

論文94-31B-10-11

이동 보상 기법을 이용한 서브밴드 부호화 시스템에 관한 연구

(A Study on the Subband Coding System Using Motion Compensation Techniques)

李起承*, 朴容徹**, 徐廷泰*, 尹大熙*

(Ki-Seung Lee, Yong-Cheol Park, Jeong-Tae Seo and Dae-Hee Youn)

要約

본 논문에서는 동영상 신호 압축기법으로 이동 보상 기법을 이용한 서브밴드 부호화 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 영상 신호를 계층적으로 대역 분할하여 3 계층-피라미드 구조를 갖는 10 개의 서브밴드 신호로 나눈후 각 대역에 대해 이동 보상을 수행하고, 생성되는 예측 오차 신호를 부호화 하였다. 이때 각 대역마다 독립적으로 이동 벡터를 추정할 경우 정보량과 추정시의 계산량이 크게 증가하므로 가장 높은 피라미드에 해당하는 대역에서 이동 벡터를 추정하고 이 벡터를 각 계층에서 복원되는 대역 신호를 이용해 개선하는 방법을 제안하였다.

컴퓨터를 이용한 모의 실험 결과 제안된 이동 보상 기법은 추가적인 정보 전송이 따르는 방법에 비해 예측 오차의 에너지와 정보량에서 우수한 성능을 나타내었으며 제안된 방법을 이용해 복원된 영상은 블럭 단위 DCT를 이용해 복원된 영상과 비교하여 시각적으로 우수한 화질임을 알 수 있었다.

Abstract

A motion picture compression scheme using subband coding with motion compensation is presented in this paper. A hierarchical subband decomposition is used to split the image signal into 10 subbands with a 3-layer pyramid structure and motion compensation is used in each band. However, in this case, motion vector information is drastically increased; therefore, initial motion vectors are estimated in the highest pyramid and motion vectors are refined using the reconstructed subband signal in each layer.

Simulation results show that the proposed method compares favorably in terms of prediction error energy and side information with methods requiring additional information. Images reconstructed from the proposed method show good quality compared to those reconstructed using blockwise DCT.

*正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Engi., Yonsei Univ.)

**正會員, 韓國電子通信 研究所

(Korea Elec. & Telecommunications Research
Institute)

接受日字 : 1994年 1月 3日

I. 서론

동영상 압축 알고리즘으로 대표적인 MPEG (Moving Picture Expert Group)^[1], CCITT H. 261^[2] 등은 이동 보상에 의한 프레임간 부호화(inter-frame coding)와 생성된 오차 영상에 대한 이산 여현 변환(discrete cosine transform, DCT), 가변 길이 부호화(variable length coding)를 통해 신호를 압축한다. 이들 방법은 움직임이 비교적 적은 영상일 경우 높은 압축율에서도 고화질을 얻을 수 있으나 비트 할당이 충분하지 못한 경우 블럭 현상이 나타나는 단점이 있다.^[4,11] 이는 블럭 단위로 부호화가 이루어 지므로 블럭간의 왜곡(distortion)이 불균일하게 분포하는데 원인이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 영상을 블럭 단위로 부호화하지 않고 주파수 대역 단위로 부호화하는 대역 분할 부호화(subband coding) 기법이 이용되고 있다.^[3,4,5] 대역 분할 부호화는 대역마다 불균일하게 왜곡이 존재할 수 있으나, 이 왜곡은 블럭간에 나타나는 왜곡에 비해 시각적으로 우수함이 입증되었다.^[3,4,5] 따라서 본 논문에서는 복원 영상의 시각적인면을 고려하여 대역 분할 기법을 영상 압축에 이용하였다.

본 논문에서 사용한 대역 분할 기법은 영상을 4개의 대역으로 나눈후 가장 낮은 주파수 대역의 신호인 LL대역의 신호를 다시 4개의 대역으로 분할하여 부호화하는 계층적 대역 분할 기법을 이용하였다. 이때 생성되는 각 대역의 신호는 피라미드 구조로 존재한다. 즉 가장 작은 크기를 갖는 상위 피라미드의 신호는 가장 낮은 주파수 대역의 신호이며 아래 피라미드로 갈수록 높은 주파수의 대역 신호가 존재하게 된다. 본 논문에서는 이와 같이 대역 분할된 영상 신호에 대해 이동 벡터를 추정하고 보상하는 방법으로 계층적 이동 벡터의 추정(hierarchical motion estimation) 기법을 적용하였다.

계층적 이동 벡터의 추정은 영상을 저역 여파기(low pass filter)를 통과한 후에 부표본화(sub-sampling) 과정을 거쳐 해상도를 떨어뜨리고 작은 블럭 단위로 큰 추정 영역내에서 이동 벡터를 추정하고 이 추정된 이동 벡터를 본래의 해상도에서 개신시킴으로써 이루어진다.^[6,13] 본 논문에서는 이와 유사한 방법으로 가장 작은 해상도를 갖는 최상위 피라미드의 신호로부터 이동 벡터를 추정하고 여기서 추정된 벡터를 하위 피라미드의 신호에 전파시켜 이동 보상을 수행하는 방법을 제안하였다. 이때 각 피라미드에 존재하는 신호의 크기가 각 각 틀리게 나타나므로 이

전에 추정된 이동 벡터에 대한 스케일링(scaling)이 수행되어야 하나 단순히 스케일링만을 할 경우 이동 보상을 하고자하는 대역의 크기가 증가될수록 이동 벡터의 정밀도가 저하된다. 따라서 각 대역마다 부가적인 이동 벡터의 교정이 이루어져야 한다. 그러나 교정된 벡터 정보가 각 대역마다 존재하므로 대역수가 많은 경우 이동 벡터의 전체 정보량이 크게 증가하고 결과적으로 예측 오차 신호의 부호화에 할당할 수 있는 비트수를 감소시켜 복원 영상의 화질을 떨어뜨리게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 각 계층에서 생성되는 복원 신호를 이용해 이동 벡터를 교정하는 방법을 제안하였다. 이때 이동 벡터의 교정에 사용되는 신호는 복호화기(decoder)에서도 얻어지므로 교정 신호를 추가로 전송하지 않아도 부호화기와 복호화기가 동일하게 이동 벡터를 교정할 수 있다. 또한 제안된 방법은 단지 하나의 대역에 대해서만 이동 벡터를 추정하고 나머지 대역에 대해서는 교정만을 수행하므로 이동 벡터의 추정시에 필요한 계산량을 크게 줄일 수 있으며 초기에 추정된 이동 벡터를 반복적으로 교정함으로써 이동 벡터의 정밀도를 크게 높일 수 있는 장점을 갖는다.

컴퓨터 모의 실험결과 제안된 이동 벡터의 추정과 보상 방법은 각 대역마다 독립적으로 이동 벡터를 추정하는 방법과 비교해 예측 오차면에서 비슷한 성능을 나타내었으며 양자화 및 엔트로피 부호화(entropy coding)를 통해 예측오차를 부호화한 후 복원된 영상은 기존의 블럭 단위 DCT를 이용한 방법에 비해 시각적으로 우수하게 나타났다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 대역 분할 부호화 기법에 대해 간략히 살펴보고, 기존에 발표되었던 대역 분할후의 움직임 보상 기법에 대해 알아본다. 3장에서는 제안된 이동 벡터의 추정과 보상 방법, 전체 부호화기의 구조를 살펴보고 4장의 모의 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 평가하며 마지막으로 5장에서 추후연구 및 응용분야를 살펴봄으로서 본 논문을 끝맺는다.

II. 프레임간 대역 분할 부호화 시스템

1. 트리(tree) 구조의 대역 분할

대역 분할 부호화(subband coding)는 1976년 Crochiere에 의해 소개된 기법으로 음성 및 영상 신호 압축에 널리 이용되고 있다.^[3-5,9,11,12,15] 대역 분할 부호화는 정지 영상 신호에 대한 압축과 함께 동영상의 압축에도 이용되어 기존의 DCT를 이용한 방법들과 비교되고 있다.^[11]

본 논문에서는 대역 분할의 한 방법으로 저주파 대역의 신호를 반복적으로 대역 분할하는 나무(tree) 구조의 분석 필터 बैं크를 이용하여 영상 신호를 분할하였다. 그 구조를 그림 1에 나타내었다. 이러한 과정을 통해 분석된 영상 신호의 대역별 신호는 그림 2와 같이 피라미드(pyramid) 형태로 나타내게 된다.

본 논문에서는 동일한 해상도를 갖는 대역신호들을 하나로 묶어 동일한 계층(layer)에 포함되는 대역으로 간주한다. 즉 그림 2에서 대역 신호 S_1, S_2, S_3, S_4 는 계층 1(layer-1)의 신호이고 신호 S_5, S_6, S_7 는 계층 2(layer-2), 신호 S_8, S_9, S_{10} 은 계층 3(layer-3)에 포함되는 신호이다. 계층 2, 3에 대한 저주파 대역의 신호는 필터 분석후에 나타나지는 않으나, 이전 계층의 대역 신호들로 부터 합성되어 나타난다. 이러한 구조를 갖는 부호화 시스템은 본래 영상에 비해 1/64의 크기를 갖는 저주파 대역의 신호 S_1 에 에너지가 집중되어 정보 압축면에서 유리하고 각 계층의 합성 과정마다 해상도가 다른 영상이 얻어지므로 다해상도(multi-resolution)영상이 제공되는 특징을 갖는다. [12]

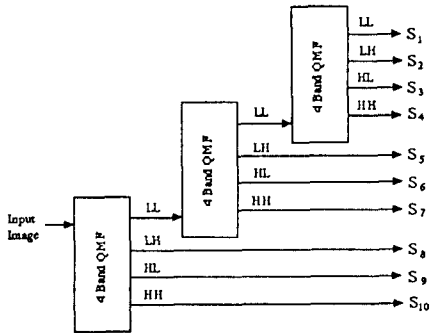


그림 1. 트리 구조의 대역 분할
Fig. 1. Tree-structured subband decomposition.

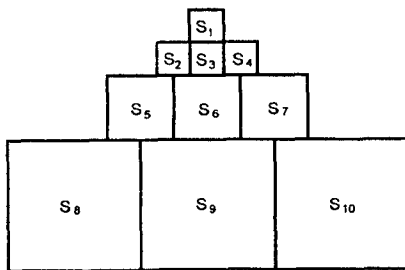


그림 2. 피라미드 구조의 대역 신호
Fig. 2. Pyramid-structured subband signal.

2. 움직임 보상과 결합된 대역 분할 부호화 시스템 앞서 살펴본 대역 분할 부호화는 프레임간의 상관성을 이용함으로써 더욱 높은 정보 압축을 수행할 수 있다. 이러한 프레임간 부호화(interframe)와 결합된 대역 분할 방법으로는 이동 보상후 예측 오차 영상에 대해 대역 분할을 수행하고 이를 벡터 양자화기(vector quantizer)에 의해 부호화하는 방법 [4]과 2차원 wavelet 변환을 이용하여 대역을 분할하여 이동 보상을 수행하고 부호화하는 방법 [3] 등이 있다. 전자의 방법은 대역 분할전에 이동 벡터를 추정하므로 이동 벡터의 정밀도는 높으나 일반적인 예측 오차 영상은 고주파 성분을 많이 포함하고 있으므로 대역 분할에 따른 부호화 효율이 감소한다는 단점을 갖는다. 반면 후자의 방법은 대역 단위로 이동 보상을 수행하고 생성되는 각 대역의 예측 오차를 부호화하므로 부호화 효율은 우수하나 각 대역마다 이동 벡터의 추정과 보상이 이루어져야 하므로 계산량과 이동 벡터의 정보량면에서 불리하게 된다. 그러나 영상이 지닌 정보의 대부분은 저주파 대역의 신호에 집중되어 분포하므로 저주파 대역에서 추정된 이동 벡터는 실제 이동 벡터와 매우 유사하게 나타나며 [5] 따라서 이 이동 벡터를 이용해 나머지 대역을 이동 보상하여도 예측 오차는 크게 증가하지 않는다.

이러한 사실에 따라 낮은 대역에서 추정한 이동 벡터를 높은 대역의 신호에 이용하는 방법을 피라미드 구조의 대역 신호에 대해서도 적용할 수 있다. 기존에 제안된 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다. [3]

- 1) 가장 낮은 주파수 대역 신호인 S_1 대역의 신호에서 이동 벡터를 추정하고 아래 계층에 대해서는 이 이동 벡터를 단순히 2배씩 곱해서 이동 보상을 수행하는 방법으로 n계층에 대한 이동 벡터는 식(1)로 표현할 수 있다.

$$V_k^{(n)} = V_k^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} \quad (1)$$

M : 전체 계층 수 (=3)

k : 대역 번호 (1, 2, ..., 9, 10)

n : 계층 번호 (1, 2, 3)

- 2) 방법 1처럼 계층마다 2배씩 곱하여 벡터를 얻고 이 벡터를 중심으로 비교적 적은 추정 영역(search window)내에서 $V_k^{(1)}(x, y)$ 를 교정시킨 이동 벡터를 이용해 보상하는 방법으로 n계층의 이동 벡터는 다음과 같다.

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_k^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} + \Delta V_k^{(n)}(x, y) \quad (2)$$

3) 대역 S_1, S_2, S_3, S_4 에서 각 이동 벡터 $V_1^{(1)}(x, y), V_2^{(1)}(x, y), V_3^{(1)}(x, y), V_4^{(1)}(x, y)$ 를 추정하고 아래 계층에 대한 이동 보상은 동일한 방향성을 갖는 상위 계층의 이동 벡터를 2배씩 scaling 시켜서 얻은 벡터들로 보상하는 방법. 이때 n 계층의 k 대역 신호의 이동 벡터는 다음과 같다.

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_2^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} \quad (k = 2, 5, 8) \quad (3-a)$$

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_3^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} \quad (k = 3, 6, 9) \quad (3-b)$$

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_4^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} \quad (k = 4, 7, 10) \quad (3-c)$$

4) 3과 유사한 방법으로 상위 계층의 4대역 신호 S_1, S_2, S_3, S_4 에서 추정한 이동 벡터 $V_1^{(1)}(x, y), V_2^{(1)}(x, y), V_3^{(1)}(x, y), V_4^{(1)}(x, y)$ 를 동일한 방향성의 아래 계층의 대역에 이용하되 비교적 작은 추정 영역에서 개선 시킨 이동 벡터 $V^{(m)}(X, Y) + \Delta V^{(m)}(X, Y)$ ($m=2, 3, 4$; 대역 번호, $n=1, 2, 3$; 계층 번호)로 보상하는 방법.

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_2^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} + \Delta V_k^{(n)}(x, y) \quad (k = 2, 5, 8) \quad (4-a)$$

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_3^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} + \Delta V_k^{(n)}(x, y) \quad (k = 3, 6, 9) \quad (4-b)$$

$$V_k^{(n)}(x, y) = V_4^{(1)}(x, y) * 2^{M-n} + \Delta V_k^{(n)}(x, y) \quad (k = 4, 7, 10) \quad (4-c)$$

1)의 방법은 이동 벡터에 대한 정보량은 나머지 방법에 비해 가장 작으며 이동 벡터의 추정시 계산량도 매우 적은 방법이나 하위 계층로 내려옴에 따라 이동 벡터의 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다. 방법 2)는 이러한 단점을 개선 시킨 것으로 최상위 계층에서 추정한 이동 벡터를 중심으로 이를 작은 범위 내에서 각 대역 신호에서 개선 시키는 방법이나 각 대역에서의 개선된 이동 벡터의 차 $\Delta V^{(m)}(x, y)$ 를 추가적으로 전송해야 하므로 이동 벡터의 정보량이 늘어나게 된다. 방법 3)과 4)는 하위 계층에서 초기 이동 벡터를 상위 계층의 동일한 방향성을 갖는 대역 신호의 이동 벡터로부터 취하는 방법이다. 이 방법은 상위 계층 1에서는 우수한 성능을 나타낼지 모르나 아래 계층 2와 3에서는 많은 예측 오차가 발생할 것으로 생각된다. 그것은 이동 벡터 개선의 중심 위치가 저 주파 대역으로부터 취한 값이 아니라 고주파 대역에서 추정된 것이므로 잡음등의 영향을 받기 쉬우므로 상위 계층의 이동 벡터 정밀도가 떨어지기 때문이다. 그러나 방법 4의 경우는 각 대역마다 이동 벡터를 개선하므로 이동 벡터의 정밀도를 어느정도 보상할 수 있다. 그러나 방법 2의 경우와 마찬가지로 추가적인 정보가 전송되어야 한다.

방법 2와 4는 각 대역마다 어느 정도의 이동 벡터

의 개선이 이루어지므로 예측 오차의 MSE(Mean Square Error) 관점에서는 우수한 성능이나 이동 벡터의 정보량이 늘어나는 문제가 있다. 이때 증가된 이동 벡터의 정보량은 본 논문에서와 같이 10개의 대역을 가질 경우 대역을 분할하지 않고 이동 벡터를 추정한 경우와 비교하여 10배가 증가된다. 따라서 예측오차의 부호화에 할당할 수 있는 비트수를 감소시켜 복원 영상의 화질을 감소시킬 수 있다. 3장에서 살펴보게 될 제안된 이동벡터의 추정과 보상은 이러한 문제점을 해결하는데 중점을 두었다.

III. 제안된 부호화기의 구조

제안된 부호화기의 구조를 그림 3(a)에 나타내었다. 부호화기에서는 먼저 영상 신호를 트리 구조를 갖는 QMF(Quadrature Mirror Filter)를 통해 대역 분할한다. 이동 벡터의 추정은 최상위 계층의 저주파 대역 신호 S_1 에서만 이루어지고 이 벡터는 같은 계층의 나머지 대역 신호들을 이동 보상하는데 이용된다. 이동 보상후에 생성되는 예측 오차 신호는 양자화 과정을 거친 후 가변 길이 부호화되어 채널로 전송되며 다른 한편으로는 역양자화되어 프레임 메모리에 저장된 이전 프레임의 각 대역 복원신호와 더해져 현재 프레임에 대한 복원 대역 신호를 생성하게 된다. 이렇게 복원된 계층 1의 4개 대역 신호는 QMF를 통해 합성되어 계층 2에 대한 LL대역 신호를 합성하게 된다. 이 합성된 신호를 이용하여 초기에 추정된 이동 벡터를 계층 2에서 사용할 수 있도록 교정한다. 교정된 이동 벡터로 계층 2의 대역 신호들을 이동 보상하고 복원된 각 대역의 신호를 QMF를 이용하여 다시 합성한다. 마지막으로 합성된 계층 3의 LL대역 신호내에서 계층2에서 교정된 이동 벡터를 또다시 교정하여 계층3의 나머지 대역 신호의 이동 보상에 사용한다. 수신단으로 전송되는 신호는 각 대역의 예측 오차 신호와 계층 1에 대한 이동 벡터 정보이다.

부호화기에서는 그림 3(b)와 같이 전송된 최상위 계층의 LL대역에 대한 이동 벡터와 각 대역의 예측 오차 신호로부터 부호화의 역과정으로 신호를 복원한다. 부호화기에서 최상위 계층을 제외한 나머지 계층의 이동 보상은 교정된 이동 벡터의 전송없이 부호화기와 동일한 방법으로 각 계층의 복원 신호들을 이용해 이동 벡터를 자체 교정함으로써 이루어진다. 부호화기의 각 부분에 대해 살펴보면 다음과 같다.

1. 이동 벡터의 추정 및 보상

2장에서는 기존의 피라미드 대역 분할된 이동 벡터

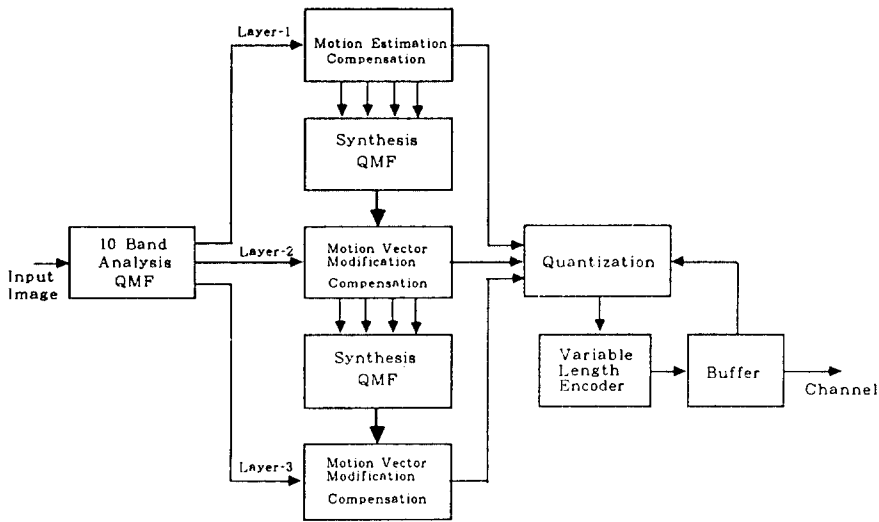


그림 3. (a) 제안된 부호화기의 블록 다이어그램
 Fig. 3. (a) Block diagram of the proposed encoder.

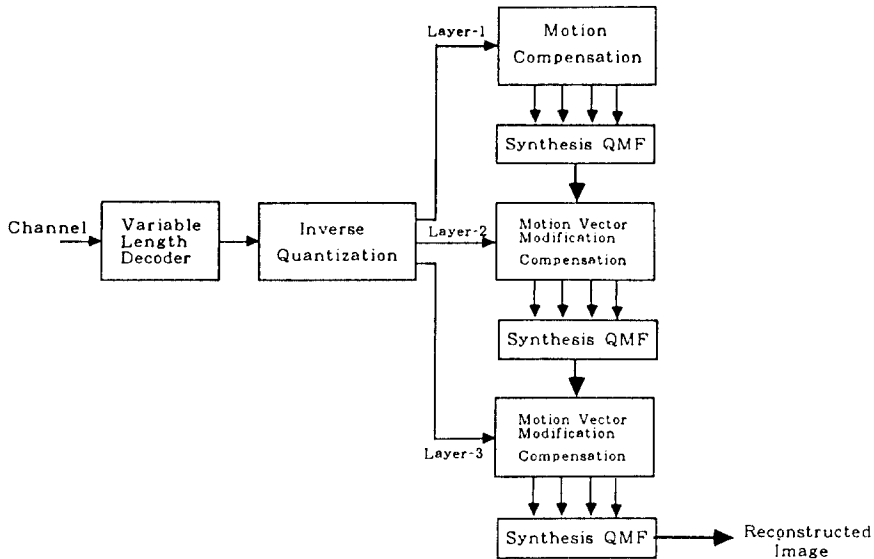


그림 3. (b) 제안된 복호화기의 블록 다이어그램
 Fig. 3. (b) Block diagram of the proposed decoder.

의 추정과 보상 방법의 문제점을 기술하였다. 즉 대역마다 정확한 이동 벡터를 추정하여 예측 오차를 최소화하는 문제와 이동 벡터의 전체 정보량은 서로 trade-off 관계임을 알 수 있었다. 또한 이동 벡터를 계층적으로 보상하는 경우 상위 계층에서 정확한 이동 벡터를 추정하지 않으면 하위 계층에 대한 이동 보상은 올바르게 이루어 지지 않는다.

본 논문에서는 위에 제시한 문제점에 따라 이동 벡터의 정보량은 그대로 유지하면서 이동 벡터의 정밀도를 높여 예측 오차를 최소화할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 블록도를 그림 4에 나타내었으며 그 과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

Step 1. 현재와 이전 프레임의 가장 낮은 주파수 성분(S_1) 간의 이동 벡터를 비교적 큰 추정

영역내에서 전영역 추정(full search estimation)방법을 통해 추정한다.

- Step 2. Step 1에서 추정된 이동 벡터를 이용하여 계층 1에 대한 대역 신호 (S_1, S_2, S_3, S_4)을 이동 보상하고 예측 오차를 부호화 한후 복원신호 ($\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3, \hat{S}_4$)를 생성한다.
- Step 3. 복원 신호 ($\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3, \hat{S}_4$)를 QMF 필터를 이용해 계층 2에 대한 LL대역 신호 $\hat{I}_1(n)$ 을 합성한다.
- Step 4. 현재의 합성신호 $\hat{I}_1(n)$ 와 과거의 합성 신호 $\hat{I}_1(n-1)$ 로 step 1에서 추정된 이동 벡터를 교정한다. 이때 교정의 초기 위치를 step 1에서 추정한 벡터의 2배 되는 위치이며 교정 영역의 크기는 step 1의 1/2이다.
- step 5. 추정된 벡터로 계층 2의 나머지 성분(S_5, S_6, S_7)을 보상하고 복원 신호 ($\hat{S}_5, \hat{S}_6, \hat{S}_7$)를 생성한다.
- step 6. 신호 $\hat{I}_1(n), \hat{S}_5, \hat{S}_6, \hat{S}_7$ 을 이용해 $\hat{I}_2(n)$ 을 합성하고 $\hat{I}_2(n)$ 과 $\hat{I}_2(n-1)$ 로 step 4에서 얻은 이동 벡터를 교정한다. 추정시의 초기 위치는 step 4에서 교정된 벡터의 2배 되는 위치이고 교정 영역은 step 4의 1/2이다.
- step 7. step 6에서 추정된 벡터로 계층 3의 나머지 신호를 이동 보상한다.

위와 같은 과정을 통해 추정되는 이동 벡터는 가장 낮은 해상도의 대역 신호로부터 얻어진 이동 벡터를 해상도를 증가시키며 점진적으로 개선시키므로 하위 계층으로 감에 따라 정밀도가 높아진다. 이 점은 하위 계층의 대역 신호가 상위 계층의 대역 신호에 비해 큰 크기를 가지므로 대역 전체의 예측 오차를 감소시키는 면에서 유리하게 된다. 또한 이동 벡터의 추정과 개선은 각 계층의 저주파 대역 신호에 대해서만 이루어지므로 고주파 영역에서 발생할 수 있는 잡음등의 영향을 방지할 수 있다.

위의 단계에서 실제 이동 벡터의 추정이 이루어지는 대역은 계층 1의 $S_{1(m)}$ 대역 신호이며 여기서 추정된 이동 벡터의 개선은 각 계층의 LL대역 신호를 통해 이루어진다. 이 신호는 부호화기에서 최상위 계층의 이동 벡터와 양자화된 예측 오차값으로 복원이 가능한 신호이므로 부호화기와 복호화기는 추가적인 정보의 교환없이 동일하게 이동 벡터의 개선을 수행하게 된다. 따라서 II장에서 살펴본 기존의 방법 2와 4에서 나타난 이동 벡터의 정보량 증대를 방지할 수 있다.

이동 벡터의 추정에 필요한 계산량면에서는 블럭정

합과 전영역탐색을 이용한 기존 방법과 제안된 방법을 다음과 같이 비교할 수 있다.

- M : 영상의 가로 크기
- N : 영상의 세로 크기
- m : 블럭의 가로 크기
- n : 블럭의 세로 크기
- k : 합성에 사용된 필터의 탭수

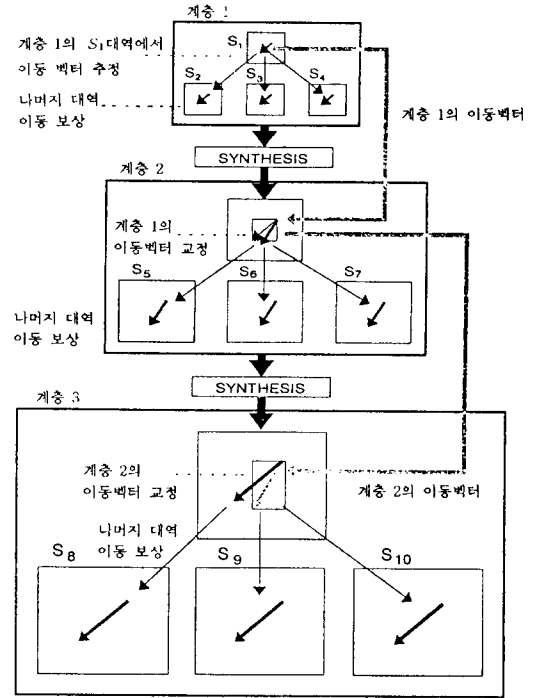


그림 4. 제안된 이동 벡터의 추정과 보상 방법
Fig. 4. Proposed motion vector estimation and compensation method.

NC_p (기존의 방법시 필요한 계산횟수) =

$$(m * n)^2 \frac{M}{m} \frac{N}{n} \quad (5)$$

NC_h (제안된 방법에 필요한 계산횟수) =

이동벡터 추정에 필요한 계산횟수 + 대역신호 합성에 필요한 계산횟수 =

$$\left(\left(\frac{m}{8} \frac{n}{8}\right)^2 + \left(\frac{m}{4} \frac{n}{4}\right)^2 + \left(\frac{m}{2} \frac{n}{2}\right)^2\right) \left(\frac{M}{m}\right) \left(\frac{N}{n}\right) + \left(2\left(\frac{N}{8} \frac{M}{4}\right)k + \left(\frac{N}{4} \frac{M}{4}\right)k + 2\left(\frac{N}{4} \frac{M}{2}\right)k + \left(\frac{N}{2} \frac{M}{2}\right)k\right) \cdot 4 \quad (6)$$

상대적인 계산량 =

$$\frac{NC_k}{NC_p} = \left(\frac{1}{64^2} + \frac{1}{16^2} + \frac{1}{4^2}\right) + \frac{5}{2} \frac{k}{mn} = 0.0667 + \frac{k}{mn} \quad (7)$$

식(7)에서 k=16, m=32, n=16인 경우 상대적인 계산량은 0.15가 된다. 따라서 제안된 방법은 기존의 전영역 탐색법에 비해 단지 15%정도의 계산량만으로 이동벡터의 추정이 가능함을 알 수 있다. 이는 실시간 시스템의 구현에 있어서 유리한 요소가 된다.

제안된 이동 벡터의 추정 방법의 단점으로는 각 계층마다 생성되는 저주파 대역의 영상 신호는 부호화 시에 발생한 양자화 잡음을 포함하고 있으므로 이동 벡터의 추정시에 잡음의 영향을 받을 수 있다는 점이었다. 그러나 실험적인 결과에 의하면 정보 압축 없이 대역 신호를 그대로 합성한 영상간의 이동 벡터와 정보 압축을 위해 양자화를 거친뒤 합성한 후에 추정된 이동 벡터간의 오차는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 상위 계층에 대한 정확한 이동 벡터의 추정과 개선을 위해 상위 계층에 대한 양자화 잡음이 감소되도록 양자화함으로써 이동 벡터의 정밀도를 향상시킬 수 있다.^[13]

2. 양자화 과정

본 논문에서는 예측 오차 신호의 부호화 방법으로 선형 양자화(linear quantization)와 허프만 부호화 기를 사용하였다. 이는 Chen에 의해 제안된 적응 근사화 과정(adaptive truncation process)^[8]과 유사한 방법으로 각 대역의 중요 도에 따라 각기 다른 임계치(threshold)와 정규화 계수(normal-ization factor)를 두어 양자화하는 방법이다. 양자화의 첫번째 과정은 임계치와 예측 오차값을 비교하여 이 보다 작은 값이면 예측 오차값을 0으로 한다.

$$T[S_k(i, j)] = \begin{cases} S_k(i, j) - T & \text{if } S_k(i, j) > T \\ 0 & \text{if } S_k(i, j) \leq T \end{cases} \quad (8)$$

$S_k(i, j)$: 대역 신호 k의 (i, j) 위치에서의 샘플값
 T : 임계치

이때 임계치의 값은 고주파 성분에 대한 잡음등의 요인을 줄이기 위해 상위 계층으로 갈수록 작은값을, 하위 계층으로 갈수록 큰 값을 설정한다. 두번째과정은 정규화 과정으로 식 (9)의 선형 양자화 방법으로 이루어진다.

$$N[T[S_k(i, j)]] = \frac{T[S_k(i, j)]}{D_k} \quad (9)$$

정규화 계수인 D_k 의 값은 인간의 시각특성등을 고려하여 대역별로 가중치를 두게 되는데 본 논문에서

는 간단한 방법으로 아래와 같이 설정하였다.

$$D_m = D_1 * 2^{M-m} \quad (10)$$

D_m : 계층 m에서의 정규화 계수

M : 전체 계층 수 (=3)

임계 과정 및 정규화를 거친 값은 가변 길이 부호화 과정을 거쳐 채널로 전송된다.

3. 가변 길이 부호화 및 고정 비트율 제어

일반적인 예측 오차 영상은 그 값이 대부분 0을 가지며 각 대역의 신호에 대해 이동 보상을 수행한 경우 저주파 대역의 신호에 비해 적은 에너지를 갖는 고주파 대역의 신호는 더욱 많은 0의 값을 갖게 된다.^[3, 4] 또한 고주파 대역에 대한 예측 오차 영상은 가로 또는 세로 방향의 엣지가 강하게 나타난 부분에 이동이 있는 경우 윤곽(contour)의 형태로만 존재하게 된다. 따라서 0이 아닌 값을 갖는 부분만을 수신단으로 전송함으로써 효율적인 정보 압축을 수행할 수 있다. 이에따라 본 논문에서는 양자화값의 위치 정보로 연속된 0의 수와 양자화된 값을 조합하여 부호화하는 2차원 허프만 부호화를 사용하였다.

이때 2차원적으로 위치한 대역신호를 1차원으로 재배열하는 과정이 필요하다. 이 과정은 직교 변환등에서와 같이 저주파 대역에 집중적으로 분포하는 특성에 맞추어 지그 재그(zig-zag)순으로 정렬하듯이 각 대역에 나타나는 샘플들의 분포 특성에 적합한 스캐닝을 선택하는 것이 바람직하다. 각 대역에서 나타나는 특성으로 가로 방향으로 고주파 성분을 포함한 신호는 세로 방향의 엣지등이 나타나며 세로 방향의 고주파 성분은 가로 방향의 엣지가 나타난다. 재 배열 과정에서 연속된 0의 수가 증가되면 그 만큼 부호화 비트수를 줄일 수 있으므로 본 논문에서는 각 대역마다 각기 다른 재배열 순서를 갖도록 하였으며 이를 그림 5에 나타내었다.^[15]

가변 길이 부호화를 통해 출력되는 데이터의 양은 시간에 따라 변동하게 된다. 따라서 고정된 채널 용량을 갖는 동기 통신망(synchronous transmission line)을 통해 데이터를 전송하는 경우 부호화기에서 출력되는 데이터양을 일정 하게 맞출 필요가 있다. 본 논문에서는 가변 길이 부호화기의 출력단과 채널 사이에 완충 작용을 하는 버퍼를 마련하고, 이 버퍼가 underflow또는 overflow 상태가 되지않도록 정규화 계수값을 동적으로 변화시키는 방법을 사용하였다. 즉, 각 대역에 대한 초기 정규화 계수값은 식 (10)에서 얻고 부호화가 진행 되면 현재의 버퍼 상태

에 따라 이 값을 적절히 가변시켜 고정된 비트율을 얻도록 하였다. 이때 버퍼의 상태를 나타내는 값은 N개의 데이터 단위로 부호화될 때 아래식으로 계산된다.

L : 버퍼의 크기

버퍼 상태 S(m)와 (10)에서 설정한 초기 정규화 계수값에 따라 다음 양자화 과정에 사용되는 정규화 계수값이 아래와 같이 정해진다.

$$D(m) = \Phi(S(m), D_{init}) \quad (12)$$

이때 관계식 Φ 은 버퍼의 충만도(fullness)가 50%에 가까운 값을 갖도록 실험적으로 결정하였다. 정규화 값이 급격히 변화하는 경우 왜곡차가 심하게 나타나 시각적인 화질 저하가 일어날 수 있으므로 정규화 값에 대한 필터링 과정이 필요하다. ^[8]

$$D_r(m) = cD(m-1) + (1-c)D(m) \quad (13)$$

$D_r(m)$: 실제 이용되는 정규화 계수

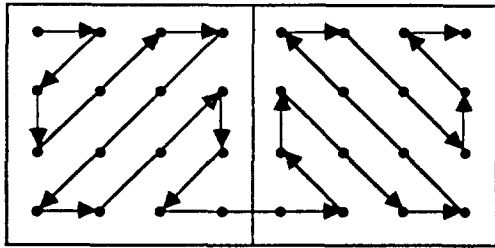
$$0 \leq c \leq 1$$

버퍼의 상태를 나타내는 식 (11)에서 목표로 하는 비트율값 R을 대역마다 동일하게 할 경우 다음과 같은 문제점이 발생한다. 상대적으로 높은 에너지를 가지고 있는 저주파 대역의 신호는 양자화 과정에서 생성되는 비트수가 고주파 대역의 경우보다 증가된다. 반대로 고주파 대역에서는 생성 비트수가 목표 비트수보다 적게 발생하는 경우가 자주 일어나게 된다. 이에따라 좀더 세밀한 양자화가 필요한 저주파 대역에서는 정규화 계수값이 계속적으로 증가하여 거친 양자화가 이루어지며 고주파 대역에서는 이와 반대 현상이 일어나게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 버퍼 상태에 따른 정규화 계수값을 나타내는 함수인 Φ 를 각 대역마다 다르게 하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 저주파 대역에서는 버퍼의 상태에 따른 정규화 값의 변동폭을 억제하고 고주파 대역에서는 반대로 민감하게 변동시킨다. 이 경우 부호화는 저주파 대역에서 고주파 대역의 순서로 이루어지므로 초기에 버퍼의 상태가 충만(full)에 가까워지더라도 고주파 대역의 부호화과정에서 버퍼의 상태를 안정되게 할 수 있다.

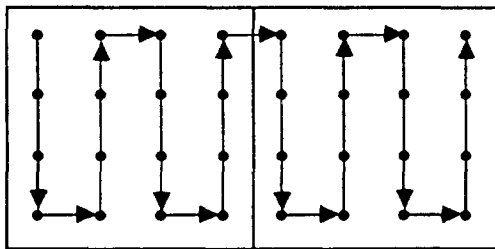
IV. 모의 실험 및 결과 고찰

모의 실험은 크게 두가지로 나누어 수행을 하였다. 첫번째는 제안된 방법의 이동벡터 추정시의 정밀도를 기존의 방법과 비교하는 것이며 두번째는 제안된 이동 벡터의 추정방법을 이용해 부호화기를 구성하여 복원된 영상을 살펴보는 것이다.

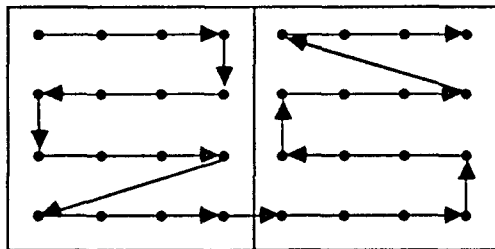
실험에 사용된 영상은 704x480의 크기를 갖는



(a) Diagonal Band에 대한 스캔과정



(b) horizontal Band에 대한 스캔과정



(c) Vertical Band에 대한 스캔과정

그림 5. 대역별 스캐닝 패턴

Fig. 5. Scanning patterns for each subband.

$$S(m) = S(m-1) + \frac{B(m) - R * N}{N} \quad (11)$$

S(m) : 현재의 버퍼 상태

S(m-1) : 과거의 버퍼 상태

B(m) : 현재 발생된 비트수

R : 목표로 하는 비트율 (bit rate)

Table tennis" 영상과 352x288의 크기를 갖는 "Trevor" 영상으로 8비트의 계조(gray level)를 갖는 흑백 영상이다. "Table tennis" 영상은 비월주사(interlaced scan)로 이루어진 영상이므로 짝수필드와 홀수필드 영상을 조합하여 순차주사(progressive) 영상으로 바꾸어 실험하였다. 원 영상을 그림 6에 나타내었다.

1. 모의 실험 과정

모의실험 과정의 첫번째 과정으로 입력 영상 신호를 트리 구조의 QMF 필터 बैं크를 이용하여 그림 2와 같이 10개의 대역으로 분할하였다. 이때 사용된 필터는 Johnston의 16밴드(a) QMF 필터^[7]이다. 분할된 영상 신호에 대해 기존의 이동 보상 방법과 제안된 방법을 적용하여 예측 오차의 에너지, 이동 벡터의 전체 정보량을 살펴보고 제안된 이동 보상 방법과 III장에서 제시한 부호화 방법을 통해 각 대역을 부호화하고 다시 합성하여 복원 영상을 얻는다. 합성에 사용된 필터도 분석에 사용한 필터와 동일한 특성을 갖는다. 한편 버퍼제어를 위한 버퍼의 크기는 하나의 영상이 부호화될때 발생하는 비트수로 설정하였으며 따라서 부호화로 인한 지연은 1프레임이 된다. 모의 실험에 사용된 부호화 기-복호화기 간의 채널은 에러가 없는 무손실 채널이라고 가정하였으며 따라서 채널 에러로 인한 영향은 고려하지 않았다.

2. 각 이동 보상 기법의 성능 비교

모의 실험은 첫번째로 II장에서 살펴본 4가지 이동 보상기법과 제안된 이동 보상 기법을 비교적 움직임이 많은 "Table tennis" 영상의 70번째 장면과 71번째 장면에 대해 적용시켜 보고 성능을 비교하였다. 이동 벡터 추정시 블럭의 크기는 최상위 계층에서 가로 4, 세로 2의 크기로 설정하였는데, 이는 최상위 계층의 가로, 세로 해상도가 원래 영상의 1/8이므로 원래 영상에서는 32x16 크기의 블럭에 해당된다. 추정 영역은 계층 1의 경우 가로 세로 각각 -8/4이며 계층 2에서는 가로 세로 -5/4 계층 3은 -3/2로 설정하였다. 각 방법에 대한 성능은 이동 보상후의 예측 오차에 대한 전체 에너지 값과 이동 벡터의 전송에 필요한 전체 정보량을 비교하여 평가하였다. 표 1에 각 이동 보상 방법에 따른 대역별 예측 오차와 전체 대역에 대한 평균 예측 오차값을 제시하였다. 이때 평균 예측 오차는 (14)로 주어진다.

$$E_{avg} = \sum_{i=1}^{10} S_i E_i \tag{14}$$

E_i : 대역 i 의 예측 오차 에너지

S_i : 대역 i 의 상대크기

$$\left(\frac{1}{64} \text{ for } i = 1, 2, 3, 4 \quad \frac{1}{16} \text{ for } i = 5, 6, 7 \quad \frac{1}{4} \text{ for } i = 8, 9, 10 \right)$$

저역 신호만으로 보상을 수행한 방법 1의 경우도 상당량의 예측 오차가 감소함을 알 수 있으나 추가적인 교정이 따르는 방법 2에 비해서 하위 계층의 예측 오차가 증가함을 알 수 있다. 계층 1의 고주파 대역 성분인 S_2, S_3, S_4 대역 에서 추정된 이동 벡터를 하위 계층에 전파시키는 방법 3은 2장에서 살펴본 바와 같이 아래 계층으로 내려오에 따라 예측 오차값이 다른 방법에 비해 크게 증가함을 알 수 있다. 제안된 방법은 가장 적은 예측 오차를 갖는 방법 2와 비교해 평균 예측 오차의 에너지면에서 약 0.4 정도의 차이만을 갖는 우수한 성능을 나타내었으며 방법 4에 비해서는 더욱 우수한 성능을 나타내었다. 또한 하위 계층에 포함되는 S_8, S_9, S_{10} 대역의 예측 오차의 에너지는 방법 2, 4와 비교해 비슷하거나 더욱 작게 나타난다. 이는 제안된 방법이 이동 벡터를 지속적으로 교정하므로 하위 계층에서는 매우 정확한 이동 벡터가 추정되었음을 의미 하는 것으로 볼 수 있다.

표 2에서는 블럭당 이동 벡터의 정보량을 나타내었다. 이때 이동 벡터의 전송에 필요한 전체 비트수는 최상위 계층에서 추정한 이동 벡터를 차분 허프만 부호화(difference huffman coding)를 수행하고 나머지 대역은 벡터 추정의 초기 위치에서 개선된 양만큼을 허프만 부호화 했을때 발생하는 비트수를 전 블럭에 대해 합산하여 구한 값이다. 각 방법에 대한 성능 비교는 동일한 조건을 갖도록 전체 블럭수를 하나의 대역에 대한 블럭수인 660개로 고정하고 식 (15)에 따라 블럭당 정보량을 구하여 비교하였다.

$$\text{블럭당 이동 벡터의 정보량} = \frac{\text{이동 벡터의 전체 비트수}}{600} \tag{15}$$

표 2에서 보면 최상위 계층의 이동 벡터만이 전송되는 방법 1과 제안된 방법에 비해 나머지 방법은 각 대역마다 추가적인 정보가 전송되어야 하므로 이동 벡터의 정보량이 크게 증가함을 알 수 있다. 방법 2의 경우는 초기 벡터에서 교정된 양만큼을 전송하므로 방법 3, 4에 비해서는 전체적인 정보량이 비교적 적게 나타난다. 실험적으로 구한 이동 벡터 교정분의 정보량(entropy)은 평균적으로 0.308 bit로 이것은 최상위 계층의 대역신호 S_1 에서 구한 이동 벡터가 다른 대역에서도 크게 벗어나지 않음을 알 수 있다. 그러나 계층 1에 포함되는 고주파 대역 신호 $S_2, S_3,$

S_4 에서 추정된 이동 벡터를 교정시키는 방법 4의 경우는 방법 3의 정보량에 비해 크게 증가되었음을 알 수 있다. 이는 고주파 대역에서 추정된 벡터를 다른 대역에 사용할 때 예측 오차를 줄이기 위해 많은량의 교정이 필요함을 나타내며, 결국 고주파 대역에서 추정된 이동 벡터가 실제 이동 벡터와 비교해 큰 차이가 있음을 보여준다.

제안된 이동 벡터의 추정 방법은 최상위 계층에서 추정된 이동 벡터만이 전송되므로 벡터의 전체 정보량은 방법 1과 같다. 앞서 살펴본 예측 오차면에서는 상대적으로 많은 양의 이동 벡터 정보가 필요한 방법 2와 4에 비해 근접한 성능을 나타낸다. 제안된 이동 벡터의 추정 방법은 상위 계층에서 복원된 신호를 이용하므로 이동 벡터의 정밀도가 상위 계층의 양자화 잡음등에 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 상위 계층에서 영상 신호를 합성할때 양자 화 계수와 비트율을 변화시켜 복원된 영상의 PSNR (peak signal to noise ratio) 에 따른 하위 계층의 평균 예측 오차값을 구하여 그 영향을 살펴보았다. 그 결과는 표 3에 제시하였다. 표 3에서 보면 상위 계층의 복원 영상에 대한 PSNR 이 7dB정도 감소하여도 하위 계층의 예측 오차는 거의 동일하게 유지됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 상위 계층의 양자화 잡음이 하위 계층의 이동 벡터 추정에 거의 영향을 끼치지 않음을 나타내는 것이다.

3. 제안된 부호화기의 화질면에서의 성능 평가

제안된 이동 보상 기법에 III 장 2절에서 제시한 양자화 방법과 가변 길이 부호화 및 고정 비트율 제어를 이용해 부호화한 후의 복원된 영상과 예측 오차를 DCT를 이용해 부호화한 후 복원된 영상과 비교함으로써 화질을 평가하였다.

모의 실험시 압축율은 두 방법 모두 32:1로 고정하였으며 객관적인 성능 평가를 위해 두방법에 대한 PSNR을 구하였다.

그림 8에 제안된 방법과 이동 보상후 DCT를 이용한 부호화 방법의 복원 영상에 대한 PSNR을 나타내었다. 여기에 나타난 PSNR값은 두가지 방법이 대체로 비슷한 값을 갖는다. 그러나 동일한 왜곡이 발생하였을때 DCT를 이용한 방법은 블럭 단위로 잡음이 존재하는 반면 제안된 방법은 서브밴드단위로 왜곡이 분포하므로 시각적인 면에서 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있다. 제안된 방법의 영상에 따른 PSNR의 변화는 상당히 원만하게 나타나는데 이것은 고정 비트율 제어시의 상대적으로 중요한 신호인 저주파 대역의 부호화 과정에서 정규화 값의 변동을 충

분히 억제하였기 때문인듯 하다. 복원 영상은 그림 7에 제시하였다.

표 1. 각 방법에 따른 대역별 예측 오차 에너지
Table 1. Prediction error energy for each method corresponding to each subband.

	original	방법 1	방법 2	방법 3	방법 4	제안된방법
대역 S_1	951.7	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
대역 S_2	73.6	7.5	2.8	1.9	1.9	7.5
대역 S_3	108.3	6.0	2.9	1.0	1.0	6.0
대역 S_4	37.2	3.3	1.1	1.0	1.0	3.3
대역 S_5	99.8	6.8	3.2	15.5	3.5	5.2
대역 S_6	173.5	8.5	8.2	10.9	4.1	7.3
대역 S_7	35.9	2.8	1.6	4.5	2.3	2.9
대역 S_8	84.1	9.5	8.6	16.4	8.2	8.6
대역 S_9	82.0	27.6	20.1	48.2	35.9	19.6
대역 S_{10}	14.7	7.7	6.8	8.3	7.0	7.5
평균값	100.8	12.8	10.0	20.4	13.7	10.4

방법1 : S_1 대역의 이동 벡터만 이용

방법2 : S_1 대역의 이동 벡터를 각 대역에서 교정하여 이용

방법3 : S_1, S_2, S_3, S_4 대역의 이동 벡터를 이용

방법4 : S_1, S_2, S_3, S_4 대역의 이동 벡터를 각 대역에서 교정하여 이용

표 2. 이동 벡터의 정보량.

Table 2. Motion vector information.

	블럭당 이동벡터의 정보량
방법 1	2.236 bits/block
방법 2	8.077 bits/block
방법 3	9.811 bits/block
방법 4	18.919 bits/block
제안된방법	2.236 bits/block

표 3. 상위 계층의 PSNR과 예측 오차 에너지의 비교

Table 3. Prediction error energy comparison of higher layer image PSNR.

계층 1의 복원영상 PSNR	41.525	39.455	37.521	36.240	34.983
계층 2의 평균 예측 오차 에너지	5.003	5.023	5.032	5.092	5.052
계층 2의 복원영상 PSNR	37.124	35.825	34.593	33.87	33.107
계층 3의 평균 예측 오차 에너지	15.477	15.57	15.70	15.43	15.63

마지막으로 IV-2절에서 이동 벡터의 정보량과 예측 오차면에서 제안된 방법 과 가장 근접한 성능을 나타내

는 방법 1(최상위 계층의 이동 벡터만을 이용하는 방법)을 이용하여 복원된 영상과 제안된 방법을 이용해 복원된 영상의 PSNR을 그림 9에 제시하였다. 제안된 방법은 움직임이 적은 "Trevor"영상의 경우 방법 1에 비해 0.3~0.4 dB 높은 PSNR을 얻었으나 움직임이 비교적 큰 "Table tennis"영상의 경우는 방법1에 비해 약 1 dB 높은 PSNR을 얻을 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 이동 보상을 이용한 대역 분할 부호화를 제안하였으며 이동 벡터의 정보량을 증가시키지 않는 이동 벡터의 추정과 보상에 대해 연구하였다. 컴퓨터를 이용한 모의 실험 결과, 제안된 이동 벡터의 추정 방법은 기존의 방법에 비해 정보량을 늘리지 않으면서 우수한 예측 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 양자화 과정과 가변 길이 부호화를 통해 전체 부호화 시스템을 구성하여 복원된 영상을 살펴본 결과 32:1의 압축율에서 블럭 현상이 생기지 않는 양질의 화질을 얻을 수 있었다.

예측 오차 영상에 대한 부호화는 직교 변환 과정을 거치지 않고 직접 양자화 하였다. 양자화시의 임계치나 정규화값도 대역마다 실험적으로 구한 값으로 고정하였다. 이것은 부호화기의 구조상 DPCM 루프가 많이 존재하므로 계산량 등을 줄이고 전체적으로 시스템을 간단하게 구성하기 위해서이다. 그러나 각 대역의 임계치나 정규화 값을 대역의 통계적 특성에 따라 적응적으로 변화시키거나 인간의 시각 특성을 고려한 양자화 과정이 포함된다면 더욱 좋은 성능을 나타낼 것이다.

제안된 부호화기의 응용 분야로는 멀티 미디어 시스템이나 고품위 TV(High Definition TV; HDTV)의 영상 신호 압축등 일반적인 용도외에 트리구조의 대역 분할에 따라 각 단계마다 해상도가 다른 영상이 얻어지게 되므로 이러한 특성에 따라 다해상도의 영상이 요구되는 응용에 이용될 수 있다. 또한 낮은 주파수의 신호로부터 고주파 신호에 까지 순차적인 전송(progressive transmission)으로 영상을 복원하는 방법등에 응용될 수 있다.

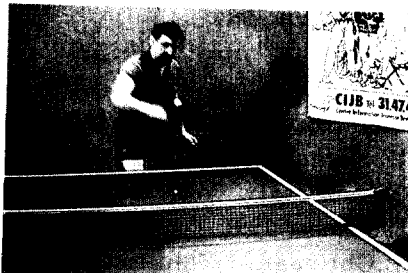


그림 6. (a) "Table tennis" 원 영상
Fig. 6. (a) Original "Table tennis" image.



그림 7. (a) "Table tennis" 복원 영상
Fig. 7. (a) Reconstructed "Table tennis" image.

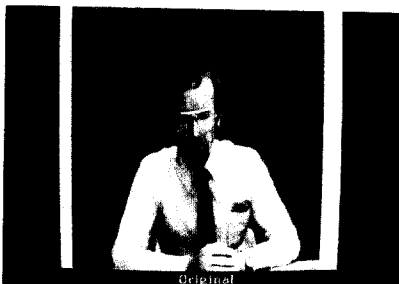


그림 6. (b) "Trevor" 원 영상
Fig. 6. (b) Original "Trevor" image,



그림 7. (b) "Trevor" 복원 영상
Fig. 7. (b) Reconstructed "Trevor" image.

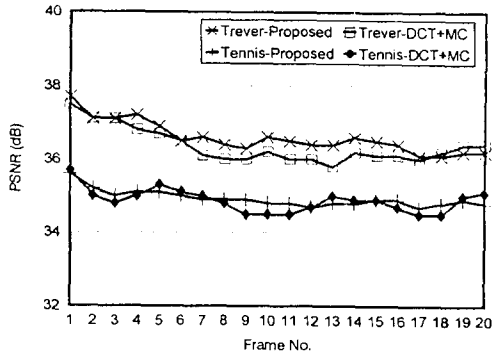


그림 8. DCT방법과의 PSNR 비교

Fig. 8. PSNR comparison of DCT based method.

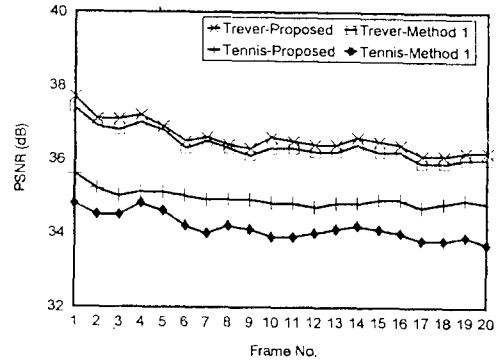


그림 9. 방법 1과의 PSNR 비교

Fig. 9. PSNR comparison of method-1.

参 考 文 献

- [1] "MPEG Video Simulation Model Three (SM3)", ISO/IEC JTC1/SC2/ WG11 N0010 MPEG90/041., July 1990.
- [2] INMOS Ltd. "Introduction To Motion Picture Coding and the CCITT Algorithm", Feb. 1990.
- [3] Ya-Qin Zhang and Sohail Zafar, "Motion-Compensated Wavelet Transform Coding for Color Video Compression", *SPIE Visual Communications and Image Processing.*, vol. 1605. pp. 301-316. 1991.
- [4] M.H. Ahmad and T.J. Dennis, "Video Subband VQ Coding at 64 Kbits/s Using short-kernel filter banks with an Improved Motion Estimation Technique", *Signal Processing: Image Communication.*, vol 3. pp. 3-21. 1991.
- [5] Ryozo Kishimoto and Kazunari Irie, "HDTV transmission system in an ATM-based network", *Signal Processing: Image Communication.*, vol 3. pp. 111-122. 1991.
- [6] C.Raimondo, C.Galand, E.Goubault and E.Lancon, "Low Bit-rate Hybrid Coder Using Hierarchical Motion Compensation and Low Complexity VQ", *International Conference of Acoust., Speech, Signal, Processing.*, pp. 2717-2720. 1991.
- [7] J.D.Johnston, "A Filter Family Designed for Use in Quadrature Mirror Filter Banks", *International Conference of Acoust., Speech, Signal, Processing.*, pp. 291-294. 1980.
- [8] W.H.Chen and W.K.Pratt, "Scene Adaptive Coder", *IEEE Trans on Communication*, Vol. com-32 pp. 225-232. March 1984.
- [9] B.Schmale and U.Pestel, "HDTV Subband Coding with Adaptive Block Quantization", *Fourth International Workshop on HDTV and beyond, Torino, Italy.* Vol. 1.11. pp. 77-84. September 1991.
- [10] B.Chupeau, "Multiscale Motion Estimation", *Fourth International Workshop on HDTV and beyond, Torino, Italy.* pp. 231-238. September 1991.
- [11] John W. Woods and Sean D.O'Neil, "Subband Coding of Images", *IEEE Trans on Acoust., Speech, Signal, Processing.*, Vol. ASSP-34, No.5, pp 1278-1288. October. 1986.
- [12] Isao Furukawa, Mitsuru Nomura and Sadayasu ONO, "Hierarchical Coding of Super High Definition Images with Subband + Multistage VQ", *International Conference of Acoust., Speech, Signal Processing.*, pp 2637-2640. 1991.
- [13] Q.Wang and R.J.Clarke, "Motion

- Estimation and Compensation for Image Sequence Coding" *Signal Processing: Image Communication*,. vol. 4. pp. 161-174. 1992.
- [14] Thomas J. Lynch, *Data Compression techniques and applications*, Lifetime learning publications, 1985.
- [15] John W. Woods, *Subband Image Coding*, Kluwer academic publishers, 1991.
- [16] Eric R. Hamilton, "The Standardization of Still Picture Coding: The JPEG Image Compression Algorithm" C-Cube Microsystems, Inc. pp 1-5.
- [17] N.S. Jayant and Peter Noll, *Digital Coding of Waveforms : Principles and Applications to Speech and Video*, Prentice-Hall INC. Englewood Cliffs, New Jersey .
- [18] W.H. Chen and C.H. Smith, "Adaptive coding of monochrome and color images", *IEEE Trans on Communications* Vol. COM-25, pp. 1285-1292. 1977.

 著者紹介



李起承(正會員)

1968年 1月 25일생. 1991年 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993年 연세 대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993年 ~ 연세 대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야

는 음성 신호 처리, 영상 신호처리, 실시간 신호 처리 구현 등임.

朴容徹(正會員) 第 31卷 B編 第 9號 參照

현재 한국전자통신 연구소 선임연구원

尹大熙(正會員) 第 31卷 B編 第 9號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수

徐廷泰(正會員) 第 31卷 B編 第 9號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 박사과정