

## 부호화율과 일그러짐의 관계를 이용하는 움직임 추정

## (Motion Estimation Using the Relation Between Rate and Distortion)

梁 景 好\*, 金 泰 正\*, 李 忠 雄\*

(Kyeong Ho Yang, Taejeong Kim, and Choong Woong Lee)

## 要 約

이 논문에서는 MCP(motion compensated prediction) 차이신호를 부호화하는 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계를 고려하는 새로운 움직임 추정 기법을 제안한다. 기존의 구획맞추기(block matching)가 구획간의 평균제곱오차를 최소화하는 움직임 벡터를 찾는데 비해, 새로운 방법은 MSE 뿐만 아니라 움직임 벡터 전송에 필요한 비트수까지 함께 고려하여 움직임 벡터를 찾게 된다. 이때 구획 맞추기 척도는 MCP 차이신호 정보의 전송을 위한 비트율과 움직임 벡터 전송에 대한 비트율간의 비트율 할당을 최적화하도록 유도되며, 이 최적화 척도는 MCP 차이신호 부호화에서의 부호화율과 일그러짐의 관계에 따라 달라진다. 부호화율과 일그러짐의 관계는 모의실험 결과로부터 근사적으로 얻어진다. 유도한 구획 맞추기 척도를 움직임 보상 부호화에 적용한 모의실험을 통하여 그 성능이 MSE 척도를 사용하는 경우에 비해 0.5 dB까지 향상된다는 것을 보임으로써, 이 논문에서 유도한 새로운 구획 맞추기 척도의 타당성을 입증하였다.

## Abstract

This paper proposes a new motion estimation algorithm which takes into account the rate-distortion relation in encoding motion compensated error images. The proposed algorithm is based on a new block-matching criterion which is the function of not only the mean squared block-matching error but also the code length for the entropy coded motion vector. The proposed algorithm optimizes the trade-off between the bit rate for motion compensated error images and the bit rate for the motion vectors. Simulation results show that in the motion compensated image coding the proposed motion estimator improves the overall performance by 0.5 dB when compared to the motion estimator which uses MSE only.

## I. 서 론

움직임 보상 부호화(motion compensated coding)는 텔레비전 신호등의 영상 신호에 존재하는 공간적, 시간적 상관성을 이용하여 신호의 중복성(redundancy)을 효율적으로 줄임으로써 신호를 전송 또는 저장하는데 필요한 비트율을 감소시키기 위한 신호처리 기법으로, 1.0 bpp 이하의 낮은 비트율에서도 좋은 성능을 나타낸다. 이

분야에 대한 연구는 1980년대부터 많이 수행되고 있으며, 최근에는 차세대 첨단 영상기기로 국내외적으로 관심이 고조되고 있는 고선명 텔레비전(HDTV, High Definition Television) 시스템에서도 응용되고 있다.<sup>[1~4]</sup> 움직임 보상 부호화에서는 그림 1의 구획도에서 보는 바와 같이, '복호화' 이전 프레임 신호와 현재 프레임 신호를 이용하여 움직임 벡터를 추정한 다음, 현재 신호와 움직임 보상을 하여 얻은 예측 신호의 차이(MCP 차이신호)를 부호화한다. 이 부호화에서는 움직임 추정과 MCP 차이신호의 부호화가 가장 중요한 부분을 차지하는데, 지금까지의 연구에서는 대부분 이들 두가지 신호처리 기법이 각각 독립적으로 개발되고 제안되어왔다. 즉, 움직임 추정

\*正會員, 서울대학교 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Univ.)

接受日字: 1992年 3月 31日

과 차이영상 부호화를 결합시키는데 있어서 두가지 기법을 동시에 최적화하는 것이 아니라 한가지 기법을 고정시켜놓고 그 기법의 성질을 고려하지 않은 채 다른 기법을 독립적으로 최적화하는 방향으로 연구가 진행되어온 것이다. 예를 들어, 움직임 추정 기법을 고정시킨 상태에서 MCP 차이신호의 성질에 적합한 부호화 기법을 제안한다든지 또는 단순히 움직임 보상 예측 이득이 높은 움직임 추정 기법을 제안한다든지 하는 것이 그것이다.

그러나 움직임 보상 부호화에서 사용하는 움직임 추정과 MCP 차이신호의 부호화 사이에는 중요한 연결고리가 존재한다. 그것은 부호화된 신호를 원래의 신호로 복호하는데 필요한 주요 정보가 MCP 차이신호 정보와 움직임 벡터 정보이며, 움직임 보상 부호화에서는 일정 수준 이상의 화질을 유지하면서 이들 두가지 정보를 전송하는데 필요한 비트수를 줄이는 것이 중요하다는 사실을 이용하여 설명할 수 있다. 즉, 전송가능한 비트수가 고정되어 있다고 가정할 때, 움직임 벡터를 전송하는 데 더 많은 비트를 할당한다면 MCP 차이신호의 부호화에는 그만큼 적은 양의 비트만이 할당될 수 있고, 반대로 차이신호 정보 전송에 할당하는 비트수를 늘린다면 전송가능한 움직임 벡터 정보는 그만큼 줄어들 수 밖에 없으므로, 움직임 벡터 정보와 차이영상 정보 사이의 비트 할당 문제가 중요하게 된다.

또한 움직임 추정시, 움직임벡터를 전송하는데 필요한 비트수는 추정을 위한 탐색범위의 크기에만 의존하며 그 양은 부호화에 할당되는 전체 비트수에 비해 상당히 작은 것으로 간주하고, 움직임 추정의 정확도 및 하드웨어 구현의 용이성 등만을 중요한 요소로 생각하였다. 그러나 움직임 추정시 사용하는 구획 크기가 작아지고 탐색범위가 커질수록 움직임벡터 정보의 전송에 필요한 비트수가 많아지게 되므로, 이러한 경우에는 움직임벡터의 부호화를 통한 비트율 감축이 필요하게 된다. 그리고 매우 낮은 비트율(0.3 bpp)에서 부호화하는 경우에는 움직임 정보를 위한 비트수 감축이 더욱 중요하게 된다. 최근들어 움직임벡터의 중복성을 고려하여 현재 구획의 움직임벡터에서 예측 벡터를 뺀 차분 벡터 신호를 엔트로피 부호화함으로써 움직임벡터의 전송을 위한 비트수를 감축하는 기법이 제안된 바 있다.<sup>[5]</sup>

이처럼 움직임벡터를 가변길이 부호화하여 전송하는 경우 각 벡터에 할당되는 비트수가 다르게 되어, 결국 각 벡터는 그 벡터에 대응되는 움직임 보상 예측 이득과 비트수를 가지게 된다. 따라서 움직임 추정시 척도로 움직임 보상 예측 이득뿐만 아니라 전송에 필요한 비트수도 같이 사용하면 효율적인 것이다. 이것은 움직임 벡터의 전송에 필요한 비트수가 상대적으로 적은 경우 여분의 비트를 MCP 차이신호의 부호화에 사용함으로써 예측

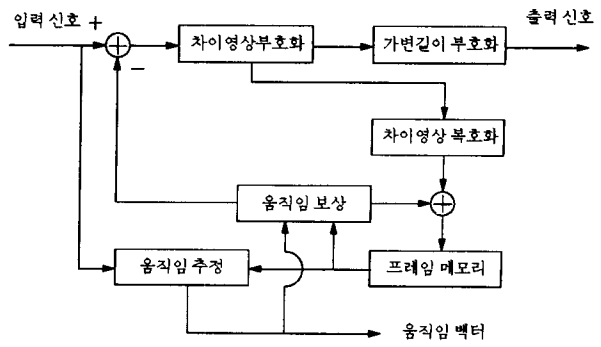


그림 1. 움직임 보상 부호기의 구획도  
Fig. 1. Block diagram of the motion compensated coder.

이득의 증가와 등가적인 효과를 얻을 수 있다는 사실을 고려할 때 타당하다. 이와 같은 개념에 기초를 둔 알고리즘으로, 식 (1)과 같이 평균제곱오차 MSE와 벡터의 전송에 필요한 비트수  $c\_leng$ 의 선형결합을 구획 맞추기 척도로 사용하는 방법이 제안된 바 있다.<sup>[6-7]</sup>

$$C = MSE + \lambda \cdot c\_leng \quad (1)$$

이 척도는 구획 맞추기 척도에 움직임벡터 부호길이의 도입 가능성을 제시하고, 모의실험을 통하여 그 타당성을 확인하였으나, 이러한 구획 맞추기 척도를 제안함에 있어서 MCP 차이 영상의 부호화 기법은 고려하지 않았다.

이 논문에서는, 움직임 추정 및 보상에서는 움직임 추정의 정확도뿐만 아니라 움직임 벡터의 전송에 필요한 비트수도 중요하다는 점에 착안하여, 움직임 벡터를 가변길이 부호화 할 때의 부호 길이를 구획 맞추기 척도에 포함시켜 사용하는 방법을 제안한다. 이를 위해, 먼저 II장에서 움직임 벡터의 가변길이 부호화에 대해 살펴보고, III장에서는 움직임 벡터 전송시 절약되는 비트수가 등가적으로 어느 정도의 예측 이득을 갖는지를 알아보기 위해 MCP 차이영상 부호화에서의 부호화율과 일그러짐의 관계를 살펴본다. 그리고 IV장에서는 부호화율과 일그러짐의 관계를 이용하여 움직임 벡터를 엔트로피 부호화하였을 경우의 부호길이와 제곱평균오차를 매개변수로 갖는 구획 맞추기 척도를 유도하며, 이 유도한 구획 맞추기 척도를 사용할 때 움직임 벡터 전송에서 절약되는 비트율이 등가적으로 어느 정도의 PSNR 측면에서의 향상을 가져오는지를 나타내는 식을 유도한다. V장에서는 모의실험을 통하여 제안하는 기법의 성능을 평가하며, VI장에서는 제안한 척도의 내용을 요약하고 실험결과를 정리함으로써 이 논문의 결론을 맺는다.

II. 움직임 벡터의 가변길이 부호화

움직임벡터의 통계적 성질의 분석 및 모델링에 대해서는 많은 연구가 수행되지 않은 상태이며, 영상에 따라 움직임 벡터의 성질이 변하므로 그 성질을 분석하는 것은 쉽지 않다. 그러나, 여러가지 영상들의 모의실험을 통하여 볼 때, 움직임벡터는 인접 화소 또는 인접 구획간의 상관성이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 현재 구획의 움직임벡터( $V_{x1}, V_{y1}$ )에서 바로 이전 구획의 움직임벡터( $V_{x2}, V_{y2}$ )를 뺀 차분 벡터신호( $d_{vx}, d_{vy}$ )의 분포는 구획의 크기와 영상의 성질에 따라 약간의 차이는 있으나, 벡터(0, 0)이 발생하는 확률이 매우 크고, (0, 0)에서 멀어질수록 발생 확률이 급격하게 작아지는 특성을 가진다.

$$(d_{vx}, d_{vy}) = (V_{x1}, V_{y1}) - (V_{x2}, V_{y2}) \quad (2)$$

이와 같은 특성으로 볼 때, 움직임벡터를 식 (2)와 같은 연산을 통하여 얻은 차분 신호를 가변길이 부호화하면 전송시 필요한 비트의 수를 많이 줄일 수 있을 것이라는 예상을 할 수 있으며, 이러한 부호화 기법이 움직임 벡터의 부호화를 위해 사용되고 있다.<sup>[5]</sup>

III. MCP 차이영상 부호화에서의 부호화율과 일그러짐의 관계

이 장에서는 움직임 보상 예측 차이신호를 부호화할 때 부호화율과 복원 영상의 일그러짐의 관계를 모의실험을 통하여 근사시킨다. 실험에서 사용한 부호화 방법은 최근 움직임 보상 부호화를 이용한 영상압축 분야에서 널리 사용되고 있는 이산 코사인 변환과 공백 영역(dead zone)이 있는 균일 양자화, 그리고 양자화한 계수의 2차원(0의 줄길이나 0이 아닌 계수의 크기) 허프만 부호화로 구성된다. 균일 양자화는 미국 General Instrument사에서 제안한 완전 디지털 HDTV 시스템인 DigiCipher 시스템<sup>[4]</sup>에서 사용하는 양자화기와 같은 것으로, 양자화하기 이전에 각 DCT 계수들에 가중치를 곱해주며, 각 양자화 값의 양자화 구간은 일정한 간격을 갖는다.

MCP 차이영상에 이러한 부호화 기법을 적용하였을 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계를 살펴보기 위해, Cheer 영상과 Susie 영상, Garden 영상 등을 움직임 보상 예측하여 얻은 차이신호를 시험 신호로 사용하였다. 그 방법은 다음과 같다.

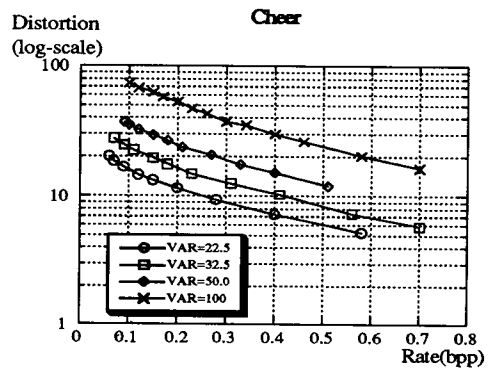
(1) 차이신호를 8×8 구획 단위로 나눈 다음, 각 구획을 신호의 분산을 기준으로 구간의 크기를 10으로 하여 분류한다.

(2) 비슷한 분산을 가지는 구획 신호들의 집합에 대해 위에서 언급한 MCP 차이신호 부호화 기법을 양자화 간격을 변화시켜가면서 적용한다.

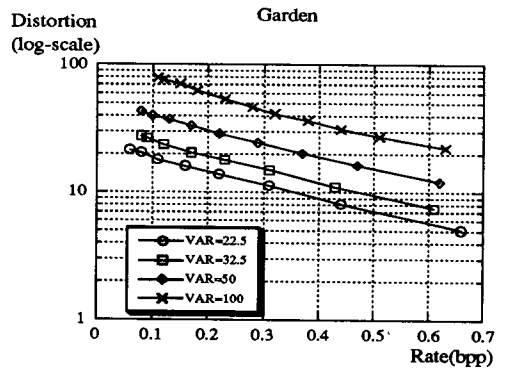
(3) (2)의 과정을 통하여 일정한 분산을 가지는 신호들을 부호화할 때의 부호화율과 일그러짐을 구하여, 도식한다.

(4) 위의 과정을 통하여 얻은 부호화율과 일그러짐의 관계를 일정한 함수로 근사시킨다.

위의 방법을 Cheer 영상과 Garden 영상에 적용하여 MCP 차이신호를 부호화하였을 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계를 도식하면 그림 2 (a), (b)와 같다. 그림에서 부호화율 R과 일그러짐을 로그 취한 값(log D)의



(a)



(b)

그림 2. MCP 차이신호를(DCT+균일 양자화+2차원 허프만 부호화)를 행하였을 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계, (a) Cheer 영상 사용, (b) Garden 영상 사용

Fig. 2. Relation between the rate and distortion of a motion compensated coder(DCT+Uniform Quantizer+2-D Huffman coder).

(a) on the Cheer image,  
(b) on the Garden image.

관계는 거의 선형적이라는 것을 볼 수 있으며, 따라서 부호화율 R과 일그러짐 D는 대수함수적인 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 각 곡선간의 간격은 실험에 사용하는 차이신호의 분산을 로그 취한 값(log σ²)과 밀접한 관계를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 또한 각 그래프의 기울기는 영상에 따라서 일정하였으며, 그값은 Cheer 영상에서는 약 5, Garden 영상에서는 4 정도가 되었다.

이러한 결과를 볼 때, MCP 차이신호를 위에서 언급한 부호기로 부호화하였을 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계는 i.i.d. 가우시안 신호에서의 rate-distortion 함수와 비슷한 형태로 식 (3)과 같이 근사시킬 수 있다.

$$R = \frac{1}{k} \cdot \log_2 \frac{\sigma^2}{D} \tag{3}$$

식 (3)에서 신호가 i.i.d. 가우시안인 경우 k는 2이다. 상수 k는 사용하는 시험 영상에 따라 약간씩 다르며, Cheer, Garden 연속영상을 사용한 경우에 각각 5, 4 정도였다. 이처럼 영상에 따라 k 값이 변하는 것은 차이영상의 상관성이 약간씩 다르기 때문이다.

MCP 차이영상을 부호화하는 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계를 영상 부호화에 도입한 예로는 Hang 등이 제안한 한 프레임을 여러개의 구획으로 나눈 다음, 구획의 특성에 따라 비트수를 할당하는 알고리즘이 있다.<sup>[8]</sup> 이 알고리즘에서는 DCT 계수들이 i.i.d. 가우시안 신호라고 가정하여 식 (3)에서 k를 2로 사용하였다.

#### IV. 부호화율과 일그러짐 관계의 움직임 추정에서의 적용

움직임 보상 부호화에 적용하기 위해 움직임 추정을 하는 경우에는 움직임 추정의 정확도뿐만 아니라 움직임 벡터 전송에 필요한 비트수도 매우 중요하다. 그리고 움직임 벡터를 허프만 부호화하는 경우에는 각 벡터에 할당되는 비트수가 다르게 되므로, 각 벡터를 전송할 때 차이영상부호화에 할당할 수 있는 비트수도 달라지게 된다. 이러한 점을 고려할 때 벡터를 허프만 부호화하는 경우의 부호 길이를 움직임 추정시 사용하는 척도의 변수로 사용하고, MCP 차이신호 부호화에서의 부호화율과 일그러짐의 관계를 구획 맞추기 척도에 적용하면 전체적인 부호화 효율을 향상시킬 수 있을 것이다. 즉, 움직임 추정시 사용하는 척도 C를 식 (4)와 같이 평균제곱오차(MSE)와 엔트로피 부호화하는 경우 각 벡터에 할당되는 부호의 길이(c\_leng)의 식으로 나타낼 수 있다.

$$C = f(MSE, c\_leng) \tag{4}$$

식 (4)에 III장에서 근사시킨 식 (3)의 MCP 차이신호를 부호화할 때의 부호화율과 일그러짐의 관계를 적용시켜서 구획 맞추기 척도 C의 형태를 구할 수 있다. 먼저, 벡터 V<sub>1</sub>, V<sub>j</sub>에 대응하는 평균제곱오차를 각각 σ<sub>1</sub><sup>2</sup>, σ<sub>j</sub><sup>2</sup>, 벡터 전송율을 각각 R<sub>1</sub>, R<sub>j</sub>라고 하고, 움직임 보상 부호화에 할당되는 비트율이 고정되었다고 가정하면, 식 (5)가 성립한다.

$$R_1 + \frac{1}{k} \cdot \log_2 \frac{\sigma_1^2}{D_1} = R_j + \frac{1}{k} \cdot \log_2 \frac{\sigma_j^2}{D_j} \tag{5}$$

이때, 탐색영역 안의 벡터들 중에서 MCP 차이신호 부호화까지 거친 후 같은 부호화율에서 최종적으로 가장 작은 일그러짐을 가지는 벡터를 움직임벡터로 하는 것이 타당하다. 따라서 식 (5)에서 벡터 V<sub>1</sub>가 움직임벡터로 선택되기 위해서는 식 (6)의 조건을 만족해야 한다.

$$D_1 \leq D_j, \text{ 모든 } j \text{에 대하여} \tag{6}$$

식 (5)를 이용하면 식 (7)과 같이 D<sub>1</sub>/D<sub>j</sub>를 구할 수 있으며, 식 (6)의 조건으로부터 V<sub>1</sub>가 움직임 벡터로 선택되기 위해서는 식 (8)의 조건을 만족해야 한다는 것을 알 수 있다.

$$\frac{D_1}{D_j} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_j^2} \cdot 2^{k(R_1 - R_j)} \tag{7}$$

$$(2^k)^{R_1} \cdot \sigma_1^2 \leq (2^k)^{R_j} \cdot \sigma_j^2, \text{ 모든 } j \text{에 대하여} \tag{8}$$

따라서, 식 (8)로부터 식 (9)와 같이 구획 맞추기 척도를 유도할 수 있다.

$$C = (2^k)^{R_1} \cdot \sigma_1^2 \tag{9}$$

식 (9)의 양변에 밑이 2인 로그를 취하면, 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$\log_2 C = k \cdot R_1 + \log_2 \sigma_1^2 \tag{10}$$

식 (9), (10)에서 σ<sub>1</sub><sup>2</sup>는 구획내 MCP 차이신호의 제곱평균으로 근사되며, R<sub>1</sub>는 현재 구획의 움직임벡터에서 예측 벡터를 빼 차분 벡터신호를 엔트로피 부호화할 때의 비트율이다. 그리고 k는 영상에 따라 약간의 변화는 있으나 대부분의 영상에서는 4~5 정도의 값을 가진다.

이 논문에서 제안하는 새로운 구획 맞추기 척도와 식 (1)의 척도는 비슷한 형태를 갖지만, 식 (1)의 척도가

평균제곱오차와 움직임벡터를 전송하는 데 필요한 비트율의 선형결합으로 이루어지는 데 반하여, 이 논문에서 유도한 척도에서는 평균제곱오차에 로그(log)를 취한 값이 움직임벡터 전송 비트율과 선형결합을 이룬다는 차이점이 있다.

식 (10)의 척도를 사용하여 움직임 추정을 하는 경우, MSE 척도를 사용하는 경우에 대한 움직임보상 예측영상의 SNR 측면에서의 손실을  $D_m$ , 움직임 벡터를 전송하는 데 절약되는 비트율을  $R_s$ 라고 하고,  $R_s$ 에 대응되는 비트수를 MCP 차이영상의 부호화에 추가 할당할 때 얻는 SNR 측면에서의 이득을  $G_c$ 라고 하면, 식 (10)의 척도를 도입함으로써 예상되는 전체적인 이득  $G_t$ 를 유도할 수 있다.

$$G_t = G_c - D_m \tag{11}$$

식 (11)에서,  $G_c$ 는 식 (3)을 이용하여  $R_s$ 의 식으로 나타낼 수 있다. MSE 척도를 사용하는 경우와 식 (10)의 척도를 사용하는 경우의 움직임벡터 전송에 필요한 비트율을 각각  $R_1, R_2$ , 움직임 보상 예측 영상의 평균제곱오차를 각각  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$ 이라 하고, 전체 부호화 과정을 거친 후의 평균제곱오차를 각각  $D_1, D_2$ 라고 하면, 식 (12)를 유도할 수 있다.

$$R_1 + \frac{1}{k} \cdot \log_2 \frac{\sigma_1^2}{D_1} = R_2 + \frac{1}{k} \cdot \log_2 \frac{\sigma_2^2}{D_2} \tag{12}$$

식 (12)에서  $R_1 - R_2$ 를  $R_s$ 로 표기하여 정리하면 식(13)을 얻을 수 있다.

$$k \cdot R_s = \log_2 \frac{D_1}{D_2} + \log_2 \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \tag{13}$$

식 (13)에서 로그의 밑을 10으로 변환한 다음 양변에 10을 곱하고  $\log_{10} 2$ 를 0.3010으로 근사하면 식 (14)를 얻을 수 있다.

$$3.01 \cdot k \cdot R_s = 10 \cdot \log_{10} \frac{D_1}{D_2} + 10 \cdot \log_{10} \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \tag{14}$$

식 (14)의 우변에서 앞의 항은 전체 부호화 이득  $G_t$ 를, 뒤의 항은 움직임 보상에서의 SNR 측면에서의 손실  $D_m$ 을, 그리고 좌변은 움직임벡터 전송에서 절약되는 비트율  $R_s$ 를 MCP 차이영상부호화에 추가 할당함으로써 얻는 이득  $G_c$ 를 나타낸다. 따라서, 식 (10)의 척도를 도입함으로써 전체 부호화 과정에서 얻는 SNR 측면에서의 이득  $G_t$ 는 식 (15)로 나타내어진다.

$$G_t = 3.01 \cdot k \cdot R_s - D_m \tag{15}$$

이 식은 V장에서 새로운 구획 맞추기 척도를 도입한 영상 부호화의 성능을 예측하는 데 사용한다.

### V. 모의실험 결과 및 검토

이 장에서는 II장에서 설명한 움직임벡터의 허프만 부호화와 IV장에서 유도한 새로운 구획 맞추기 척도를 사용하는 움직임 추정에 대한 전산 모의실험을 하고, 그 결과들을 검토하여 각 기법들의 성능을 평가한다.

#### 1. 움직임 벡터의 허프만 부호화

움직임벡터의 허프만 부호화에 사용하는 부호책을 구성하기 위해서, Cheer 연속 영상, Garden 연속 영상, Susie 연속 영상 각각 15 프레임씩 전체 45 프레임을 이용하여 구한 움직임벡터를 사용하였다. 움직임 추정에 사용한 구획의 크기는  $8 \times 8, 16 \times 16$  두 종류이며, 탐색 영역은 수평, 수직 각 방향  $-16 \sim +16$ 이다. 표1은  $16 \times 16$  구획을 사용하여 구한 차분 벡터들의 허프만 부호책의 일부분을 나타낸 것이다. 표 1을 보면, 차분벡터 (0, 0)의 전송을 위해서는 1 비트만이 할당되며, 이로부터 움직임벡터는 공간 상관성이 매우 크다는 것을 알 수 있다.  $8 \times 8$  구획의 경우에도 이와 비슷한 부호책을 구성함을

표 1. 움직임 벡터의 차분신호를 허프만 부호화하였을 경우 각 벡터에 할당되는 비트수 ( $16 \times 16$  구획 사용, 각 방향  $-32 \sim +32$ 에서  $-5 \sim +5$  사이의 비트수만 나타냄)

Table 1. Length of the Huffman codewords for differential motion vectors. (block size :  $16 \times 16$ , vertical :  $-5 \sim +5$ , horizontal :  $-5 \sim +5$ )

수	5	14	14	12	11	11	10	11	11	12	14	14
적	4	13	13	11	11	10	9	10	11	11	13	13
방	3	13	12	11	10	9	8	9	10	11	12	13
향	2	11	10	10	9	8	7	8	9	10	10	11
	1	10	9	9	8	7	5	7	8	9	9	10
	-0	10	9	8	7	4	1	4	7	8	9	10
	-1	10	9	9	8	7	5	7	8	9	9	10
	-2	11	10	10	9	8	7	8	9	10	10	11
	-3	13	12	11	10	9	8	9	10	11	12	13
	-4	13	13	11	11	10	9	10	11	11	13	13
	-5	14	14	12	11	11	10	11	11	12	14	14
		-5	-5	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	5

표 2. 움직임 보상만을 한 경우 복원영상의 PSNR 과 움직임 벡터를 허프만 부호화하였을 경우의 평균 비트율

Table 2. RSNRs of the image reconstructed by the motion compensation only, and the rate of the entropy coded motion vectors.

프레임 번호	구획크기	PSNR (dB)	평균 비트율 (bpp)	
			VLC안한경우	VLC한경우
6	16×16	27.612	0.0391	0.0269
6	8×8	29.697	0.1563	0.1134

확인할 수 있었다.

표 1의 허프만 부호책을 이용하여 Cheer 연속영상에서 움직임벡터 전송에 필요한 평균 비트율을 구하여 표 2에 나타내었다. 표 2는 전체 탐색(full search) 방법으로 추정된 움직임벡터를 허프만 부호화한 결과로서, 이 표를 보면 허프만 부호화를 행하면 평균 비트율을 허프만 부호화를 행하지 않은 경우에 비해 16×16 구획, 8×8 구획에서 모두 30% 정도 낮출 수 있다는 것을 알 수 있다. 표 2의 결과에서 움직임벡터를 부호화하여 전송함으로써 얻을 수 있는 부호화 이득의 향상  $G_t$ 를 예측할 수 있다. 즉, 식 (15)에서 이 경우  $D_m$ 은 0이므로, III장에서 구한  $k=5$ 를 대입하면 다음과 같이 이득을 구할 수 있다.

$$16 \times 16 \text{일때 } G_t = 3.01 \cdot 5 \cdot (0.0391 - 0.0269) - 0 = 0.183(\text{dB})$$

$$8 \times 8 \text{일때 } G_t = 3.01 \cdot 5 \cdot (0.1563 - 0.1134) - 0 = 0.644(\text{dB})$$

이 예에서 보는 바와 같이 움직임벡터의 허프만 부호화는 구획의 크기가 작아질수록 상대적으로 많은 비트를 줄일 수 있게 되어 여분의 비트를 MCP 차이영상 부호화에 사용함으로써 복원 영상의 화질을 더 높일 수 있으므로, 작은 구획 단위로 움직임 추정 및 보상을 하는 경우에는 반드시 필요한 기법이다.

2. 새로운 척도를 사용하는 움직임추정기법의 모의실험 이 절에서는 IV장에서 유도한 식 (10)의 구획맞추기 척도와 이미 제안된 바 있는 식 (1)의 척도를 사용하여 움직임추정을 하는 경우의 성능을 비교분석한다. 실험에서는 Cheer 연속영상 7개 프레임(프레임 번호 3)은 같은 영상을 사용하고, 완충기의 초기상태도 일치시켰다. 이때, 6번 프레임부터 8번 프레임까지 이 두가지 척도와 MSE 척도를 사용하는 경우의 움직임보상 예측이득과 움직임벡터 전송에 필요한 비트율을 구하면 표 3과 같다. 표 3에서 식 (1)의 척도에 대한 결과는  $\lambda$ 를 3.0으로하여 얻은 것이

표 3. 움직임 보상만을 한 경우 복원영상의 PSNR 과 움직임 벡터를 허프만 부호화하였을 경우의 평균 비트율, (a) 구획의 크기 : 16×16, (b) 구획의 크기 : 8×8

Table 3. PSNRs of the image reconstructed by the motion compensation only, and the rate of the entropy coded motion vectors, (a) block size : 16×16, (b) block size : 8×8.

프레임 번호	MSE척도사용		식(1)의척도사용		식(10)의척도사용	
	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNP (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
6	27.612	0.0269	27.591	0.0179	27.577	0.0179
7	27.588	0.0261	27.550	0.0179	27.560	0.0174
8	27.596	0.0244	27.512	0.0157	27.527	0.0155

(a)

프레임 번호	MSE척도사용		식(1)의척도사용		식(10)의척도사용	
	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
6	29.697	0.1134	29.380	0.0618	29.360	0.0690
7	29.698	0.1150	29.364	0.0593	29.378	0.0656
8	29.675	0.1067	29.366	0.0543	29.410	0.0620

(b)

다. 식 (1)의 척도는  $\lambda$ 에 따라 그 성능이 달라지는데, 이 논문에 실린 실험결과는 여러가지  $\lambda$ 에 대한 실험을 통해 가장 좋은 성능을 보이는  $\lambda$ 를 사용하여 얻은 것이다.

표 3에서 보면, 식 (1), 식 (10)의척도를 사용하는 움직임 추정이 MSE 척도를 사용하는 경우에 비해 예측이득은 감소하지만, 움직임벡터 전송에 필요한 비트율에서는 이득이 있음을 알 수 있다. 식 (15)를 이용하여 전체적인 전송 비트율을 고정하고 전체 부호화 과정을 적용할 때 이들 세 척도간의 성능을 예측 비교하면 표 4와 같다.

표 4를 보면, 식 (1)의 척도와 식 (10)의 척도를 사용하는 경우, MSE 척도를 사용하는 경우에 비해 전체 부호화 과정을 거쳤을 때 이득이 있음을 예상할 수 있으며, 16×16 구획을 사용하는 경우에는 식 (1)의 척도의 성능이 더 우수하리라 예상된다. 그러나 이러한 결과는 식 (1)과 식 (10)의 척도를 이용한 움직임 추정 및 보상만을 고려하는 경우에는 타당한 예상이지만 움직임보상예측 차이신호를 부호화하는 경우까지 생각하면 식 (10)의 성능이 더 우수하리라는 것을 예상할 수 있다. 즉, 같은 비트수를 할당하여 작은 값들을 가지는 차이신호를 부호화하는 경우보다 큰 값을 가지는 차이신호를 부호화하는 경우에 MSE 측면에서 훨씬 많은 감소를 얻을 수 있으며

표 4. 새로운 구획 맞추기 척도를 이용할 때 부호화 성능의 비교(식 (15) 이용)  
(MSE 척도를 사용하는 경우를 기준으로 할 때 예상되는 개선량)

Table 4. Comparisons of the expected performance of the coders with various block matching criteria, (eq.(15))(Amount of improvement in the expected performance with respect to the MSE criterion.)

프레임 번호	식(1)의 척도사용시 PSNR 이득		식(10)의 척도사용시 PSNR 이득	
	16×16구획	8×8구획	16×16구획	8×8구획
	6	0.114dB	0.457dB	0.100dB
7	0.099dB	0.502dB	0.103dB	0.421dB
8	0.047dB	0.477dB	0.065dB	0.406dB

로, 식 (1)의 척도를 사용하여 얻은 차이 신호보다는 식 (10)의 척도를 이용하여 얻은 차이신호가 부호화 이득이 더 높을 것이라는 것이다. 이러한 예상은 식 (3)의 부호화율과 일그러짐의 관계식을 보면 쉽게 받아들일 수 있을 것이며, 실제 부호화 과정까지 거친 후의 결과를 나타낸 표 5를 보면 아예상이 타당함을 알 수 있다.

IV장에서 유도한 식 (10)의 구획 맞추기 척도를 도입하여 움직임 추정을 하고, 그 MCP 차이신호에 (DCT+균일 양자화+2차원 허프만 부호화) 기법을 적용하였을 경우의 전체 부호화율과 복호한 영상의 PSNR은 표 5와 같다. 비교를 위하여 MSE 척도와 식 (1)의 척도를 사용하는 경우의 실험결과도 같이 실었다. 표 5는 전체 평균 비트율이 0.31 bpp 정도에서 유지되도록 완충기 제어(buffer control)를 하여 얻은 결과이다. 표에서 식 (10)의 새로운 척도를 도입하는 경우 MSE 척도를 사용하는 경우에 비해 비슷한 비트율에서 16×16 구획인 경우에는 약 0.1~0.2dB 정도, 8×8 구획인 경우에는 약 0.3~0.5dB의 성능개선을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 식 (1)의 척도를 사용하는 경우에 비해서는 16×16 구획인 경우에는 약 0.1dB 정도, 8×8 구획인 경우에는 약 0.1~0.2dB 정도의 성능 개선을 얻을 수 있었다. 이 결과로 볼 때, 구획 맞추기 척도에 움직임 벡터의 전송비트율을 변수로 도입하는 것은 타당하며, 그 도입 방법으로는 평균제곱오차와의 선형결합보다는 평균제곱오차에 로그를 취한값과 선형결합하는 것이 더 적합하다는 결론을 내릴 수 있다.

I. 결 론

이 논문에서는 평균제곱오차 뿐만 아니라 탐색 영역내의 각 벡터를 엔트로피 부호화하였을 때 각 벡터에 대응

표 5. 새로운 구획 맞추기 척도를 사용하는 경우의 전체 부호화율과 복호한 영상의 PSNR(Cheer 영상 사용), (a) 구획의 크기 : 16×16, (b) 구획의 크기 : 8×8

Table 5. PSNRs of the decoded images and total bit rates when the new criterion is used for block matching. (a) block size : 16×16, (b) block size : 8×8.

프레임 번호	MSE척도사용		식(1)의 척도사용		식(10)의 척도사용	
	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
	4	33.351	0.2708	33.397	0.2710	33.436
5	33.204	0.3129	33.274	0.3129	33.338	0.3131
6	32.266	0.3169	32.362	0.3811	32.407	0.3165
7	31.883	0.3106	31.904	0.3089	32.015	0.3103
8	31.769	0.3114	31.802	0.3128	31.885	0.3119
9	31.338	0.3197	31.361	0.3159	31.457	0.3169
10	31.375	0.3179	31.410	0.3198	31.498	0.3200

(a)

프레임 번호	MSE척도사용		식(1)의 척도사용		식(10)의 척도사용	
	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
	4	33.471	0.2885	33.519	0.2720	33.627
5	33.324	0.3117	33.478	0.3121	33.576	0.3118
6	32.432	0.3222	32.571	0.3182	32.745	0.3192
7	32.046	0.3070	32.251	0.3097	32.456	0.3098
8	31.954	0.3023	32.106	0.3117	32.374	0.3098
9	31.479	0.3246	31.731	0.3186	32.007	0.3219
10	31.491	0.3109	31.775	0.3175	32.009	0.3136

(b)

되는 부호의 길이도 매개변수로 같이 사용하는 새로운 구획 맞추기 척도를 유도하였다. 양경호, Sullivan에 의해 제안된 구획 맞추기 척도가 움직임 벡터를 엔트로피 부호화할 때의 부호 길이를 도입하는 가장 단순한 척도인 반면에, 이 논문에서 제안한 척도는 모의실험을 통하여 근사시킨 MCP 차이신호 부호화에서의 부호화율과 일그러짐의 관계로부터 MCP 차이신호 정보의 전송을 위한 비트율과 움직임 벡터 전송에 대한 비트율간의 비트율 할당을 최적화하도록 유도된 것이다. 이 최적화는 MCP 차이신호를 부호화할 경우의 부호화율과 일그러짐의 관계에 좌우되므로 모의실험을 통하여 이 관계를 i.i.d. 가우시안 신호의 부호화율-일그러짐(R-D) 함수와 유사한 식으로 근사시켜 사용하였다.

그리고 부호 길이를 구획 맞추기 척도에 도입하는 경우 움직임벡터 전송에서 절약된 비트율이 PSNR 측면에서

어느정도의 향상을 가져오는지를 간단한 식으로 유도하였다. 이 식을 이용하여, 이 논문에서 제안하는 척도를 사용할 때 적약되는 움직임벡터의 비트율이 움직임 보상에 있어서의 손해를 보상하고도 0.5dB 정도의 PSNR 측면에서의 개선을 가져올 것이라는 것을 예측할 수 있었으며, 이 예측은 모의실험결과와 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 또한 유도한 구획 맞추기 척도를 움직임 보상 부호화에 적용한 모의실험을 통하여 그 성능이 MSE 척도를 사용하는 경우에 비해 0.5dB까지 향상됨을 보였으며, 1991년 양경호와 Sullivan에 의해 각각 독립적으로 발표된 척도<sup>[6~7]</sup>의 성능에 비해 다소 향상되었음을 보였다. 제안하는 척도를 사용하였을 때 얻는 0.3~0.5dB 정도의 성능 개선은 영상 부호화의 성능 평가 기준으로는 눈에 띄는 큰 개선은 아니지만, 이 개선이 MCP 차이영상의 부호화 기법은 변경하지 않고 움직임 추정에서 새로운 구획 맞추기 척도만을 도입함으로써 얻어진 것이라는 것을 고려하면, 이 논문에서 유도한 새로운 구획 맞추기 척도의 타당성을 충분히 입증한다고 판단된다.

參 考 文 獻

[1] T. Koga et al., "Motion compensated inter-frame coding for video conferencing," *Nat. Telecom. Conf.*, Nov. 29- Dec. 3, 1981, pp. G5.3.1.-5.3.5.

[2] R. Srinivasan and K.R. Rao, "Predictive coding based on efficient motion estimation,"

*IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 8, pp. 888-896, Aug. 1985.

[3] R. Srinibasan and K.R.Rao, "Motion compensated coder for videoconferencing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp. 297-304, Mar. 1987.

[4] DIGICIPHER HDTV SYSTEM DESCRIPTION Submitted by General Instrument Corporation VideoCipher Division, August, 22th, 1991.

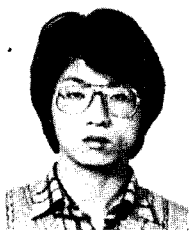
[5] "Video codec for audiovisual services at p x 64 Kbit/s," Draft Revision of Recommendation H.261, March 1990.

[6] 양경호, 김태정, 이충웅, "움직임 추정을 위한 새로운 거리함수," 제4회 신호처리합동학술발표대회 논문집 제4권 1호, pp. 67-69, 1991년 9월.

[7] G.J. Sullivan and R.L. Baker, "Rate-distortion optimized motion compensation for video compression using fixed or variable size blocks," in *Proc. IEEE GLOBECOM'91*, Phoenix, Arizona, Dec. 2-5, 1991, pp. 3.3.1-3.3.6.

[8] H.-M. Hang, et al., "Digital HDTV compression using parallel motion-compensated transform coders," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 210-221, June 1991.

著 者 紹 介



梁 景 好 (正會員)  
 1964年 10月 4日生. 1987年 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1989년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989년 3월~현재 서울대학교 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 통신방식, 영상신호처리, HDTV 신호처리 등임.



李 忠 雄 (正會員)  
 1935年 5月 3日生. 1958年 3월 서울대학교 전자공학과 졸업(학사) 1960년 9월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1972년 7월 일본 동경대학 전자공학과 공학박사 학위 취득. 1964년~현재 서울대학교 전자공학과 교수. 1985년~현재 체신부 통신진흥회 전파이용분과 위원장. 1988년 1월~ 1988년 12월 대야의용생체공학회 회장. 1988년 1월~ 1988년 12월 KBS 자문위원회 기술분과위원장. 1989년 1월~12월 대한전자공학회 회장. 1989년 1월~현재 IEEE Fellow. 1990년 11월~현재 체신부 전파진흥중장기 계획 방송분과위원장. 1991년 3월~현재 한국통신 이사, 위성통신사업단 기술자문위원장. 주관심분야는 통신방식, HDTV, 초고주파, 의용공학, 미래통신 등임.

金 泰 正 (正會員) 第29卷 B編 第1號 參照  
 현재 서울대학교 전자공학과 조교수.