DBpia

論文 98-23-8-16

양자화 비례 계수와 평균 MQUANT를 이용한 MPEG-2 비디오 부호화 비트율 제어

정회원 이 근 영*, 임 용 순**, 김 주 도*, 한 승 욱***

A Bit-Rate Control of MPEG-2 Video Coding using Quantization Ratio Coefficient and the Mean MQUANT

Keun Young Lee*, Yong Soon Lim**, Joo Do Kim*, Seung Wook Han*** *Regular Members*

요 약

MPEG2 동영상 압축 부호화는 비트율을 제어하는 방법에 따라서 압축율에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 영상의 질도 좌우하게 된다. 본 논문은, I, P프레임에 보다 많은 비트량을 할당하고, 인접 매크로블럭들의 MQUANT값들의 평균을 다음 매크로블럭의 양자화 값에 사용하는 비트 제어방법을 제안하였다. MPEG2 Test-Model5의 비트 제어방법과 비교하였을 때 제안한 방법은 약 0.9dB 정도의 화질이 향상됨을 보였다.

ABSTRACT

In moving picture coding standard MPEG2, a bit rate control systeme plays a key role for the compressing ratio and picture quality. We proposed a bit rate control scheme which assigns more bits to I, P frames and uses the average MQUANT of previous macroblocks. The proposed scheme showed about 0.9dB improvement of image quality when compared to bit rats control method of MPEG2 Test-Model5.

I. 서 론

동영상의 경우 다른 정보들에 비하여 정보의 양이 방대하기 때문에 효율적인 압축이 필요하다. 디지털 비디오 신호의 압축에 대한 표준화인 MPEG(Moving Picture Experts Group)의 압축기법은 소위 디지털 저장 매체(DSM-digital storage media)를 위한 일반적 부호화기법(generic coding)으로서, 그 응용범위가 컴퓨터 및 가전기기, 통신, 방송 등으로 매우 넓다. 처음에는 저장매체를 근간으로하는 약 1.5Mbps의 MPEG1으로 시작하였으나, 더욱 높은 비트율에서 고화질을 실현하는 표준이 요구되었다. 이렇게해서 5~10Mbps 정도에서 현행 TV품질을 실현하는 MPEG2[1~2]에 대한 논의가 시작되었고, 더 나아가 그 후속작업으로서 HDTV(High Definition Television) 품질을 실현하기위

* 성균관대학교 전자공학과
** 평택공과대학 전자계산과
*** 삼성전자 정보통신
論文番號 : 97413-1113
接受日字 : 1997年 11月 13日

www.dbpia.co.kr

한 MPEG3의 표준화작업까지 흡수하여 저장미디어와 통신, 방송미디어에 적용 가능하도록 제정되었다.

전송율 제어는 주로 버퍼의 충만도에 따라 오버플로 또는 언더플로가 나지않도록 양자화기의 스텝 사이즈를 가변 함으로써 데이터의 발생량을 조절한다. 엔트로피 부호화기를 거친 데이터와 기타 제어 신호들은 멀티플렉서에서 적절한 형태로 조합되어 수신단으로 전송된다. 그러나 이런 움직임 예측, DCT(Discrete Cosine Transform), 엔트로피 부호기화를 통한 데이터의 양은 부호화기에 입력되는 영상의 특성에 따라 픽쳐간 및 픽쳐내의 매크로블럭별로 불규칙하게 발생된다. 이와같이 불규칙하게 발생된 데이터를 고화질로 유지하기 위해서는 전송율 조절이 필요하다. 이전 영상의 복잡도와 평균 양자화값을 이용한 TM5(Test-Model5)가 현재 널리 사용되고 있으나 다른 방법에 의한 성능 개선 연구가 많이 이루어지고 있다.[3-7]

본 논문에서는 부호화 발생량의 추정에 새로운 GOP (Group Of Picture) 평균양자화 함수를 제시하고 각 영상별로의 양자화 선형관계에 Lagrange연산자를 이용하여 이 함수를 최소화하는 값을 제시하였다. 또 매크로블럭 간에는 상호 연관된 부분이 많으므로 매크로블럭 양자화 계수인 MQUANT(quantization Parameter for macroblock)값을 이전 MQUANT값들의 평균치로 대치하는 실험을 하였다. 2장에서는 기존 TM5의 전송율제어와 제안방법을 나타내었고 3장에서는 모의실험 결과를 비교하였으며, 4장에서는 결론을 맺었다.

II. 전송율 제어

수신단으로 보내어진 발생한 비트수가 기준치 이상이면 버퍼에 채워지는 데이터 량이 증가하므로 양자화 스텝 사이즈를 증가시켜 다음에 발생할 비트수를 감소시키고, 기준치 이하로 데이터가 발생하면 그 반대로 수행하여 전체적으로 버퍼의 상태가 일정치를 유지할 수 있도록 조절한다. 이때 양자화 스텝 사이즈에 따라서 양자화 에러가 발생하게 되고 이는 곧 화질을 좌우하는 매우 중요한 요인중의 하나라고 할 수 있다. 제어방법에는 예상 비트를 설정하고 남은 비트를 고려하여 양자화의 간격을 조절하는 순방향 제어방법과 부호화된 데이터가 버퍼에 들어간 정도를 고려하여 양자화 간격을 조절하는 역방향 제어방법이 있다.

2.1 TM5

TM5는 3단계로 전송율을 제어하는데, 처음엔 목표 비트를 설정하고 임의의 한 프레임을 부호화할 때 발생할 비트량을 사전에 추정해 내는 과정으로 GOP내에서 픽쳐들 간의 관계를 이용한다. I, P, B중 하나의 영상이 부호화 된 후 각각의 전체 복잡도가 다음과 같이 갱신된다.

$$X_I = S_I \cdot Q_I,\quad X_P = S_P \cdot Q_P,\quad X_B = S_B \cdot Q_B \quad (1)$$

여기서 S_I, S_P, S_B는 I, P, B영상을 부호화 할 때 생성되는 비트수이며 Q_I, Q_P, Q_B는 평균 양자화 변수로서 건너뛰는 매크로블럭을 포함해서 모든 매크로블럭을 부호화하는 동안 사용되는 실제 양자화 값의 평균으로 계산된다. 초기 영상의 복잡도 비율은 MPEG2 TM5 실험 모델에서 160:60:42의 전송율을 설정하여 초기치를 주고 있다. GOP의 다음번째 영상을 위한 목표 비트수(T_I, T_P, T_B)는

$$\begin{aligned}
T_I &= max\{\frac{R}{1+\frac{N_P X_P}{N_I K_P}+\frac{N_B X_B}{N_I K_B}},\ bit_rate/(8\times picture_rate)\}\\
T_P &= max\{\frac{R}{N_P+\frac{N_B K_P X_B}{K_B X_P}},\ bit_rate/(8\times picture_rate)\}\\
T_B &= max\{\frac{R}{N_B+\frac{N_P K_B X_P}{K_P X_B}},\ bit_rate/(8\times picture_rate)\}
\end{aligned} \quad (2)$$

이다. K_P, K_B는 TM5에서 선형 비례 계수인데, 실험적으로 각각 1.0, 1.4의 값을 설정하고 있다. R은 GOP에 할당되는 나머지 비트수로 한 영상을 부호화한 후 $R = R - S_{I,P,B}$로 갱신된다. $R = R - S_{I,P,B}$는 방금 부호화된 각 영상에 생성되는 비트수이다. GOP의 첫 번째 I영상이 부호화되기 전에 다음과 같이 바뀐다. 시퀀스의 시작점에서 R = 0이다.

www.dbpia.co.kr

$$R = G + R$$
$$G = bit_rate \times N / picture_rate \quad (3)$$
(N : GOP의 영상수)

GOP전체의 목표비트를 설정한 후 다음 단계에서 Q_j 값을 구하는 것인데 Q_j는 버퍼상태와 리액션 변수 r 값의 관계에서 결정된다. 이때 r값은 어느 정도로 민감하게 반응 할 것인가를 설정해 주는 변수 값이므로 전송율과 픽쳐율을 고려해서 설정하게 된다. 수식적으로 보면 j번째 매크로블럭을 부호화하기 전에 가상 버퍼의 상태를 체크하여야 한다.

$$d_j^{I,P,B} = d_0^{I,P,B} - B_{j-1} - \frac{T_{I,P,B} \times (j-1)}{mb_cnt} \quad (4)$$

d^I_o, d^P_o, d^B_o는 가상 버퍼의 초기 충만도이며 B_j는 j까지의 모든 매크로블럭들을 부호화했을 때 생성되는 비트수이다. mb_cnt는 영상의 모든 매크로블럭 개수이다. 가상 버퍼의 최종 충만도는 같은 종류의 다음 영상의 부호화를 위해 d^I_o, d^P_o, d^B_o와 같은 충만도로 사용된다. 다음으로 매크로블럭 j에 대한 기준 양자화 파라미터 Q_j를 구한다.

$$Q_j = d_j \times \frac{31}{r} \quad (5)$$

여기서 반응 파라미터 r = 2×bit_rate/picture_rate로 주어지며, d_j는 적절한 가상 버퍼의 충만도로 초기값은 다음과 같다.

$$d_o^P = K_P \cdot d_o^I, \quad d_o^B = K_B \cdot d_o^I, \quad d_o^I = 10 \times \frac{r}{31} \quad (6)$$

양자화 파라미터를 구하기 위한 앞에서의 두 단계는 이전 매크로블럭이나 프레임에서 구한 값이므로 현재 부호화하려는 매크로블럭의 특성을 반영하지 못한다. 그러므로 3단계에서 부호화하려는 원 영상의 4개의 프레임 구조 부블럭과 4개의 필드 구조 부블럭의 공간 활동성을 구한다. 공간 활동성은 밝기 신호의 분산치를 이용하며 양자화 파라미터에 미치는 영향을 적절히 해주기 위해 정규화시킨 후 기준 양자화 파라미터에 곱하여 양자화 변수를 결정한다.

$$N_act_j = \frac{2 \times act_j + avg_act}{act_j + 2 \times avg_act} \quad (7)$$

avg_act는 마지막으로 부호화된 act_j의 평균값이다. 첫 번째 영상에서 avg_act는 400이다. 최종적으로 $MQUANT_j$는 다음식으로 주어진다.

$$MQUANT_j = Q_j \times N_act_j \quad (8)$$

2.2 제안방법

2가지 관점에서 비트율 제어방법을 제어한다. 첫 번째는 영상간의 선형 비례계수를 이용한 최적 목표비트 할당이고, 두 번째는 아웃 인접 매크로블럭 MQUANT 값들의 평균을 현 MQUANT값에 이용하는 방법이다.

I. 영상간에 선형 비례계수를 이용한 최적 목표 비트 할당(LBA : Linear Bit Allocation)

전체 GOP에 할당된 비트량을 R로 놓고, 전체 GOP의 평균 양자화 함수를 Z로 나타내면 다음과 같다.

$$R = R_I N_I + R_P N_P + R_B N_B \quad (9)$$
$$Z = \frac{N_I Q_I + N_P Q_P + N_B Q_B}{N_I + N_P + N_B} \quad (10)$$

Z의 분모는 GOP내의 전체 영상의 개수를 나타내고 분자는 각 영상에 할당된 양자화 값으로 전체식은 GOP의 평균 양자화 값이다. Z가 작으면 작을수록 사용되는 비트 량이 많으므로 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있으나, GOP 전체에 할당된 비트량 R내에 만족시켜야 하므로, 최적의 값을 구해야한다.

$$Q_P = H_P Q_I, \quad Q_B = H_B Q_I \quad (11)$$

선형 상관계수로써 H_P와 H_B는 TM5의 수식에서 각각 K_P, K_B이다. 최적의 Z값을 구하기 위하여 식(9), (10), (11)을 이용한 라그랑제연산자(Lagrange Multiplier)를 도입하였다. H_P와 H_B를 변수로 놓고 Z의 값을 최소로 하는 값을 구하여 최적화된 비트율을 구하는 방법이다. 라그랑제변수 λ를 도입하여, $\lambda \times (R - N_I R_I - N_P R_P - N_B R_B) = 0$을 식(10)에 대입하여 $Z + \lambda \times (R - N_I R_I - N_P R_P - N_B R_B) = Z$를 만들고 놓고,

www.dbpia.co.kr

$$\frac{\partial Z}{\partial R_{I,P,B}} = 0 \tag{12}$$

이 식을 만족하는 λ를 구한다. 각각의 I, P, B영상에 대해 미분하기 위해서 식(1)과 식(11)을 식(10)에 대입하여 식(12)를 만든다. 여기서 λ를 구하면, 식(13)처럼된다. 여기서 N_T는 $N_T+N_P+N_B$의 합이다.

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{X_I(N_I+N_PH_P+N_BH_B)}{N_TN_IR_I^2}\\ &= \frac{X_P(N_I+N_PH_P+N_BH_B)}{N_TN_PH_PR_P^2}\\ &= \frac{X_B(N_I+N_PH_P+N_BH_B)}{N_TN_BH_BR_B^2}\end{aligned} \tag{13}$$

식(13)을 정리하여

$$\begin{aligned}\frac{R_B}{R_I} &= \sqrt{\frac{N_IX_B}{H_BN_BX_I}}, \quad \frac{R_P}{R_I} = \sqrt{\frac{N_IX_P}{H_PN_PX_I}},\\ \frac{R_B}{R_P} &= \sqrt{\frac{H_PN_PX_B}{H_BN_BX_P}}, \quad \frac{R_P}{R_B} = \sqrt{\frac{H_BN_BX_P}{H_PN_PX_B}}\end{aligned} \tag{14}$$

을 구한다. 이식들을 TM5에서처럼 목표 비트를 정하는 식에 각각 대입하여 최종 목표비트할당 식을 구한다.

$$\begin{aligned}T_I &= max\{\frac{R}{1+\sqrt{\frac{N_PX_P}{H_PX_I}}+\sqrt{\frac{N_BX_B}{H_BX_I}}},\\ &\qquad bit_rate/(8\times picture_rate)\}\\ T_P &= max\{\frac{R}{N_P+\sqrt{\frac{N_PN_BH_PX_B}{H_BX_P}}},\\ &\qquad bit_rate/(8\times picture_rate)\}\\ T_B &= max\{\frac{R}{N_B+\sqrt{\frac{N_BN_PH_BX_P}{H_PX_B}}},\\ &\qquad bit_rate/(8\times picture_rate)\}\end{aligned} \tag{15}$$

II. 이웃 인접 매크로블럭들의 평균 MQUANT를 이용한 방법(AMQ:Adaptive Mean Quantization)

TM5의 매크로블럭의 양자화 파라미터인 MQUANT는 이전 매크로블럭에 이용된 비트량의 크기에 현 매크로블럭의 MQUANT값에 많이 좌우가 된다. 즉 같은 배경이어도 이전에 쓴 양에 따라 서로 다른 MQUANT값을 가질 수 있고, 실제 중요한 정보가 이전에 쓰인 비트량 때문에 적게 쓰일 경우가 있다. 이는 매크로블럭마다 PSNR(dB)(Peak Signal to Noise Ratio)을 가질 수 있다는 것이다. 이를 효과적으로 처리하기 위하여 매크로블럭들의 MQUANT 평균값을 구하여 다음의 연속된 매크로블럭들에 이 값을 대치하는 실험을 해보았다.

$$\begin{aligned}mean_MQUANT_{j+m+1\sim j+2m} &= \frac{1}{m}\sum_{j}^{m+j} MQUANT_j\\ &= \frac{1}{m}\sum_{j}^{m+j}(Q_j\times N_act_j)\end{aligned} \tag{16}$$

m은 매크로블럭들의 개수이다. j번째부터 그 다음 m번째까지의 매크로블럭들의 MQUANT 값을 평균하여 그 다음 j+m+1에서부터 j+2m까지의 매크로블럭들의 MQUANT값으로 대치되며 그 다음의 매크로블럭들에 적용될 MQUANT 값을 구하기 위하여 실제 매크로블럭당 각각의 MQUANT값들도 계산한다. 초기 영상에는 미리 측정한 매크로블럭들의 MQUANT값이 없으므로 m번째가 생길 때까지 매크로블럭당 MQUANT 값들을 계산하여 준다.

$$MQUANT_{j-m} = Q_{j-m}\times N_act_{j-m} \tag{17}$$

III. 모의실험결과

모의실험의 테스트 영상은 "Table Tennis", "Flower Garden", 그리고 "Calendar"로 총 60프레임을 이용하였다. GOP의 전체 영상 개수는 12개로 N = 12, M = 3으로 하였다. 테스트 영상을 25frame/sec.로 하였고 1125000.0bit/sec.로 초당 전송 비트수를 결정하였다. 표 1은 목표비트 할당에 대한 기존 실험결과와 제안 실험결과들을 나타내었다. 즉, TM5와 제안한 두가지의 독립된 방법과 병합한 결과를 각 프레임별로 평균 PSNR을 나타내었다. 그림 1에서는 TM5와 제안목표

www.dbpia.co.kr

표 1. 각 영상의 PSNR(dB) 평균값
Table 1. Average PSNR(dB) of images

비교방법	Tennis	Garden	Calendar
TM5	32.85	26.25	25.72
LBA	33.11	26.82	26.39
AMQ	33.30	26.69	26.41
LBA&AMQ	33.59	27.09	26.87

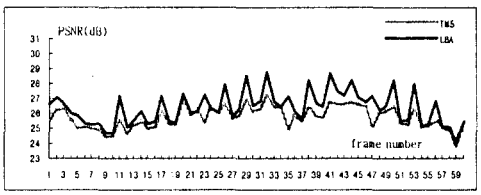


그림 1. TM5와 LBA의 PSNR(dB)의 분포
Fig. 1 PSNR(dB) distribution of TM5 and LBA

할당에 대한 각 영상별로의 PSNR 분포를 나타내었다. 식(10)의 최적치의 Z를 구하기 위하여 H_P와 H_B의 값을 변화하면서 실험하였다. 즉, H_P를 고정하고 H_B의 값을 변동하였을때와 H_B를 고정하고 H_P를 변동하였을 때 영상화질 성능을 살펴보았다. 영상별로 조금씩 차이가 있었으나, $H_P = 0.7$, $H_B = 20.0$의 값을 새로 정의한 목표 비트할당식에 적용하였을 때 TM5보다 각각 약 0.3, 0.6, 0.7(dB) 정도 향상된 값을 얻었다. 그림 2는 실제로 목표비트할당 비트수와 사용한 비트수의 차이를 나타내었는데, TM5와 비교해 볼 때 제안 방법이 목표할당 비트량에 근접함을 볼 수 있다. 그림 3는 실제 각 영상마다 사용한 비트수를 나타내었다. 그림 3에서 보면 TM5보다 목표제안 알고리듬이 I영상과 P영상에 보다 많은 비트를 사용하고 B는 상대적으로 적게 사용하고 있음을 알 수 있다. LBA(제안 I)를 적용하지 않고 AMQ(제안 II)을 적용시켰을 때의 PSNR값을 그림 4, 5에 나타내었다. 그림 4는 매크로블럭의 개수를 변형시키면서 PSNR을 살펴보았다. m = 1인 경우가 TM5의 PSNR이다. 영상에 따라 다소 m값에 차이가 있었으나 최대의 PSNR값을 갖는 "Tennis" 영상의 경우 m = 15이었고, "Garden" 영상은 m = 15 "Calendar" 영상은 m = 24이었다. 각각 TM5에 비교하여 약 0.5, 0.4, 0.7(dB)정도 향상되었다. 그림 5는 TM5와 AMQ의 PSNR 분포도이다. 두 제안을 함께 적용시킨 비트 제어율의 결과는 그림 6에 나타내었다. 전체적 결과로 보면 "Tennis". "Garden", "Calendar" 영상은 TM5와 비교하여 약 0.7, 0.8, 1.1(dB)정도 향상되었다.

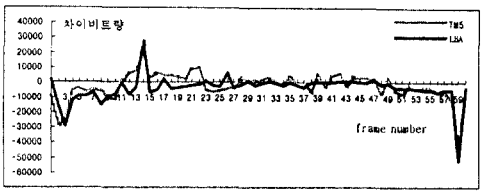
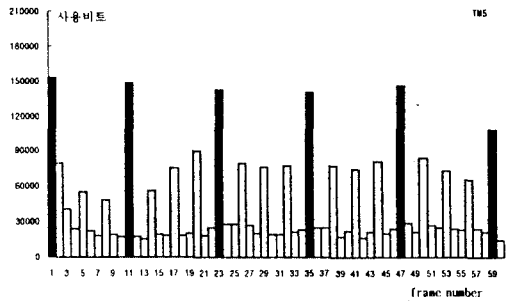
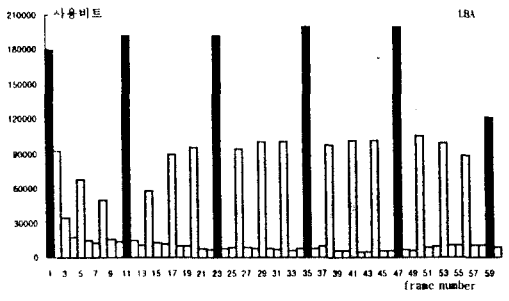


그림 2. 목표할당 비트수와 실지 사용한 비트수의 차이
Fig. 2 Difference bits between target and actually used bits



(a)



(b)

그림 3. 실제 사용한 각 영상별로(I, P, B)의 비트량
(a)TM5 (b)LBA (■ :I영상, ■ :P영상, □ :B영상)
Fig. 3 Actually used bits of I, P, B images (a) TM5 (b) LBA

www.dbpia.co.kr

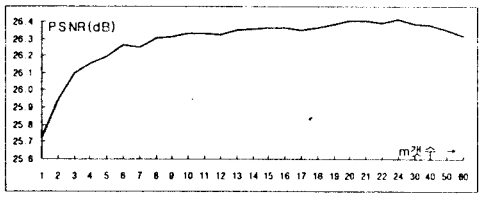


그림 4. 매크로블럭 개수에 따른 PSNR(dB)
Fig. 4 PSNR(dB) depending on number of macroblocks

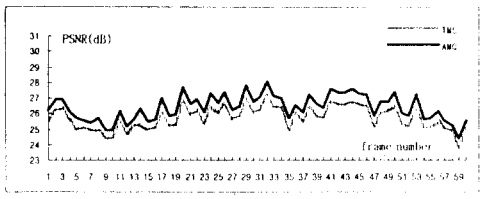


그림 5. TM5와 AMQ의 PSNR(dB)의 분포
Fig. 5 PSNR(dB) distribution of TM5 and AMQ

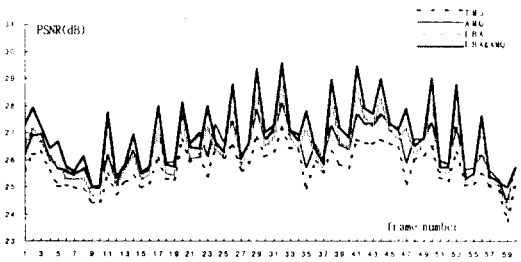


그림 6. 다른 제어율 방법에 따른 PSNR(dB)
Fig. 6 PSNR(dB) distribution of different method controls

IV. 결 론

본논문에는 새로운 함수의 목표비트할당과 실험적인 이전 MQUANT값들의 평균을 다음 MQUANT에 적용시키는 방법을 제안하였다. LBA 방법에서는 I영상과 P영상을 기존의 TM5보다 많은 비트할당을 주고 B영상에는 비트할당이 낮아도 전체적으로 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있었다. 이는 곧 움직임 측정의 기준이 되는 영상에 많은 비트할당을 주어 좋은 화질을 얻은 영상은 움직임 추정으로 만들어진 P영상에 상당한 효과를 이루었음을 알 수 있었다. AMQ 방법에서는 인접 매크로블럭에서 갑작스런 MQUANT값 변화가 없도록 함으로써 보다 좋은 화질을 얻을 수 있음을 확인하였다. 최적의 화질을 얻기 위해서는 영상에 따라 평균을 취할 매크로블럭 수를 자동적으로 결정할 수 있으면 더욱 효과적이 될 것이다.

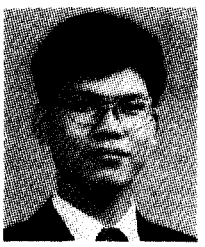
참 고 문 헌

1. ISO/IEC/JTCI/SC29/WG11 MPEG-2 Test Model5 March, 1995.
2. ISO/IEC/JTCI/SC29/WG11 MPEG-2 Test Model5 July, 1993.
3. S. H. Lee, S. H. Park "A Rate Control Algorithm for Co-located Variable Bit-Rate MPEG-2 Video Encoders" SPIE Visual Communication and Image Processing, pp. 1290-1330, 1996.
4. 甲勝二郎 太田 陸 "MPEG 壓縮效率 の理論解析とその符號量制御への 應用" 信學技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE IE95-10.
5. Limin Wang "Bit Rate Control for Hybrid DPCM/DCT Video Codec" IEEE Trans on Circuits and System for Video technology. vol. 4, no. 5, Oct, 1994.
6. C.A.Gonzales and E.Viscito "Motion Video Adaptive Quantization in the Transform Domain" IEEE Transactions on Circuits and System for Video technology. vol. 1, no. 4, December, 1994.
7. Wei Ding, Bede Liu "Rate Control of MPEG Video Coding and Recording by Rate-Quantization Modeling" IEEE Trans on Circuits and System for Video technology. vol. 6, no. 1, Feberuary, 1996.

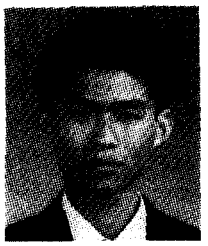
www.dbpia.co.kr

이 근 영(Keun Young Lee) 정회원
1947년 12월 30일생
1966년 3월～1973년 2월 : 전남대학교 전기공학과(공학사)
1973년 3월～1975년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)
1975년 3월～1978년 8월 : 한양대학교 전자공학과(공학박사)
1975년 3월～1977년 2월 : 한양대학교 강사
1977년 3월～1981년 8월 : 광운대학교 전임강사, 조교수
1979년 3월～1980년 2월 : Denmark공대 객원교수
1987년 9월～1988년 8월 : Loughborough대(영) 객원교수
1981년 9월～현재 : 성균관대학교 조교수, 부교수, 교수
1995년 8월～1997년 7월 : 성균관대학교 부설 정보통신기술연구소 소장
1996년 3월～1998년 1월 : 성균관대학교 부설 정보통신대학원 원장
1998년 3월～현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터 공학부장
※주관심분야 : 디지탈 방송, 멀티미디어, 영상 및 문서 인식, 압축 마이크로프로세서 응용, 디지털 전력제어 시스템
e-mail : lky@mickey.skku.ac.kr

임 용 순(Yong Soon Lim) 정회원
1988년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(공학사)
1993년 8월 : 성균관대학교 전자공학과(공학석사)
1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(박사과정 수료)
1988년 5월～1990년 2월 : LG전자 VIDEO 연구소 근무
1998년 3월～현재 : 평택공과대학 전자계산과 교수(전임강사)
※주관심분야 : 영상통신, 멀티미디어 시스템 등
e-mail : lys@mickey.skku.ac.kr



김 주 도(Joo Do Kim) 정회원
1993년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(공학사)
1995년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(공학석사)
1998년 2월 : 성균관대학교 전자공학과(박사과정 수료)
※주관심분야 : 영상압축, 영상통신, 패턴인식



한 승 욱(Seung Wook Han) 정회원
1996년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업
1998년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 석사 졸업
1998년 2월 : 삼성전자 정보통신 입사
e-mail : kjd@mickey.skku.ac.kr

www.dbpia.co.kr