고 있다. 본 논문에서는 저주파 음성대역에서의 FIR 디지털 대역 통과 필터를 협대역으로 설계하고 설계된 필터를 DSP Kit를 이용, 실험 검증하고자 한다.

## ABSTRACT

Users are offered by the multimedia service of various information on current information-oriented society. The digitize became essential that process of various data is not to selected. Also, Filter technology is required to use the lacking frequency resources efficiently. This paper designs FIR digital band-pass filter of the voice band by narrow band pass filter and verify the characteristics of filter to use by the DSP practice SET.

## 키워드

FIR, DSP, BPF, Voice, Filter

## I. 서 론

현재 정보사회는 영상, 음성, 문자정보 등 다양한 정보를 멀티미디어 환경에서 이용자가 편리하게 서비스를 제공 받고자 한다. 유선/무선 통신기술 및 기기의 발달과 더불어 멀티미디어 서비스를 제공되는데 정보전송채널의 다중화가 요구된다. 디지털 신호처리 기술은 통신분야 뿐만 아니라 전자제품, 의료기 등을 전반에 걸쳐서 적용되고 있다.

디지털신호처리(Digital Signal Processing)에 의한 디지털 필터는 신호에 대한 잡음특성, 성능, 시스템 구성의 용이성과 신호 입력에 대해 특정 주파수 대역만 출력하

고, 그 이외의 주파수를 차단시키는 특성이 우수하다. 이 필터는 내부 피드백(Feedback)의 존재 여부에 따라서 피드백 구조를 갖는 경우 IIR(Infinite Impulse Response)필터라 하며, 피드백 구조가 없는 경우는 FIR(Finite Impulse Response) 필터라 한다.<sup>[1][2]</sup>

본 연구는 저주파대역에서 기존의 필터방식으로는 다채널 대역을 제작 할 수 없었으나, 음성대역에서 최대 채널화를 위한 협대역 BPF (Band Pass Filter) FIR 필터를 설계하며 DSP 프로세서로서 설계된 필터를 구현하고 인위적으로 발생시킨 신호를 사용하여 실험을 통해 필터의 협대역 특성을 검증하고자 한다.

## II. 디지털 필터

### 2.1 디지털 필터 개요

신호처리의 기본적인 목적으로 특정한 성질의 결과를 얻기 위해서 이산신호를 처리하는 장치나 알고리즘을 설계하는 것은 디지털 신호처리의 중요한 분야이며 이들 알고리즘이나 장치를 디지털 필터라고 한다.



그림 2.1 디지털 필터의 개념  
Fig. 2.1 Digital filter concept

디지털 필터의 장점으로는 비트 길이를 길게 할수록 고정도의 필터를 실현할 수 있으며, 필터계수 값을 적절히 변경시킴으로써 필터 특성을 쉽게 수정할 수도 있다. 단점으로는 아날로그 신호에 대해서 표본화, 양자화, 부호화에 의해 clock 주파수가 높게 되어 처리할 수 있는 아날로그 신호의 주파수 상한이 한정되며, 낮은 차수의 필터 구성시 가변성, 다양성을 요구하지 않을 경우 소형화 효과가 감소한다.

소프트웨어에 의한 디지털필터에 대해서는 특성의 가변성이 최대의 이점이고, 하드웨어로 실현한 디지털 필터는 품질의 균일성, 안정성, 소형화, 저가격화가 큰 이점이라 할 수 있다.

### 2.2 FIR 필터

FIR 필터는 Impulse 응답 시간이 유한한 필터이다. 일반적으로 비순회형 혹은 비재귀형의 구성으로 실현할 수 있기 때문에 비순회형 혹은 비재귀형 필터라고 한다.

이 필터의 입력  $x[n]$ 과 출력  $y[n]$ 은 이 필터의 임펄스 응답  $h_n$ 을 사용하여,

$$y[n] = \sum_{m=0}^N h_m x[n-m] \quad (2.1)$$

이라는 차분방정식으로 표현된다.

전달함수  $H(z)$ 는

$$H(z) = \sum_{m=0}^N h_m z^{-m} \quad (2.2)$$

로된다. 식 (2.1), (2.2)의  $N$ 이 FIR 필터의 차수이다. FIR 필터의 전달함수의 영점만 가지면,  $z=0$ 인 곳을 제외하고는 극을 갖지 않는다.

### 2.3 IIR 필터

임펄스 응답의 길이가 무한으로 이어지는 필터를 IIR 필터라고 한다 또 이 필터는 출력이 입력으로 피드백하기 때문에 순회형 또는 재귀형 필터라고도 부른다.

이 필터의 입력  $x[n]$ 과 출력  $y[n]$ 의 관계는 이 필터의 임펄스 응답  $h_m$ 을 사용하면,

$$y[n] = \sum_{m=0}^{\infty} h_m x[n-m] \quad (2.3)$$

로 되기 때문에 적화(積和:sum of products) 계산을 무한으로 하게 되고  $y[n]$ 의 계산은 언제까지나 종료하지 않는다. 그래서 IIR 필터에서는

$$y[n] = \sum_{i=1}^M a_i y[n-i] + \sum_{j=0}^N b_j x[n-j] \quad (2.4)$$

에서  $y[n]$ 을 계산한다. 즉 현재의 출력을 계산하는데 과거에 얻어진 출력을 이용하기 때문에 결과적으로 식 (2.3)식의 계산을 하고 있는 것이 된다.

전달함수  $H(z)$ 는

$$H(z) = \frac{\sum_{j=0}^N b_j z^{-j}}{1 - \sum_{i=1}^M a_i z^{-i}} \quad (2.5)$$

로 된다. IIR 필터의 전달함수는 일반적으로

$z=0$ 의 부분 이외에도 극과 영점을 가진다. 단  $N=0$ 일 경우 영점은  $z=0$ 의 부분 이외에는 존재하지 않는다. IIR 필터에서는 일반적으로 식 (2.5)에서 분모의  $M$ 을 그 차수로 한다.<sup>[3][4]</sup>

위의 FIR이나 IIR 필터를 선택할 경우에는 두 필터의 장점을 고려하여 알맞은 필터를 선택한다. 이 두 필터의 차이점은 다음과 같다.<sup>[2]</sup>

A. FIR 필터는 IIR에 비해 구조가 간단하다.

B. FIR 필터는 항상 안정성이 보장되지만 IIR 필터는 그렇지 않다.

C. FIR 필터의 위상은 선형이고 IIR 필터의 위상은 비

선형이므로 위상의 왜곡이 강건하다.

D. FIR 필터를 사용하여 원하는 필터를 가지게 설계하려면 필터의 계수들이 IIR 필터를 사용했을 경우보다 더 많이 필요하다.

E. IIR 필터는 아날로그 필터의 구조와 비슷하므로 필터변환이 쉬운 반면에 FIR 필터는 상대적으로 어렵다.

본 연구에서는 구조가 간단하며 안정성이 보장되는 FIR 필터를 선택하여 설계하였다.

### III. 윈도우 함수를 이용한 필터의 설계

아날로그 필터와 같이 디지털 필터는 주어진 입력신호  $x(n)$ 을 원하는 신호  $y(n)$ 으로 변환하는 디지털 시스템이다. 입력신호  $x(n)$ 에서 고주파 성분을 제거한 신호만을 출력신호  $y(n)$ 으로 변환하는 디지털 시스템은 디지털 필터의 좋은 예이다.



그림 3.1 디지털 필터  
Fig. 3.1 Digital Filter

위의 그림에서 디지털 필터의 단위 임펄스응답  $h(n)$ 이

$$h(n) = \begin{cases} (-1)^n a^n & 0 \leq n \leq N \\ 0 & n < 0 \text{ 또는 } n > N \end{cases} \quad (3.1)$$

디지털 필터의 설계조건은 일반적으로 주파수 특성  $H_d(e^{j\omega})$ 로 주어지는데, 이로부터 푸리에 역변환을 구하면 이산함수를 구할 수 있다. 이산함수  $h(n)$ 이라고 표시하면

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (3.2)$$

이다. 함수  $h(n)$ 을 임펄스응답 또는 전달함수 등으로 부르는데  $h(n)$ 이 FIR 함수이면 좋겠지만 IIR 함수인 경우가 많다.

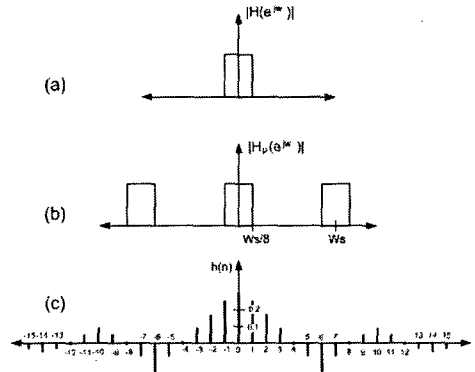


그림 3.2 주파수 특성과 전달함수  
Fig. 3.2 Frequency character and transfer function

이 IIR 함수를 FIR 함수로 변환하는 방법은  $h(n)$ 에서  $h(-10)$ 과  $h(10)$ 사이의 값만을 선택하고 그 밖의  $h(n)$ 은 대단히 작은 값이므로 0이라고 설정하면 FIR 함수가 된다. 이는 그림 3.3의 (a)이다. 그림의 함수는  $n < 0$ 에 대해서도 값을 갖는 함수이므로 실제로 실현 가능한 필터로 구현하려면  $n < 0$ 에 대해서는  $h(n) = 0$ 가 되어야 한다. 주파수 특성은 그대로 유지하면서  $n < 0$ 에 대해서  $h(n) = 0$ 으로 하려면 그림 3.3의 (a)을 오른쪽으로 이동(shift)시키면 FIR 함수인 그림 3.3의 (b)가 된다.<sup>[4]</sup>

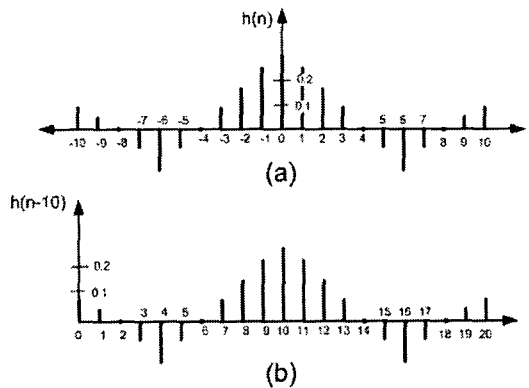


그림 3.3 FIR 함수  
Fig. 3.3 FIR function

이러한 과정을 식으로 표현하기 위해 창함수(window function)  $w(n)$ 을 다음과 같이 정의하면

$$u(n) = \begin{cases} 1 & -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{그밖의 } n \end{cases} \quad (3.3)$$

위 식은  $-\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}$  에서 항상 1이고 그 밖의  $n$ 에서는 0 이므로, 식 (3.2)의 IIR 함수를 버림해서 구한 FIR 함수를  $h_f(n)$ 라 표시하면 다음과 같다.

$$h_f(n) = h(n)u(n) \quad (3.4)$$

위에서 구한  $h_f(n)$ 을 이동하여 구한 함수가 실현가능 FIR 임펄스 함수가 된다.

창함수  $u(n)$ 의 푸리에 변환을  $W(e^{j\omega})$ 로 표시하면

$$W(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} u(n)e^{-j\omega n} = \frac{\sin(N\frac{\omega}{2})}{\sin(\frac{\omega}{2})} \quad (3.5)$$

을 얻는다.  $h_f(n)$ 는  $h(n)$ 과  $u(n)$ 의 곱이므로  $h_f(n)$ 의 푸리에 변환  $H_f(e^{j\omega})$ 는  $H_d(e^{j\omega})$ 와  $W(e^{j\omega})$ 의 컨볼루션이다.

$$H_f(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(e^{j\theta})W(e^{j(\omega-\theta)})d\theta \quad (3.6)$$

결국 선결조건으로 주어진 주파수 특성  $H_d(e^{j\omega})$ 와 구형창의 푸리에 변환  $W(e^{j\omega})$ 의 컨볼루션을 구하고 다시 푸리에 역변환을 하면 FIR 함수  $h_f(n)$ 을 얻을 수 있다.

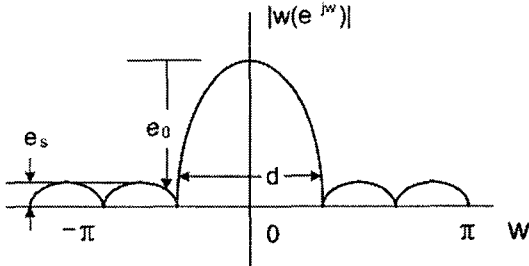


그림 3.4  $N=8$ 인 경우의  $|W(e^{j\omega})|$   
Fig. 3.4 If value of N is 8, in the case  $|W(e^{j\omega})|$

그림 3.4에서 필터의 특성은 주엽(main lobe)  $e_0$ 를 크게 하고,  $d$ 를 짧게 할수록 좋으며, 이와 더불어 부엽(side

lobe)  $e_s$ 를 작게 할수록 우수한 필터가 된다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 여러 가지의 창 함수가 발표되어왔으며, 그 중에서 널리 사용되고 있는 창 함수는 다음과 같다.<sup>[4][5][6]</sup>

Hamming 창 의 일반형은

$$u(n) = \begin{cases} a + (1-a) \cos(\frac{2\pi n}{N}) & -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{그밖의 } n \end{cases} \quad (3.7)$$

이다. 여기에서  $a$ 는  $0 \leq a \leq 1$ 의 범위에 있는 상수이다. 특히  $a=0.54$ 인 경우  $u(n)$ 을 Hamming 창함수(Hamming window function)라 하고,  $a=0.5$ 인 경우의  $u(n)$ 을 Hanning 창함수(Hanning window function)라 한다.

#### IV. 실험 및 결과

이 실험에서는 ND-TECH의 DSP STAR C6000 Kit를 이용하여 DSP 프로세서 모듈과 다양한 입출력 포함하여 I/O 보드로 구성된 하드웨어와 프로그램 개발 및 디버깅을 위한 소프트웨어 Code Builder v4.53을 사용하였다. DSP STAR I/O 보드 주요 특징은 다음 표 4.1와 같다.<sup>[7]</sup>

표 4.1 DSP STAR I/O 특징  
Table. 4.1 DSP STAR I/O type

구성요소	특징
Audio Codec	8k, 16k Sample, 13-bit Liner PCM
AD Converter	120Ksps, 8Channel, 12bit
DA Converter	120Ksps, 4Channel, 12bit
Step Moter	Step Moter Control Port
Graphic LCD	128 dot x 64 dot black and white
User LED	8 User LED
Push Button Switch	4 Push Button Switch
Dip Switch	4 Dip Switch
CPU Expansion Bus Port	- 16Bit Data/Address, 1 Chip Select - 1 Read/Write, 1 Output Enable
Digital I/O	8 Bit Input / 8Bit Output
PWM Port	4 PWM Output Port
J-TAG	J-TAG Interface
Reset switch	Push Button Reset Switch

실험의 구성은 그림 4.1에서와 같이 여러개의 주파수 발생기를 통해서 발생된 주파수를 DSP STAR Kit ADC 에 전달 시켜주고, 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 FIR 필터 설계하여 DSP STAR Kit내 컴파일하여, 그 결과값을 오실로스코프로 측정하는 형태로 진행하였다.

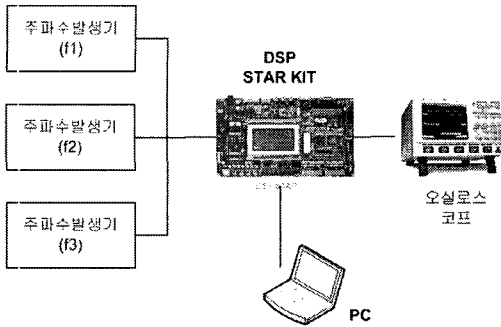


그림 4.1 실험 구성도  
Fig. 4.1 Simulation Diagram

사용된 필터는 Hamming window를 사용하였다. 사용된 주파수 대역은 음성대역 주파수 300Hz ~ 3,400Hz까지를 사용하였으며, 필터의 종류로는 BPF(Band Pass Filter)를 사용하였다. 이때 샘플링 주파수(Sampling frequency)는 8KHz, BPF에서 저역차단 주파수( $f_1$ )는 970Hz, 고역차단 주파수( $f_2$ )는 1130Hz를 입력하였다. 이 대역폭 값을 더 줄여주면 출력측에서 주파수가 검출이 되지 않았다. FIR 필터 계수  $N=31$ 를 사용하였다. 본 논문의 실행 순서도는 다음과 같다.

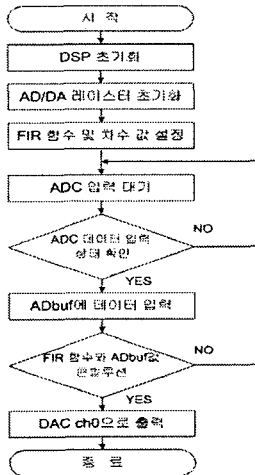


그림 4.2 실험 순서도  
Fig. 4.2 Simulation Table

DSP STAR 하드웨어의 ADC/DAC는 그 샘플링 속도가 120Khz이고 12 bit unsigned 양자화를 실행한다. 이를 이용하여 ADC/DAC 설계한 결과 다음 그림 4.3과 같이 출력 값이 측정되었다.

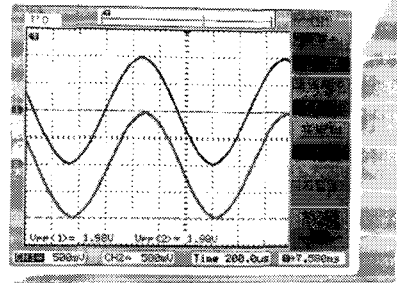


그림 4.3 ADC/DAC 샘플링  
Fig. 4.3 ADC/DAC sampling

그림 4.3에서 파형은 DSP STAR Kit에서 ADC로 입력된 파형과 DAC로 출력된 파형이다.

본 실험에서는 입력측  $V_{1pp} = 1.56V$ 를 입력하였으며, 출력측에서는 입력측  $V_{1pp}$  값의  $1/\sqrt{2}$ 가 되는 지점인  $V_{2pp} = 1.10V$ 값을 기준으로 대역폭을 결정하였다. 그림 4.4에서는 여러개 합성된 주파수가 FIR 필터를 통해 주파수가 출력되고 있음을 보여주는 것이다.

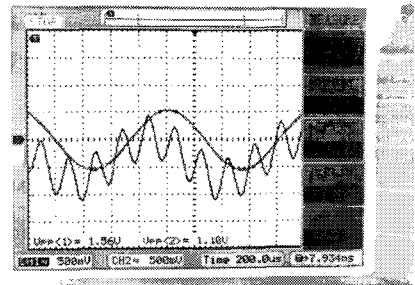


그림 4.4 입력측 합성파와 출력측 정현파  
Fig. 4.4 Input port composition and Output port sinewave

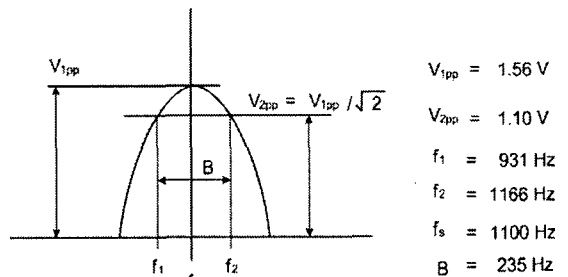


그림 4.5 실험 결과 값  
Fig. 4.5 Simulation result

위의 실험을 통해서 그림 4.5와 같이 대역폭(B)는 235Hz의 값을 얻을 수 있었다. 이를 통해 음성주파수대역에 약 13개의 채널을 만들 수 있었다. 이는 기존 음성대역을 이용한 무선 모뎀기에서 채널별 대역폭 400Hz보다 무려 165Hz를 더 협대역화 할 수 있었다.

## V. 결 론

이상으로 음성 주파수대역에서 Hamming window를 적용하여 BPF FIR 디지털 필터를 설계하였으며 그 특성을 검증하기 위하여 DSP STAR Kit에 코딩하여 실시간 필터링을 구현하였다.

931Hz, 1100Hz, 1166Hz의 정현파 신호를 사용하여 필터의 특성을 실험한 결과, 그림 4.5에서와 같이 대역폭은 235Hz 값을 얻을 수 있었다. 이는 기존 무선모뎀에서의 400Hz 대역폭 보다 165Hz를 협대역화 한 것으로서 주파수이용효율을 41.25%를 개선 할 수 있었다.

향후 더욱 첨예한 특성의 협대역 필터를 설계, 제작하여 다채널화를 연구하는데 기여할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 미카미 나오키, 송봉길, "C언어에 의한 디지털 신호처리 입문 DSP", 성안당, 2006
- [2] 박선호, "디지털 신호처리의 기초와 DSP 응용실무", 국제테크노정보연구소, 2003
- [3] Andreas Antoniou, Digital Filters: Analysis, Design, and Applications, 2nd Ed. McGraw-Hill, 1993
- [4] 이진호, "DSP 기반 가변 디지털 필터 설계 및 구현", 금오공과대학교, 2005
- [5] 임종석, 하경석, 이광현, 정동식, "고속 FIR 여파기 설계에 관한 연구", 전자통신연구원, 1998.
- [6] E. Lee : "Programmable DSP Architectures: Part II," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine* pp. 4-14(1989)
- [7] 오영인, 김병진, "TMS320C6000 계열 프로세서 활용 DSP 실시간처리", 생능 출판사, 2006
- [8] 정슬, "디지털 신호처리 및 필터설계", 아진, 2002
- [9] D. Bull, D. Horrocks: "Reduced- Complexity Digital Filtering Structures Using Primitive Operation," *Electronics Letters* pp. 769-771(1987)

- [10] D. Bull, D. Horrocks: "Primitive Operator Digital Filters," *IEE Proceedings-G* 138, 401-441 (1991)
- [11] E. Lee : "Programmable DSP Architectures: Part I," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine* pp. 4-19(1988)
- [12] M. Shajaan, J. Sorensen: "Time -Area Efficient Multiplier-Free Recursive Filter Architectures for FPGA Implementation," in *IEEE International Conference in Acoustics, Speech, and Signal Processing* (1996), pp.3269-3272
- [13] P. Lapsley, J. Bier, A. Shoham, E. Lee : *DSP Processor Fundamentals* (IEEE Press, New York, (1997)
- [14] Texas Instrument "TMS320F281x System control and Interrupts Reference Guide", 2005
- [15] Z. Mou, P. Duhamel: "Short- Length FIR Filter and Their Use in Fast Non-recursive Filtering," *IEEE Transactions on Signal Processing* 39, 1322-1332 (1991)

## 저자소개

### 김 성 철 (Seong-Cheol Kim)



2001.2 목포해양대학교 해양  
전자통신공학부 학사  
2003.2 목포해양대학교 해양  
전자통신공학부 석사

2003~ 목포해양대학교 해양전자통신공학부 박사과정  
※ 관심분야: 데이터통신시스템, 신호처리, DSP

### 박 경 호 (Kyung-Ho Park)



1985.2 조선대학교 공학박사  
2000.2 펜실바니아주립대학교  
교환교수

1969.11~ 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수  
※ 관심분야: 데이터통신시스템, 컴퓨터구조