

MPEG-4를 위한 포맷 변환 필터의 설계

正會員 조 남 익*, 김 기 철*, 유 하 영**

Design of Format Conversion Filters for MPEG-4

Nam Ik Cho*, Kichul Kim*, Hah Young Yoo** *Regular Members*

※본 연구는 한국전자통신연구소 위탁과제로 이루어진 것입니다.

요 약

본 논문에서는 MPEG-4 비디오 VM(verification model)에서 입력 영상의 크기 변환을 위하여 제시한 포맷 변환 필터보다 하드웨어 구현시 더 유리한 필터를 제안한다. 제안된 필터는 각 계수가 MSD(minimal signed digit)로 표현되었을 때 0이 아닌 자리수가 두 개 이하가 되도록 설계하였으므로 입력과 필터 계수와의 곱을 하나의 덧셈기만으로 구현할 수 있어서 일반적인 필터에서와 같이 정수 곱셈기나 CSA(carry save adder)를 사용하는 경우보다 복잡도나 속도 면에서 더 유리하다. MPEG 비디오 VM에서 제시한 필터는 2:1, 4:1, 5:3, 5:6 변환 등 모두 여섯 가지인데 이들 중 매우 간단한 필터 하나를 제외한 나머지 필터에 대하여 모두 각 계수가 0이 아닌 자리수가 두 개 이하가 되도록 설계를 하고 이들을 MPEG에서 제시한 필터들과 비교하였다. 필터링 성능 비교 방법은 사인파를 입력으로 하여 출력과 참값을 비교하는 간접적인 방법과, 영상을 높은 정밀도 계산으로 높은 탭수의 필터를 통과시켜 얻은 결과를 원영상으로 하여 제안된 필터와 MPEG에서 제시된 필터를 통과한 영상들을 PSNR로 비교하는 방법을 사용하였다. 그 결과 본 논문에서 제안된 필터가 MPEG에서 제시된 필터와 거의 같은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 결국, 본 논문에서 제시된 포맷 변환 필터들은 하드웨어 구현이 매우 간단하고 속도가 빠르면서도 필터링된 영상의 화질 면에서는 MPEG에서 제시한 필터와 거의 같음을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, format conversion filters are proposed, which have advantages in hardware implementation compared to the ones proposed in MPEG-4 Video Verification Model. Since each coefficients of the proposed filters is constrained to have less than two non-zero digits in minimal signed digit representation, multiplication of input and

*서울시립대학교 전자전기공학부
**한국전자통신연구소 VLSI 구조연구실
論文番號:96383-1213
接受日字:1996年 12月 13日

the coefficient can be implemented by a single adder. As a result, the proposed filters have advantages in hardware complexity and speed, compared to the filters which are usually implemented by integer multiplier or carry save adders. Six kinds of filters are proposed in MPEG-4 Video Verification Model for size conversion of 2:1, 4:1, 5:3 and 5:6. We design 5 filters for the same purpose and compare the performance. The remaining one is very simple to implement. For comparing the filtering performance, we first compare the results of sine wave frequency conversion as an indirect but meaningful comparison. Second, we compute the PSNR of the images obtained from the proposed filters and the ones proposed by MPEG, with reference to the images obtained by using double precision arithmetic and high order filters. The results show that the performance of the proposed filters is almost the same as that of the filters proposed by MPEG. In conclusion, the performance of the proposed filters is comparable to that of the ones in MPEG-4, while requiring lower hardware complexity and providing high operating speed.

I. 서 론

MPEG-2나 MPEG-4와 같은 동영상 압축 시스템에서는 부호화에 앞서 서로 다른 영상 포맷 간의 변환을 위하여 몇가지 포맷 변환 FIR 필터의 계수를 제시하고 있다[1-3]. 본 논문에서 주로 연구된 MPEG-4의 비디오 모델 [2, 3]에서는 [4, 5]에서 제시된 필터를 기본으로 하여 ITU-R 601 영상으로부터 CIF, SIF, QCIF 영상으로 변환하는 방법을 제안하고 있다. 구체적인 방법을 살펴 보면, 표 1과 같은 필터를 제시하여 각 포맷 간의 크기 변환에 사용하도록 하는 것이다. 표 1에서 A, B, C, ..., F 등은 각 필터의 이름이고, Factor는 1/2의 경우 2:1 sub-sampling, 1/4는 4:1 sub-sampling, 6/5는 5:6 up-sampling, 3/5는 5:3 sub-sampling에 사용됨을 의미한다. 그리고, 필터 탭과 Divisor는 A 필터의 첫 번째 탭의 계수가 5/32임을 표시하는 것이다.

[2, 3]에서는 이와 같은 필터를 제시하여 각각 다음과 같은 용도에 사용할 것을 제안하고 있다.

ITU-R에서 CIF/SIF로의 변환

Y 신호의 경우 우선 704×480/576의 영상에서 한 줄씩을 없애서 704×240/288로 만든 후

$$704 \times 240 - B \rightarrow 352 \times 240 - D \rightarrow 352 \times 288$$

$$704 \times 288 - B \rightarrow 352 \times 288$$

U, V 신호의 경우

$$352 \times 240 - B \rightarrow 176 \times 240 - D \rightarrow 176 \times 288 - A \rightarrow 176 \times 144$$

$$352 \times 288 - B \rightarrow 176 \times 288 - A \rightarrow 176 \times 144$$

Alpha 영상의 경우 Y와 마찬가지로

$$704 \times 240 - F \rightarrow 352 \times 240 - D \rightarrow 352 \times 288$$

$$704 \times 288 - F \rightarrow 352 \times 288$$

표 1. MPEG-4 Work Group에서 제안한 포맷 변환 필터 계수

	Factor	Tap no.	Filter taps	Divisor
A	1/2	1	5, 11, 11, 5	32
B	1/2	1	2, 0, -4, -3, 5, 19, 26, 19, 5, -3, -4, 0, 2	64
C	1/4	1	-5, -4, 0, 5, 12, 19, 24, 26, 24, 19, 12, 5, 0, -4, -5	128
D	6/5	1	-16, 22, 116, 22, -16	128
		2	-23, 40, 110, 1	128
		3	-24, 63, 100, -11	128
		4	-20, 84, 84, -20	128
		5	-11, 100, 63, -24	128
		6	1, 110, 40, -23	128
E	3/5	1	-24, -9, 88, 146, 88, -9, -24	256
		2	-28, 17, 118, 137, 53, -26, -15	256
		3	-15, -26, 53, 137, 118, 17, -28	256
F	1/2	1	-12, 0, 140, 256, 140, 0, -12	512

ITU-R에서 QCIF로의 변환

Y와 Alpha의 경우 $704 \times 480/576$ 의 영상에서 한 줄씩을 없애서 $704 \times 240/288$ 로 만든 후

$$704 \times 240 - C \rightarrow 176 \times 240 - E \rightarrow 176 \times 144$$

$$704 \times 288 - C \rightarrow 176 \times 288 - B \rightarrow 176 \times 144$$

U, V 영상의 경우

$$352 \times 240 - C \rightarrow 88 \times 240 - E \rightarrow 88 \times 144 - A \rightarrow 88 \times 72$$

$$352 \times 288 - C \rightarrow 88 \times 288 - B \rightarrow 88 \times 144 - A \rightarrow 88 \times 72$$

예를 들어, 704×240 의 영상을 가로 방향으로 B 필터를 통과시킨 후 두 픽셀마다 하나씩 제거하여 352×240 크기로 만들 것을 권고하고 있다.

그러나, 표 1의 필터들을 하드웨어로 구현하기 위하여 각 계수를 2의 보수나 signed digit [6]의 형태로 나타내 보면 0이 아닌 자리수가 많아서 필터 계수와 입력과의 곱을 실제 곱셈기나 CSA(carry save adder)를 사용해야 속도가 빠른 구현을 할 수 있다[7]. 또한 필터 응답들을 그려보면 리플의 크기가 고르지 않으므로 minimax 기준에 따른 최적의 필터라 할 수 없다[8]. 따라서 본 논문에서는 각 필터의 계수가 MSD(minimal signed digit)[6]로 표현되었을 때 0이 아닌 자리수가 단 두 개 이하가 되도록 하면서 표 1에서의 용도에 맞는 새로운 필터를 제시함으로써 각 필터를 하드웨어로 구현할 때 계수와 입력의 곱셈을 한 개만의 덧셈기로 구현할 수 있도록 한다. 제시된 필터의 설계 방법은 정수 프로그래밍에 기반한 것으로서 주어진 조건에 대하여 최적의 필터를 보장한다. 또한 설계된 필터가 [2-5]에서 제시된 필터에 비교하여 하드웨어 구현이 매우 간단하면서도 성능은 비슷하다는 것을 보이기 위하여 몇 가지 시뮬레이션을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 [2-5]에서 제시된 기존의 필터에 대하여 더 자세히 알아보고 이를 대체할 수 있는 새로운 필터의 설계 방법과 계수를 제시한다. III 장에서는 기존의 필터와 제시된 필터의 성능과 하드웨어 구현의 복잡도를 비교하고 IV 장에서는 결론을 제시한다.

II. MPEG-4 입력 포맷 변환을 위한 필터 설계

II-1. 기존의 MPEG-4 포맷 변환 필터

I 장에서 MPEG-4 Work Group에서 제시한 필터를 표 1에서 보았고 그 용도를 알아보았다. 각 필터는 영상을 공간 상에서 필터링 하는 필터이므로 표에서 알 수 있듯이 모두 선형 위상 필터이다. 필터 D와 E의 경우 원래 25차, 21차의 선형위상 필터인데 소프트웨어 구현이나 하드웨어 구현시 메모리를 절약하기 위하여 [9, 10, CH4]에서와 같은 방법으로 필터를 여섯 개 또는 세 개로 분해한 것이다. 각 필터의 주파수 응답을 그려 보면 필터 A, B, C, F와 같은 독립 필터는 모두 DC 이득이 정확히 1.0이고 필터 D의 경우 5:6 변환이므로 $\uparrow 5$ 의 up-sampling이 필요하여 DC 이득은 5.0이며 필터 E의 경우 DC 이득이 3.0임을 확인할 수 있다. 또한, $\uparrow L$ 의 변환이 있는 경우 신호의 주파수 주기가 $2\pi/L$ 이 되므로 $2k\pi/L$ 에 해당하는 주파수에서는 주파수 응답이 정확히 0이 되거나 매우 작아야 한다는 임계 주파수(critical frequency) 제한 조건을 만족해야 한다[8, 11]. 예를 들어 5:3 필터 E의 경우, $2\pi/3$ 에서의 주파수 응답이 0이어야 하고, 5:6 필터 D는 $2\pi/6, 4\pi/6, 6\pi/6$ 에서 주파수 응답이 0이어야 한다.

표 1의 필터를 최소한의 하드웨어로 구현하기 위한 한가지 방법은 각 계수를 MSD 값으로 표현하여 0이 아닌 각 자리만큼 쉬프트된 입력을 CSA를 이용하여 더하는 것이다[7]. MSD는 하드웨어 구현을 고려하여 2진수 표현에서 각 자리가 0과 1뿐만 아니라 -1도 갖도록 하여 표현하는 signed-digit 표현 중에서 0이 아닌 자리수가 최소가 되도록 한 것이다. 예를 들어 다음 식(1a)는 $56/256$ 의 2의 보수 표현인데, 이의 signed-digit 표현은 유일하지 않아 여러 가지가 있을 수 있으며 이의 하나를 (1b)에 나타내었고 이러한 표현 중에 0이 아닌 자리의 수가 최소인 것을 (1c)에 나타내었다. MSD 표현 또한 유일하지는 않다.

$$56/256 = 0.00111000 \tag{1a}$$

$$= 2^{-1} - 2^{-2} - 2^{-5} : \text{A Signed Digit} \tag{1b}$$

$$= 2^{-2} - 2^{-5} : \text{Minimal Signed Digit} \tag{1c}$$

표 2에는 표 1의 MPEG-4 포맷 변환 필터 중의 한 예로 5:3 변환 필터 E의 계수를 MSD 표현으로 나타내

었다. 필터 E는 원래 21 탭으로 이를 [9]에서의 방법대로 3개의 필터로 나눈 것인데, 이를 일반적인 필터의 형태로 나열하면 다음과 같이 대칭 형태의 선형위상 필터이다.

$$\{-15, -24, -28, -26, -9, 17, 53, 88, 118, 137, 146, 137, 118, 88, 53, 17, -9, -26, -28, -24, -15\}$$

따라서 이의 중심을 h_0 로 나타내고 한 쪽 부분만 h_{-10} 에서 h_0 로 표현하여 표 2에 나타낸 것이다.

표 2. MPEG-4에서 제시한 5:3 필터 계수의 MSD 표현

필터계수	정수 표현	MSD
h_{10}	-15/256	$-2^4 + 2^8$
h_9	-24/256	$-2^3 + 2^5$
h_8	-28/256	$-2^3 + 2^6$
h_7	-26/256	$-2^3 + 2^5 - 2^7$
h_6	-9/256	$-2^5 - 2^8$
h_5	17/256	$2^4 + 2^8$
h_4	53/256	$2^2 - 2^4 + 2^6 + 2^8$
h_3	88/256	$2^2 + 2^4 + 2^5$
h_2	118/256	$2^1 - 2^5 - 2^7$
h_1	137/256	$2^1 + 2^5 + 2^8$
h_0	146/256	$2^1 + 2^4 + 2^7$

표 2에서 보는 바와 같이 MPEG-4에서 제시한 필터 계수는 짧게 표현되는 것도 있지만 효율적인 하드웨어 구현을 고려한 것이 아니기 때문에 네 비트가 0이 아닌 경우도 있어서 결국 각 필터 계수와 입력의 곱셈을 CSA로 수행하거나 일반적인 정수 곱셈기로 수행해야 한다[6]. CSA로 구현하는 경우에도 필터의 수행 속도가 가장 많은 0이 아닌 자리수를 갖는 계수에 영향을 받으므로 결국 전체적인 수행속도는 h_{-4} 와 입력을 곱하는데 필요한 네 입력 덧셈에 필요한 시간이 된다.

II-2. 두자리 이하만 0이 아닌 MSD 계수 필터의 설계 앞에서 살펴본 바와 같이 기존의 MPEG-4 포맷 변환 필터는 효율적인 하드웨어 구현을 고려하지 않았으므로, 본 논문에서는 각 필터의 계수가 0이 아닌 자

리를 두 개 이하만 갖는 MSD로 표현되는 필터들을 설계한다. 이 필터의 장점은 각 계수와 입력과의 곱을 하나의 덧셈기로 구현할 수 있으므로 하드웨어 구현시 복잡도가 낮고 속도도 빠르며 일정한 구조를 갖도록 설계할 수 있다는 것이다.

설계하는 $(2M+1)$ 탭 선형 위상 필터의 주파수 응답을 $H(f)$ 라 하면 이는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$H(f) = a_0 + \sum_{n=1}^M a_n \cos 2\pi n f \quad (2)$$

짝수 탭 필터나 2차원 필터 등도 이와 같은 형태로 나타낼 수 있다[12]. 원하는 주파수 응답을 $D(f)$ 라 하면 체비셰프 근사화에 근거한 최소의 오차 δ 는 다음과 같다.

$$\delta = \min \max W(f) |D(f) - H(f)| \quad (3)$$

여기서 fp , fs 를 각각 통과대역, 차단대역 주파수라 할 때, $f \in [0, fp]$, $[0, fs]$ 이며 $W(f)$ 는 양의 실함수로서 중량함수를 나타낸다. 본 논문에서 설계하고자 하는 필터는 여기에 a_n 이 실수가 아니라 MSD 표현 영역에 있는 이산 값이라는 제한조건이 더 있으므로 [13, 14]와 같이 정수 프로그래밍에 기반한 방법으로 설계하여야 한다. 본 논문에서 사용한 설계 방법은 [14]의 방법을 수정한 것으로서 [13]과 마찬가지로 BaB(branch and bound) 알고리즘을 이용한 것이다. 즉, 본 논문에서는 [14]의 알고리즘에 앞에서 설명한 DC 이득과 $2k\pi/L$ 에 해당하는 주파수에서의 임계 주파수 제한 조건을 만족시키기 위한 기법을 추가하였다. 이는 단순히 식 (3)의 $W(f)$ 를 이용하는 것으로서 $f=0, k/L$ 에서의 $W(f)$ 를 매우 큰 값으로 하는 것이다. 여러 실험 결과 각 계수가 소수 이하 여덟 자리까지 표현되는 경우 $f=0, k/L$ 에서 $1/W(f)$ 가 2^{-8} 보다 10분의 1 이하로 충분히 작으면 거의 모든 경우에 $f=k/L$ 에서 0에 가까운 만족할만한 주파수 응답을 얻을 수 있었고 DC에 해당하는 $f=0$ 에서는 정확히 $L(\uparrow L$ 변환이 있는 경우) 또는 1.0의 이득을 얻을 수 있었다. 그러나 $W(f)$ 가 지나치게 커서 $1/W(f)$ 가 10^{-7} 보다 작으면 LP 자체가 풀 수 없는 문제가 되는 경우가 있어서 $1/W(f)$ 를 $10^{-4} \sim 10^{-7}$ 으로 유지하는 것이 좋다.

대표적인 예로 우선 표 1의 MPEG에서 제시한 필

터 E를 대체할 수 있는 새로운 MSD 계수 필터를 설계하기 위하여 필터 E의 주파수 응답을 살펴본 결과 그림 1(a)와 같이 나타났고 f_p 와 f_s 는 각각 약 0.075와 0.111이며 최대 리플의 크기는 통과대역에서 0.528, 차단 대역에서 0.249인 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 이와 거의 같은 형태의 주파수 응답을 갖는, 0이 아닌 자리가 두 개 이하인 MSD 계수 필터를 설계한다. 그러나 MPEG에서 제안된 필터는 리플의 크기가 일정하지 않은 것을 볼 수 있으며 통과대역과 차단대역 리플의 크기 비율이 변환 필터링에 어떤 영향을 미치는가는 아직 연구된 바 없기 때문에 본 논문에서 제안하는 필터는 우선 통과대역과 차단대역에서 같은 리플을 갖도록 하였고, f_p 와 f_s 만 같게 한다. 따라서 제안하는 필터 E는 $f_s=0.075$, $f_p=0.111$, DC 이득=3.0, 임계 주파수=1/3의 제한 조건으로 설계되었으며 그 주파수 응답이 그림 1(b)에 나타나 있다. 그림 1(a)와 마찬가지로 DC 이득은 정확히 3.0이며 $f=0.333(\omega=2\pi/3)$ 에서 주파수 응답이 0임을 확인할 수 있고, 그림 1(a)의 MPEG에서 제시한 필터는 리플의 크기가 점차 작아지는데 비하여 MSD 필터는 리플의 크기가 전 구간에서 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 설계된 필터의 최대 리플 크기는 약 0.4로서 통과대역, 차단대역에서 거의 같게 나타났다. 두 필터의 필터링 성능 비교는 다음 장에서 수행하고, 여기서는 우선 하드웨어 복잡도를 비교하기 위하여 표 3에 새로 설계된 필터 계수의 정수 및 MSD 표현을 나타냈고 표 2의 MPEG에서 제시한 필터의 계수도 여기에 다시 함께 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 MPEG에서 제시된 필터는 최대 네 자리가 0이 아닌 반면에 본 논문에서 설계된 필터는 모두 두자리 이하만이 0이 아니므로 하드웨어 구현시 하나의 덧셈기로 가능하며 따라서 구현 비용 및 속도 면에서 유리함을 알 수 있다.

표 4에는 표 3에 나타난 필터 E 및 매우 간단한 필터 A를 제외한 나머지 B, C, D, F 필터의 MPEG에서 제시한 계수와 본 논문에서 설계된 계수를 비교하였고 표 5에는 각 필터의 최대 리플의 크기를 비교하였다. 그리고 표 6에는 표 1과 같은 형태로 본 논문에서 설계한 필터의 계수를 정리하였다. 하드웨어 구현에 필요한 최소한의 덧셈기 수는 표 3 및 4로부터 쉽게 알 수 있다. 즉 기본적으로 입력과 계수의 곱을 위해서는 표에서 더하기 기호만큼의 덧셈기가 필요하다. 그 외에 전체적인 필터의 구조를 transposed 형태로 할 것인가 일반 구조로하여 파이프라인 형태로 할 것인가에 따라 필요한 리지스터 수와 나머지 덧셈기 수가 달라질 수 있다.

III. 필터 성능의 비교

본 장에서는 표 2의 MPEG에서 제시한 필터와 표 6의 본 논문에서 제시한 필터의 성능 비교를 한다. 포맷 변환 필터의 성능 비교는 변환된 영상의 "원영상"이 없으므로 정확한 비교는 사실 상 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 간접적인 방법들로 비교를 수행하였다. 첫째는, 사인파의 경우 변환된 주파수를 정확히 알 수 있으므로 사인파를 몇가지 발생시켜 이들을 각

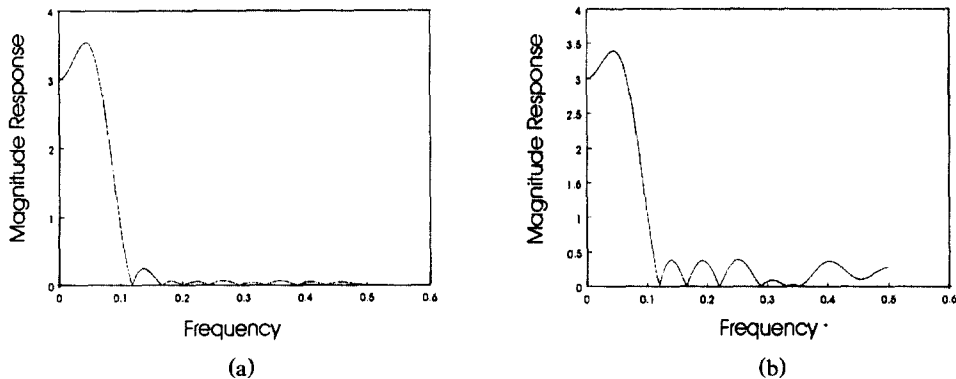


그림 1. MPEG 및 본 논문에서 제시된 5:3 변환 필터의 주파수 응답 (a)MPEG (b)제안된 필터

표 3. MPEG에서 제시된 필터와 본 논문에서 설계된 필터의 계수 비교(필터 E)

계수	MPEG에서 제시된 필터 계수		본 논문에서 제안된 필터	
	정수 표현	MSD 표현	정수 표현	MSD 표현
h ₁₀	-15/256	$-2^4 + 2^8$	9/256	$2^5 + 2^8$
h ₉	-24/256	$-2^3 + 2^5$	-24/256	$-2^4 - 2^5$
h ₈	-28/256	$-2^3 + 2^6$	-40/256	$-2^3 - 2^5$
h ₇	-26/256	$-2^3 + 2^5 - 2^7$	-32/256	-2^3
h ₆	-9/256	$-2^5 - 2^8$	-8/256	-2^5
h ₅	17/256	$2^4 + 2^8$	24/256	$2^4 + 2^5$
h ₄	53/256	$2^2 - 2^4 + 2^6 + 2^8$	40/256	$2^3 + 2^5$
h ₃	88/256	$2^2 + 2^4 + 2^5$	80/256	$2^2 + 2^4$
h ₂	118/256	$2^1 - 2^5 - 2^7$	129/256	$2^1 + 2^8$
h ₁	137/256	$2^1 + 2^5 + 2^8$	126/256	$2^1 - 2^7$
h ₀	146/256	$2^1 + 2^4 + 2^7$	160/256	$2^1 + 2^3$

표 4. MPEG에서 제시된 필터와 본 논문에서 설계된 필터의 계수 비교(필터 B, C, D, F)

(a)필터 B의 비교

계수	MPEG에서 제시된 필터 계수		본 논문에서 제안된 필터 계수	
	정수 표현	MSD 표현	정수 표현	MSD 표현
h ₆	2/64	2^5	1/64	2^6
h ₅	0/64	0	0/64	0
h ₄	-4/64	2^4	-4/64	2^4
h ₃	-3/64	$-2^4 + 2^6$	-3/64	$-2^4 + 2^6$
h ₂	5/64	$2^4 + 2^6$	6/64	$2^4 + 2^5$
h ₁	19/64	$2^2 + 2^5 + 2^6$	20/64	$2^2 + 2^4$
h ₀	26/64	$2^2 + 2^3 + 2^5$	24/64	$2^2 + 2^3$

(b)필터 C의 비교

계수	MPEG에서 제시된 필터 계수		본 논문에서 제안된 필터 계수	
	정수 표현	MSD 표현	정수 표현	MSD 표현
h ₇	-5/128	$-2^7 - 2^5$	-5/128	$-2^5 - 2^7$
h ₆	-4/128	-2^5	-3/128	$-2^5 + 2^7$
h ₅	0/128	0	1/128	2^7
h ₄	5/128	$2^7 + 2^5$	5/128	$2^5 + 2^7$
h ₃	12/128	$2^5 + 2^4$	12/128	$2^4 + 2^5$
h ₂	19/128	$2^3 + 2^6 + 2^7$	18/128	$2^3 + 2^6$
h ₁	24/128	$2^3 + 2^4$	24/128	$2^3 + 2^4$
h ₀	26/128	$2^3 + 2^4 + 2^6$	24/128	$2^3 + 2^4$

(c)필터 D의 비교

계수	MPEG에서 제시된 필터 계수		본 논문에서 제안된 필터 계수	
	정수 표현	MSD 표현	정수 표현	MSD 표현
h ₋₁₂	-16/128	-2^{-4}	1/128	2^{-7}
h ₋₁₁	-23/128	$2^{-4} + 2^{-7} - 2^{-2}$	-28/128	$-2^{-2} + 2^{-5}$
h ₋₁₀	-24/128	$-2^{-4} - 2^{-3}$	-33/128	$-2^{-2} - 2^{-7}$
h ₋₉	-20/128	$-2^{-3} - 2^{-5}$	-16/128	-2^{-3}
h ₋₈	-11/128	$-2^{-4} - 2^{-6} - 2^{-7}$	-7/128	$-2^{-4} + 2^{-7}$
h ₋₇	1/128	2^{-7}	-4/128	-2^{-5}
h ₋₆	22/128	$2^{-3} + 2^{-5} + 2^{-6}$	15/128	$2^{-3} - 2^{-7}$
h ₋₅	40/128	$2^{-2} + 2^{-4}$	36/128	$2^{-2} + 2^{-5}$
h ₋₄	63/128	$2^{-1} - 2^{-7}$	72/128	$2^{-1} + 2^{-4}$
h ₋₃	84/128	$2^{-1} + 2^{-3} + 2^{-5}$	80/128	$2^{-1} + 2^{-3}$
h ₋₂	100/128	$2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-5}$	96/128	$2^{-1} + 2^{-2}$
h ₋₁	110/128	$2^0 - 2^{-3} - 2^{-6}$	124/128	$2^0 - 2^{-5}$
h ₀	116/128	$2^0 - 2^{-4} - 2^{-5}$	96/128	$2^{-1} + 2^{-2}$

(d)필터 F의 비교

계수	MPEG에서 제시된 필터 계수		본 논문에서 제안된 필터 계수	
	정수 표현	MSD 표현	정수 표현	MSD 표현
h ₃	-12/512	$-2^{-6} - 2^{-7}$	-16/256	-2^{-4}
h ₂	0/512	0	0/256	0
h ₁	140/512	$2^{-2} + 2^{-6} + 2^{-7}$	80/256	$2^{-2} + 2^{-4}$
h ₀	256/512	2^{-1}	128/256	2^{-1}

표 5. 각 필터의 최대 리플의 크기

필터	MPEG	제안된 필터
B	0.0220	0.0780
C	0.0177	0.0734
D	0.901	0.758
E	0.528	0.393
F	단조감소	0.0443

필터에 통과시켜 얻은 신호와 참값을 비교하는 것이다. 그러나 이 방법은 차단 주파수 내에서의 신호가 얼마나 정확히 추림, 보간되느냐는 비교할 수 있지만 차단 주파수 이상의 신호들이 적절히 차단되어 전체적으로 조화있는 필터링이 수행되는가는 비교할 수 없다. 따라서 사인파를 이용한 간접 비교는 차단 주파수 이내에서 보간이 필요한 필터 D, E에 대해서만 수행하였고, 필터 D, E를 포함한 나머지 필터의 비교

는 각 필터와 같은 탭수, 두배의 탭수를 갖는 실계수 필터를 설계하고 모든 계산을 높은 정밀도(double precision)로 계산하여 얻은 영상과 표 2와 6의 필터를 이용하고 정수 계산을 통하여 얻은 영상의 비교를 하였다.

우선 사인파를 통한 간접적인 필터 D, E의 성능 분석을 위하여 5:6 필터인 D는 입력을 식(4a)로 하고 출력을 참값인 (4b)와 비교하여 몇가지 주파수에 대한 결과를 표 7에 비교하였고, 5:3 필터인 E의 경우는 입력을 식(4a)로 하고 출력을 식(4c)와 비교하여 표 8에 결과를 정리하였다. 각 표의 결과는 약 120 샘플의 평균 절대값 오차로서 사인파의 크기가 100이므로 % 오차라 볼 수도 있다. 표 7과 8의 결과로부터 보간이 필요한 입력에 대하여 MPEG에서 제시한 필터와 본 논문에서 제안한 MSD 계수 필터와 거의 비슷한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

표 6. 본 논문에서 제시한 포맷 변환 필터의 정리

	Factor	Tap no.	Filter taps	Divisor
B	1/2	1	1 0 -4 -3 6 20 24 20 6 -3 -4 0 1	64
C	1/4	1	-5 -3 1 5 12 18 24 24 24 18 12 5 1 -3 -5	128
D	6/5	1	1 15 96 15 1	128
		2	-28 36 124 -4	128
		3	-33 72 96 -7	128
		4	-16 80 80 -16	128
		5	-7 96 72 -33	128
		6	-4 124 36 -28	128
E	3/5	1	-24 -8 80 160 80 -8 -24	256
		2	-40 24 129 126 40 -32 9	256
		3	9 -32 40 126 129 24 -40	256
F	1/2	1	-16 0 80 128 80 0 -16	256

표 7. 사인파 비교에 의한 필터 D의 간접 성능 비교(ω :사인파의 상대 주파수)

ω	평균 절대값 오차	
	MPEG [2]	제안된 필터 (표 6)
1	0.193	0.219
2	0.206	0.224
3	0.140	0.333
4	0.333	0.544
5	0.518	0.798
10	1.026	1.439
15	1.711	2.289
20	2.461	3.171
30	3.579	4.618
40	5.079	6.395
평균	1.525	2.003

표 8. 사인파 비교에 의한 필터 E의 간접 성능 비교

ω	평균 절대값 오차	
	MPEG [2]	제안된 필터 (표 6)
1	0.288	0.250
2	0.462	0.490
3	0.750	0.712
4	1.22	1.19
5	1.47	1.50
10	2.83	2.72
15	4.35	4.26
20	6.28	6.00
평균	2.21	2.14

입력: $100 \sin \frac{\omega}{240} n + 120$ (4a)

5:6 변환의 참값: $100 \sin \frac{\omega}{288} n + 120$ (4b)

5:3 변환의 참값: $100 \sin \frac{\omega}{144} n + 120$ (4c)

다음은 실계수를 갖는 필터를 이용하여 높은 정밀도로 계산하여 얻은 결과 영상과 제시된 필터를 이용하여 정수 계산으로 얻은 영상을 비교하여 MPEG 필터와 제안된 필터를 비교한다. 설계된 실계수 필터는 계수들이 모두 두배 정밀도(double precision)를 갖도록 했고 통과, 차단 주파수 등은 MPEG에서 제시한 것과 같게 하였다. 이와 같은 필터는 표 9에서와 같은 최대 리플을 갖는 것으로 확인되어 표 5와 같은 리플을 갖는 MPEG이나 MSD 필터에 비하여 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 이러한 실계수 필터를 이용하여 변환된 영상이 MPEG에서 또는 본 논문에서 제시된 MSD 계수 필터를 이용하여 얻은 영상보다 더 좋다고 볼 수 있다. 따라서 실계수 필터를 통과하여 변환된 영상을 "원영상"으로 사용하여 MPEG과 MSD 필터의 성능을 간접 비교하는 것이 의미가 있을 것으로 생각한다. 그림 2에는 한 예로 그림 1과 비교해볼 수 있도록 필터 D를 실계수로 설계한 경우의 주파수 응답을 나타내었다. 그림 2(a)가 MPEG이나 MSD와 같은 21탭 필터의 주파수 응답이고 그림 2(b)는 41탭 필터로서 그림 1과 비교하여 리플이 매우 작음을 확

인할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 필터를 이용하여 변환한 영상을 “원영상”으로 하고, 이를 기준으로 MPEG에서 제시한 필터를 통과한 영상, 본 논문에서 제시한 필터를 통과한 영상의 PSNR을 구하도록 한다. 시뮬레이션에 사용된 영상은 그림 3에서 보는 바와 같은 708×480 크기의 “Akiyo” 영상으로서 [2], 10부터 50번째 프레임 사이에서 다섯 프레임을 선택하여 시뮬레이션을 수행하고 이 결과의 평균을 표 10에 정리하였다. 표 10에서 확인할 수 있는 바와 같이 제안된 MSD 계수 필터를 통과한 결과가 MPEG

에서 제시한 필터를 통과한 결과와 거의 같게 나타난다. 표 10의 결과를 보면 필터 탭 수에 따라 결과가 많은 차이를 보이는데 이는 그림 2에서 보는 바와 같이 기준 영상을 만들 때 사용되는 필터가 탭 수에 따라 리플의 크기가 많은 차이를 보이기 때문이다. 그러나 이런 필터 리플에 따른 각 영상의 차이를 분석하는 것이 현재 시뮬레이션의 목적은 아니고 어떤 기준영상과 비교했을 때 기존의 필터와 제시된 MSD 계수 필터의 성능 차이가 작다는 것을 보이기 위한 것이 목적이며 표에서 이를 확인할 수 있다.

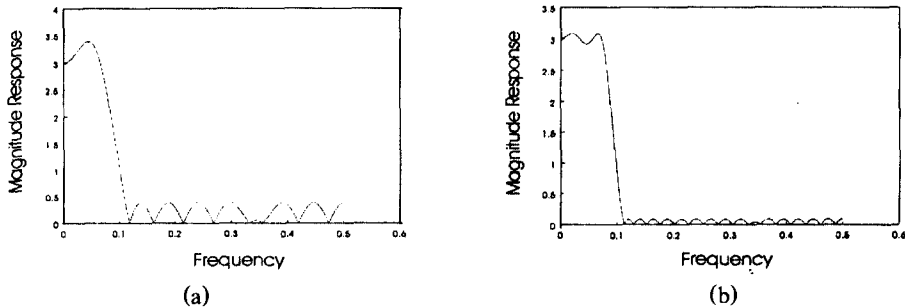


그림 2. 5:3 변환용 실계수 필터의 주파수 응답 (a)21 탭 (b)41 탭

표 9. 실계수 필터의 최대 리플의 크기

탭 길이	MPEG 필터와 같은 길이	MPEG 필터의 두배
B	0.0382	0.00302
C	0.0642	0.00507
D	0.736	0.139
E	0.382	0.0823
F	0.0314	0.00140

표 10. 시뮬레이션 결과

필터	실험 내용	비교 대상 영상을 얻는데 사용된 고정밀도 실계수 필터의 탭 길이	MPEG[4]	MSD
B	704×240 → 352×240	B와 같은 탭 수 (13)	57.278	58.681
		높은 탭 수 (27)	55.800	54.058
C	704×240 → 176×240	C와 같은 탭 수 (15)	53.288	60.859
		높은 탭 수 (31)	46.378	46.791
D	352×240 → 352×288	D와 같은 탭 수 (25)	45.166	50.132
		높은 탭 수 (51)	42.379	41.425
E	176×240 → 176×144	E와 같은 탭 수 (21)	41.087	44.745
		높은 탭 수 (41)	30.551	30.512
F	704×240 → 352×240	F와 같은 탭 수 (7)	61.166	73.781
		높은 탭 수 (15)	52.415	53.407



그림 3. 입력 영상(702×480) (a)Akiyo.y (b)Akiyo.a

IV. 결 론

본 논문에서는 MPEG-4 비디오 VM^[2]에서 제시된 영상 크기 변환 필터보다 하드웨어 구현시 더 빠른 속도와 낮은 비용으로 구현할 수 있는 필터들을 제안하였다. 제안된 필터는 각 계수가 0이 아닌 자리수가 두 개 이하가 되도록 설계되었으므로 입력과 필터 계수와의 곱을 하나의 덧셈기만으로 구현할 수 있어서 일반적인 정수 곱셈기나 CSA가 사용되는 경우보다 복잡도나 속도 면에서 더 유리하다. MPEG-4 비디오 VM에서 제시한 필터는 2:1, 4:1, 5:3, 5:6 변환 등 모두 여섯 가지인데 이들 중 매우 간단한 필터 하나를 제외한 나머지를 모두 이와 같은 MSD 계수 필터로 설계하고 이들을 비교하였다. 비교 방법은 사인과 입력을 이용하여 출력과 참값을 비교하는 간접적인 방법과, 영상을 높은 정밀도, 높은 탭수의 필터를 통과시켜 얻은 결과를 원영상으로 하여 제안된 필터, MPEG에서 제시된 필터를 통과한 영상들을 PSNR로 비교하는 방법을 사용하였다. 그 결과 제안된 필터의 성능이 MPEG에서 제시된 필터와 거의 같은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 결론적으로 본 논문에서 제시된 포맷 변환 필터들은 하드웨어 구현이 매우 간단하고 속도가 빠르면서도 필터링된 영상의 화질 면에서는 MPEG에서 제시한 필터와 거의 같음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. ISO/JTC1/SC29/WG11/N0400, "Coded representation of picture and audio information-MPEG2 Test Model 5," April 1993.
2. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N1277, "Coding of moving pictures and associated audio information-MPEG-4 video verification model version 3.0," Tampere, July 1996.
3. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Coding of moving pictures and associated audio information-MPEG-4 video verification model version 3.1," August 1996.
4. G. Bjøntegaard and K. O. Lillevold, "H.263 Anchors-Technical Description," MPEG95/0322, Dallas, November, 1995.
5. M. Etoh, *et al.*, "Technical description of MPEG-4 proposal," MPEG95/0322, Dallas, November, 1995.
6. K. Hwang, *Computer Arithmetic, Principles, Architecture, and Design*, John Wiley & Sons, 1979.
7. P. Jain, P. T. Yang, T. Yoshino, "FIRGEN: A computer-aided design system for high performance FIR filter integrated circuit," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 39, no. 7, pp. 1653-1668, July 1991.
8. A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall, 1989.
9. N. J. Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*, John Wiley & Sons, 1994.
10. P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*, Prentice Hall, 1993.
11. P. Siohan, "2-D filter design for sampling structure conversion," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 337-350, December 1991.
12. L. R. Rabiner, "The design of finite impulse response digital filters using linear programming

techniques," The Bell System Technical Journal, vol. 21, pp. 1177-1198, July~August, 1972.

13. Y. C. Lim and S. R. Parker, "FIR filter design over a discrete coefficient space," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 31, pp. 583-591, June 1983.
14. N. I. Cho, S. U. Lee and K. H. Kim, "Design of FIR filter over a discrete coefficient space with applications to HDTV signal processing," *Proc. IEEE ISCAS*, pp. 76-79, May 1993.



조 남 익(Nam Ik Cho) 정회원
 1986년 2월: 서울대학교 제어계측 공학과(공학사)
 1988년 2월: 서울대학교 제어계측 공학과(공학석사)
 1992년 8월: 서울대학교 제어계측 공학과(공학박사)
 1991년 7월~1994년 3월: 서울대학교 제어계측신기술연구센터 연구원
 1994년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기공학부 조교수



김 기 철(Kichul Kim) 정회원
 1982년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1984년 2월: 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1991년 8월: University of Southern California 전기공학

과 졸업(Ph.D)

1984년 3월~1994년 2월: 한국전자통신연구소 선임연구원

1994년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기공학부 조교수

※주관심분야: ASIC 설계, VLSI 구조, 병렬처리



유 하 영(Hah Young Yoo)정회원
 1982년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1985년 8월: Iowa State University, EE & Computer Eng. (석사)
 1988년 8월: Iowa State University, EE & Computer Eng.

(박사)

1989년 5월~현재: 한국전자통신연구원, 책임연구원