

움직임 추정 정확도가 움직임 보상 부호화에 미치는 영향

(Effects of Motion Estimation Accuracy on the Motion Compensated Coding)

金 麟 澈*, 李 商 郁*, 金 在 均**

(Rin Chul Kim, Sang Uk Lee and Jae Kyoon Kim)

要 約

본 논문에서는 움직임 추정 알고리즘의 대표적인 기법인 PRA (pel recursive algorithm)와 BMA (block matching algorithm)의 성능을 비교분석하고 추정된 움직임의 정확도가 움직임 보상 부호화에 미치는 영향을 조사하였다. 실제 영상을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 BMA의 일종인 TSS (three step search)가 PRA에 비해 움직임 추정 성능은 약간 우수하나 추정변위 벡터의 전송때문에 실제 전송율은 6.6-8.2Kbps 높음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, the performance of PRA (pel recursive algorithm) and BMA (block matching algorithm), which are the most well-known motion estimation techniques, is compared and the effects of the motion estimation accuracy on the motion compensated coding are described. Results of computer simulation on the real images indicate that the TSS (three step search), which is one of the BMA, is slightly better than the PRA in terms of the accuracy however, the required bit rate is 6.6-8.2 Kbps higher than that of the PRA because the TSS requires a transmission of motion estimation vectors.

I. 서 론

영상신호는 일반적으로 시공간에서 높은 상관관계를 가지고 있기 때문에 이런 상관관계를 이용하여 영상 정보를 감축하는 방법들이 오래전부터 연구되어져 왔다. 인접한 화소사이의 상관성을 이용한 DPCM,

영상 신호가 저주파 대역에 많이 분포되어 있다는 것을 이용한 변환 부호화등이 공간상 (spatial domain)의 상관 관계를 이용한 영상부호화 방법들의 대표적인 예이다.^{1,2)} 그러나 영상 신호는 공간 뿐만 아니라 시간영역 (temporal domain)에서도 강한 상관 관계를 가지고 있다. 최근에 VLSI 기술의 발달에 의해 큰 용량을 가진 기억소자의 사용이 용이하여졌기 때문에 시간영역에서의 상관관계를 이용한 방법들이 많이 연구되고 있는데 이런 부호화를 interframe 부호화라고 한다.³⁾ 초기의 interframe 부호화는 화소의 밝기를 직전 프레임 (previous frame)에서 같은 위치에서의 화소의 밝기와 비교하여 그차를 보내어 주는 interframe DPCM, 그리고 프레임간 밝기차가 주어

*正會員, 서울대학교 制御計測工學科
(Dept. of Control and Instrumentation Eng.,
Seoul Nat'l Univ.)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Electrical Eng., KAIST)

接受日字: 1987年 11月 14日

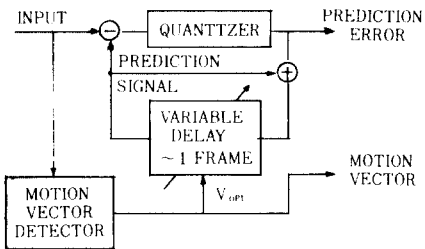
진 기준치(threshold)를 초과할 때, 즉 프레임 간에 급격한 변화가 있을 경우에만 그 밝기차를 전송하는 CRC(conditional replenishment coding)등이 있었다.¹¹⁾ 이러한 interframe DPCM과 CRC는 단순히 직전 프레임에서 같은 위치에서의 화소의 밝기를 현재 화소의 밝기에 대한 예측 신호로 이용하는 것이다. 그러나 시간영역에서 영상 신호의 변화에 따라 적응적으로 화소의 밝기를 예측할 수가 있다. 즉 프레임간의 영상의 조도 변화를 무시할 때 영상에 이동 물체가 존재한다면 이 물체의 움직임에 의해 프레임간에 같은 위치에 있는 화소의 밝기가 변한다고 볼 수 있다. 따라서 영상내의 이동 물체를 검출하여 이동 물체의 움직임을 추정하여 그 움직임을 보상해 주면 영상정보를 크게 압축시킬 수 있다. 이러한 프레임간 적응 예측 부호화 기법을 MCC(motion compensated coding)¹³⁻¹⁶⁾라 한다. MCC는 움직임 추정 방법에 따라 PRA(pel recursive algorithm)와 BMA(block matching algorithm)등 2 가지 방법으로 크게 나눌 수 있다. PRA는 화소단위로 반복적으로 움직임을 추정하여 영상 정보를 감축하는 방법으로 Netravali 등¹³⁾에 의해 그 성능이 향상되었다. PRA를 이용한 MCC의 블록선도를 그림1(b)에 보였다. 반면 BMA는 그림 1(a)의 블록 선도로 표시될 수 있는 것으로 2차원영

상을 여러개의 부영상(subblock image)으로 나누어 부영상 단위로 물체의 운동을 추정하여 영상부호화에 적용시킨 방법이다. BMA는 Jain과 Jain,¹⁷⁾ Koga 등,¹⁸⁾ Rao 등¹⁹⁾ 그리고 Ninomiya¹⁰⁾ 등에 의해 여러 방법들이 제안되었다. 이러한 프레임간 적응 예측 부호화 기법 즉 MCC는 영상 정보 감축률이 매우 높기 때문에 저 전송률을 요구하는 영상통신에 널리 사용되고 있다. 특히 video-phone이나 teleconferencing등에 응용되어 영상 신호를 1.5Mbps에서 56Kbps 까지 압축시키고 있다.^{16,11)} 영상 부호화는 영상의 질을 저하시키지 않으면서 효과적으로 영상 정보를 감축할 수 있어야 한다.

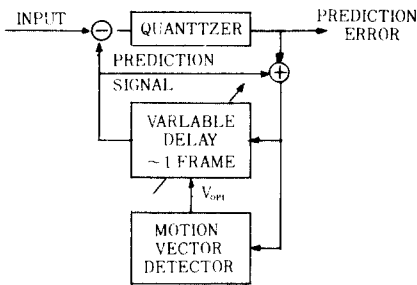
그러나 MCC에서는 움직임을 보상하여 부호화하기 때문에 움직임의 정확한 검출이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 MCC 영상 부호화에서 각 움직임 검출 알고리즘들의 정확도가 영상 정보 감축에 미치는 영향을 비교, 분석하였다. 본 논문의 제2장에서는 PRA의 각 방법에 대하여 성능을 조사하였고 제3장에서는 BMA의 각 방법에 대하여 성능을 조사하였다. 그리고 제4장에서는 예측기 선택방법을 도입하였을 때 BMA와 PRA의 성능을 비교하였고 마지막에 결론을 제시하였다. 시뮬레이션에 사용한 영상 데이터는 그림 2a에 제시한 256×256×8bits 크기의 16프레임의 Cronkite 영상과 그림 2b에 제시한 288×352×8bits 크기의 16프레임의 Miss America 영상등 2 종류이다. 본 논문에서는 MCC에서 움직임 추정 방법에 의한 영향을 정확히 분석하기 위해서 양자기(quantizer)는 511 level symmetric uniform 양자기를 사용하였다.

2. PRA의 성능분석

PRA는 화소단위로 반복적으로 변위를 추정하는 것으로 Netravali 등¹³⁾에 의해 처음으로 제안된 이래 여러가지 방법의 PRA들이 제안되었으나¹⁴⁻¹⁶⁾ Netr-



(a)



(b)

그림 1. MCC의 블록선도

(a) BMA (b) PRA

Fig. 1. Block diagram for MCC.

(a) BMA. (b) PRA.



(a)

(b)

그림 2. 시뮬레이션에 사용한 영상들

(a) Cronkite 영상 (b) Miss america 영상

Fig. 2. Images for a simulations.

(a) Cronkite. (b) Miss america.

avali 등이 제안한 PRA 가 간단한 시스템 구조로 비교적 좋은 성능을 유지하기 때문에 본 논문에서는 Netravali의 PRA 에 대해서 성능을 조사하였다. PRA 는 먼저 영상에서 이동 물체가 존재한다고 판단 되는 영역을 추출하여야 한다. 이 영역을 이동 영역 (moving area) 이라고 하는데, 이동 영역의 추출은 프레임간 영상 신호의 밝기차에 어떤 기준치(thresholding value)를 정함으로써 가능하다. 이동 영역에 속해 있는 화소들에 대해 움직임을 추정하여, 움직임 추정에 의해 얻어진 예측 밝기와 현재 화소의 밝기와의 차, 즉 DFD(displaced frame difference)를 양자화하여 전송한다. DFD는 식(1)과 같이 정의된다.

$$DFD(x, \hat{D}_{i-1}) = I_K(x) - I_{K-1}(x - \hat{D}_{i-1}) \quad (1)$$

여기서 $I_K(x)$ 는 K-번째 프레임에서 위치 $x = (m, n)$ 에 위치한 화소의 밝기를 나타내며, \hat{D}_{i-1} 은 추정 변위 벡터를 나타낸다. PRA는 식(1)의 DFD를 최소화 시키는 방향으로 반복적으로 변위를 찾아 나가는 것으로 변위 추정은 식(2)를 통해 얻을 수 있다.

$$\hat{D}_i = \hat{D}_{i-1} - \epsilon \cdot DFD(x, \hat{D}_{i-1}) \cdot \nabla I_{K-1}(x - \hat{D}_{i-1}) \quad (2)$$

Netravali는[3]에서 식(2)의 변위 추정을 다음의 sign 함수를 이용하여

$$\text{sign}(x) = 0 \quad \text{if } x = 0 \quad (3)$$

$$\frac{x}{|x|}, \text{ otherwise}$$

변위 추정에서 시간을 많이 소비하는 곱셈을 없앤 형태를 식(4)와 같이 제시하였다.

$$\hat{D}_i = \hat{D}_{i-1} - \epsilon \cdot \text{sign}\{DFD(x, \hat{D}_{i-1})\} \cdot \text{sign}\{\nabla I_{K-1}(x - \hat{D}_{i-1})\} \quad (4)$$

여기서 수렴상수 ϵ 은 식(2)에서는 2^{-10} 의 값을, 그리고 식(4)에서는 2^{-4} 의 값을 취하였다. 식(2) 혹은 식(4)를 통하여 얻어진 추정 변위는 화소의 정수 배로 나타내어지지 않을 수도 있으므로 이러한 경우 DFD를 얻기 위해 예측 밝기 $I_{K-1}(x - \hat{D}_{i-1})$ 은 다음과 같이 2차원 선형 보간(interpolation)을 이용하여 얻는다. 즉 추정 변위 \hat{D}_{i-1} 이 정수부 $D^i = (D_x^i, D_y^i)$ 와 비정수부 $D^f = (D_x^f, D_y^f)$ 의 합으로 나타내고 추정 변위가 그림 3과 같이 4개의 화소로 둘러싸여 있다면 예측 밝기는 식(5)를 통해 얻을 수 있다.

$$I(x - \hat{D}_{i-1}) = (1 - D_x^f) \{ (1 - D_y^f) I_D + D_y^f I_C \} + D_x^f \{ (1 - D_y^f) I_B + D_y^f I_A \} \quad (5)$$

여기서 D_x^f 와 D_y^f 는 1보다 작은 양수이다. 식(2)

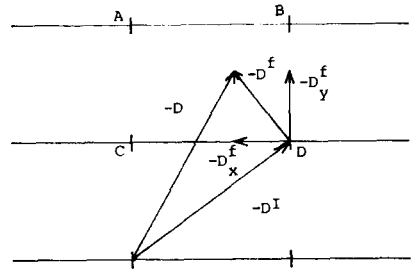


그림 3. 이차원 선형 보간
Fig. 3. A two-dimensional linear interpolation.

의 BPRA(basic PRA)와 식(4)의 SPRA(simplified PRA)에 16프레임의 Cronkite 영상을 사용하여 성능을 조사하였다. 프레임간 영상 신호의 밝기차 즉 FD(frame difference)가 기준치 4 이상인 화소들을 이동 영역으로 판단하였다. PRA를 이용한 MCC는 예측 오차인 DFD뿐만 아니라 이동 영역에 대한 정보도 전송해야하나 여기서는 이동 영역에 대한 정보에 의한 송신 부담은 고려하지 않고 DFD 신호의 특성만을 비교하였다. 이는 이동 영역의 추출은 PRA의 각 방법에서 비슷하여 이에 대한 정보는 각 방법에서 일정한 송신 부담을 주기 때문이다. PRA의 성능은 먼저 전송되는 DFD 신호의 이득, 즉 예측 이득면에서 비교하였는데 여기서 예측 이득은 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{예측이득(dB)} = 10 \log(255^2 / \sigma_{DFD}^2) \quad (6)$$

여기서 σ_{DFD}^2 는 DFD의 분산을 나타낸다. Cronkite 영상 16프레임에 대한 예측이득의 변화는 그림 4에 도시하였다. 그림 4에 의하면 BPRA와 SPRA는 이동 영역 내의 화소들에 대해 FD를 전송하는

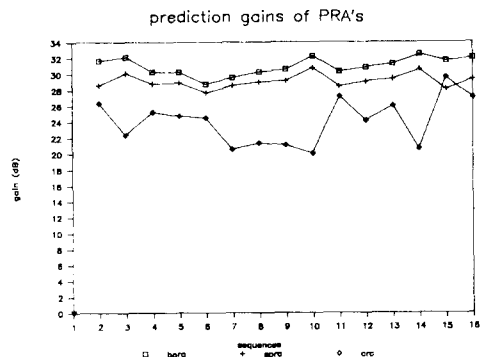


그림 4. PRA에서의 예측 이득
Fig. 4. A prediction gain using the PRA.

CRC^[1]에 비해 예측이득이 크게 향상 되었고 프레임 간 예측이득 변화가 CRC에 비해 급격하지 않음을 알 수 있다. 각 방법에 대해 전송되는 예측오차인 FD 혹은 DFD의 histogram은 그림 5에 도시하였다. Cronkite 영상에 대한 PRA의 평균특성은 표 1에 제시하였다. 표 1에서 entropy는 이동 영역내의 화소당 정보량을 나타내고 %PPEL1(%PPEL3)은 이동 영역내의 화소 중에서 DFD의 크기가1(3) 이하인 화소의 비율을 나타낸다. 표 1에 의하면 BPRA는 CRC에 비해 예측이득이 약 7.6 dB 향상 되었고, entropy 또한 약 0.6bpp 감소되어 BPRA는 CRC의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 SPRA는 BPRA에 비해 예측 이득이 약 1.8dB 감소하고 entropy 또한 0.19bpp 증가하여 BPRA의 간략화에 의해 성능이 약간 퇴락 되었음을 알 수 있었다.

3. BMA의 성능 분석

PRA가 화소 단위로 움직임을 추정하여 보상하는데 반해 BMA는 부영상 단위로 움직임을 추정하

여 보상한다. 즉 현재 프레임의 영상을 일정한 크기의 부영상으로 나누어 기준이 되는 영상에서 현재의 부영상과 가장 유사한 부영상을 찾아내어 현재 프레임의 부영상의 위치와 기준 영상(reference image)에서 가장 유사한 부영상의 위치와의 차를 움직임으로 추정하여 두 부영상 내의 화소의 밝기의 차를 양자화하여 전송한다. 즉 BMA에서 전송 하여야 할 정보는 각 부영상에서 추정된 움직임인 추정변위 벡터와 현재 부영상과 기준 영상내의 부영상과의 밝기 차 등 두가지 정보를 전송하여야 한다. BMA에서 중요한 문제는 현재 프레임의 영상과 기준 영상과의 유사성을 판단하는 기준과 기준영상 내에서 현재의 부영상과 가장 유사한 부영상을 찾아내는 검색방법(searching method) 등 두가지이다. 일반적으로 두 신호의 유사성은 두 신호의 상관성(correlation)에 의해 판단되는데 유사성 판단의 일반성을 잃지않으면서 효율적인 연산을 할 수 있는 MSE(mean square error) 혹은 MAE(mean absolute error) 등이 많이 이용되고 있다.^[6] 그리고 MSE와 MAE에 의한 움직임 추정 성능은 거의 비슷하므로^[6] 여기서는 유사성 판단기준으로 MAE를 사용하였다. MAE는 식 (7)과 같이 정의 된다.

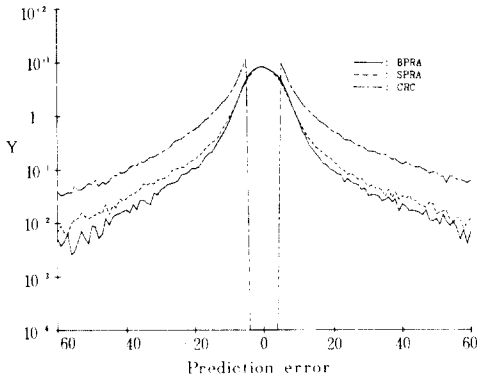


그림 5. PRA에서의 예측 오차 신호의 histogram. Fig. 5. A histogram of the prection error signal using the PRA.

표 1. Cronkite 영상에 대한 PRA의 평균 특성 Table 1. The average characteristics of the PRA on the cronkite image.

	예측이득	entropy	%PPEL 1	%PPEL3
CRC	23.2 dB	5.12bpp		
BPRA	30.8 dB	4.52bpp	23.6%	51.6%
SPRA	29.0 dB	4.71bpp	23.7%	51.2%

$$MAE(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |I_x(m, n) - I_x(m+u, n+v)| \tag{7}$$

식 (7)에서 M, N은 수직 및 수평 방향의 부영상의 크기를 나타내는 것으로 여기서 부영상의 크기는 M=N=8으로 선택하였다. 현재의 부영상과 기준 영상에서 가장 유사한 부영상은 일반적으로 현재 부영상 위치 근방에서 찾아질 수 있으므로 검색 영역(searching area)을 현재 부영상 위치 근방으로 한정함으로써 계산량을 줄이면서 효율적인 검색을 행할 수 있다. 검색 방법의 하나는 brute force search 방법으로서 검색 영역내의 모든 가능한 위치에서의 상관성을 구하여 그 상관성이 가장 높은 위치를 찾아낼 수 있으나 계산량이 너무 방대하여 지금까지 효과적인 검색 방법들이 많이 연구되어져 왔다. 검색 영역 내에서 상관성은 현재 부영상의 위치 근방에서 monotonic한 성질을 나타낸다고 할 수 있으므로^[7] 상관성이 높은 방향을 찾아가므로써 가장 높은 상관성을 가지는 위치를 구할 수 있다. 이러한 방법들은 Jain 등의 DMD(direction of minimum distortion)^[7], Koga 등의 TSS(three step search)^[8], Rao 등의 OTS(once at a time search)^[9] 등이 있다. 각 검색 방법들의 성능은 Cronkite 영상에 대해 조사되었는데, 검

색 영역은 최대 변위 6 pels(혹은 lines)으로 제한하였다. 그림 6에서는 예측 이득면에서 각 검색 방법들의 성능을 도시하였고, 그림 7에서는 예측 오차의 histogram을 도시하였다. 이들의 평균 특성은 표 2에 제시하였다. 표 2에 의하면 각 방법들은 BMA의 성능의 상한선인 brute force search에 비해 성능이 떨어지나, DMD와 TSS의 경우 예측 이득에서 0.8 dB와 0.9dB 저하되고, entropy 면에서는 각각 0.09 bpp, 0.09bpp 증가하여 성능면에서 brute force search에 가장 근접해 있음을 알 수 있었다. 각 방법들을 H/W로 구현할 때에 계산 시간은 실시간 구현에 있어 중요한 문제가 된다. BMA의 경우 주어진 변위 벡터에 대해 MAE를 계산하는데 소요 되는 시간은 일정하므로, 검색 과정에서 요구되는 검색점들의 수에 의해 계산 시간을 판단할 수 있다. 또한 BMA를 병렬 연산 할 경우 계산 시간을 검색점들의 수보다는 검색 과정에서 필요한 순차적 실행 단계(sequential step)의 수에 의해 판단 된다. 표 3에서 각 방법에서 검색 과정에 소요되는 검색점의 수와 순차적 실행단계의 수를 제시하였다. 표 3의 a는 추정 변위 벡터가 수평 방향으로 2pels, 수직 방향으로 61ines 이라고 가정할 때 요구되는 수를 표시하였고 b는 최악의 경우 필요한 수를 표시 하였다. 이때 검색 영역은 6pels로 한정하였고 brute force search의 경우 검색점이 169가 된다. 성능면에서 brute force search에 가장 근접해 있는 DMD와 TSS를 비교하면 검색점의 수는 TSS가 많고, 순차적 실행 단계는 DMD가 많다. 일반적으로 BMA를 실시간 구현시키기 위해서는 병렬 연산이 필수적이므로 순차적 실행 단계가 적은 TSS가 DMD에 비해 H/W 구현시 유리할 것으로 판단된다.

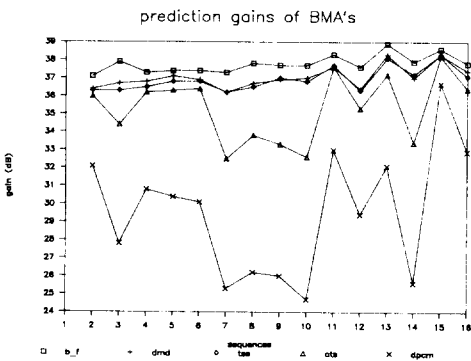


그림 6. BMA에서의 예측 이득
Fig. 6. A prediction gains using the BMA.

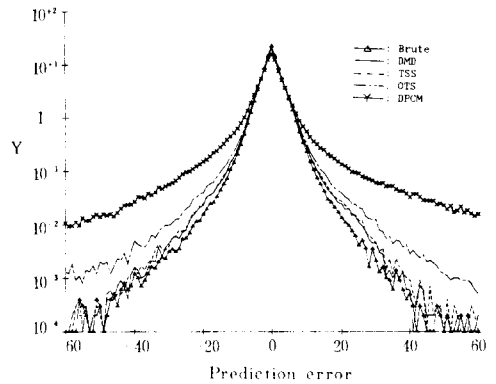


그림 7. BMA에서의 예측 오차 신호의 histogram.
Fig. 7. A histogram of the prediction error signal with the BMA.

표 2. Cronkite 영상에 대한 BMA 평균 특성
Table 2. The average characteristics of the BMA on the cronkite image.

	예측이득(dB)	entropy	%PPEL 1 (%)	%PPEL 3 (%)
brute-force	37.8	3.54	52.3	80.8
DMD	37.0	3.63	50.7	79.2
TSS	36.9	3.63	50.9	79.2
OTS	35.3	3.75	48.9	77.1
DPCM	29.5	4.37	40.5	66.8

표 3. BMA 각 방법에서의 계산 시간상의 비교
Table 3. A comparison of computational requirement for each BMA.

검색방법	검색점의 수		순차적 실행 단계의 수	
	a	b	a	b
DMD	18	21	5	7
TSS	25	25	3	3
SPRA	12	15	9	12

4. PRA와 BMA의 비교

앞장에서 설명한 바와 같이 PRA에서는 화소 단위로 움직임을 추정하여 움직임 영역에 대한 정보와 예측 오차를 전송하는 반면 BMA에서는 부영상 단위로 움직임을 추정하여 추정 변위 벡터와 예측 오차를 전송하기 때문에 PRA와 BMA의 성능을 직접 비교하기가 어렵다. 특히 PRA의 경우 기준치(threshold) 이하의 예측 오차는 전송하지 않기 때문에 프레임당 전송률은 BMA에 비해 훨씬 낮은 것으로 나

타난다. 따라서 PRA 에서 기준치 이하의 예측 오차를 전송하지 않음으로 인해 생기는 영향을 없애는 동시에 알고리즘들의 움직임 추정 정확도를 비교하기 위한 한 방법으로 예측기 선택방법(predictor selection method) ^[13-16] 을 도입하였다. 예측기 선택은 PRA 에서 움직임 영역에 대한 정보를 줄이기 위해서 ^[13] 제안된 바 있고, 영상의 질을 유지하면서 영상 정보를 감축하기 위해 여러개의 예측기 중 하나를 선택하도록 ^[14,15] 제안 된 바 있다. 본 논문에서는 움직임 추정 정확도가 영상 부호화에 미치는 영향을 고려하고 있기 때문에 예측기는 현재 프레임의 화소의 밝기에 대해 직전 프레임에서 같은 위치에서의 밝기로 예측값을 취하는 interframe 예측기와 움직임 추정에 의해 예측 밝기를 얻는 움직임 보상 예측기 중 어느 하나를 선택하도록 하였다. 예측기 선택기준은 예측기 선택에 의한 부가 정보를 없애기 위해 과거의 정보를 이용하였는데, 그림 8 과 같이 화소들이 배열되어 있을 때 각 위치에서 FD의 절대값의 합과 DFD의 절대값의 합을 다음과 같이 얻었다.

$$ASFD = |FD|_{at a} + |FD|_{at b} + |FD|_{at c} + |FD|_{at d}$$

$$ASDFD = |DFD|_{at a} + |DFD|_{at b} + |DFD|_{at c} + |DFD|_{at d} \quad (8)$$

이때 ASDFD 가 ASFD 보다 크면 현재 화소 x에 대해 움직임 보상 예측기를 선택하여 DFD를 전송하고 그렇지 않으면 FD를 전송하도록 하였다. 이와 같은 예측기 선택에 의해 PRA 의 경우 예측 오차만을 전송하게 되고 BMA 는 예측 오차와 추정 변위 벡터를 함께 전송한다. 예측기 선택에 의해 PRA 에서 CRC에 의한 영향인 일정 값 이하의 예측 오차를 전송하지 않는 것과 움직임 영역에 대한 정보를 전송하는 것을 동시에 제거함으로써 단지 움직임 추정에 의한 영향만을 비교할 수 있게 되었다. 시뮬레이션은 Cronkite 영상과 Miss America 영상을 사용하였고, PRA 는 BPRa 와 BMA 에서 움직임 추정

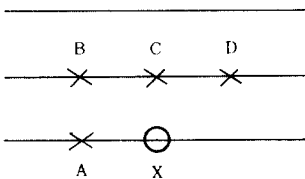


그림 8. 예측기 선택시 화소의 위치
Fig. 8. Positions of pixels when a predictor was selected.

성능과 H/W 구현시의 복잡성 등에서 비교적 우수한 TSS 를 비교하였다. BPRa 와 TSS 의 비교는 예측 이득 면에서 그림 9-10에 도시하였고, 예측 오차의 histogram 은 그림 11-12에 도시하였다. 이들에 대한 평균 특성은 표 4-5에 제시하였다. 표 4-5에 의하면 예측 이득은 TSS 가 BPRa 에 비해 0.1-0.2dB 정도 높았고 예측 가능 화소의 백분율 또한 TSS 가 BPRa 에 비해 %PPEL1이 1.8-3.3% 높고, %PPEL3이 0.6-1.4% 높아 추정 성능은 TSS 가 약간 우수함을 알 수 있다. 그러나 BMA 의 경우 부영상 단위로 움직임을 추정하고 화소의 정수배의 변위를 추정하기 때문에 부영상내에 있는 1개 이상의 움직임을 동시에 추정할 수 없고, 화소의 정수부 이하의 정확도로 움직임을 추정 할 수 없다. 반면 PRA 는 화소 단위로 반복적으로 변위를 추정하기 때문에 변위를 찾아나가는 과정에서는 큰 예측 오차를

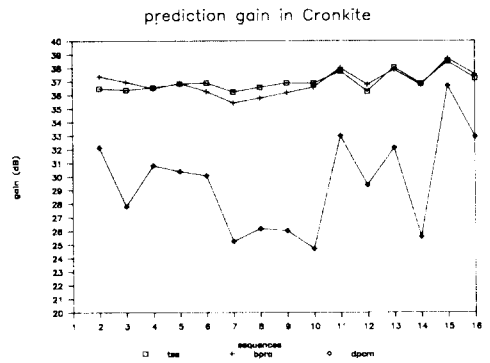


그림 9. Cronkite 영상에 대한 예측 이득
Fig. 9. Prediction gains with the cronkite image.

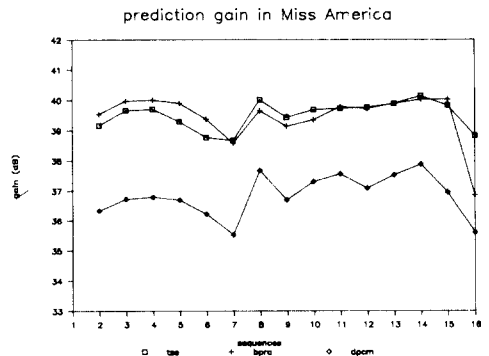


그림 10. Miss america 영상에 대한 예측 이득
Fig. 10. Prediction gains with the miss america image.

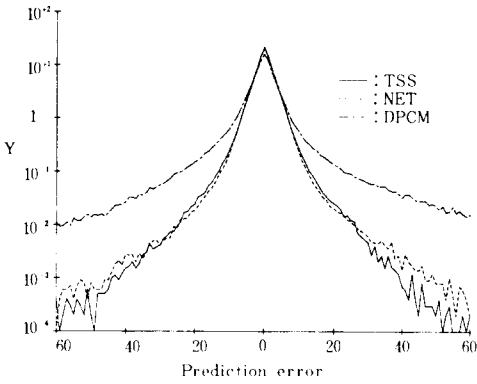


그림11. Cronkite 영상에 대한 예측 오차의 histogram.

Fig. 11. Histograms of the prediction error signal with the cronkite image.

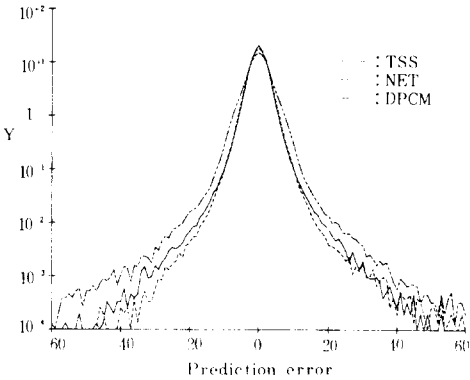


그림12. Miss america 영상에 대한 예측 오차의 histogram.

Fig. 12. Histograms of the prediction error signal with the miss america image.

나타내게 되고, 수렴이 끝나면 정확한 움직임은 얻는 특성이 있다. 표 4-5의 결과에 의하면 BPRA에서 수렴 속도가 느리기 때문에 그 과정에서 큰 예측 오차가 발생하였는데, 이러한 BPRA의 성능은 부영상 단위로 변위를 찾아가는 TSS에 비해 약간 떨어짐을 알 수 있었다. 표 4-5에서 entropy는 예측 오차의 entropy를 나타내고, BPF(bit per frame)은 프레임당 전송률로 BPRA의 경우 예측 오차를 entropy coding하여 전송하고 추정 변위 벡터를 일정한 크기로 전송하였을 때 프레임당 전송률(bit rate)을 나타낸다. TSS에서 추정 변위 벡터는 최대 변위가 6 pels으로 제한하였으므로 부영상당 8bits가 할당

표 4. Cronkite 영상에 대한 BMA와 PRA의 비교

Table 4. A comparison of the BMA and PRA on the cronkite image.

	예측이득 (dB)	entropy (bpp)	BPF (Kbps)	% PPEL1	% PPEL3
TSS	37.0	3.62	245.2	51.3	79.7
BPRA	36.8	3.62	237.0	49.5	79.1
DPCA	29.5	4.37	386.5	40.5	66.8

표 5. Miss america 영상에 대한 BMA와 PRA의 비교

Table 5. A comparison of the BMA and PRA on the Miss america image.

	예측이득 (dB)	entropy (bpp)	BPF (Kbps)	% PPEL1	% PPEL3
TSS	39.5	3.33	350.2	53.1	86.9
BPRA	39.4	3.39	343.6	49.8	85.5
DPCM	36.8	3.78	383.0	42.0	75.9

되며 따라서 프레임당 전송 부담은 Cronkite 영상의 경우 약 8.2Kbits가 되고, Miss America 영상의 경우 약 12.7Kbits가 된다. 따라서 평균 entropy는 TSS가 BPRA에 비해 0-0.06bpp높지만 추정 변위 벡터의 전송 부담 때문에 BPF는 TSS가 BPRA에 비해 Cronkite 영상에 대해서 약 8.2Kbps, Miss America 영상에 대해 약 6.6Kbps 높은 것으로 나타났다. TSS의 추정 변위 벡터에 의한 추가 전송 부담은 특히 저 전송률 부호화기를 구성할 때 큰 부담이 될 것으로 생각된다. 따라서 저 전송률 부호화기에는 TSS에 비해 BPRA가 유리할 것으로 믿어진다.

V. 결 론

본 논문에서는 움직임 추정을 위한 각 알고리즘들이 MCC의 전송률에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. PRA의 경우 Netravali^[1]가 제안한 BPRA는 CRC에 비해 그 성능이 크게 향상 되었으나 BPRA를 간략화한 SPRA는 BPRA에 비해 예측 이득이 약 1.8dB 감소하고, entropy가 약 0.19bpp 증가함을 알 수 있었다. BMA의 경우 DMD와 TSS가 성능면에서 burte force search에 가장 근접한 면을 보였으나 H/W구현시 순차적 실행 단계의 수가 적고 변위 벡터에 무관한 계산량을 보인 TSS가 유리할 것으로 판단 되었다. PRA와 BMA를 같은 조건하에서 비교하기 위하여 예측기 선택방법을 도입하였

다. 예측기 선택은 interframe 예측기와 움직임 보상 예측기 중 어느 하나를 선택하는 것으로 PRA에서 이동 영역에 대한 정보와 일정한 기준치 이하의 값을 전송하지 않음으로 인한 프레임당 전송률의 감축 효과를 없었다. 이와 같은 예측기 선택시 TSS의 경우 예측기 선택에 의한 성능의 향상은 표 2와 표 4를 참조하면 거의 무시할 수 있음을 알 수 있다. 예측기 선택시 BPRA는 TSS에 비해 예측 이득, 예측 오차의 entropy, 예측가능 화소의 백분률등의 면에서 그 성능이 약간 떨어졌으나 TSS에서의 추정 변위 벡터의 전송 부담 때문에 BPF는 약 6.6-8.2 Kbps 낮은 것으로 나타났다. 즉 움직임 추정 성능은 TSS가 BPRA에 비해 약간 우수하나 TSS의 추정 변위 벡터의 전송 부담은 MCC에 큰 영향을 끼침을 알 수 있었다. 특히 저 전송률을 요구하는 부호화기에서는 PRA의 일종인 BPRA가 유리할 것으로 판단되었다. MCC의 각 방법에 대한 성능 비교는 BMA에 CRC 기법을 도입하여 이를 PRA와 비교하는 등 여러 방법이 있을 것이다. 따라서 BMA와 PRA의 성능 비교는 앞으로 좀더 연구되어야 할 것이다. 그리고 MCC에 의한 예측 오차에는 영상 신호의 공간 영역에서의 상관성이 남아있게 되므로 예측 오차에 대해 공간 영역에서의 압축 방법을 도입함으로써 영상 신호의 전송률은 더욱 낮아진다고 알려져 있다.^[6] 이러한 경우에 부호기의 성능, 즉 저 전송률의 부호기에서의 견실성(robustness) 문제는 앞으로 더욱더 연구되어야 할 것이다.

参 考 文 献

[1] W.K. Pratt, Image Transmission Technique, Academic Press, 1987.
 [2] A.N. Netravali, J.O. Limb, "Picture coding: review," *Proc. IEEE*, vol. 68, no.3, pp. 366-406, Mar. 1980.
 [3] A.N. Netravali, J.D. Robbins, "Motion compensated television coding: part I," *BSTJ*, vol. 58, no. 3, pp. 631-670, Mar. 1979.
 [4] C. Cafforio and F. Rocca, "The differential methods for image motion estimation," in Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, T.S. Huang, Ed., pp. 104-124, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1983.

[5] H.C. Bergmann, "Analysis of different displacement estimation algorithms for digital television signals," in Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, T.S. Huang, Ed., pp. 215-224, Berlin, Germany: Springer-verlag, 1983.
 [6] H.G. Musmann, P. Pirsch, and H.J. Grallert, "Advances in picture coding," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 4, pp. 523-548, Apr. 1985.
 [7] J.R. Jain and A.K. Jain, "Displacement measurement and its application in interframe image coding," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-29, no. 12, pp. 1799-1805, Dec. 1981.
 [8] T. Koga et al., "Motion compensated interframe coding for video conferencing," *Proc. of NTC*, pp. 5.3.1-5.3.1, Dec. 1981.
 [9] R. Srinivasan and K.R. Rao, "Predictive coding based on efficient motion estimation," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-33, no. 8, pp. 888-896, Aug. 1986.
 [10] Y. Ninomiya and Y. Ohtsuka, "A motion compensated interframe coding scheme for television pictures," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-30, no. 1, pp. 201-211, Jan. 1982.
 [11] S. Sabri and B. Prasada, "Video conferencing systems," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 4, pp. 671-788, Apr. 1985.
 [12] A.K. Jain, "Image data compression: A review," *Proc. IEEE*, vol. 69, no.3, pp. 384-389, Mar. 1981.
 [13] J.D. Robbins and A.N. Netravali, "Interframe television coding using movement compensation," *IEEE ICC Proc.*, 1979.
 [14] P. Pirsch, "Adaptive intra-interframe DPCM Coder," *BSTJ*, vol. 61, no.5, pp. 747-764, May-June 1982.
 [15] K.A. Prabhu, "A predictor switching scheme for DPCM coding of video signals," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-33, no.4, pp. 373-379, Apr. 1985.
 [16] J.L.P. De Lameillieure, "Comments on a predictor switching scheme for DPCM coding of television signal," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-34, no.6, pp. 628-630, June 1986.