

4차 보간 필터를 사용한 데시메이션 필터의 통과대역/저지대역 특성 개선

정희원 장영범*, 준회원 이원상*, 준회원 유현중*

Passband Droop and Stopband Attenuation Improvement of Decimation Filters Using Interpolated Fourth-Order Polynomials

Young-Beom Jang* *Regular Member*, Won-Sang Lee*, Hyeon-Joong Yoo* *Associate Members*

요 약

이 논문에서는 CIC(Cascaded Integrator-Comb) 필터와 half band 필터를 직렬로 연결하여 사용하는 데시메이션 필터의 주파수 응답을 향상시키는 보간 필터를 제안한다. 기존의 방식들은 통과대역의 리플 특성만을 향상시키나, 이 논문에서는 통과대역의 특성과 저지대역의 감쇠특성을 동시에 향상시키는 IFOP(Interpolated Fourth-Order Polynomials) 필터를 제안한다. 설계 방법도 저지대역을 특성향상을 완료한 후에 통과대역 특성을 향상시키므로 최적화 프로그램을 사용하지 않고도 체계적으로 설계가 가능함을 보였다. 제안된 필터는 곱셈이 2개 필요한 구조이므로 추가적인 연산량이 적으며, 또한 선형위상의 특성을 갖고 있으므로 선형위상 특성을 그대로 유지할 수 있다. 예제들을 통하여 저지대역과 통과대역의 특성이 향상되는 양을 관찰하였으며, Verilog-HDL coding을 통하여 계수 양자화 영향도 분석하였다.

Key Words : IFOP, CIC, halfband filter, Decimation filter

ABSTRACT

In this paper, a new filter structure to improve frequency response characteristics in decimation filter using CIC(Cascaded Integrator-Comb) filters and half band filters is proposed. Conventional filters improve only passband characteristics, but we propose a new filter which can improve stop band and pass band characteristics simultaneously. Since proposed filter needs only two multiplication, additional implementation cost is not much. And overall linear phase characteristics are maintained since the proposed filter is also linear phase. Finally, filter coefficients quantization effects are discussed after Verilog-HDL coding.

I. 서론

이동 통신 시스템이나 A/D 변환기 등에서 데시메이션 필터의 사용이 점점 더 많아지고 있다. 필요로 하는 데시메이션 인수가 매우 큰 경우에는 데시메이션 필터의 통과대역의 대역폭은 매우 좁아지게 된다. 이와 같이 대역폭이 매우 좁은 필터를 일반 필터를 사용하여 설계하면 필터의 탭 수가 매우 커지므로,

구현할 때에 전력소모와 구현면적이 문제가 된다. 따라서 상용화된 데시메이션 필터용 IC 들을 살펴보면 CIC(Cascaded Integrator-Comb) 필터, half band 필터, 그리고 PFIR(Programmable Finite Impulse Response) 필터의 3개의 단계로 나누어 데시메이션 필터를 설계하고 있다. 이와 같이 다단계로 필터를 설계하면 필터의 탭 수를 줄일 수 있을 뿐 아니라 구현면적도 감소시킬 수 있기 때문이다. 즉, 뒤 단계로 갈수록

* 상명대학교 정보통신공학전공(ybjang@smu.ac.kr)
 논문번호 : 040170-0507, 접수일자 : 2004년 5월 7일
 ※ 본 연구는 상명대학교 2004년도 연구지원에 의해 수행되었습니다.

사양이 우수한 필터를 사용함으로써 전체적인 필터 구현 비용을 감소시킬 수 있다. 예를 들면 Harris Semiconductor사의 HSP50214의 데시메이션 필터 구조를 살펴보면, CIC 필터의 데시메이션 인수가 32이며, half band 필터의 데시메이션 인수도 역시 32이다. 또한 PFIR 필터의 데시메이션 인수는 최대 16을 사용하여 전체적으로 16384의 데시메이션 인수를 제공하고 있다. 데시메이션 필터 설계의 가장 중요한 고려 사항중의 하나가 저전력 설계이다. 그런데 데시메이션 필터 뒤에는 항상 데시메이터가 붙으므로 스테이지 분리를 통한 데시메이터의 분산이 전력소모 감소를 달성할 수 있는 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 예를 들면 인수가 1024인 데시메이션 필터를 FIR로 설계할 때, 필터 1개를 사용하여 구성하는 것보다는 half band 필터를 10개 직렬로 연결하여 사용하는 것이 전체적인 필터 차수가 낮아서 전력 소모에도 도움이 되고 구현 면적도 작아진다. 이 경우 앞단으로 갈수록 half band 필터의 사양이 엄격하지 않아도 되므로 구현 차수를 더욱 낮게 할 수 있다. 그러나, 이와 같이 10단을 모두 half band 필터로 구현하는 것보다는 앞단의 몇 개는 CIC 필터로 설계하는 것이 더욱 전력소모를 줄일 수 있다. CIC 필터는 통과대역의 특성이 좋지 않으므로 특성개선에 대하여 여러 가지의 연구결과가 발표되고 있다.^{[2][4]} [2][3]에서는 필터의 통과대역을 날카롭게 하는 기술을 CIC 필터에 적용하여 3개의 CIC 필터의 조합으로 통과대역의 리플을 감소시키는 방법이 제시되었다. 이 방법은 통과대역의 리플이 감소되며 앨리어싱 대역의 감쇠는 상당히 향상되지만, 3개의 CIC 필터를 사용하므로 하드웨어의 구현비용이 상당히 증가되는 단점이 있다. 즉, 전달함수가 $H_s(z) = H^2(z)[3 - 2H(z)]$ 로 표현되므로 CIC 필터 $H(z)$ 가 3개가 사용된다. [4]에서는 ISOP(Interpolated Second Order Polynomial)라는 2차 필터를 CIC 필터 뒤에 삽입하여 통과대역의 리플을 감소시키는 방식을 제안하였다. 그러나 이 방법은 통과대역의 특성은 향상시키나 앨리어싱 감쇠는 나빠지는 단점이 있다. 본 논문에서는, 기존의 CIC 필터의 통과대역 리플 감소방법들과 비교하여 통과대역의 리플을 감소시킴과 동시에 앨리어싱 대역의 감쇠도 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 또한 CIC 필터와 half band 필터를 직렬로 사용하는 경우에 앨리어싱 대역 이외에 고려해야하는 또 다른 대역이 존재한다. 즉, 이상적인 half band 필터를 사용한다면 half band의 저지대역 감쇠특성은 완전한 0이 되므로

앨리어싱 대역만을 고려하면 충분하다. 그러나 실제 half band 필터의 저지대역 감쇠 특성은 0이 아니므로 CIC 필터의 필터 이득과 결합되어 전체적인 데시메이션 필터의 저지대역 감쇠특성이 결정된다. 즉, 데시메이션 필터의 저지대역 감쇠특성은 앨리어싱 밴드의 감쇠특성에 의해서만 결정되는 것이 아니라, half band 필터의 저지대역특성에 의해서 결정된다. 따라서 본 논문에서는 CIC 필터의 통과대역 리플을 감소시키며, 필터 전체의 저지대역 감쇠특성을 향상시키는 방법을 제안하고자 한다.

II. 제안된 4차 보간 필터를 사용한 데시메이션 필터의 특성개선 방법

CIC 필터는 곱셈기가 필요하지 않으며, 처리속도의 변환이 가능하기 때문에 고속과 저전력을 요구하는 협대역 데시메이션 필터의 첫 번째 스테이지에 적합하다.[1] 이러한 CIC 필터의 전달함수는 다음과 같다.

$$H(z) = \left\{ \frac{1}{MR} \frac{1-z^{-MR}}{1-z^{-1}} \right\}^L \quad (1)$$

위의 식에서 M 은 데시메이션 인수, L 은 필터의 차수, 그리고 R 은 differential delay로 정의한다. CIC 필터는 식 (1)에서 보듯이 파라미터가 3개 밖에 없으므로 CIC 필터만 사용하여 원하는 필터 특성을 만족시키기가 어렵다. 요구되는 통과대역의 주파수 사양을 만족시키기 위하여 데시메이션 인수 M 과 differential 지연 R 을 조정하며, 앨리어싱 대역의 감쇠 사양을 만족시키기 위하여 필터차수 L 을 조정하는 것이 전부이다. 원하는 데시메이션 필터의 인수는 초기에 결정되므로 실제로 조정 파라미터는 L 과 R 밖에 없게 된다. 일반 필터에서는 저지대역의 감쇠특성만을 고려하지만, CIC 데시메이션 필터에서는 저지대역의 감쇠특성과 더불어 앨리어싱 대역의 감쇠특성도 함께 고려하여야 한다. 앨리어싱 대역은 CIC 필터 뒤에 사용되는 half band 필터의 수에 따라 정의된다. M 이 8이고 R 이 1인 CIC 필터의 앨리어싱 대역은 다음과 같다. 즉, half band 필터를 1개 사용하는 경우에는 앨리어싱 대역은 그림 1과 같이 4개의 대역이다. 만일에 half band 필터를 2개 사용하는 경우에는 그림 1의 각각의 앨리어싱 대역은 반으로 줄어들게 된다. 식 (1)에서 L 을 증가시키면 앨리어싱 대역과 저지대역의 감쇠는 향상되나 통과대역의 특성이 나

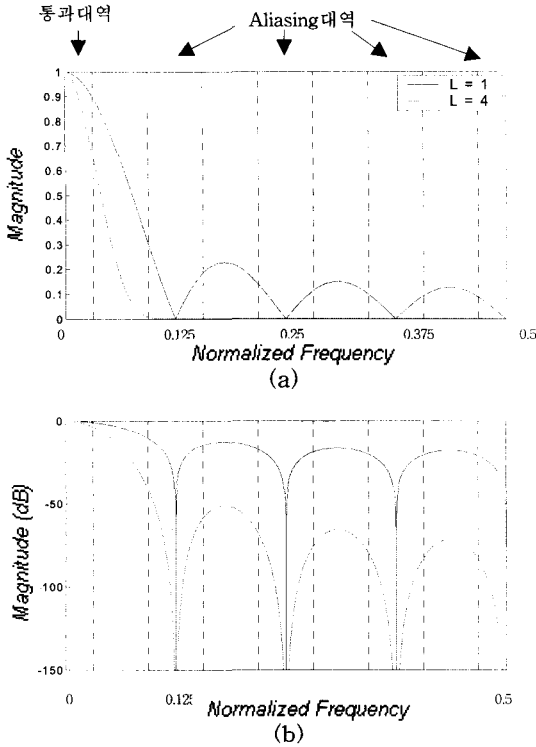


그림 1. CIC 필터의 주파수 응답(M=8, R=1)
(a) 선형 스케일 (b) 로그 스케일

빠진다. 따라서 일단 L 을 증가시켜 원하는 앨리어싱 대역과 저지대역의 감쇠 특성을 만족시킨 후에, 여러 가지 기존의 통과대역 특성 향상 방법들을 사용하는 것이 일반적인 방법이다. 그림 1은 L 이 1일 때와 4일 때의 필터 특성을 보여주고 있다. 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이, L 을 4로 증가시키면 앨리어싱 대역의 감쇠특성이 -10dB 에서 -41.32dB 로 매우 향상됨을 볼 수 있다. 이 경우에 앨리어싱 대역의 감쇠특성을 관찰하기 위하여 4개의 앨리어싱 대역 중에서 첫 번째의 대역만을 관찰하면 된다. 이는 첫 번째 앨리어싱 대역의 감쇠가 가장 크기 때문이다. 반면에 L 을 4로 증가시키면 통과대역의 특성이 급격히 저하되고 있음을 그림 1(a)의 통과대역에서 볼 수 있다. 이 논문에서는 CIC 필터의 통과대역 특성을 향상시키면서 동시에 앨리어싱 대역과 저지대역의 감쇠특성도 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 그 방법으로서 다음과 같은 4차의 필터를 제안한다.

$$P_f(z) = \frac{1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + p_1 z^{-3} + z^{-4}}{|2 + 2p_1 + p_2|} \quad (2)$$

위의 필터는 I 에 의해서 보간되는 4차의 보간 필터이므로 IFOP(Interpolated Fourth-Order Polynomials)라고 부르기로 한다. 제안된 필터는 4차의 FIR 필터이므로 5 탭의 필터계수를 갖는다. 그러나 5개의 필터계수 중에서 2개는 1이므로 구현 시에 곱셈의 비용이 들지 않는다. 또한 제안된 필터는 필터계수가 대칭이므로 선형위상의 특성을 갖게된다. 따라서 CIC 필터의 선형위상 특성을 그대로 유지할 수 있으므로 통신용으로 널리 사용할 수 있는 구조이다. 제안된 필터는 그림 2와 같은 제로들을 가지므로 차수가 4가 되어야 하며 통과대역과 앨리어싱 대역의 감쇠특성을 향상시키는 원리는 다음과 같다. 식 (2)에서 분모의 절대값은 IFOP의 DC 이득을 1로 맞추기 위한 스케일링 값이고, I 는 보간 인수이므로 이들을 제외하고 간단히 하면 다음의 식과 같다.

$$P(z) = 1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + p_1 z^{-3} + z^{-4} \quad (3)$$

위의 필터는 다음과 같이 두 개의 필터로 인수 분해된다.

$$P(z) = Q_1(z)Q_2(z) = (1 + q_1 z^{-1} + z^{-2})(1 + q_2 z^{-1} + z^{-2}) \quad (4)$$

식(3)과 (4)에서 다음의 관계가 있음을 알 수 있다.

$$p_1 = q_1 + q_2, \quad p_2 = q_1 q_2 + 2 \quad (5)$$

식(4)에서 q_1 은 필터의 zero가 그림 2와 같이 z 평면상의 실수 축 위에 놓이도록 조정하며, q_2 는 필터

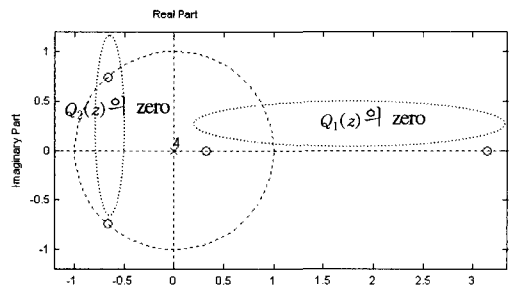


그림 2. $Q_1(z)$ 와 $Q_2(z)$ 의 zero

의 zero가 단위 원 위에 놓이도록 조정한다.

그림 2에서 보듯이, q_1 은 CIC 필터의 저하된 통과대역 특성을 향상시키는 용도로 사용되며, q_2 는 저지대역의 감쇠특성 또는 앨리어싱 대역의 감쇠특성을 향상시키는 용도로 사용한다. 저지대역 또는 앨리어싱 대역의 감쇠를 향상시키기 위하여 q_2 가 먼저 결정되어야 하며, q_2 를 고정한 상태에서 통과대역의 리플을 최소화하기 위하여 q_1 이 결정된다. [4]에서 제안된 다음의 식을 이용하여 q_2 를 먼저 결정한다.

$$|F(e^{j\omega})Q_{2L}(e^{j\omega})| < \delta_s, \text{ for } \omega_s \leq \omega \leq \pi \quad (6)$$

위의 식에서 $F(e^{j\omega})$ 는 직렬 연결된 CIC 필터와 half band 필터 결합 주파수 응답이며, $Q_{2L}(e^{j\omega})$ 는 $Q_2(e^{j\omega})$ 의 보간된 주파수 응답이다. 식 (6)에서 최소의 저지대역 감쇠 δ_s 값을 만족하는 $Q_{2L}(z)$ 를 설계하여야 한다. 따라서, q_2 를 변화시키면서 식 (6)의 δ_s 값을 추적하면 최적의 q_2 를 찾을 수 있다. q_1 을 찾는 방법은 다음과 같다.

$$|F(e^{j\omega})Q_{1L}(e^{j\omega}) - 1| < \delta_p, \text{ for } 0 \leq \omega \leq \omega_p \quad (7)$$

위의 식에서 $F(e^{j\omega})$ 는 역시 직렬 연결된 CIC 필터와 half band 필터 결합 주파수 응답이며, $Q_{1L}(e^{j\omega})$ 는 $Q_1(e^{j\omega})$ 의 보간된 주파수 응답이다. 식 (7)에서 최소의 통과대역 리플 δ_p 값을 만족하는 $Q_{1L}(z)$ 를 설계한다. 주어진 데시메이션 필터의 사양으로부터 q_2 와 q_1 을 결정하는 절차를 요약하면 다음과 같다.

(1) CIC 필터와 half band 필터의 사양 결정

1-1 CIC 필터의 M, R, L 결정

1-2 half band 필터의 사용 수와 사양 결정

(2) CIC 필터와 half band 필터 설계

2-1 주파수응답 관찰

2-2 목표 감쇠대역 결정

(3) IFOP 설계

3-1 적당한 I 의 값을 결정한다.

3-2 q_2 를 조정하여 저지대역 또는 앨리어싱 대역 감쇠를 최소화한다.

3-3 결정된 q_2 를 고정시키고, q_1 을 조정하여 통

과대역 리플을 최소화한다.

3-4 결정된 q_2 와 q_1 을 사용하여 $P_I(z)$ 결정한다.

3-2와 3-3의 스텝에서 찾은 q_2 와 q_1 의 값들은 최적 아닐 수 있다. 따라서 다시 이 스텝을 반복하거나 최적화 프로그램을 사용하면 최적의 q_2 와 q_1 을 찾을 있다. 제안된 $P_I(z)$ 의 진폭 응답은 다음과 같다.

$$|P_I(e^{j\omega})| = \frac{|2 \cos 2\omega I + 2p_1 \cos \omega I + p_2|}{|2 + 2p_1 + p_2|} \quad (8)$$

$Q_2(z)$ 를 설계할 때에, 사용되는 half band 필터의 수에 따라서 목표가 달라진다. 즉, half band 필터를 한 개 사용하는 경우에는 앨리어싱 대역의 감쇠를 작게 하는 것이 목표이고, half band 필터를 2개 이상 사용하는 경우에는 통과대역과 앨리어싱 대역의 사이에 존재하는 감쇠가 크므로 이를 낮추는 것이 목표가 된다.

III. 설계 예제

최적의 IFOP의 필터계수를 찾는 방법을 다음의 예제들에 적용해 보기로 한다.

(예제 1) 주어진 데시메이션 필터 사양

(a) 데시메이션 인수 $D=36$

(b) 샘플링 주파수 $f_s=39\text{MSPS}$

(c) 통과대역 주파수 $\omega_p=0.00525$, 리플 $\delta_p=-0.2 \text{ dB}$

(d) 저지대역 주파수 $\omega_s=0.0105$, 감쇠 $\delta_s=-70 \text{ dB}$

(1) CIC 필터와 half band 필터의 사양 결정

1-1 CIC 필터 : 데시메이션 인수가 36이므로 CIC 필터와 half band 필터의 조합은 $36 \times 1, 18 \times 2, 9 \times 4$ 등의 3가지가 있다. 이 중에서 가장 구현비용이 작은 것은 물론 36×1 이지만 이 선택으로는 주어진 사양의 필터를 구현할 수 없다. 따라서 그 다음 선택인 18×2 를 선택한다. 주어진 필터 사양으로부터 결정된 CIC 필터의 사양은 $R=1, M=18, L=5$ 이다.

1-2 half band 필터의 사용 수와 사양 : half band 필터로는 HSP50214(Harris Semiconductor)의 half band 필터를 사용하기로 한다. half band 필터의 데시메이션 인수가 2이므로 데시메이터 앞과 뒤에 하나씩 2

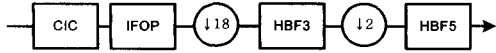


그림 3. 예제 1의 데시메이션 필터 블록도(CIC 필터 +IFOP+ half band 필터)

개를 사용한다. 지금까지 결정된 CIC 필터와 half band 필터, 그리고 아직 설계하지 않은 IFOP를 사용하여 데시메이션 필터를 구성하면 그림 3과 같다.

(2) CIC 필터와 half band 필터 설계

2-1 주파수응답 관찰 : (1)의 단계에서 결정된 CIC 필터와 half band 필터 직렬연결의 등가 주파수 응답은 그림 4와 같다. 그림 4(a)를 관찰하면 저지대역의 감쇠가 가장 나쁜 곳이 $\omega=0.02$ 와 $\omega=0.035$ 인 지점을 알 수 있다. 그림 4(b)는 이 지역을 확대한 주파수 응답이다. 이렇게 설계된 데시메이션 필터의 통과대역 리플은 -1.0746 dB이고 저지대역 감쇠는 -55.42 dB로서 주어진 필터 사양을 만족하지 못함을 알 수 있다.
2-2 목표 감쇠대역 결정 : 이 논문에서 제안하는 IFOP를 사용하여 $\omega=0.02$ 와 $\omega=0.035$ 인 지점의 저지

대역 감쇠를 작게 만드는 것을 목표로 결정한다. 또한 $\omega_p=0.0069$ 까지의 통과대역의 리플을 작게 만드는 것을 목표로 정한다.

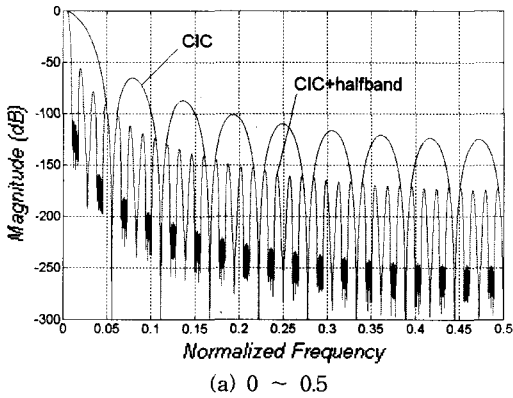
(3) IFOP 설계

3-1 그림 4(a)를 관찰하면 저지대역의 감쇠가 가장 나쁜 곳이 $\omega=0.02$ 와 $\omega=0.035$ 이므로 IFOP의 L 는 18로 결정한다.

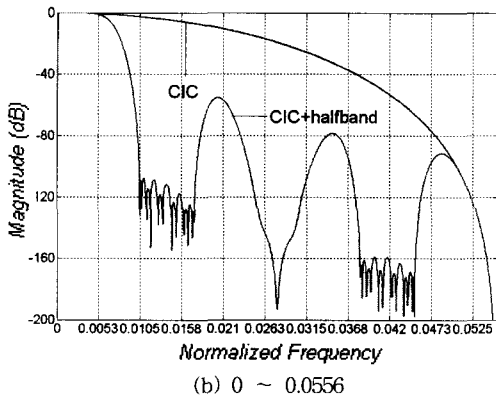
3-2 q_2 를 조정하여 $Q_2(z)$ 의 제로가 $\omega=0.02$ 와 $\omega=0.035$ 에 위치하도록 한다. 이렇게 함으로써 저지대역의 감쇠를 향상시킬 수 있다.

3-3 결정된 q_2 를 고정시키고, 통과대역 리플을 최소화하도록 q_1 을 조정한다. 제안된 방법을 사용하여 향상된 저지대역과 통과대역의 주파수 응답은 그림 5와 같다. 또한, 이와 같이 IFOP에 의해 향상된 데시메이션 필터의 사양은 다음과 같다.

3-4 결정된 q_2 와 q_1 을 사용하여 $P_{18}(z)$ 를 구하면 다음과 같다.

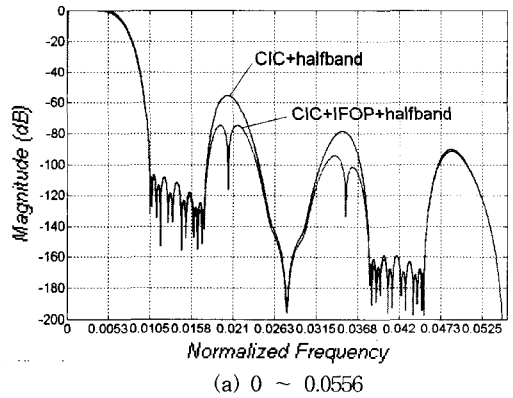


(a) 0 ~ 0.5

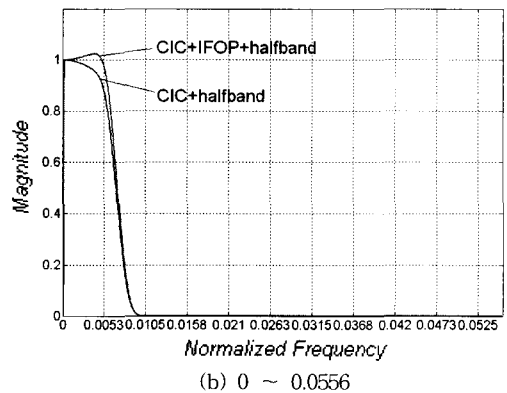


(b) 0 ~ 0.0556

그림 4. 예제 1의 CIC 필터와 half band 필터 등가 주파수 응답



(a) 0 ~ 0.0556



(b) 0 ~ 0.0556

그림 5. IFOP에 의해 향상된 주파수 응답 (a) 저지대역, (b) 통과대역

표 1. 예제 1의 IFOP로 향상된 통과대역 리플과 저지대역 감쇠

	통과대역 리플(dB)	저지대역감쇠(dB)
CIC + HBF	-1.07	-55.42
CIC+IFOP+HBF(3,5)	-0.1995	-74.71

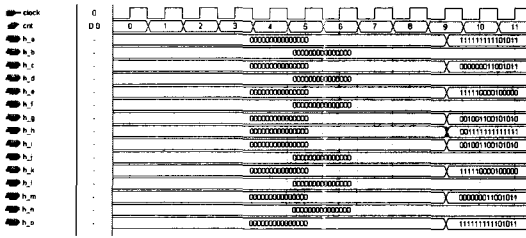


그림 6. 15탭 half band 필터의 임펄스 응답

$$P_{18}(z) = \frac{1 - 2.1272z^{-18} - 2.6178z^{-36} - 2.1272z^{-54} + z^{-72}}{4.8712} \quad (9)$$

예제 1의 설계된 필터들을 FPGA로 구현하기 위하여 Altera사의 MAX-Plus II Ver10.2를 이용하여 Verilog-HDL 코딩을 수행하였다. IFOP와 half band 필터의 계수들은 15비트의 CSD형을 사용하여 add & shift를 사용하여 구성하였다. 예로서 15탭 half band 필터 임펄스 응답 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다. 이와 같이 구현된 데시메이션 필터의 계수 양자화 영향은 그림 7과 같이 사상을 만족한다.

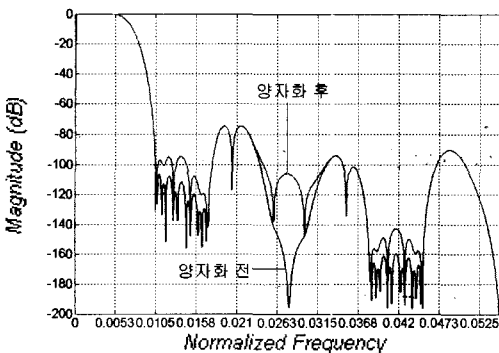


그림 7. 예제 1의 계수 양자화에 의한 주파수 응답의 변화

(예제 2) 주어진 데시메이션 필터 사양

- (a) 데시메이션 인수 $D=10$
- (b) 샘플링 주파수 $f_s=49.152\text{Mpsps}$
- (c) 통과대역 주파수 $\omega_p=0.01875$, 리플 $\delta_p=-0.3\text{ dB}$

- (d) 저지대역 주파수 $\omega_s=0.0375$, 감쇠 $\delta_s=-70\text{ dB}$

(1) CIC 필터와 half band 필터의 사양 결정

1-1 CIC 필터 : 데시메이션 인수가 10이므로 CIC 필터와 half band 필터의 조합은 10x1, 5x2 등의 2가지가 있다. 이중에서 구현비용이 작은 10x1을 선택한다. 주어진 필터 사양으로부터 결정된 CIC 필터의 사양은 $R=1, M=10, L=5$ 이다.

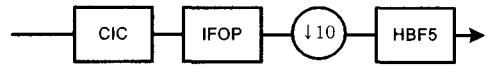


그림 8. 예제 2의 데시메이션 필터 블록도(CIC 필터 +IFOP+ half band 필터)

1-2 half band 필터의 사용 수와 사양 : half band 필터로는 HSP50214의 half band 필터를 사용하기로 한다. half band 필터의 데시메이션 인수가 1이므로 1개의 half band 필터를 사용한다. 지금까지 결정된 CIC 필터와 half band 필터, 그리고 IFOP를 사용하여 데시메이션 필터를 구성하면 그림 8과 같다.

(2) CIC 필터와 half band 필터 설계

2-1 주파수응답 관찰 : (1)의 단계에서 결정된 CIC 필터와 half band 필터의 주파수 응답은 그림 9와 같다.그림 9(a)를 관찰하면 저지대역의 감쇠가 가장 나쁜 곳이 $\omega=0.075$ 와 $\omega=0.125$ 인 지점임을 알 수 있다. 그림 9(b)는 이 지역을 확대한 주파수 응답이다. 이렇게 설계된 데시메이션 필터의 통과대역 리플은 -2.94 dB 이고 저지대역 감쇠는 -57.85 dB 로서 역시 주어진 필터 사양을 만족하지 못함을 알 수 있다.

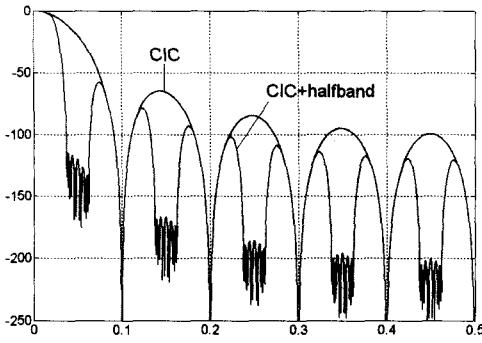
2-2 목표 감쇠대역 결정

우리가 이 논문에서 제안한 IFOP를 사용하여 $\omega=0.075$ 와 $\omega=0.125$ 인 지점의 감쇠를 작게 만드는 것을 목표로 결정한다. 또한 $\omega_p=0.01875$ 까지의 통과대역의 리플을 작게 만드는 것을 목표로 정한다.

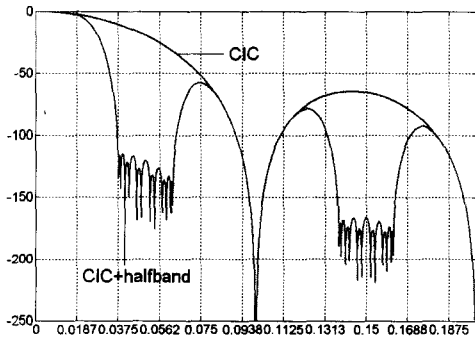
(3) IFOP 설계

3-1 그림 10(a)를 관찰하면 저지대역의 감쇠가 가장 나쁜 곳이 $\omega=0.075$ 와 $\omega=0.125$ 이므로 IFOP의 I 는 5로 결정한다.

3-2 q_2 를 조정하여 $Q_2(z)$ 의 제로가 $\omega=0.075$ 와 $\omega=0.125$ 에 위치하도록 한다. 이렇게 함으로서 저지대역의 감쇠를 향상시킬 수 있다.



(a) 0 ~ 0.5



(b) 0 ~ 0.2

그림 9. 예제2의 CIC필터와 half band 필터 등가 주파수응답

표 2. 예제 2의 IFOP로 향상된 통과대역 리플과 저지대역 감쇠

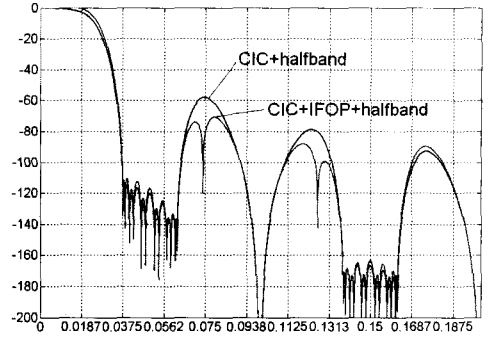
	통과대역 리플(dB)	저지대역 감쇠(dB)
CIC + HBF	-2.94	-57.86
CIC+IFOP+HBF(4)	-0.289	-71.27

3-3 결정된 q_2 를 고정시키고, 통과대역 리플을 최소화하도록 통과대역의 주파수 응답은 그림 10과 같다. 이와 같이 IFOP에 의해 향상된 데시메이션 필터의 사양은 다음과 같다.

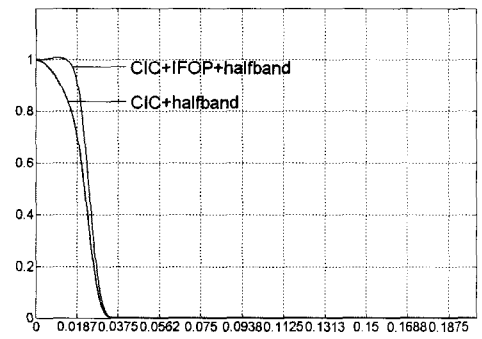
3-4 결정된 q_2 와 q_1 을 사용하여 $P_5(z)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$P_5(z) = \frac{1 - 1.2609z^{-5} - 1.7415z^{-10} - 1.2609z^{-15} + z^{-20}}{2.2633} \quad (10)$$

(10)



(a) 0 ~ 0.2



(b) 0 ~ 0.2

그림 10. IFOP에 의해 향상된 주파수 응답 (a) 저지대역, (b) 통과대역

예제 1과 2를 통하여 볼 수 있듯이, CIC 필터와 half band 필터로 구성된 필터의 저지대역 감쇠특성은 통과대역 옆이 가장 나쁘다. 따라서 제안된 IFOP는 목표로 설정된 취약지점의 감쇠를 향상시키며, 동시에 통과대역의 리플도 향상시킬 수 있었다.

IV. 결론

이 논문에서는 CIC 필터와 half band 필터로 구성된 데시메이션 필터의 특성을 향상시키기 위해 4차 보간 필터를 제안하였다. 제안된 필터는 저지대역의 취약한 감쇠지점을 목표로 설정하여 감쇠를 향상시킬 수 있으며, 또한 동시에 통과대역의 리플도 더욱 작게 할 수 있음을 보였다. 제안된 IFOP는 전치형 구조를 사용하면 2개의 곱셈이 필요하므로 작은 비용으로 데시메이션 필터의 저지/통과대역 특성을 함께 향상시키는데 널리 사용될 수 있는 구조이다.

참고 문헌

[1] E. B. Hogenuer, "An economical class of digital filters for decimation and interpolation," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp. 155-162, April 1981.

[2] A. Y. Kwentus, Z. Jiang, and A. N. Willson, Jr., "Application of filter sharpening to cascaded integer-comb decimation filters," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 45, pp. 457-467, Feb. 1997.

[3] J. Kaiser and R. Hamming, "Sharpening the response of a symmetric nonrecursive filter by multiple use of the same filter," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-25, pp. 415-422, Oct. 1977.

[4] H. J. Oh, S. Kim, G. Choi, and Y. H. Lee, "On the use of interpolated second-order polynomials for efficient filter design in programmable downconversion," *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 17, pp. 551 - 560, April 1999.

[5] H. K. Yang and W. M. Snelgrove, "High speed polyphase CIC decimation filters," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Volume 2*, pp. 229-232, 1996.

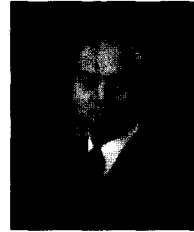
[6] Y. Gao, L. Jia, and H. Tenhunen, "An improved architecture and implementation of cascaded integrator-comb decimation filters," *IEEE International ASIC / SOC Conference*, pp. 391-395, 1999.

[7] Y. Gao, L. Jia, and H. Tenhunen, "A partial-polyphase VLSI architecture for very high speed CIC decimation filters," *IEEE Pacific Rim Conference on communications, computers and signal processing*, pp. 317-320, 1999.

[8] 양세정, 장영범, "IFOP를 사용한 효과적인 DFDC 필터 설계," *한국통신학회논문지*, '03-6 Vol.28 No.6C, pp.609-614, June 2003.

장 영 범(Young-Beom Jang)

정회원



1981년 연세대학교 전기 공학과 졸업(공학사)

1990년 : Polytechnic University 대학원 졸업(공학석사)

1994년 : Polytechnic University 대학원 졸업(공학박사)

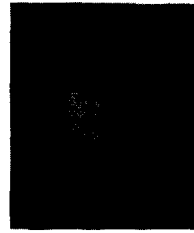
1981년~1999년 : 삼성전자 System LSI 사업부 수석연구원

2000년~2002년 : 이화여자대학교 정보통신학과 연구교수

2002년~현재 : 상명대학교 정보통신공학전공 교수
<주관심분야> 통신신호처리, 음성/오디오 신호처리, 통신신호처리용 SOC 설계

이 원 상(Won-Sang Lee)

준회원



2004년 2월 : 상명대학교

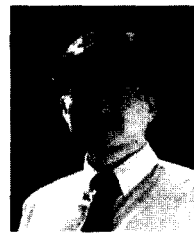
컴퓨터 시스템 졸업(공학사)

2004년 2월 ~현재 : 상명대학교 대학원 컴퓨터 정보 통신 공학 석사과정

<주관심분야> 통신신호처리, 통신신호처리용 SOC 설계

유 현 중(Hyeon-Joong Yoo)

준회원



1982년 : 서강대학교

전자공학과 졸업(공학사)

1991년 : Missouri University 대학원 졸업(공학석사)

1996년 : Missouri University 대학원 졸업(공학박사)

1982년~1989년 : 국방과학연구소

1992 ~ 1995 : 미국 앨러바마대학 방문학자

1996년 : 삼성전자

1999 ~ 2001 : (주)ACN Tech. (주)알파텔레콤 연구소장

1996 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학전공 교수

<주관심분야> 인공신경망응용, 패턴인식, 영상/동영상 처리