

움직임 벡터를 이용한 적응적 부대역 벡터 양자화

°이 성학, 이 법기, 이 경환, 김 덕규

경북대학교 전자공학과

대구광역시 북구 산격동 1370번지

E-mail : dalnam@paigong.kyungpook.ac.kr

Adaptive Subband Vector Quantization using Motion Vector

°Sung-Hak Lee, Bub-Ki Lee, Kyeong-Hwan Lee, Duk-Gyoo Kim

Dept. of Electronics, Kyungpook National University

1370 Sankyudong Bukgu, Taegu, Korea

Abstract

In this paper, we proposed a low bit rate subband coding with adaptive vector quantization using the correlation between motion vector and block energy in subband. In this method, the difference between the input signal and the motion compensated interframe prediction signal is decomposed into several narrow bands using Quadrature Mirror Filter (QMF) structure. The subband signals are then quantized by adaptive vector quantizers. In the codebook generating process, each classified region has different codebook, in which code vector is closer to the block value in the same region after the classification of region by the magnitude of motion vector and the variance values of subband block. Because codebook is generated considering energy distribution of each region classified by motion vector and variance of subband block, this technique gives a very good visual quality at low bit rate coding.

I. 서론

움직임 보상 기법은 동영상의 효율적 전송을 위해 정보의 시간적 중복성을 제거하는 방법으로 영상의 부호화에 높은 성능을 나타낸다.^{[1][2]}

이 기법을 기반으로 영상의 전송시, 움직임 보상 차영상 (motion compensated frame difference; MCMF) 과 움직임 정보 (motion vector)가 수신측에 전송된다. 일반적으로 움직임 보상 추정오차 신호는 원영상 신호와는 다른 통계적 특성을 따르는데, 라플라시안 점음 형태의 분포특성을 가지며, 인접 신호간의 상관성이 매우 낮다. 그러므로 MCMF와 같은 낮은 상관관계를 갖는 신호에 대해서 변환 부호화 (transform coding)방법은 큰 압축 효율을 갖지 못하고, 영상이 복잡할 경우 블록에 의한 구획화 현상이 유발될 수 있다.

Ferner^[3]는 움직임 보상을 한 후 벡터 양자화된 오차신호를 전송하는 움직임 보상 차영상 벡터 양자화 (motion compensated differential vector quantization; MCDVQ)를 제안하였다. 이는 전송 비트율이 낮은 장점이 있지만, 차영상 블록의 에너지 분포를 고려하지 않은 단일 코드북 사용으로 부호화 효율이 떨어진다. Gharavi^[4]는 MCMF를 변환 부호화할 경우에 나타나는 구획화 현상을 제거하기 위하여 MCMF를 대역 분할

하여 각 대역별을 균등 양자화한 후 가변길이 부호화 (entropy coding)하는 기법이 제안되었다. 이 방법은 구획화 현상을 줄일 수 있지만, 각 블록과 대역사이의 상관성이 낮으므로 부호화 효율이 떨어진다. Akansu^[5]는 MCMF 영상을 대역 분할한 후 각 대역별 에너지 분포에 따라 MCMF 부대역 신호를 분류하여 VQ함으로써 압축 효율을 높이고, 구획화 현상을 줄였다. 그러나 분류시 상당량의 부가 비트가 발생된다.

본 논문은 추정오차 블록에서의 에너지 양과 움직임 벡터 크기의 상관성을 이용하여 적응적 부대역 양자화 과정시에 생기는 부가정보의 양을 화질의 손실없이 최소화하는 방안을 제시하였다. 첫 번째로, 움직임 벡터의 크기가 큰 영역일수록 블록의 추정오차의 평균값이 증가하는 특징을 이용하여 움직임 벡터크기의 영역별로 블록 에너지 분포에 따라 효율적인 개수의 각각 독립된 코드북을 설계하였고, 두 번째로, 차영상의 부대역에서 부호화되는 비교적 높은 에너지를 가지는 블록들은 물체의 에지 부분에 집중되므로 이들 블록들은 다음 프레임에서 물체의 움직임과 함께 병행 이동한다고 가정할 때 이동된 위치에서 에너지 블록들이 집중됨을 예측할 수 있다. 이 특징을 이용하여 다음 프레임에서의 블록의 정보화 여부를 움직임 정보를 이용하여 예측하여 사용하였다.

제안한 방법의 성능을 알아보기 위한 모의실험에서 기존의 방법과 비교할 때 전송되는 영상의 화질의 손실없이 비트율을 상당량 줄일 수 있었다.

II. 차영상의 적응적 부대역 벡터 양자화

기존의 적응적 부대역 벡터 양자화는 동영상의 시간적인 중복성을 제거하기 위해서 움직임 보상 부호화 (motion compensated coding)기법이 사용되고, 대역 분할한 후 공간적인 중복성을 제거하기 위해서는 변환 부호화 (transform coding), 예측 부호화 (predictive coding), 그리고 벡터 양자화 (vector quantization)기법 등이 사용된다. 움직임 추정 기법으로는 영상을 고성된 크기의 블록들로 나누고 그 블록 단위로 움직임 벡터를 추정하는 블록 정합 알고리즘 (block matching algorithm; BMA)이 주로 사용되고, BMA의 블록 정합 척도로는 하드웨어 구현이 간단한 MAD (mean absolute difference)가 사용된다. 움직임 보상 기법에 의해 시간적 상관성이 제거된 차영상 신호는 신호들간의 상관성이 떨어지므로 변환 부호화 (transform coding technique)는 블럭화 현상으로 인하여 주관적 화질이 나빠지고, 에너지 압축정도가 매우 낮아 비효

움직이다. 그러므로 Akansu^[5]는 적응적 부대역 벡터 양자화를 이용하여 부호화 효율을 높이는 기법을 사용하였다. 이 방법은 넓은 에너지 분포 특성을 가지는 LL 및 LH 밴드에서는 블록의 분산에 따라 4개의 클래스로 분류해서 3개의 코드북을 사용하였고, HL 밴드에서는 2개의 클래스로 분류하고, 에너지값이 거의 없는 HH 밴드는 부호화시 무시하였다. 이 같은 방법은 부호화 효율은 높일 수 있으나 코드북 분류에 필요한 부가 비트량이 매우 많다. 이 때 부가 비트율은 식 (1)와 같다.

$$B_c = \frac{1}{4} \left(\frac{2}{CB^2} + \frac{2}{CB^2} + \frac{1}{CE} \right) \quad (1)$$

$$= \frac{5}{CB^2}$$

CB : 코드북 블록의 크기

CB가 4×4 일 때 Bc의 값은 0.078 bpp이다. 움직임 벡터의 전송을 위한 비트율 보다 분류를 위한 부가 비트율이 2배정도 더욱 많다. 그러므로 클래스 분류를 위한 부가 비트를 줄일 수 있는 방법이 필요하다.

III. 제안한 방법

1. 움직임 벡터 영역에 따른 추정오차 블록 에너지 분포특성

움직임 보상 기법에서 추정오차는 움직임 벡터의 크기에 따라 큰 영향을 받게되는데 일반적으로 높은 움직임 영역일수록 현 프레임의 화소와 이전 프레임 화소의 상관성이 떨어진다.^[6] 이는 움직임이 높은 영역에서 추정오차 신호가 커짐을 의미한다. 본 논문에서는 이러한 추정오차 신호의 부대역 에너지분포와 움직임 벡터 크기사이의 상관성을 알아보기 위해 FOOTBALL, STATION 그리고, RIDER 영상을 이용하여 움직임 벡터의 영역별 에너지분포를 그림 1에 나타내었다.

움직임 벡터영역은 MV_LOW, MV_MID 그리고, MV_HIGH의 세 영역으로 나누었다.

$$\begin{aligned} MV-LOW : 0 &\leq |MV_H|, |MV_V| \leq T \\ MV-MID : T_0 &\leq |MV_H|, |MV_V| \leq T \\ MV-HIGH : T_1 &\leq |MV_H|, |MV_V| \leq 16 \end{aligned} \quad (2)$$

$|MV_H|, |MV_V|$ 는 수평축 움직임 벡터의 크기와 수직축 움직임 벡터의 크기를 나타낸다. 그리고 분류영역에서의 에너지 정의식은 다음과 같다.

$$E = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \{X(k+i, l+j) - mean\}^2 \quad (3)$$

X(i,j) : 좌표(i,j)에서의 화소값
(k,l) : N×N블록의 위쪽의 좌측 위치좌표

그림 1에서 보듯이 LL 및 LH 밴드에서 움직임 벡터의 크기가 작은 영역일수록 추정오차의 에너지가 작은 블록의 수가 많고, 움직임 벡터의 크기가 큰 영역일수록 추정오차 에너지가 큰 블록의 수가 많음을 볼 수 있다. 즉, 움직임 벡터가 큰 영역일수록 블록 에너지의 분포가 넓게 퍼짐을 볼 수 있다. 따라서 차영상의 부대역 신호를 여러 개의 클래스로 분류할 때, 동일한 클래스로 분류하는 것은 비효율적이므로 움직임 벡터 크기에 따라 적응적으로 클래스를 분류함으로써 효율적인 부호화를 할 수 있음을 알 수 있다. 반면 HL 및 HH 밴드에서는 블록의 에너지가 전체적으로 너무 작아 움직임 크기에 따라 분포특성의 차이가 거의 없기 때문에 클래스 분류는 필요하지 않다.

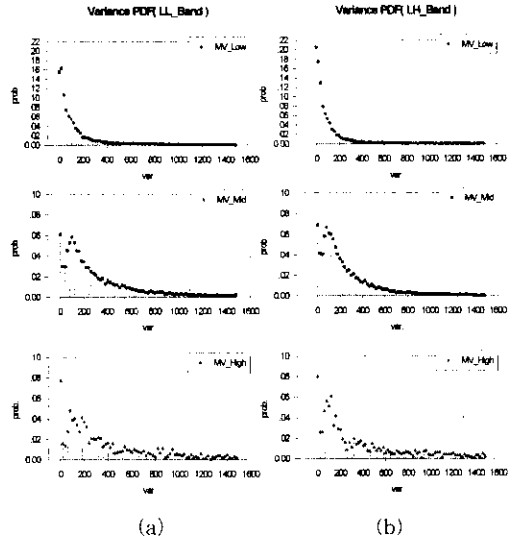


그림 1. 부대역별 추정오차 블록에너지 분포도 (a)LL 밴드 (b)LH 밴드

Fig.1 Distribution of estimation error in subband blocks (a)in LL_band and (b)in LH_band

2. 공간상의 움직임은 물체와 에너지 블록의 분포 상관성

움직임이 보상된 오차신호는 물체의 에지 부분과 높은 대조 (contrast)신호 부분에서 높은 에너지를 가진다.^[7] 즉 현 프레임에서 에지 부분에 에너지가 집중된 차영상을 얻을 수 있으므로 다음 프레임에 움직임이 평행 이동한다고 가정하면 이동된 위치에서 에너지가 집중된 영상을 얻을 수 있다. 즉 현 프레임에서의 에너지 블록의 공간적인 분포는 물체의 움직임에 따라 다음 프레임에서 물체의 에지 부분에 집중되는 분포를 가지게된다. 그림 3에서는 원영상에서 움직임이 있는 물체와 차영상의 부대역 (여기에서는 LL 밴드부분)평면에서 높은 에너지 값을 가지는 블록의 공간적 분포 관계를 보였다.

이 특징은 현 프레임 블록의 부호화 여부로 다음 프레임에서의 블록의 부호화 여부를 움직임 정보를 이용하여 예측할 수 있음을 보여준다.

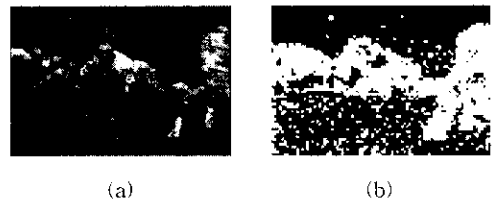


그림 2. 움직임 물체와 부대역 에너지 블록 상관성 (a) 원영상 (b) 차영상의 부대역 에너지 블록의 분포

Fig.2 The relation between motion objects and energy blocks in subband.

(a) Original image and (b) Energy distribution of subband.

3. 제안한 부호화 방법

3-1. 블럭 에너지 분포특성을 이용한 코드북 설계

본 논문에서는 차영상의 부대역 벡터 양자화를 위한 코드북 분류시, 움직임 벡터 정보와 그 크기 영역별 에너지 분포의 특성을 고려하여 화질의 손실 없이 분류에 의한 부가정보를 최소화 할 수 있는 코드북의 분류와 설계 방법을 제안하였다. 그림 1에서 보인 에너지 분포를 바탕으로 움직임 영역별로 코드북 분류를 표 1과 같이 행하였다. 제안한 분류에 의한 부가 비트율은 식 (4)와 같다.

$$B_c = \frac{1}{4CB^2} \left(\sum_{i=1}^2 (P_{i-ML} + P_{i-MM}^{Neg} + 2P_{i-MM}^{COD} + 2P_{i-MH}) \right) \quad (4)$$

P_{i-ML}, P_{i-M} : i 밴드의 블럭에 대한 움직임 LOW영역 및 HIGH영역에서의 블럭 확률

$P_{i-MM}^{Neg}, P_{i-M}^{COD}$: i 밴드의 블럭에 대한 MID영역의 무시되는 블럭의 확률 및 부호화되는 블럭의 확률

즉, 제안한 방법은 기존의 방법에서와 같이 일정한 클래스의 개수로 분류하는 것이 아니라 움직임 크기의 에너지 분포특성에 따라 적응적으로 분류함으로써 부가정보를 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 움직임 벡터는 수신측에 전송되므로 움직임 벡터의 영역분류에 대한 부가적인 비트는 필요 없고, 많은 블럭들이 LOW영역 및 MID영역에 발생하므로 기존의 방법과 비교하여 많은 양의 부가 비트가 준다. 표 II는 클래스 분류에 의한 부가정보를 나타낸다. 코드북의 크기는 기존의 방법의 성능비교를 위하여 동일한 코드북 사이즈를 사용하였다. 단점으로 코드북 수의 증가로 인해 기존과 비교해서 80%정도의 메모리가 더 필요하다.

표 1. 영역의 분류와 코드북의 크기

Table 1. Region classification and codebook size

Class	Subbands 1, 2			Subbands 3		
	Range	Code book	Code book size	Range	Code book	Code book size
MV_LOW	$0 < E < V_0$ $V_0 < E$	Neg. A	8 bit	$0 < E < V_0$ $V_0 < E$	Neg. B	7 bit
MV_MID	$0 < E < V_0$ $V_0 < E < V_1$ $V_1 < E$	Neg. C	8 bit 8 bit			
MV_HIGH	$0 < E < V_0$ $V_0 < E < V_1$ $V_1 < E < V_2$ $V_2 < E$	Neg. D E F	8 bit 8 bit 8 bit			

* 1 : LL_band, 2 : LH_band, 3 : HL_band

표 II. 제안 방법에서의 부가정보.

Table II. Side information

SI			SI		
proposed	proposed with BPE	band 1,2	proposed	proposed with BPE	band 3
1bit	0	Neg_L	1bit	0	Neg. G
1bit	0	Neg_M			
2bit	0	Neg_H	1bit	0	Neg. G
1bit	0	A			
2bit	1bit	B, C			
2bit	1bit	D			
2bit	2bit	E, F			

*SI : Side Information, *BPE : Bit Plane Estimation

3-2. 부호화 여부 비트 평면 예측 기법

그림 1에서 보인 공간상에서 움직임 물체의 분포와 차영상의 부대역에서 에너지 블럭의 분포관계를 이용하여 부호화 여부 비트의 예측실험을 행하였다.

1) 비트 평면의 초기화

먼저 각 블럭에 대해 식 (5)에서와 같이 부호화 여부를 판별하는 비트를 부여한다. 블럭의 분산 값이 V_0 이상일 때만 분류된 코드북으로 부호화 하게 된다.

$$\begin{aligned} & \text{if}(E > V_0) \\ & \quad P_n(k+i, l+j) = \\ & \text{else } P_n(k+i, l+j) = \\ & \quad P_n(x,y) : \text{현 프레임 (n)에서의 (x,y)좌표의 부호화 여부 비트} \end{aligned} \quad (5)$$

2) 초기 비트 평면으로부터 부호화 여부 판별

움직임 벡터를 이용하여 다음 비트 평면 (P_{n+1})에서의 부호화 여부 비트를 식 (6)과 같이 결정한다. 그러나 움직임이 블럭 크기만큼 일어나지 않았으므로 블럭의 부호화여부는 블럭 내의 비트 값의 평균으로 결정한다.

$$P_{n+1}(k+i, l+j) = P_n(k+i+MV(x)/2, k+l+M) \quad (6)$$

$$Flag = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{n+1}(k+i, l+j) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \text{if}(Flag \geq 0.5) \\ & \quad P_{n+1}(k+i, l+j) = 1 \quad // \text{Coding} \\ & \text{else if}(Flag < 0.5) \\ & \quad P_{n+1}(k+i, l+j) = 0 \quad // \text{Non-coding} \end{aligned} \quad (8)$$

$MV(x), MV(y)$: 다음 프레임의 움직임 정보

식 (7)은 블럭 내의 비트 평균값을 나타내고, 식 (8)은 평균이 0.5이상일 때 비트 평면을 모두 '1'로 구성하여 그 블럭을 부호화 함을 의미한다.

3) 개선된 비트 평면

움직임 벡터가 커지면 에러의 분산이 커짐으로 비트 평면의 예측율이 떨어진다. 그림 3은 FLOWER GARDEN 10프레임을 이용한 코드북 별 예측율을 보였다. 그림에서 (A)는 움직임 LOW영역의 코드북, (B,C)

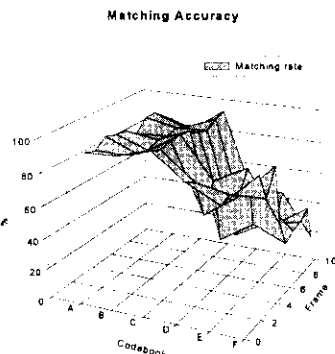


그림 3. 각 코드북에서의 예측율.
Fig. 3 Matching rate of codebook

는 움직임 MID영역에서의 코드북 그리고, (D,E,F)는 움직임 HIGH영역에서의 코드북을 나타낸다. 그림에서 보듯이 움직임 HIGH영역의 (D,E,F)코드북 예측율이 현저히 떨어지므로 이들 코드북에 해당하는 부호화 비트는 모두 보상하였다. 비교적 움직임이 작은 영역인 MV_LOW와 MV_MID의 코드북에서 90%내외의 정보 비트 예측율을 보였고, HIGH영역에 대해 보상했을 때 전체적으로 2 ~ 4%의 예측율 향상을 얻을 수 있었다.

제안한 부호화 여부 비트 예측 기법은 높은 오차 에너지를 가지는 큰 움직임 영역의 블록들을 보상했으므로 주관적 화질에는 영향을 주지 않고, 부가 비트의 현저한 감소를 기대할 수 있다. 표 II에서 비트 평면 예측 기법을 이용한 제안 방법의 부가 비트량을 보였다.

IV. 모의 실험 및 결과

본 논문에서 움직임 벡터의 에너지 분포에 따른 클래스 분류를 위한 부가 비트를 줄이기 위한 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다.

본 실험에서 움직임 추정 기법에 사용된 블록의 크기는 16×16 블록으로 하였고, 탐색 범위는 -16~15로 하여 전역 탐색 기법을 행하였다. 차영상신호는 8-탭 QMF필터를 이용하여 구성한 4밴드의 부대역 평면에서 벡터 양자화를 행하였고, 벡터 양자화 방법은 코드북 크기로 초기 양자화 벡터를 선택하여 원래의 벡터와 왜곡이 최소가 되도록 양자화 벡터들을 개선시키는 LBG형식의 VQ 알고리즘^[7]을 사용하였다. 블록의 크기는 4×4, FOOTBALL, STATION 그리고 RIDER 각 10 프레임씩 총 30 프레임용 훈련 벡터로 사용하였다. 실험 영상으로 720×480 화소 크기의 FOOTBALL과 FLOWER GARDEN 각각 30 frame을 이용하였다.

기존 방법의 코드북 크기는 부대역 1,2에서는 각각 8bit로 부대역 3에서는 7bit로 하였다. 그리고 부호화 여부 비트 평면을 예측하는데 기준이 되는 초기 비트 평면은 FOOTBALL, FLOWER GARDEN 각각 7프레임마다 전송하였다. 성능비교는 PSNR과 비트율을 사용하였다.

표 III는 코드북 형성에 사용된 FOOTBALL영상과 새로운 FLOWER GARDEN영상에 대한 PSNR, 비트율을 보였다.

제안한 방법의 전체 비트율은 다음 식과같이 주어진다.

$$B = B_M + B_C + B_{COE} \quad (9)$$

표 III. 기존 방법과 제안 방법의 비트율과 PSNR 비교
Table III. Bit rate and PSNR of the conventional method and proposed method.

	FOOTBALL			FLOWER GARDEN			
	Akansu	proposed		Akansu	proposed		
PSNR [dB]	29.21	29.31	29.12	30.62	30.60	30.41	
Bit rate [bpp]	B _c	0.078	0.058	0.028	0.078	0.060	0.019
	B	0.277	0.257	0.227	0.290	0.272	0.231

* BPE : Bit Plane Estimation

B_M은 움직임 벡터의 비트율, B_C는 분류에 의한 부가 정보 비트율 그리고, B_{COE}는 차영상 부대역 신호의 부호화에 대한 평균 비트율을 나타낸다. 특히 표에서 B_C에 대한 비트율 향상과 그에 따른 전체 비트율 향상을 보였다. 부가 정보 비트율은 FOOTBALL의 경우 제안 방법에서 약 64%정도의 감소율을 보여 전체적으로 약 18%의 비트율 감소가 관찰되었다. FLOWER GARDEN의 경우 분류 부가 비트율에서 약 76%, 전체적으로 약 20%정도 비트율 감소를 보였다. 이는 움직임 정보량이 부가 비트량의 50%정도 됨으로 비트 감소량이 이보다 크다.

V. 결론

본 논문에서는 블록에서의 분산 (variance)과 움직임 벡터의 상관성을 이용하여 적응적 부대역 양자화 과정시에 생기는 부가 정보의 양을 화질의 손실 없이 최소화하는 방안을 제시하였다. 움직임 벡터의 크기가 작은 영역에서는 대부분의 블록 분산 값 역시 작아지므로 분류 부가 비트가 필요 없는 하나의 코드북으로 비슷한 화질의 정보를 보낼 수 있었고, 움직임 벡터 크기가 큰 영역에서는 블록 에너지 분포에 따라 몇 개의 클래스를 이용하여 코드북의 크기와 수를 조절함으로써 화질의 개선과 부가 비트의 감소를 볼 수 있었다. 그리고 부가 정보의 상당부분을 차지하는 블록의 부호화 여부 비트를 공간상의 에너지 블록 분포특성을 이용하여 예측하여 사용함으로써 60%이상의 부가 비트 감소를 볼 수 있었다.

모의 실험결과에서와 같이 기존방법과 비교할 때 전송되는 화질의 차이 없이 전체 비트율을 18 ~ 20%정도 줄일 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] R. R. Furner, R. W. Christiansen, and D. M. Chabries, "Motion Compensated Vector Quantization," ICASSP pp. 989-992, 1986.
- [2] P. Strobach, "Trec-Structured Scene Adaptive Coder," *IEEE Trans. Comm.* vol. 38, no. 4, pp. 477-486, April 1990.
- [3] H. Gharavi, "Differential subband coding of video signals," Proc. ICASSP, pp.1819-1822, May 1989.
- [4] A.N. Akansu and M.S. Kadur, "Adaptive vector quantization of video signals with motion compensation and spatial masking," Proc. IEEE Int'l Symposium Circuits and Systems, Portland, Oregon, pp. 1378-1381, May 1989.
- [5] A.N. Akansu and M.S. Kadur, "Subband coding of video with adaptive vector quantization," ICASSP, pp. 2109-2112, 1990.
- [6] A. N. Netravali and B. G. Haskell, "Digital Pictures Representation and Compression," Plenum, 1988.
- [7] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Comm.* vol. COM-28, pp. 84-95, Jan. 1980.