

12 Mbps TV 코덱 시스템 구성에 관한 연구

고종석, 정주홍, 김진업, 김재균

한국과학기술원, 전기 및 전자공학과

A Study on 12 Mbps TV Codec Systems

Jong-Seog KOH, Joo-Hong JEONG, Jin-Up KIM, Jae-kyoon KIM

Electrical Engineering Dept., KAIST

Abstract

We present a consideration on 12 Mbps codec systems with CATV quality. Computer simulations on systems with various combinations of coding techniques are performed. An average SNR of 43.7 dB is achieved through prefiltering, motion compensated prediction, multi-mode coding, variable word-length coding, etc.

1. 서론

전송속도가 12 Mbps 이면서 CATV 품질 (44 dB, weighted SNR) 을 갖는 코덱시스템을 구성하기 위해서는 여러가지의 데이터 감축 방식을 포함하는 매우 복잡한 방법이 요구된다.

첫째, prediction 이 정확하게 되어서 prediction error 가 작아야 하므로 motion compensated prediction, interframe prediction, intraframe prediction 등을 이용하여 전송 데이터량을 크게 줄일 필요가 있다.

둘째, prefiltering 이 필요하다. prefiltering 은 입력 영상데이터에 포함되어 있는 noise 성분을 제거시킴으로써 다음에 행할 encoding 의 효율을 높일 수 있다.

셋째, prediction 방법에 있어서 12 Mbps 정도의 낮은 전송속도에서는 comonnet prediction 을 하는 것보다 composite prediction 을 하는 것이 bit rate 측면에서 바람직하다 [1].

넷째, 불규칙적으로 발생하는 데이터량을 제한된 channel capacity 를 갖는 전송선을 통해서 전송하기 위해서는 buffer 가 필요하고 이러한 buffer 의 control 을 위해서는 여러개의 quantizer 를 사용하는 방법이 적절하다 [2]. 그리고 coder 의 효율을 높이기 위해서는 VWC (Variable Word-length Coding) 가 필요하다.

이상과 같이 구성되는 코덱시스템의 encoder 와 decoder 의 구성은 그림 1 과 같다.

2. 시스템 개요

2-1. Preprocessing

영상 신호의 대역폭 (4.2 MHz) 의 Nyquist rate 이상의 sampling frequency 는 $3 f_{sc}$ 또는 $4 f_{sc}$ 뿐이나 field-quinconx subsampling 을 하게되면 alias 현상이 없으면서도 $2 f_{sc}$ 의 sub-Nyquist sampling 을 할 수 있다.

즉 그림 2 와 같이 digital comb filtering 을 채용하여 $4 f_{sc}$ 로 sampling 된 composite signal 을 Y/C 분리하여 각각 lowpass filtering 과 field quincunx subsampling 을 한 후 $2 f_{sc}$ 의 composite signal 을 만든다.

이상의 과정은 그림 1 의 codec system 의 앞에 들어가는 processing 에 해당하는 과정이다. 여기서 LPF (Low Pass Filter) 로서 2-nd order FIR (Finite Impulse Response) filter 를 채용하였고 (1/4, 1/2, 1/4) 의 일차원 계수를 갖는 매우 간단한 형태로 구현할 수 있도록 하였다 [3].

따라서 preprocessing 된 영상 데이터의 양이 수평, 수직 동기 신호를 제거하고 나면 44.3 Mbps 이므로 12 Mbps 의 전송률로 데이터 감축을 하려면 8 bits/pel 의 데이터를 8 bits/pel x (12 Mbps/44.3 Mbps)=2.17 bits/pel 로 데이터 감축할 필요가 있다.

Temporal filter 로 motion-compensated nonlinear temporal filter 를 채용하였으나 하드웨어 복잡도를 줄이고 buffer control 을 유연히 하기 위하여 그림 3 과 같은 temporal filter 를 그림 1 의 내부에 흡수 시켰다. 이와 같은 temporal filter 는 일련의 영상 사이에 운동이 발생하였을 경우 운동의 방향으로 original signal 은 uncorrelated 되어있고, noise 는 uncorrelated 되어 있으므로 original signal 에 손상을 주지 않고 noise filtering 효과를 높일 수 있다 [4,5].

2-2. 예측기 (Predictors)

그림 1(a) 의 입력신호는 앞 절의 preprocessing 을 거치고 난 $2 f_{sc}$ 의 composite signal 이다. 여기서 composite prediction 을 사용하였는데 그 이유는 intrafield 의 경우 comonnet coding 이 유리하다고 알려져 있으나 interframe coding 의 경우 그 성능이 그만큼 크지 못하고 하드웨어 복잡도만 가중시킴으로 보통 composite prediction 을 이용한다 [1]. 특히 12 Mbps 정도의 전송 속도에서는 composite coding 이 유리하다고 알려져 있다.

Predictor 의 성능이 좋아야 데이터 감축율을 높일 수 있으므로 최근에 연구 발표된 3 가지 predictor 를 갖는 MAP (median adaptive predictor) 를 이용하였다 [6]. 세가지 predictor 중에서 두개는 spatial predictor 로서 그림 4 와 같고 나머지 M.C. (Motion Compensation) predictor 는 그림 5 와 같이 구성된다.

M.C. (Motion Compensation) predictor 에서는 comb filter 를 채용하여 Y/C 분리를 한 후 그림 5 와 같이 Y 신호에 대해서 8x8 block 의

BMA (Block Matching Algorithm) 를 적용하여 [10] motion vector 를 찾아 영상의 움직임에 대해 보상한다. 여기서 Y/C 를 분리하여 Y 에 대해서만 적용하는 이유는, C 신호에는 color subcarrier 성분이 그림 4 에서와 같이 pel 마다, 때 line 마다 변화하므로 분리시켜 제의해야 하기 때문이다 [9].

2-3. 양자화 및 VWC (Variable Word-length Coding)

Quantizer 로서는 모두 7가지의 level spacing (step size) 를 갖는 7가지의 uniform quantizer 를 사용하였다. 하나의 quantizer 만을 사용하고 VWC 를 적용하지 않는 경우에는 non-uniform quantizer 가 좋은 성능을 갖지만, 뒤에 VWC 를 적용할 경우 quantizer 의 entropy 를 적게하는 방향으로 설계해야 하므로 uniform quantizer 를 사용하는 것이 바람직하다 [2]. 따라서 uniform quantizer 를 step size 가 서로 다르도록 7개를 design 한 뒤 buffer control 수단으로 prefilter 와 함께 이용한다. 7개의 31 level uniform quantizer 의 step size 는 각각 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 이다 (그림 6 참조).

Quantization 된 data 에 대해 더욱 데이터라 감속을 하기 위해 최대길이가 12로 제한된 VWC code 를 사용한다. 이 VWC code 의 평균길이는 2.144 bits/pel 로서 앞서 2.1 절에서 구한 평균데이터라 감속을 2.17 bits/pel 보다 약간 작은 값으로서 거의 최적의 code 라고 간주할 수 있다.

2-4. Buffer Control

VWC 에 의하여 데이터라 발생이 불균일하므로 buffer 의 상태를 계속 점검하여 매 frame 마다 feedback control 을 해야할 필요가 있다 [3]. 그림 7 과 같은 14가지의 mode 를 갖도록 buffer 상태에 따라 prefilter 와 quantizer 를 선택한다.

Buffer 의 최대크기는 실제 시스템 구현시 매우 중요한 결정요소이다. 보통 NTSC TV 의 경우 초당 30 frame 이 전송되므로 눈이 거의 느끼지 못하는 0.1 초의 delay 에 해당하는 3 frame 을 coding 하였을때 발생하는 bits 수 만큼 buffer 를 마련해 둔다. 즉 12 Mbits x (3 frames/30 frames) = 1.2 Mbits 의 buffer 를 실제 12 Mbps codec system 에 두면 된다.

한편 computer simulation 에 이용한 영상은 한 frame 의 크기가 (256x128) 이므로 2 f 로 샘플링된 full frame 의 크기 (480x403) 를 고려하여, 최대 buffer 크기를 다음과 같이 결정하였다.

$$\text{DPCM data buffer} = 1.2 \text{ Mbits} \times \frac{256 \times 128}{480 \times 403}$$

$$= 192 \text{ Kbits}$$

$$\text{Motion vector buffer} = 5 \text{ bits} \times \frac{256 \times 128}{8 \times 8} \times 3$$

$$= 7680 \text{ bits}$$

$$\text{Max buffer size} = 192 \text{ Kbits} + 7680 \text{ bits}$$

$$= 250 \text{ Kbits}$$

이와같이 결정된 최대 buffer 크기에 따라 buffer control mode 를 결정할 threshold 값을 hysteresis 현상을 주어 그림 7 과 같이 결정하였다. 여기서 hysteresis 현상을 준 이유는 coding 된 data 의 변화에 너무 민감하게 mode 를 변화시키면 영상의 재생 품질이 저하되므로 이러한 방법을 이용하였다. 예를 들어 현재 buffer 양이 145 Kbits

에서 168 Kbits 로 증가할 경우 mode 6 에서 mode 7 로 전환된다 (그림 7 참조). 반대로 168 Kbits 에 145 Kbits 로 감소할 경우 mode 7 에서 mode 7 로 여전히 동작하게 된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

앞 절의 구성을 갖는 codec system 의 성능 평가를 위해서 SNR 의 가중치 (weighted SNR) 를 이용하였다.

$$\text{SNR} = 3 + 10 \log_{10} \frac{255^2}{E[(x-\hat{x})^2]} \text{ [dB]}$$

x : 원 영상 신호
 \hat{x} : 재생 영상 신호

Computer simulation 에 사용한 영상 데이터라 는 일본의 KDD 연구소에서 입수한 연속되는 20 field 의 Y-I-Q component 영상이다. 본 연구에서 composite coding 을 하므로 2.1 절의 preprocessing 을 거쳐 2 fsc 의 composite signal 을 만들어 simulation 에 사용하였다. 원 영상의 하나의 field 크기가 (256x512) 로서 computer simulation 시에 너무 큰 부담을 주므로 (256x

128) 크기의 10 frame 으로 변형시켰다. 이 영상은 대단히 급격한 움직임을 갖는 회전하는 기계장치를 찍은 영상이다.

그림 1 의 구성을 갖는 12 Mbps codec system 에 대한 연속적인 computer simulation 결과물 그림 8 에 나타내었다. Buffer 의 양에 따라 mode 가 1 에서 14 까지 변하므로 이에 따라 SNR 의 값도 조금씩 변화하는 것을 알 수 있다. 그러나 buffer control 방식에 hysteresis 현상을 주었기 때문에 mode 변화에 비해 SNR 변화가 적으므로 전체적인 시스템 성능 변화가 크지 않아 안정된 시스템을 구성할 수 있었다.

평균 SNR 이 43.7 dB 로서 일반적으로 알려진 CATV 품질인 44 dB 에 약 0.3 dB 정도 떨어진다. 그러나 지금까지 CATV 용으로 알려진 codec system 은 모두 15 Mbps 이상에서 동작하는 system 들이다. 따라서 12 Mbps 에서 동작하도록 구성된 본 시스템의 성능은 기존 시스템에 결코 뒤떨어지지 않음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] S.Sabri, "Movement-compensated inter-frame prediction for NTSC color TV signals," NATO ASI Series, Vol.F2, Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, Edited by T.S. Huang, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1983.
- [2] H.Gish, J.N. Pierce, "Asymptotically efficient quantizing," IEEE, IT-14, pp.676-683, 1968.
- [3] "원거리 회의용 1.5 Mbps 디지털 코덱연구," 한국과학기술원 연구보고서, KSI 1053-2321-4, 1985.
- [4] E.Dubois, S.Sabri, "Noise reduction in image sequences using motion-compensated temporal filtering," IEEE, COM-32, No.7, July 1984.

[5] D.Martinez, J.S. Lim, "Implicit motion-compensated noise reduction of motion video scenes," ICASSP-85, pp.375-378.

[6] H.Murakami, "A 15 Mbps universal codec for TV signals using a median adaptive prediction coding method," Proc. of Digital Satellite Communications, VII-A-17~VII-A-24, 1983.

[7] T.Koga, "Motion-compensated adaptive intra-interframe predictive coding algorithm," Proc. of ICASSP, pp.363-366, 1985.

[8] K.A. Prabhu, "A predictor switching scheme for DPCM coding of video signals," IEEE, COM-33, No.4, April 1985.

[9] Image Sequence Analysis, Ed. by T.S. Huang, pp.265-275, Springer-Verlag, 1982.

[10] 정주홍, "이동 벡터 검출을 위한 Block Matching 방법에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위 논문, 1986.

*** 본 연구는 한국전자통신연구소의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

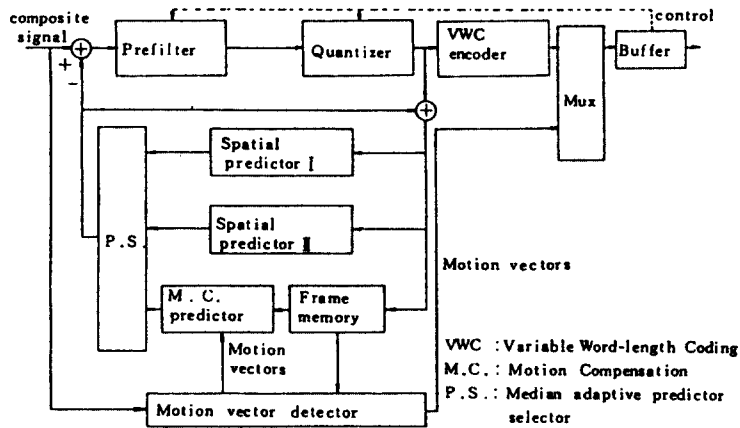


그림 1(a) 12 Mbps codec system(encoder)

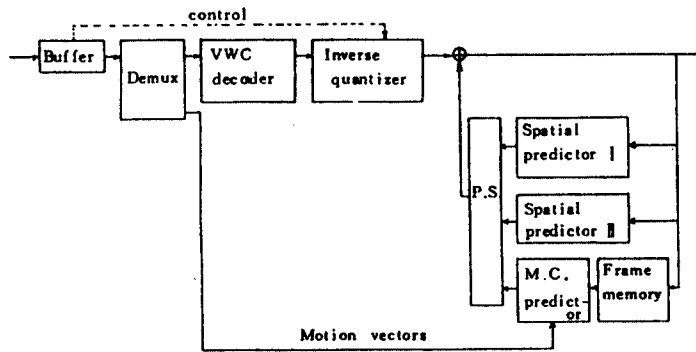


그림 1(b) 12 Mbps codec system(decoder)

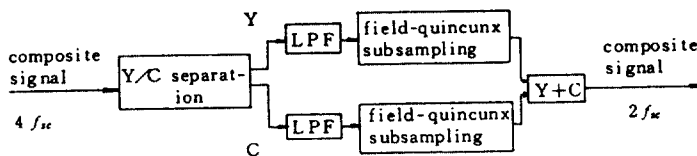


그림 2. Preprocessing

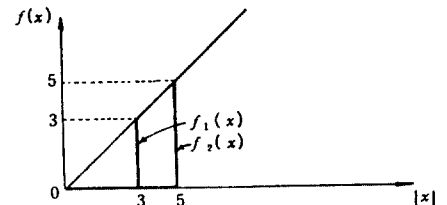
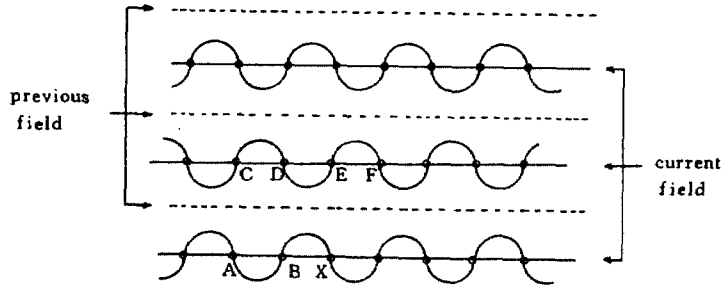


그림 3. 두가지 mode의 nonlinear functions



Spatial predictor I : $\hat{X}_1 = (D + F) / 2$

Spatial predictor II : $\hat{X}_2 = (A + D) / 2$

그림 4. Spatial predictors

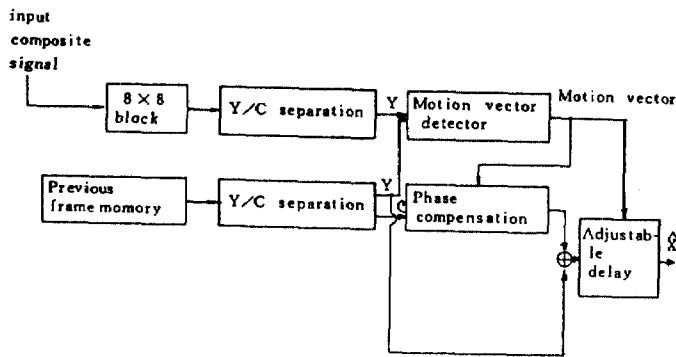


그림 5. M.C. (Motion compensation) predictor

quantizer	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
step size	3	5	7	9	11	13	15

그림 6. 7개의 uniform quantizer step size

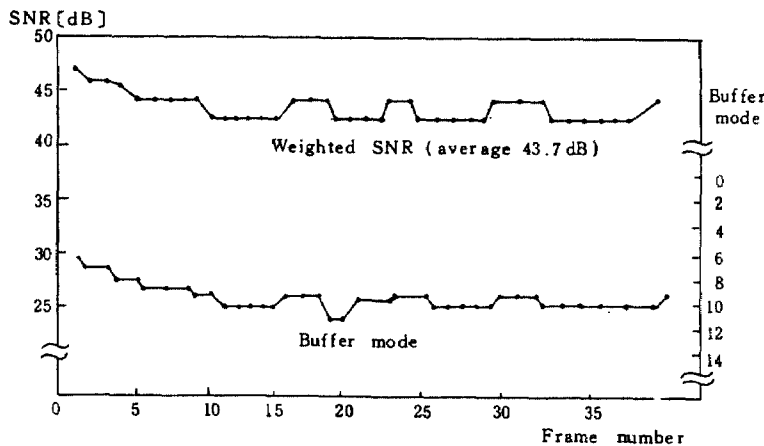


그림 8. Frame 진행에 따른 12 Mbps codec system의 SNR 변화 및 buffer mode 변화

그림 7. 14-mode buffer control

최대 buffer의 크기 = 250 Kbits

buffer threshold 단위 : K bits

mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
증가상태의 buffer threshold														
감소상태의 buffer threshold														
buffer threshold														
prefilter (그림 3)	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2
quantizer (그림 6)	Q_1	Q_1	Q_2	Q_2	Q_3	Q_3	Q_4	Q_4	Q_5	Q_5	Q_6	Q_6	Q_7	Q_7