

HD-MAC 디코더용 필터설계

남부희, 김형중, 이정문^o, 김화중, 지규인, 김기택
강원대학교

Design of HD-MAC Decoding Filter

B.H.Nam, H.J.Kim, J.M.Lee^o, H.J.Kim, G.I.Jee, G.T.Kim
Kangweon National University

ABSTRACT - This paper proposes several types of 2-D interpolation filters for HD-MAC decoder. Filters considered here are FIR, IIR, median, and FMH. Their structure and coefficients have been determined to be appropriate for real-time computation as well as to have good reconstructability. Results of computer simulation are also presented to show the performance of those filters.

1. 서론

현재 컬러 TV 전송표준에는 NTSC, PAL, SECAM의 세가지가 있다. 여기에 TV 방송위성과 케이블 시스템을 위해 MAC이 추가되었다. MAC TV 신호의 가장 기본적인 특징은 휘도, 색, 음성등 모든 형태의 정보를 시분할 다중방식(TDM)으로 전송한다는 점이다. 따라서 교차색(cross-color) 및 교차휘도(cross-luminance)가 문제되지 않으며, 기존의 시스템보다 좋은 화질을 제공한다. 이를 위하여 휘도신호와 색신호를 시간압축하기 때문에 대역폭은 이에 비례해서 늘어나게 된다. MAC TV 신호는 625라인, 2:1 비월주사(interlaced scan), 50필드/초, 종횡비 4:3으로 전송되며, 휘도신호의 대역폭은 5MHz이다.

HD-MAC TV 신호는 1250라인, 2:1 비월주사, 50 필드/초, 종횡비 16:9로 전송되며, 휘도신호의 대역폭은 20MHz가 된다. 이를 기존의 MAC 채널로 전송하여야 하며, MAC과 호환성을 갖도록 해야 한다. 따라서 서브샘플링을 함으로써 신호의 대역폭을 줄여서 전송하고, 수신기측에서 움직임 보상 및 인터플레이션을 하여 원래의 영상을 복원한다[1], [2].

그러므로 HD-MAC 디코더에서는 인터플레이션 필터가 핵심적인 역할을 한다. 인터플레이션에는 저역통과 특성을 갖는 FIR 필터나 미디안 필터등이 사용된다[3]. FIR 필터는

안정도가 보장되며, 주파수 및 시간영역에서의 성질이 충분히 알려져 있기 때문에 해석적인 설계가 가능하다. 그러나 2차원 FIR 필터의 설계방법은 아직 확립되어 있지 못하다. 미디안 필터는 비선형 필터로서 그 성질은 충분히 규명되어 있지 못하나 영상의 윤곽을 잘 보존하며 잡음제거 능력이 뛰어나다. 또한 필터의 출력역이 신호의 미디안 값으로 결정되기 때문에 계산이 단순하고 하드웨어 구현이 쉽다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 인터플레이션을 위한 FIR, IIR, 미디안, FMH(FIR-median hybrid) 필터등에 관하여 하드웨어 구현을 전제로 한 개념설계 방법을 제시하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 필터의 성능을 검토해 보았다.

2. HD-MAC

그림 1과 그림 2는 대역폭 압축을 위한 HD-MAC 인코더와 디코더를 보인 것이다. HD-MAC은 3 브랜치 시스템으로서 영상의 시간적 변화율에 따라 80msec, 40msec, 20msec의 세 가지 모드로 나누어 진다. 80msec 모드는 움직임이 거의 없는 영상이므로 공간 해상도를 높이고, 20msec 모드는 움직임이 빠르기 때문에 시간 해상도를 높인다. 40msec 모드는 중간정도의 시간 해상도와 공간 해상도를 갖게 되며, 움직임 벡터를 이용하여 움직임 보상을 수행한다.

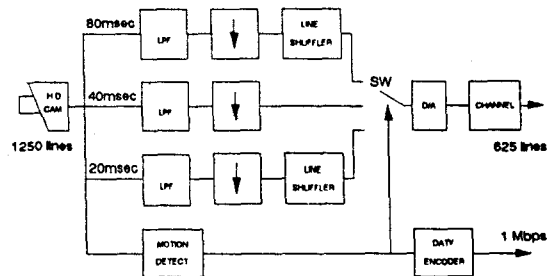


그림 1. HD-MAC Encoder

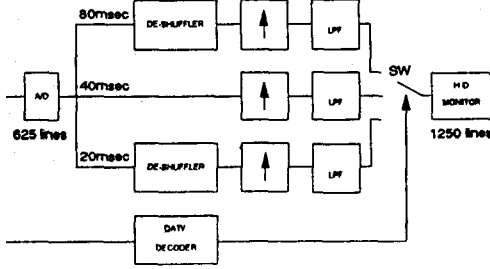
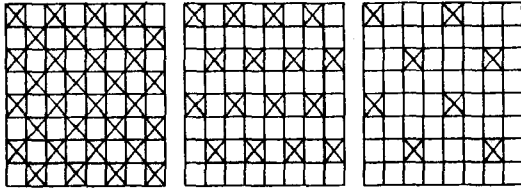


그림 2. HD-MAC Decoder

HD-MAC 시스템에서는 옉목샘플링(quincunx sampling)을 하기 때문에 공간상의 샘플패턴은 그림 3과 같이 된다. 따라서 HD-MAC 인코더에서 서브샘플링을 하기 전에 에일리어싱(aliasing)을 방지하기 위해 2차원 공간 저역통과 필터를 사용하며, 그 통과대역은 그림 4와 같은 마름모꼴 형태가 되어야 한다. 이와 같은 필터링을 하면 수직 및 수평 주파수가 모두 높은 신호성분은 없어지게 되지만 눈은 이러한 신호성분에 대해 민감하지 않기 때문에 문제가 되지 않는다. 또한 디코더에서도 같은 특성의 필터를 사용해야 한다.



(a) 80msec mode (b) 40msec mode (c) 20msec mode

그림 3. Quincunx Sample Patterns

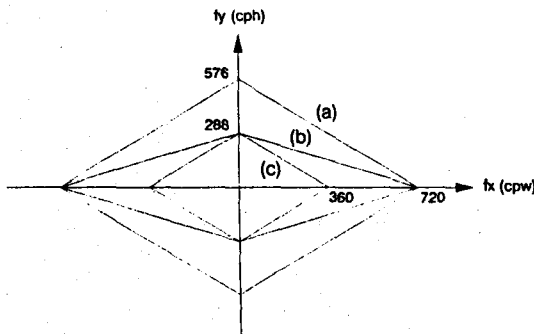


그림 4. HD-MAC용 2차원 저역통과 필터의 통과대역

(a) 80msec mode
(b) 40msec mode
(c) 20msec mode

3. 필터설계

3.1. IIR 필터

일반적으로 영상처리에서는 IIR 필터를 사용하지 않는다. 그 이유는 IIR 필터가 선형위상을 유지하지 못하기 때문이다. 그러나 IIR 필터는 FIR 필터에 비해 하드웨어가 단순하여 고속 필터의 구현에 적합하다는 장점을 지니고 있다.

그림 5와 같이 대각선 방향의 1-D 필터 2개를 종속접속하여 분리가능한 2-D 필터가 되는데, 이 때 1-D 필터로 선형 위상이 비교적 잘 유지되는 다음과 같은 half-band 필터를 쓴다.

$$H(z) = z^{-(2N-1)} + A_N(z^2) \quad (1)$$

여기서 $A_N(z)$ 는 N 차의 allpass 필터로서 다음과 같은 형태가 실용적이다.

$$A_1(z) = \frac{a + z^{-1}}{1 + az^{-1}} \quad (2)$$

따라서 수평으로 주사되는 영상신호에 대한 2-D 필터의 전달 함수는

$$\begin{aligned} G(z) &= H_1(z_1 z_2^{-1}) \cdot H_2(z_1^{-1} z_2^{-1}) \\ &= H_1(z_1^{L+1}) \cdot H_2(z_2^{L-1}) \end{aligned} \quad (3)$$

이 된다. 여기서 L 은 수평축 화소(pixel) 수이다.

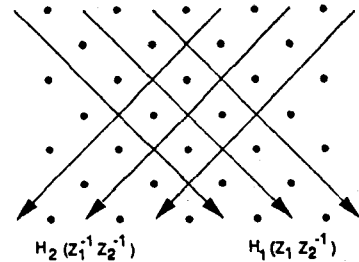


그림 5. 샘플패턴과 2-D 필터 전달함수

3.2. FIR 필터

설계하고자 하는 2-D FIR 필터의 주파수 응답은 아래와 같이 표시된다.

$$H(f_1, f_2) = \sum h(n_1, n_2) \exp[-j(n_1 f_1 + n_2 f_2)] \quad (4)$$

이 필터의 특성이 주파수 영역에서 최적화되기 위해서는 다음과 같은 오차가 최소화되도록 필터의 계수를 선정해야 한다.

$$E = \max_{(f_1, f_2)} W(f_1, f_2) |D(f_1, f_2) - M(f_1, f_2)| \quad (5)$$

여기서 $D(f_1, f_2)$ 는 이상적인 필터의 주파수 크기함수이고 $M(f_1, f_2)$ 는 $H(f_1, f_2)$ 의 크기함수이며, $W(f_1, f_2)$ 는 양의 가중치 함수이다.

그런데 서브샘플링된 영상은 오목 샘플패턴을 가지고 있으므로 이를 인터플레이션하기 위한 필터의 계수는 다음 두가지 조건을 만족해야 한다.

$$h(n_1, n_2) = 0 \text{ if } n_1+n_2 \text{ is even}$$

$$= 1 \text{ if } n_1=n_2=0$$

한편 HD-MAC 디코더에 쓰이는 필터는 다량의 영상정보를 실시간으로 처리해야 하기 때문에 매우 빠른 연산속도를 갖는 하드웨어 구현이 가능해야 한다. 그러나 주파수 특성에 충실한 FIR 필터를 설계하려면 필터의 차수가 높아져야 하는데 이를 구현하기 위해서는 많은 라인 메모리와 곱셈기가 요구된다. 일반적으로 세 라인 이상의 샘플을 이용하면 하드웨어가 복잡해지고 계산시간이 늘어나서 곤란하다. 따라서 보통 3x3, 3x5, 3x7 정도의 필터크기가 적절하다. 특히 이 계수들이 2^N의 합으로 표시될 수 있다면 더욱 고속의 실시간 처리를 할 수 있게 된다.

3.3. 미디안 필터

표준 미디안 필터의 기본 개념은 길이 (2k+1)인 윈도우를 데이터 위에 이동시켜 가면서 크기가 (k+1)번째인 값을 출력하는 것이다. 미디안 필터의 장점은 윤곽을 보존하는 성질과 잡음을 제거하는 뛰어난 능력에 있다. 이러한 성질은 보통 저역통과 필터로는 얻기가 쉽지 않다.

미디안 필터에서는 필터의 크기가 문제가 된다. 필터의 차수가 커질수록 잡음제거 능력은 뛰어나지만 동시에 윤곽의 선명도를 떨어뜨린다. 그래서 미디안 필터는 가능한 낮은 차수로 하는 것이 좋다. 이는 차수가 높을수록 영상을 충실히 복원하는 선형필터와 좋은 대조를 이룬다.

성능면에서나 하드웨어 구현 측면에서 볼 때 오목 서브샘플패턴을 인터플레이션하는 경우에는 그림 6과 같은 필터 마스크를 갖는 4포인트 미디안 필터가 적당할 것이다. 이는 필터의 윈도우 내에 들어 있는 네개의 신호 값 중 크기가 중간인 두 값의 평균을 출력으로 한다.

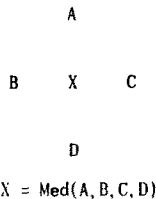


그림 6. 4포인트 미디안 필터

3.4. FMH 필터

FMH 필터는 FIR 필터와 미디안 필터의 특성을 절충한 것이다. 즉, 미디안 필터의 윈도우 내에 들어 있는 신호 값과 FIR 필터의 출력 값 중의 미디안 값을 출력으로 한다.

따라서 FIR 필터와 미디안 필터의 장점을 지닌다. 그림 7은 5포인트 FMH 필터를 보인 것이다.

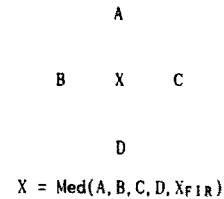


그림 7. 5포인트 FMH 필터

4. 시뮬레이션

4.1. 시뮬레이션 배경

HD-MAC 시스템의 전체적인 개념 파악을 위해 디코더 시뮬레이터를 개발했다. 시뮬레이터는 C 언어로 작성했으며, "Model"이라고 불리는 512x512 흑백영상을 대상으로 하여 워크스테이션 MIPS와 IBM-PC/386에서 시뮬레이션을 수행하였다. 필터의 성능 분석에는 386-MATLAB 패키지를 사용하였다. 화질의 평가는 PSNR 및 주관적인 비교를 통하여 행하였는데, 주관적인 비교는 평가 환경에 크게 좌우되고 평가 기준도 객관적이지 못하기 때문에 주로 PSNR을 평가의 기준으로 삼았다.

4.2. 결과

앞에서 제시한 필터 설계방법에 따라 다음과 같은 다양한 필터를 설계하여 시뮬레이션을 하였다.

(a) IIR 필터

$$G(z) = [z^{-L-1} + \frac{0.5 + z^{-2(L+1)}}{1 + 0.5z^{-2(L+1)}}]$$

$$\times [z^{-L+1} + \frac{0.5 + z^{-2(L-1)}}{1 + 0.5z^{-2(L-1)}}]$$

(b) IIR 필터

$$G(z) = [z^{-L-1} + \frac{0.375 + z^{-2(L+1)}}{1 + 0.375z^{-2(L+1)}}]$$

$$\times [z^{-L+1} + \frac{0.375 + z^{-2(L-1)}}{1 + 0.375z^{-2(L-1)}}]$$

(c) FIR 필터

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0 \\ 0.25 & 1 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

(d) FIR 필터

$$1/512 \begin{bmatrix} -16 & 0 & 160 & 0 & -16 \\ 0 & 128 & 512 & 128 & 0 \\ -16 & 0 & 160 & 0 & -16 \end{bmatrix}$$

(e) FIR 필터

$$1/512 \begin{bmatrix} 0 & -18 & 0 & 160 & 0 & -18 & 0 \\ 4 & 0 & 128 & 512 & 128 & 0 & 4 \\ 0 & -18 & 0 & 160 & 0 & -18 & 0 \end{bmatrix}$$

(f) 미디안 필터

(g) FMH 필터(미디안 필터와 FIR 필터 (c)의 절충)

이들 중 (a)-(e)에 해당하는 필터들의 주파수 응답을 그림 8에 보였으며, 위의 필터들을 사용하여 인터플레이션을 수행한 결과 얻어진 영상의 PSNR은 아래와 같다.

- (a) 25.57dB
- (b) 25.09dB
- (c) 36.06dB
- (d) 37.00dB
- (e) 37.11dB
- (f) 36.41dB
- (g) 36.37dB

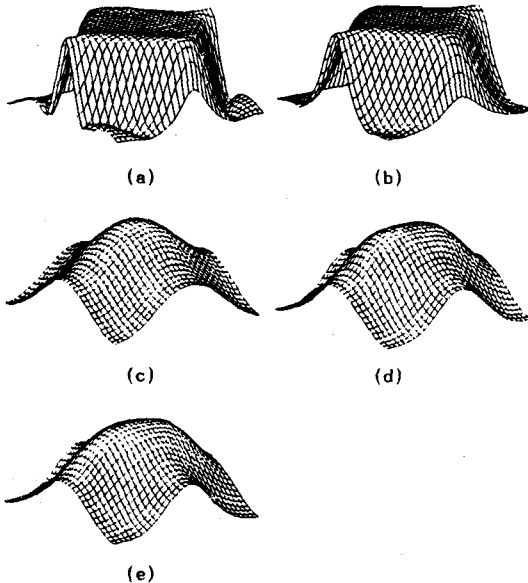


그림 8. 필터의 주파수 응답

5. 결론

본 연구의 핵심은 영상의 복원능력이 우수하고 실시간 구현이 가능한 인터플레이션 필터의 설계에 있으며, 시뮬레이션을 수행하여 다양한 필터의 성능을 검토해 보았다. FMH 필터는 하드웨어가 비교적 복잡하고 PSNR도 그리 높지 않았으며, IIR 필터는 일반적으로 영상처리에 사용하지 않지만 인터플레이션에 사용 가능한 형태도 있다는 것을 제시하였다.

실시간 구현에 적합하려면 계산시간이 적게 소요되는 덧셈기와 비교기만으로 구성이 가능하고 지연라인의 갯수가 적어야 한다. 이런 관점에서 보면 3x5 정도의 FIR 필터와 4 포인트 미디안 필터가 적합하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] M. J. J. C. Annegarn, J. P. Arragon, G. de Haan, J. H. C. van Heuven, and R. N. Jackson, "HD-MAC: A step forward in the evolution of television technology," Philips Tech. Rev., vol. 43, no. 8, pp. 197-212, Aug. 1987.
- [2] F. W. P. Vreeswijk, M. R. Haghiri, and C. M. Carey-Smith, "HDMAC coding for compatible broadcasting of high definition television signals," Proc. 16th Int. TV Symp., Montreux, Switzerland, pp. 37-52, 1989.
- [3] J. S. Lim, Two-dimensional Signal and Image Processing, Prentice-Hall, 1990.
- [4] J. Chatel, "Toward a world studio standard for high definition television," Proc. Int. Broadcast Convention, Brighton, UK, pp. 8-11, 1988.
- [5] A. Lenhton and M. Renfors, "Nonlinear quincunx interpolation filtering," Proc. Visual Comm. and Image Processing '90: 5th in a Series, vol. 1360, pp. 388-397, 1990.
- [6] A. Miron and D. Koo, "Design of multiplierless FIR digital filters with two to the Nth power coefficients," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. CE-33, pp. 109-114, 1987.