

명암특성에 따른 프레임 분류를 이용한 동영상 압축기법

Moving Picture Compression using Frame Classification by Luminance Characteristics

김상현

경북대학교 산업전자전기공학부

Sang Hyun Kim(shk@knu.ac.kr)

요약

본 논문은 명암 변화가 심한 비디오 시퀀스에 대해 효율적인 동영상 압축기법을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 화면간의 명암 변화 변수들을 추정하고 지역적인 움직임 보상을 수행한다. 밝기 보상이 필요한 화면을 검출하기 위하여 연속되는 두 프레임간의 히스토그램의 크로스 엔트로피를 계산하여 프레임 분류를 하고 명암 변화가 심한 화면에 대해서만 밝기 보상을 수행하여 명암 변화가 심하지 않은 경우에 발생할 수 있는 불필요한 계산량을 줄였다. 명암 변화가 심한 비디오 시퀀스에 대한 실험결과 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 적은 계산량으로 높은 PSNR (peak signal to noise ratio) 성능을 나타내었다.

■ 중심어 : | 동영상 압축 | 명암특성 | 프레임 분류 | 움직임 보상 |

Abstract

This paper proposes an efficient moving picture compression for video sequences with luminance variations. In the proposed algorithm, the luminance variation parameters are estimated and local motions are compensated. To detect the frame required luminance compensation, we employ the frame classification based on the cross entropy between histograms of two successive frames, which can reduce the computational redundancy. Simulation results show that the proposed method yields a higher peak signal to noise ratio (PSNR) than that of the conventional methods, with a low computational load, when the video scene contains large luminance variations.

■ keyword : | Moving Picture Compression | Luminance Characteristics | Frame Classification | Motion Compensation |

I. 서론

효율적인 동영상 압축을 위해서 프레임간의 중복도 (redundancy)를 줄이기 위하여 움직임 예측 (motion estimation)과 움직임 보상 (motion compensation)을 수행하는데 이에 관한 많은 연구가 있었고 실제 계산량

감소와 성능 향상에 많은 기여를 하였다 [1][2]. 그러나 대부분의 연구가 일정한 환경이나 조명하에서 얻어진 테스트 시퀀스를 사용하여 성능평가를 하였다. 그러므로 화면간의 명암 변화가 큰 시퀀스에 대해서는 기대할 만한 움직임 예측이나 보상 성능을 보이기 어렵다. 일반 사용자나 다양한 환경에서 얻어진 비디오 시퀀스들

접수번호 : #101111-003
접수일자 : 2010년 11월 11일

심사완료일 : 2011년 04월 12일
교신저자 : 김상현, e-mail : shk@knu.ac.kr

은 급격한 조명 변화나 카메라 작동 등으로 심각한 명암 변화를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 밝기 변화 모델 (brightness variation model)에 기반한 효율적인 움직임 예측 및 보상 알고리즘을 제안한다. 연속되는 화면간의 명암 변화 파라미터를 추정하기 위해 몇가지 알고리즘이 제안되었다 [3]. 그러나 대부분의 알고리즘에서 밝기 변화 모델의 적용으로 PSNR 성능은 개선되는 반면에 많은 계산량이 요구된다. 또한 밝기 변화를 고려한 움직임 보상 및 추정이 필요치 않은 비디오 시퀀스에 대해서는 불필요한 계산량을 증가시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 연속되는 화면간의 히스토그램의 크로스 엔트로피 (cross entropy)를 기반으로 변화가 필요한 모델인지를 결정하는 프레임 분류 단계를 두어 불필요한 계산을 줄였다.

움직임 추정을 위한 블록 정합 알고리즘은 연속되는 화면간의 대응되는 블록에 대해 MSE (mean squared error)나 MAE (mean absolute error)를 최소화하는 블록을 탐색한다 [1]. 명암 변화가 있는 비디오 시퀀스에 대해서는 프레임 분류를 적용한 전역 탐색 (full search) 및 고속 탐색을 수행하고 화질을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 프레임 분류를 적용한 동영상 압축 알고리즘에 관해 설명하고 III장에서는 명암 변화가 심한 시퀀스에 대해 기존의 방법들과 제안한 방법에 대한 실험 결과를 보이며 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 프레임 분류를 적용한 효율적인 동영상 압축 알고리즘

제안한 프레임 분류를 적용한 동영상 압축 알고리즘은 크게 두 부분으로 나누어진다. 첫 번째 부분은 입력 화면에 대해 크로스 엔트로피를 사용한 프레임 분류를 통하여 밝기 변화 모델을 적용할지 안할지 여부를 결정한다. 크로스 엔트로피 값이 크게 나타나는 화면에 대해서는 두 번째 단에서 밝기 변화 모델을 적용한 알고리즘에 의해 움직임 추정과 보상을 수행하고, 그렇지

않은 화면에 대해서는 밝기 변화 모델을 적용하지 않은 알고리즘이 적용된다.

1. 크로스 엔트로피를 사용한 프레임 분류

본 논문에서는 밝기 변화 모델 적용에 효율적인 화면 분류를 위하여 화면간의 히스토그램의 크로스 엔트로피를 사용하였다. 일반적으로 히스토그램은 계산량이 적고 밝기 변화에 대한 특성을 나타내는 데 효과적이다. 크로스 엔트로피는 히스토그램등의 확률밀도 함수를 비교하는 방법들에 효율적으로 적용될 수 있다 [4]. 크로스 엔트로피는

$$H(p, q) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} dx \quad (1)$$

와 같이 정의되는데 여기서 $p(x)$ 와 $q(x)$ 는 각각 이전 화면과 현재 화면의 히스토그램을 나타낸다. 본 논문에서는

$$F(p, q) = A \int q(x) \log \frac{q(x)}{p(x)} dx + B \int p(x) \log \frac{p(x)}{q(x)} dx \quad (2)$$

와 같이 크로스 엔트로피를 일반화하여 사용하여 대칭성을 만족시켰다.

본 논문에서는 연속되는 화면간의 히스토그램의 크로스엔트로피를 사용하여 움직임 추정 및 보상을 위해 밝기 변화를 고려한 모델의 적용이 필요한지 여부를 결정한다.

2. 명암특성 고려가 필요한 프레임에 대한 움직임 추정 및 보상 알고리즘

명암 변화가 심한 화면에 대한 밝기 변화 보상은 [그림 1]에 나타나있는 바와 같이 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 화면 단위의 전역적인 (global) 밝기 보상을 수행하고 두 번째 단에서 블록단위의 지역적인 밝기 보상이 이루어진다.

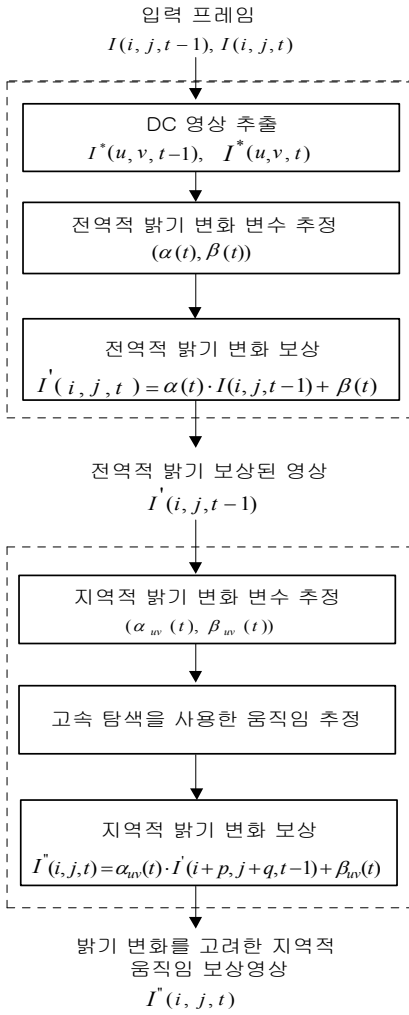


그림 1. 명암변화 프레임에 대한 움직임 보상 알고리즘 구성.

2.1 전역적 밝기 변화 보상

전역적 밝기 변화 보상은 DC 영상을 사용하여 수행된다. 원영상의 위치 (i, j) 에서의 밝기 값을 $I(i, j, t)$ 라 하면 DC 영상 $I^*(u, v, t)$ 는

$$\frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I((u-1)M+m, (v-1)N+n, t) \quad (3)$$

에 의해 얻을 수 있다. 식(3)에서 m, n 은 $M \times N$ 서브블록(subblock)의 위치를 나타내며 u, v 는 $U \times V$ DC 영상의 위치를 나타낸다. 전역적인 밝기 변화 변수는

DC영상을 사용하여 구할 수 있다 [5].

명암 변화가 심한 화면에 대해 전역적 밝기 변화 보상을 수행한 영상 $I'(i, j, t-1)$ 은

$$I'(i, j, t-1) = \alpha(t)I(i, j, t-1) + \beta(t) \quad (4)$$

첫번째 단계

와 같이 표현할 수 있다.

식(4)에서 $\alpha(t), \beta(t)$ 는 전역적인 밝기 변화 변수를 나타내며 $\alpha(t)$ 는 명암의 대조(contrast) 변화 성분, $\beta(t)$ 는 휘도(brightness offset) 변화 성분을 나타낸다.

2.2 지역적 움직임 추정 및 보상

지역적 움직임 추정시 SWS (search window subsampling) 방법 [6]을 사용하여 계산량을 줄일 수 있는데 본 알고리즘에서는 MAE를 최소화하는 두 후보 점을 구하고 이 점들을 중심으로 각각 인접 8개의 블록을 비교하여 이 중 MAE가 가장 최소가 되는 점을 찾아 움직임 추정을 수행하였다. 밝기 변화 변수를 고려한 $MAE(p, q, t)$ 는

$$\frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |I(m, n, t) - \alpha_{uv}(t) \cdot I(m+p, n+q, t-1) - \beta_{uv}(t)| \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있으며 $\alpha_{uv}(t)$ 와 $\beta_{uv}(t)$ 는 지역적 밝기 변화 변수를 나타내고 m, n 은 $M \times N$ 블록에서의 위치를 나타내며 p, q 는 탐색 영역을 가리킨다.

밝기 변화를 고려한 움직임 추정에서 움직임 벡터는 탐색 영역내에서 MAE를 최소화하는 값으로 구해진다. 밝기 변화 변수와 추정된 움직임 벡터에 의해 지역적인 밝기 변화 보상이 이루어진 영상은

$$I''(i, j, t-1) = \alpha_{uv}(t)I'(i+p, j+q, t-1) + \beta_{uv}(t) \quad (6)$$

로부터 구할 수 있다.

명암 변화가 있는 화면에 대한 제안한 움직임 추정 및 보상 알고리즘을 요약하면 첫 번째 단계에서 DC영상을 사용하여 전역적인 밝기 보상을 수행하고 이에 대해 두 번째 단계에서 고속 움직임 추정(SWS)을 사용하여 밝기 변화를 고려한 움직임 벡터를 추출하고 최종적으로 지역적인 밝기 변화 보상과 움직임 보상이 이루어진다.

2.3 명암 변화에 강건한 움직임 추정

최적의 밝기 변화 파라미터를 추출하기 위해 본 논문에서는 강건한 추정 (robust estimation) 방법을 적용하였다 [7]. 밝기 변화 변수를 고려한 강건한 움직임 추정을 위하여 사용한 M -추정기 (M -estimator)는

$$E(p, q, t) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \log[1 + (D(m, n, t))^2] \quad (7)$$

이며 여기서 $D(m, n, t)$ 는

$$I(m, n, t) - \alpha_{uv}(t) \cdot I(m+p, n+q, t-1) - \beta_{uv}(t) \quad (8)$$

로서 화면의 명암변화를 고려한 블록간의 차이를 나타낸다. 화면간의 명암변화가 큰 경우 블록간의 오류성분도 커지게 되는데 식 (7)에서 사용한 M -추정기는 밝기 변화를 고려한 움직임 추정에 있어 오류를 줄이고 강건한 변수 추정이 가능하다. 여기서 $\alpha_{uv}(t)$ 와 $\beta_{uv}(t)$ 는 지역적 밝기 변화 변수를 나타내고 m, n 은 블록에서의 위치를 p, q 는 탐색 영역을 가리킨다. 사용된 M -추정기 (M -estimator)는 심한 명암 변화를 가지는 프레임에 대해 향상된 화질 성능을 나타낸다.

III. 실험결과 및 토의

제한한 알고리즘의 성능 평가를 위해 실험영상으로 명암 변화가 심한 수중에서 촬영된 실제영상 시퀀스와 명암변화를 시킨 합성 영상 시퀀스를 사용하였다. 밝기 변화 모델을 적용하여 움직임 보상을 수행한 후 화질을 비교 분석하고 밝기 변화성분이 변화하는 데 따른 제한한 알고리즘의 성능 변화를 분석하였다.

1. 수중 영상에 대한 실험 결과

실험에 사용한 수중영상은 512×512 영상 크기를 가지며 심해에서 수중로봇이 작업시 일반적으로 얻을 수 있는 영상특성을 가진다.

[그림 2](a)와 [그림 2](b)는 512×512 영상 크기에 명암 변화가 심한 수중영상이며 [그림 2](c)는 실험에

사용된 수중영상의 히스토그램을 나타낸다. [그림 2](c)의 히스토그램에서도 보이는 바와 같이 수중에서 촬영된 동영상 프레임간의 명암 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

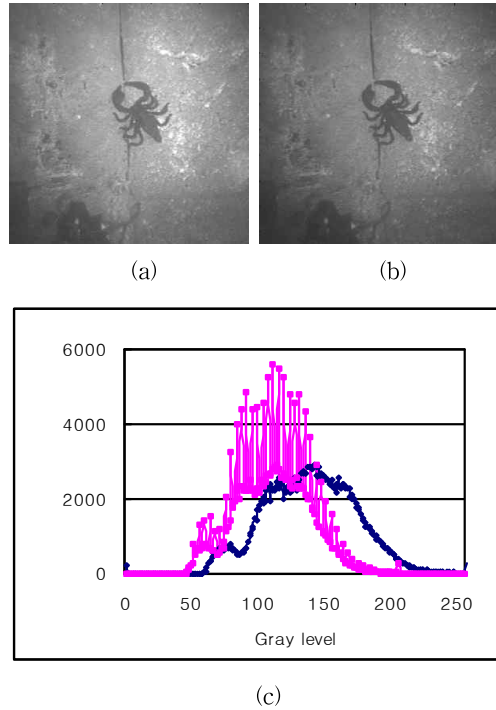


그림 2. 명암 변화가 심한 수중영상. (a) 수중영상 1 (b) 수중영상 2 (c) 수중영상에 대한 히스토그램

[표 1]은 [그림 2]에서 보인 명암변화가 큰 동영상 프레임에 대해 프레임 분류와 압축방식에 따른 화질 비교를 보여주고 있다.

표 1. 프레임 분류와 압축방식에 따른 화질비교

프레임 분류	압축방식	화질 (PSNR)
명암에 따른 프레임 분류가 없는 경우	전역탐색	21.59 dB
	고속탐색	21.52 dB
명암에 따른 프레임 분류를 수행한 경우	전역탐색	50.14 dB
	고속탐색	49.55 dB

[표 1]에서 보여주는 바와 같이 명암변화가 큰 동영상에 대해서는 명암에 따른 프레임 분류를 수행하여 압

축한 경우가 전역 및 고속탐색 방법 모두에서 그렇지 않은 경우에 비해 높은 화질을 나타내는 것을 알 수 있다.

2. 명암 변화에 따른 화질분석

명암 변화가 심한 시퀀스에 대한 밝기 보상 및 움직임 보상에 관한 실험은 각각 30 프레임으로 구성된 Salesman (CIF, 352×288) 시퀀스를 사용하여 화면간에 명암 변화를 가지도록 합성된 실험 영상을 사용하였다. 합성된 Salesman 영상은 화면간의 대조 (contrast) 성분과 휘도 (brightness offset) 성분이 각각 1.1과 10으로 설정되었다.

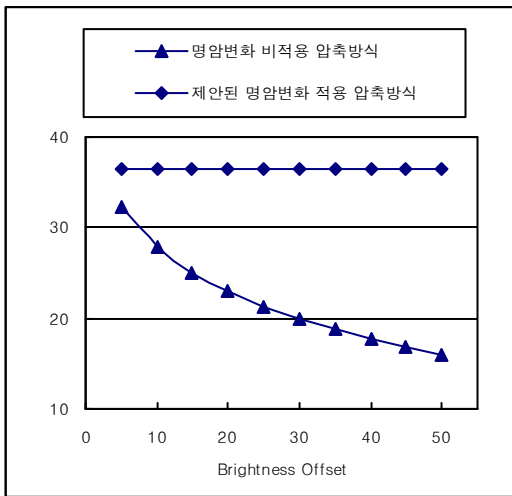


그림 3. 명암성분의 변화에 따른 동영상 압축방식의 화질 (PSNR) 성능 비교.

명암 변화 성분에 따른 성능 비교를 위해 합성 실험 영상에 대해 명암 변화 정도에 따른 화질을 분석하였다. [그림 3]은 합성된 Salesman 시퀀스에 대해 명암 성분을 변화시켰을 때의 동영상압축에 따른 화질 (PSNR)을 나타낸다. [그림 3]에서 나타나는 바와 같이 프레임 분류를 적용하지 않은 압축방식에서는 명암 성분이 점점 커짐에 따라 화질 (PSNR) 성능도 점점 낮아지고 있다. 반면에 프레임 분류에 따른 압축방식을 적용한 방법은 명암 성분이 변화가 커져도 일정한 화질 (PSNR) 성능을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 명암 변화가 심한 비디오 시퀀스에 대해서도 효율적인 움직임 추정 및 보상이 가능한 동영상 압축 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 입력 화면을 분류하여 명암 변화가 심한 프레임에 대해서만 밝기 보상을 수행하므로 밝기 변화 모델이 필요하지 않은 시퀀스에 대해 불필요한 계산량 증가를 없앴다. 밝기 변화 보상이 필요한 프레임에 대해서는 밝기 변화 성분 추출에 의한 계산량 증가를 줄이기 위해 전역적인 밝기 보상을 수행한 후 고속탐색 알고리즘을 적용하고 이로부터 지역적인 밝기 보상과 움직임 보상을 수행하여 계산량을 줄였다. 또한 명암 변화가 심한 비디오 시퀀스에 대한 실험결과 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘들에 비해 적은 계산량으로 일정한 화질 (PSNR) 성능을 나타내었다. 향후 플래쉬 라이트 (flashlight)나 스포트라이트 (spotlight) 등과 같은 다양한 명암 변화 성분에 대한 알고리즘 연구와 분석이 수행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] D. Wang, L. Zhang, and A. Vincent, "Motion compensated frame rate up conversion part I: fast multi-frame motion estimation," *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.56, No.2, pp.133-141, 2010(6).
- [2] B.-J. Zou, C. Shi, C.-H. Xu, and S. Chen, "Enhanced hexagonal based search using direction-oriented inner search for motion estimation," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.20, No.1, pp.156-160, 2010(1).
- [3] H.-K. Cheung, W.-C. Siu, D. Feng, and Z. Wang, "Retinex based motion estimation for sequences with brightness variations and its application to h,264," in *Proc. Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp.1161-1164, Las Vegas, USA, 2008(3).

- [4] S. L. Ho and S. Yang, "The cross-entropy method and its application to inverse problems," IEEE Trans. Magnetics, Vol.46, No.8, pp.3401-3404, 2010(8).
- [5] T. Uehara, R. Safavi-Naini, and P. Ogunbona "Recovering DC coefficients in block-based DCT," IEEE Trans. Image Processing, Vol.15, No.11, pp.3592-3596, 2006(11).
- [6] S. Dikbas, T. Arici, and Y. Altunbasak, "Fast motion estimation with interpolation-free sub-sample accuracy," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.20, No.7, pp.1047-1051, 2010(7).
- [7] X. Hong and S. Chen, "M-estimator and D-optimality model construction using orthogonal forward regression," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol.35, No.1, pp.155-162, 2005(2).

저 자 소 개

김 상 현(Sang Hyun Kim)

정회원



- 2003년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학박사)
- 2003년 ~ 2004년 : LG전자 DM연구소 선임연구원
- 2004년 ~ 2005년: 삼성종합기술원 Digital연구소 전문연구원

▪ 2005년 ~ 현재 : 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수

<관심분야> : 영상코딩, 콘텐츠 검색, 컴퓨터 비전