

논문 2005-42SP-2-11

효율적인 스테레오 영상 압축을 위한 밝기차 보상

(Intensity Compensation for Efficient Stereo Image Compression)

전 영 탁*, 전 병 우*

(Youngtak Jeon and Byeungwoo Jeon)

요 약

사람이 두 눈을 통하여 3차원 공간을 지각하는 것과 같이 두 대의 카메라로부터 얻어진 스테레오 영상을 이용하여 3차원 정보를 얻을 수 있다. 스테레오 영상은 많은 데이터량을 가지기 때문에 최근 수년간 디지털 비디오 압축 기술의 발전과 함께 스테레오 영상을 효율적으로 압축하기 위한 기술이 개발되고 있다. 스테레오 영상을 압축하고 3차원 정보를 추출하는데 이용되는 양안차 추정기는 일반적으로 두 스테레오 영상의 화소 간의 밝기 차이를 이용한다. 하지만 두 카메라의 초점거리, 방향, 상대적 위치, 조리개에 의해 입사되는 빛의 양 등의 미세한 차이에도 스테레오 영상 간의 밝기차가 발생한다. 밝기차가 있는 스테레오 영상은 부정확한 양안차 벡터와 이에 따른 낮은 압축 효율과 같은 문제점을 발생시킬 수 있다. 따라서 이런 스테레오 영상 간의 밝기차를 사전에 보정한 후 압축함으로써 압축의 효율을 높이고, 또한 재생 시 두 눈을 통하여 들어오는 서로 다른 시각 정보로 인한 눈과 두뇌의 피로를 덜어 줄 수 있다. 본 논문에서는 간단하면서도 효율적인 전처리 방법으로 전역 밝기 보상과 국부지역 밝기 보상 및 계층적 밝기 보상을 제안한다. 실험결과는 제안된 보상 방법이 효율적으로 스테레오 영상을 압축하는 것을 보여준다.

Abstract

As we perceive the world as 3-dimensional through our two eyes, we can extract 3-dimensional information from stereo images obtained from two or more cameras. Since stereo images have a large amount of data, with recent advances in digital video coding technology, efficient compression algorithms have been developed for stereo images. In order to compress stereo images and to obtain 3-D information such as depth, we find disparity vectors by using disparity estimation algorithm generally utilizing pixel differences between stereo pairs. However, it is not unusual to have stereo images having different intensity values for several reasons, such as incorrect control of the iris of each camera, disagreement of the foci of two cameras, orientation, position, and different characteristics of CCD (charge-coupled device) cameras, and so on. The intensity differences of stereo pairs often cause undesirable problems such as incorrect disparity vectors and consequent low coding efficiency. By compensating intensity differences between left and right images, we can obtain higher coding efficiency and hopefully reduce the perceptual burden of brain to combine different information incoming from two eyes. We propose several methods of intensity compensation such as local intensity compensation, global intensity compensation, and hierarchical intensity compensation as very simple and efficient preprocessing tool. Experimental results show that the proposed algorithm provides significant improvement in coding efficiency.

Keywords: stereo image, intensity compensation, disparity, MPEG-2 MVP (multi-view profile).

I. 서 론

최근 십 수 년간 디지털 비디오 기술은 컴퓨터 성능의 향상과 함께 많은 발전을 거듭하고 있다. 특히 과거

의 흑백 텔레비전에서 컬러 텔레비전으로, 아날로그 텔레비전에서 디지털 텔레비전으로 천이되는 것처럼, 향후 2차원 영상시대에서 3차원 영상시대로 변화되는 추세는 주목할 만하다.

인간은 두 눈을 통하여 3차원 공간상의 사물을 바라봄으로써 공간적인 입체감을 느끼는데, 이는 동일 사물에 대하여 왼쪽 눈에 투영된 상과 오른쪽 눈에 투영된 상을 바탕으로 사람의 뇌가 이들을 분석하여 입체감을

* 정희원, 성균관대학교

(SungKyunKwan University)

* 본 논문은 한국과학재단 목적기초연구 (1999-2-515-001-5) 사업에 의해 지원되었습니다.

접수일자: 2004년2월14일, 수정완료일: 2005년3월11일

느낄 수 있도록 하기 때문이다^[1]. 사람의 이런 시각적 성질을 이용하여 두 대의 카메라로부터 영상을 얻어 입체감을 느끼도록 하는 영상을 스테레오 영상이라고 한다^[1, 2].

또한 카메라로부터 물체에 이르는 거리를 얻기 위하여 동일점에 대한 각 카메라에 투영된 대응점 간의 상대적 위치를 이용하게 되는데 이를 양안차 (disparity) 라고 한다^[1, 2]. 양안차는 스테레오 영상 처리에 있어 아주 중요한 요소로서, 특히 압축을 위한 좌영상과 우영상 간의 공간적 중복성을 제거하는데 효과적으로 이용할 수 있다. 또한 좌영상과 우영상으로부터 얻어진 대응점과의 관계를 이용하여 제3의 위치에서의 영상을 합성하는데 이용할 수도 있다^[3, 4].

스테레오 영상은 두 대의 카메라로부터 영상을 얻게 되므로 기존 비디오 영상의 엄청난 데이터량을 고려할 때 스테레오 영상의 압축 기술이 절실히 요구되며, 양안차 추정 또한 이러한 측면에서 중요하다. 일반적으로 스테레오 동영상을 압축하기 위하여 그림 1과 같이 좌영상은 기저 계위(base layer)에서 MPEG-2 main 프로파일과 같은 기존의 동영상 압축 방법을 이용하고, 우영상은 움직임 벡터와 양안차 벡터를 이용하여 예측 부호화함으로써 압축 효율을 얻는다. 그림 1은 간략화된 MPEG-2 MVP (Multi-View Profile) 블록도를 보여 준다^[5, 6].

움직임 보상을 위한 블록기반 움직임 추정은 현재 영상의 한 블록에 대하여 참조 영상의 탐색 영역 내에서 블록차 (통상 SAD로 계산)가 최소인 블록을 지시하는 움직임 벡터를 측정하는 것이다^[7, 8]. SAD는 해당 블록의 화소 간의 밝기 차이를 계산한 것이다. 양안차 추정의 경우, 개념적으로는 움직임 추정과 동일하게 (3차원

공간상의) 동일점에 대하여 각 카메라에 맺히는 상의 상대적 위치 차를 측정한다^[9, 10]. 하지만 양안차 추정은 보다 세심한 주의를 요구한다. 그 이유는 두 영상으로부터 얻은 양안차 벡터는 카메라로부터 사물의 상대적 위치를 나타내는 3차원 정보, 즉 깊이 정보를 추출하는 핵심 요소이며^[11], 일반적으로 움직임 벡터 추정의 기본 가정이 되는 temporal continuity 성질에 해당하는 양안차 추정에서의 view-angle continuity 가정은 일반적으로 카메라 간의 (angular) 거리가 멀기 때문에 정확히 만족하지는 않기 때문이다^[14]. 또한 추정된 양안차 벡터의 정확성은 스테레오 영상 처리에 있어 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 스테레오 영상에 있어 좌영상과 우영상 간의 밝기차가 발생할 수 있다. 예를 들어, 각 카메라의 초점거리, 방향성, 상대적 위치, 조리개에 의해 입사되는 빛의 양 등의 미세한 차이 때문에 스테레오 영상 간의 밝기차가 발생한다^[12, 13]. 특히 자연 영상의 경우, 사람이 미리 각 카메라의 조건을 일치시켰다 하더라도 이런 밝기차는 항상 발생할 수 있다. 밝기차가 있는 스테레오 영상에서의 양안차 추정은 전혀 다른 대응점을 찾는 경우를 초래할 수 있다. 이는 3차원 정보의 핵심 요소가 되는 양안차 벡터를 잘못 찾게 되는데, 이것은 스테레오 동영상 압축 효율을 감소시킬 뿐만 아니라, 3차원 영상으로 투영하였을 때 사람의 눈을 피로하게 할 수 있다. 따라서 두 대응점 간의 화소의 밝기차로부터 양안차 추정 전에 적절한 좌, 우영상 간의 밝기차 보상처리는 스테레오 영상의 압축에 있어 중요한 요소가 된다^[14].

본 논문은 밝기차가 존재하는 스테레오 영상에서 부정확한 양안차 벡터 추정의 문제점을 해결하기 위하여 미리 전처리 과정을 통하여 좌영상과 우영상의 밝기차를 보상하는 방법을 제안한다. 이런 밝기차 보상 방법을 이용하여 스테레오 영상의 압축 효율을 높이고 비트율을 줄일 수 있다.

II. 스테레오 영상 압축

스테레오 영상의 압축에는 일반적으로 그림 2와 같은 방법으로 여러 가지 형태로 압축을 수행할 수 있다^[15]. 여기서 P는 P-picture(predictive picture)를, P_t는 시간적(temporal) 예측(Prediction)을, 그리고 P_s는 양안차 벡터를 이용하여 좌영상을 참조하는 공간적(spatial) 예측을 나타낸다. 그림 2 (a)의 독립 부호화 방식은 좌영상과 우영상을 독립적으로 부호화하기 때문

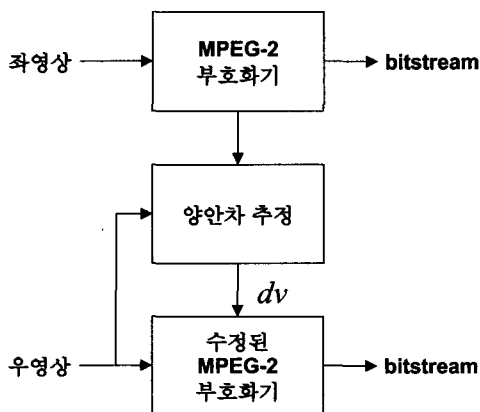


그림 1. 간략화된 MPEG-2 MVP 블록도
Fig. 1. Simplified MPEG-2 MVP block diagram.

에 부호화기 구조가 간단하지만, 좌우영상 간에 존재하는 공간적 중복성을 이용하지 않기 때문에 다른 방식에 비해 압축 효율이 떨어진다. 그림 2 (b)와 (c)는 호환형 부호화 방식으로 (b)는 우영상을 부호화할 때 좌, 우영상 간의 공간적 중복성만을 이용하고, (c)는 시간적 중복성 또는 공간적 중복성을 같이 이용하는 방식이다. 이 두 가지 호환형 부호화 방식도 다음에 설명할 접합형 부호화 방식에 비하여 비교적 구조는 간단하지만 압축 효율은 떨어진다.

그림 2 (d)는 접합형 부호화 방식으로 스테레오 영상을 압축하는데 일반적으로 많이 쓰이는 구조이다. 좌영상은 기준영상으로 기저 계위(base layer)에서 일반적인 영상 압축 방법을 이용하여 압축을 수행하고, 우영상은 enhancement layer에서 시간적, 공간적 중복성을 이용하여 압축을 수행한다. MPEG-2의 MVP(multi-view profile)가 바로 이 접합형 구조에 해당된다. MPEG-2 MVP 부호화기로 스테레오 영상의 우영상을 B-picture (Bi-predictive picture)로 부호화할 경우, 이전 우영상과, 동일 시간대의 좌영상을 참조 프레임으로 사용한다. 이때 현재 우영상의 매크로블록의 부호화 타입은, 바로 이전 우영상을 참조할 경우에는 "FORWARD", 현재의 양안차 벡터를 이용하여 좌영상을 참조할 경우에는 "BACKWARD", 이전 우영상과 현재 좌영상을 모두 참조할 경우에는 "INTERPOLATION"으로 할당된다^[6]. 또한 "INTRA"의 부호화 타입을 가질 수도 있다. 본 논문에서 사용하는 스테레오 영상압축기는 MPEG-2 MVP 부호화기이며, 제안한 좌우 영상 간의 밝기차 보상을 압축 전의 전처리 과정으로 사용한다.

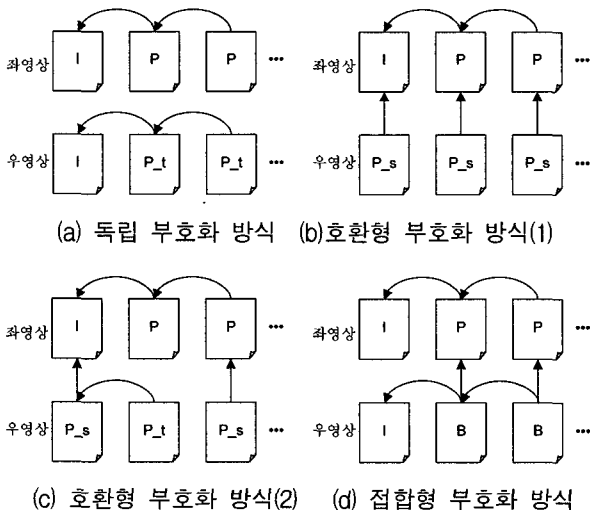


그림 2. 다양한 스테레오 영상 압축 방식^[15]
 Fig. 2. Various compression methods of stereo images^[15].

III. 제안하는 밝기차 보상 알고리즘

그림 3은 스테레오 동영상 복, 부호화기의 전체 시스템을 보여 준다. 스테레오 부호화기는 SAD(Sum of Absolute Difference)를 기반으로 하는 양안차 추정을 포함한다. 양안차 벡터를 찾기 위해서, 식 (1)과 같이 우영상의 한 블록에 대하여 좌영상의 탐색영역 내의 블록 간의 SAD를 구한다. 여기서 M과 N은 블록의 행과 열의 크기를, 그리고 x, y 는 화소위치를 나타낸다. 또한 $f_L(x, y)$ 및 $f_R(x, y)$ 는 각각 좌영상 및 우영상의 (x, y) 위치에서의 화소값이다.

$$SAD(dx, dy) = \sum_{i=x}^{x+M-1} \sum_{j=y}^{y+N-1} |f_L(i, j) - f_R(i+dx, j+dy)| \quad (1)$$

앞에서 언급한 것과 같이 카메라의 조리개, CCD의 민감도 등과 같이 일치하지 않는 카메라의 특성 때문에 좌영상과 우영상 간의 밝기차가 있는 스테레오 영상의 좌영상과 우영상의 밝기차가 발생할 수 있다. 그림 4는

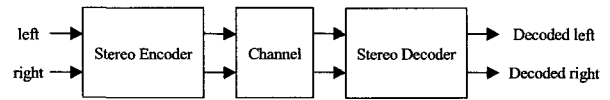
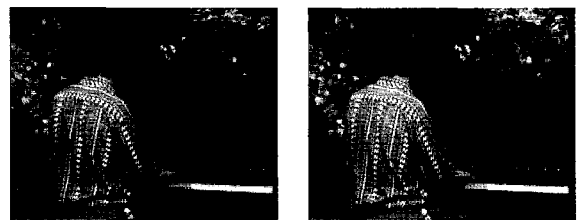
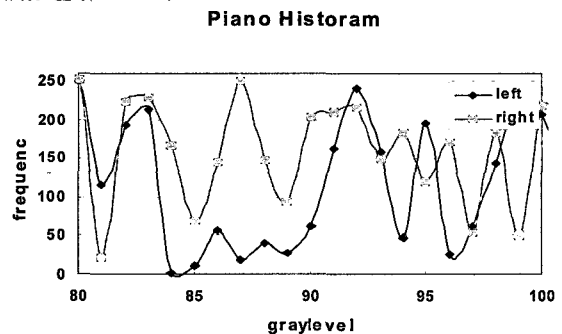


그림 3. 스테레오 영상 복, 부호화기
 Fig. 3. Encoder and decoder of stereo images.



(a) 좌영상(평균 화소값=79.71) (b) 우영상(평균 화소값=70.90)



(c) 좌, 우영상의 히스토그램

그림 4. 밝기차가 있는 스테레오 영상 예
 Fig. 4. Example of stereo images having slightly different intensity.

예를 보여 준다. 그림 4에서 피아노 영상의 좌영상 화소들의 평균값은 79.71이고, 우영상 화소들의 평균값은 70.90으로 약 9 정도의 밝기차를 보이고 있다. 또한 그림 4 (c)와 같이 좌영상과 우영상의 히스토그램이 서로 다름을 알 수 있다.

이런 스테레오 영상의 경우, 전처리 과정으로서 밝기차 보상을 하지 않은 채 양안차 추정을 수행한다면, 부정확한 양안차 벡터를 추정을 하게 되고, 이것은 다시 스테레오 영상의 압축 효율을 감소시키는 요인이 된다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 밝기차 보상 방법이 적용되어야 한다. 다음으로 밝기차가 존재하는 스테레오 영상을 효율적으로 압축하기 위한 다음의 밝기차 보상방법을 제안한다.

1. 전역 밝기차 보상

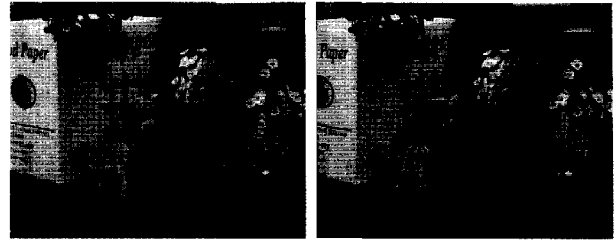
(Global Intensity Compensation)

전역 밝기차 보상 방법은 가장 간단한 밝기차 보상 방법으로 좌우 스테레오 pair간의 평균 화소값을 일치하도록 하는 방법이다. 이때, 좌우영상 양쪽 끝의 일부 분은 가려짐(occlusion) 영역이 될 수 있으므로 이 부분을 제외한 나머지 영역의 평균 화소값을 각각 구한다. 만약 두 영상의 평균 화소값의 차이가 0이 아니면 두 영상 간의 밝기차가 있는 것으로 간주하여 두 영상의 평균 화소값이 일치하도록 각 영상의 모든 화소에 일정한 값을 더하여 준다. 예를 들어 그림 4의 Piano 영상과 같이 좌영상의 평균 화소값은 약 80이고, 우영상의 평균 화소값은 약 71이므로 우영상의 모든 화소에 9를 더하여 준다.

그림 6은 전역 밝기차 보상 방법의 성능을 알아보기 위해 그림5의 Puppy 영상과 같이 좌영상과 우영상의 밝기차가 거의 없는 스테레오 영상들에 대해 의도적으로 우영상의 모든 화소값에 -25에서 25까지 더하여 만들어진 51가지의 스테레오 영상들을 동일 압축률로 MPEG-2 MVP 부화기로 압축하였을 때 얻어지는 PSNR을 보여준다.

이렇게 임의로 밝기차를 발생시킨 스테레오 실험영상은 모두 720x480 크기로 한 프레임 내에 1350개의 매크로블록을 가진다. 총 30 프레임에 대하여 약 4Mbps로 압축을 수행하였다 (GOP size=30; GOP 구조: IPBBBB). 그림 6에서는 우영상의 B-picture만의 PSNR을 보여준다. 좌우 영상간의 밝기차가 있는 경우, 압축 효율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 스테레오 압축의 특징상 움직임 보상뿐만 아니라 양안차 보상의 효

과적 사용이 중요하기 때문에 밝기차에 따른 양안차 보상이용 횟수의 변화를 알 수 있도록 표 1의 분석을 살펴본다.



(a) 좌영상 (b) 우영상

그림 5. Puppy 스테레오 영상
Fig. 5. Puppy stereo images.

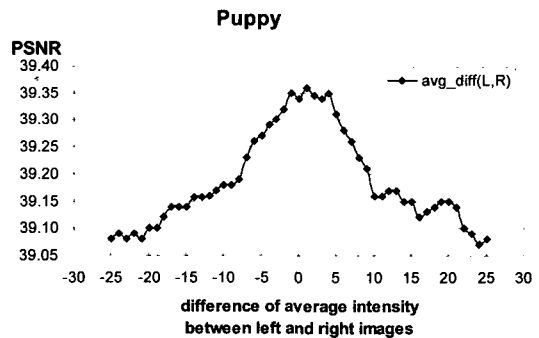


그림 6. 밝기차에 따른Puppy영상의 PSNR
Fig. 6. PSNR of Puppy stereo images according to intensity differences.

표 1. 밝기차에 따른 MB 타입 변화 (우영상의 B-picture)

Table 1. MB types according to intensity differences (B-picture of right image).

우영상에 더한값	intra	forward	backward	interpolation
-16	3.32(0.25)	1343.28(99.50)	0.08(0.01)	3.32(0.25)
-12	3.08(0.23)	1341.52(99.37)	0.20(0.01)	5.20(0.39)
-8	2.84(0.21)	1326.40(98.25)	0.24(0.02)	20.52(1.52)
-4	3.20(0.24)	1262.72(93.53)	13.56(1.00)	70.52(5.22)
0	2.40(0.18)	1227.80(90.95)	2.92(0.22)	116.88(8.66)
4	3.16(0.23)	1334.08(98.82)	0.76(0.06)	12.00(0.89)
8	2.92(0.22)	1340.32(99.28)	0.52(0.04)	6.24(0.46)
12	3.24(0.24)	1343.32(99.51)	0.16(0.01)	3.28(0.24)
16	3.40(0.25)	1343.84(99.54)	0.12(0.01)	2.64(0.20)

표 1은 위 실험 조건하에서 B-picture들의 매크로블록이 갖는 MB 타입의 30 프레임에 대한 평균통계를 보여 주고 있다. 괄호 안은 1350개의 매크로블록 당 각 해당 타입의 비율을 퍼센트로 나타내었다.

한편, MPEG-2 MVP 부호화시, B-picture의 우영상의 한 블록에 대한 예측블록으로, 움직임 추정에 의한 예측블록(FORWARD), 양안차 추정에 의한 예측블록(BACKWARD), 앞의 두 블록을 평균하여 얻은 예측블록(INTERPOLATION)을 이용하여 이들 중 오차가 최소인 블록을 선택하도록 하였다. 그림 6에서 두 영상간의 밝기차에 따른 PSNR의 변화는 크게 나타나지 않지만, 위의 표 1에서는 밝기차가 심할수록 시간적 중복성을 이용하는 "FORWARD"의 MB 타입의 발생 횟수가 증가함을 알 수 있다. 다시 말해서, 스테레오 영상의 좌영상과 우영상의 밝기차가 많이 나타날수록 양안차 추정으로 얻어진 예측 블록을 이용하지 않는다고 볼 수 있다. 결국 그림 6과 표 1에서 알 수 있듯이 밝기차가 존재하는 스테레오 영상의 경우 PSNR의 감소 뿐만 아니라 양안차 보상을 이용하는 횟수가 줄어 들게 되어, 스테레오 영상의 특징인 공간적 중복성을 이용하지 않아 압축효율이 떨어짐을 알 수 있다.

2. 국부 지역 밝기차 보상

(Local Intensity Compensation)

밝기차를 보상할 때 조금 더 세밀한 영역으로 보상하기 위하여 영상을 일정영역으로 나누어 수행할 수 있다. 예를 들어, 우영상을 8x8 또는 16x16 블록으로 분할한 뒤 우영상의 한 블록에 대응되는 좌영상의 대응 블록을 찾아내어 두 블록간의 밝기차 보상을 수행할 수 있다. 이때 스테레오 영상 pair 내 두 개의 대응 블록을 찾기 위해서 빠른 양안차 추정을 수행한다. 우영상의 한 블록 내의 (x,y) 위치에서의 화소값을 f(x,y), 좌영상에서 대응 블록 내의 대응 화소값을 g(x,y) 라 하면, 두 대응 블록 간의 MSE (Mean Square Error)는 식 (2)와 같이 정의 된다. N은 보상을 위해 사용하는 블록의 크기이다.

$$MSE = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \{f(x,y) - g(x,y)\}^2 \quad (2)$$

$$MSE' = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \{af(x,y) + b - g(x,y)\}^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial MSE'}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial MSE'}{\partial b} = 0 \quad (4)$$

$$a = \frac{\frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x,y)g(x,y) - \left(\frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x,y)\right) \left(\frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N g(x,y)\right)}{\frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \{f(x,y)\}^2 - \left(\frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N g(x,y)\right)^2}$$

$$b = \frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N g(x,y) - a \frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x,y) \quad (5)$$

이때 우영상 블록의 화소값을 보상하며, 그 보상된 화소값을 f'(x,y) = af(x,y) + b 라 하면, 보상된 화소값으로 이루어진 새 우영상의 블록과 좌영상의 대응 블록간의 새로운 MSE는 다음과 같이 계산할 수 있다.

여기서 식 (3)을 최소화하는 변수 a와 b를 찾기 위해서 식 (3)의 양변에 변수 a와 b에 대하여 편미분을 적용하면 다음 식을 얻을 수 있다.

식 (4)로부터 변수 a와 b를 구하면 다음 식 (5)와 같다. 마지막으로, 식 (5)로부터 얻은 변수 a와 b를 이용하여 밝기차를 보상한 우영상 블록의 화소값을 구할 수 있다.

한편, 국부 지역 보상의 블록 크기 N에 따라 보상 효과에 큰 변화가 있는지 살펴보기 위해 2x2, 4x4, 8x8, 16x16과 같은 다양한 블록 크기를 갖는 경우에 대하여 국부 지역 보상 방법을 수행하였다. 즉 밝기차가 어느 정도 있는 스테레오 영상에서 위의 각 블록 크기로 우영상의 한 블록에 대하여 좌영상에서 해당 블록을 찾는다. 예를 들어 현재 우영상의 4x4 블록에 대하여 이 블록에 대응되는 블록을 좌영상에서 찾는다.

이렇게 대응되는 좌영상과 우영상의 두 블록을 식 (5)를 이용하여 두 블록 간의 오차를 최소화하도록 하는 두 변수 a와 b를 구하여 우영상 블록에 대한 예측치 f'(x,y) = af(x,y) + b 를 구한다. 우영상에 대한 밝기 보상은 전처리 과정으로 수행되기 때문에 두 변수 a와 b를 복호화기에 전송할 필요는 없다. 즉, 전처리 후 밝기차 보상이 된 스테레오 좌우 영상을 압축하여 전송하고 복호화기는 이를 복호화하여 밝기차 보상이 된 스테레오 좌우 영상을 재생한다. 이는 재생된 스테레오 pair를 사람이 볼 때 좌우영상 간의 밝기차가 없어 시각적 부자연스러움을 없애고 또한 이를 통한 피로를 줄일 수도 있는 장점이 있다.

그림 7에서 Manage와 Train 영상 모두 블록의 크기

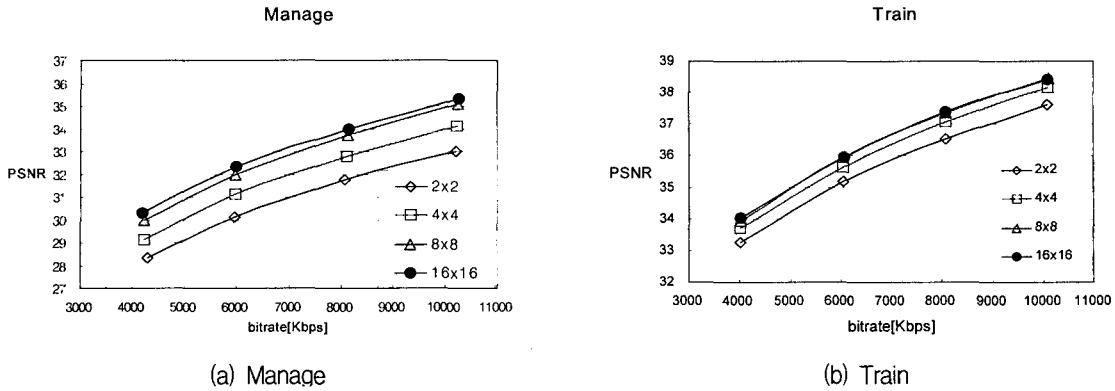


그림 7. 국부 지역 밝기차 보상 성능 분석
 Fig. 7. Performance of local intensity compensation.



그림 8. 국부 지역 보상 방법의 블록 크기에 따른 블록화 현상
 Fig. 8. Blocking artifacts of various block sizes in local intensity compensation.

가 클수록 PSNR이 증가하는 결과를 보이고 있다. 하지만 그림 8에서 알 수 있듯이 블록의 크기가 너무 크게 되면 블록 경계면에서 블록화 현상이 두드러지게 나타났다. 또 한가지 주의할 점은 블록의 크기가 너무 작으면 블록화 현상은 줄어들지만 양안차 벡터의 추정 시 너무 많은 대응 블록들이 발생하여 정확하지 않은 양안차 벡터를 찾을 경우가 발생하였다. 따라서 국부 지역

보상을 위해서는 성능과 화질 측면에서 적당한 블록 크기의 결정이 중요하다. 이를 결정하기 위한 모의실험에서는 4x4 블록 크기가 가장 적합한 것으로 나타났다. 밝기차가 있는 스테레오 영상에서 보다 정확한 양안차 벡터의 추정을 위하여 밝기차 보상 방법으로 전역 보상과 국부 지역 보상의 두 방법 모두 각각의 장단점을 갖는다. 전역 보상 방법의 경우 구현은 간단하지만 PSNR

의 개선이 거의 없다. 반면에, 국부 지역 보상 방법의 경우는 블록 크기에 따라 성능과 블록화 현상이 반비례하여 나타나므로 블록 크기의 결정이 중요하다.

한편, 밝기차 보상 성능을 향상시키기 위해 이 방법을 개별적으로 적용하는 것보다 이 두 가지 방법을 조화시킬 수 있다. 예를 들어 스테레오 영상의 밝기차가 조리개의 영향에 의하여 발생하였다면, 영상의 중심부분과 외곽부분으로 나누어 밝기차 보상 방법을 적용하는 것이 더 효율적일 것이다. 또한 평균 밝기차의 크기가 큰 경우에는 국부 지역 보상 방법은 오히려 잘못된 대응 블록의 쌍을 얻을 수 있다. 이런 경우에는 영상 전체적인 지역에서 어느 정도 밝기차를 줄인 다음, 국부 지역 보상 방법을 적용하는 것이 더 효율적이다.

또한 국부지역 보상 방법에서 식 (5)의 변수 a 와 b 의 값에 따라서 블록 내의 화소값이 급격하게 변할 수 있으므로, 잡음에 대한 강인성 그리고 시스템의 안정성 면에서 그 범위를 제한하는 것이 필요하다. 예를 들어, 변수 a 의 값이 잡음 때문에 1보다 너무 큰 값으로 결정된다면, 보상된 블록의 화소들은 대부분 255에 가깝거나 이보다 큰 값으로 되어 Clipping되는 부작용이 발생하여 시스템의 안정성에 영향을 미칠 것이다.

같은 이유로 a 의 값이 1보다 너무 작아지는 것도 문제이다. 이를 방지하기 위하여 다음의 범위 제안을 하는 것이 바람직하다. 여기서 THD (threshold)의 값을 0.2로 설정하였다.

bounded :

$$\begin{aligned}
 a < 1 - THD & , \text{ then } a + 1 - THD \\
 1 - THD \leq a \leq 1 + THD & , \text{ then } a \\
 1 + THD \leq a & , \text{ then } a = 1 + THD
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

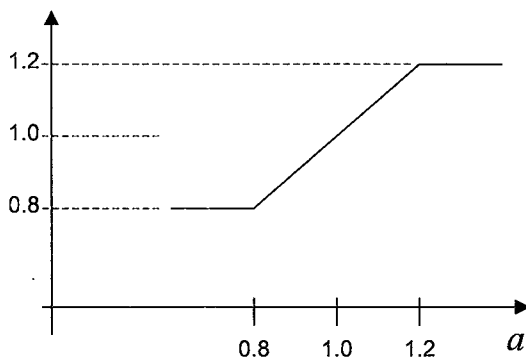


그림 9. 변수 a 의 제한
Fig. 9. Restriction of parameter "a".

3. 계층적 밝기차 보상 (Proposed Hierarchical Intensity Compensation)

제안하는 3번째 방법으로 전역 밝기차 보상 방법과 국부 지역 밝기차 보상 방법을 같이 이용하여 보다 정확한 양안차 벡터를 찾을 수 있도록 하는 계층적 밝기차 보상 방법에 대하여 살펴본다. 그림 10은 제안하는 계층적 밝기차 보상 알고리즘에 대한 블록도를 보여 준다. 이는 먼저 전역보상을 수행하여 좌, 우영상 간의 평균 밝기차를 어느 정도 먼저 제거한 다음, 국부 지역에서의 밝기차를 제거하는 것이다.

이를 위하여 스테레오 영상이 입력되면 좌영상과 우영상을 각각 그림 11과 같이 내부영역과 외부영역으로 나누어 평균 밝기 값을 각각 계산한다. 각 대응 영역의 평균화소값의 차이가 서로 다르면, 좌영상과 우영상 간의 전역 밝기차 방법을 적용할 때 내부영역과 외부영역으로 구분하여 각각 수행한다. 이것은 두 카메라의 조리개에 의한 영향을 효과적으로 고려하기 위함이다. 그 다음으로 그림 12 (b)의 16-영역 밝기차 보상을 한 후 국부지역 밝기차 보상방법을 적용한다.

만약 스테레오 영상의 내부 영역 간의 평균 밝기차와 외부 영역 간의 평균 밝기차가 같다면, 좌영상과 우영상을 그림 12와 같이 전체지역 밝기 보상과 4-영역 밝기 보상, 그리고 16-영역 밝기보상 등 점진적으로 보상 영역의 크기를 줄여 가면서 밝기차 보상을 수행한다.

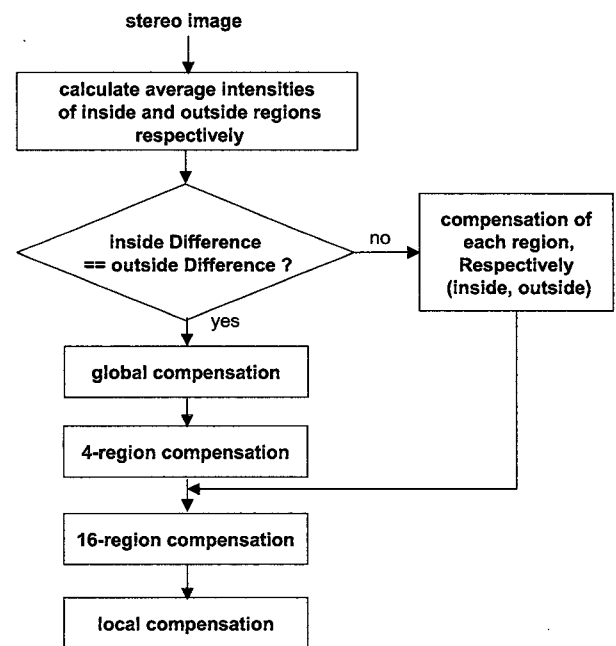


그림 10. 제안하는 계층적 밝기 보상 블록도
Fig. 10. Block diagram of proposed hierarchical intensity compensation.

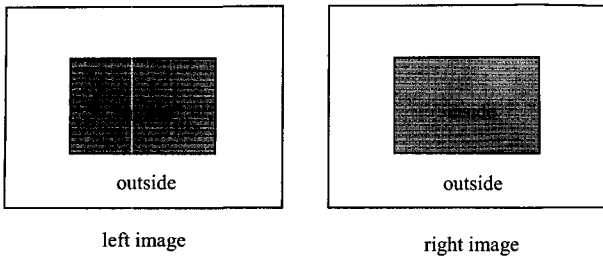
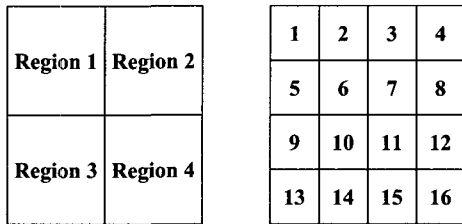


그림 11. 스테레오 영상의 내부와 외부 영역 분할
Fig. 11. Division of inside and outside regions of stereo images.



(a) 4-영역 분할 (b) 16-영역 분할

그림 12. 영상의 영역 분할
Fig. 12. Division of image into several local regions.

마지막으로 국부 지역 밝기차 보상을 수행한다. 4-영역 밝기차 보상은 좌, 우영상을 각각 4개의 영역으로 분할하여 각 대응영역의 평균 밝기차를 보상하는 방법이다. 같은 방법으로 16-영역 밝기차 보상은 좌, 우영상을 각각 16개의 영역으로 분할하여 적용한다. 이 두 방법은 좌, 우영상 간의 밝기차가 지역적으로 발생할 수 있는 경우를 고려한 것이다.

사전 모의실험 결과 제안하는 계층적 밝기차 보상 방법은 전역 보상 방법 또는 국부 지역 보상 방법을 개별적으로 이용하는 것보다 더 효율적이다. 즉 계층적 보상 방법은 전역 보상 방법의 안정성과 국부 지역방법의 성능 향상을 조합함으로써 양안차 벡터의 추정 정확성을 더 높이고 이에 따라 잉여 데이터를 줄임으로써 압축의 효율을 얻을 수 있다.

IV. 실험결과

1. 실험조건

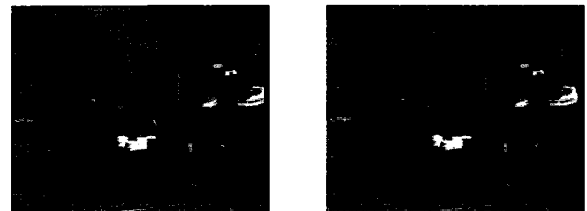
제안한 계층적 밝기차 보상 방법들의 실효성을 알아보기 위해 제안한 전처리 과정을 수행한 후, 스테레오 동영상 압축에 많이 쓰이는 MPEG-2 MVP로 부호화하여 압축효율의 증가 정도를 측정하였다. 표 2는 실험에 적용된 스테레오 동영상의 실험 조건을 나타낸다.

그림 13은 실험에서 사용된 스테레오 영상의 좌영상

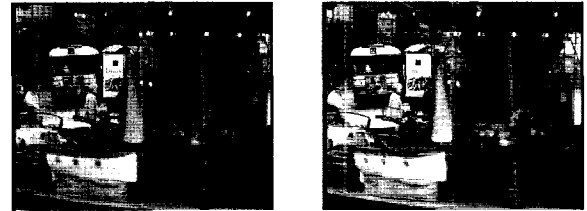
표 2. 실험조건

Table 2. Experimental conditions.

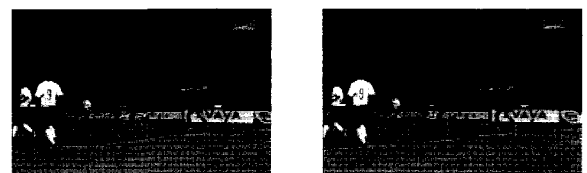
Stereo sequences	Train	Piano	Manage	Soccer
number of frames	10	30	6	30
frame size	720x576	720x576	720x576	720x480
average value of left frame	69	79	90	79
average value of right frame	72	70	103	80
Avg.(L) - Avg (R)	-3	9	-13	-1
target bitrate	4, 6, 8, 10 [Mbps]			
coding option used	Profile ID: Multiview Chroma_format: 4:2:0 focal length: 40mm			
codec	MPEG-2 MVP encoder			



(a) Train



(b) Manage



(c) Soccer

그림 13. 실험영상

Fig. 13. Test sequences.

과 우영상의 원영상을 보여주고 있다. 이 중 Train 영상과 Soccer 영상은 좌우 영상 간의 밝기차가 각각 3과 1로 밝기차가 거의 없거나 미소하게 나타나는 영상인 반면, 그림 4의 Piano 영상과 그림13의 Manage 영상은 좌우 영상간의 밝기차가 각각 9와 13으로써, 밝기차가 다소 큰 영상이다.

표 2에서 Train, Manage, Piano 영상은 720x576 크기를 갖고, Soccer영상은 720x480 크기를 갖는다. 실험을 위하여 각 스테레오 영상을 4, 6, 8, 10Mbps로 각각 부호화 하였다.

또한 제안한 세 가지 방법의 밝기차 보상의 성능을 알아보기 위하여 좌영상과 우영상 간의 밝기차를 전혀 보상하지 않은 경우(None), 전역 밝기 보상만 수행한 경우(Global), 국부 지역 밝기 보상만 수행한 경우(Local), 그리고 두 방법을 계층화하여 적용한 경우(Hierarchical G+L)로 구분하여 실험을 하였다.

식 (5)를 이용한 국부 지역 밝기 보상 시 좌영상과 우영상의 두 대응 블록에 따라 변수 a 값이 다양하게 나타날 수 있는데, a 의 값을 1보다 너무 크거나 작지 않도록 제한하는 것이 안정성 측면에서 중요하다. 이를 위해 그림 9와 같은 제한 방법을 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 표 3의 "bounded"는 그림 9의 제한 방법(bounded)의 적용을 의미한다. 표 3에서 " $a=1$ "은 변수 a 에 강제적으로 1을 할당하는 것을 의미한다. 표 3에서 전역 밝기 보상(Global)의 경우 Train, Piano, Manage, Soccer 영상 모두 PSNR 측면에서 큰 효과를 보지 못하였다. 전역 밝기 보상으로 Train, Piano, Manage 영상은 약 0.05~0.1dB의 PSNR 상승을 보였지만, Soccer 영상의 경우 오히려 0.05dB가 떨어졌다. 하지만 전역 밝기 보상은 Soccer 영상처럼 밝기차가 거의 나지 않는 영상과는 달리, 스테레오 영상의 좌우 영상 간의 밝기차가 어느 정도 발생할 경우 (예를 들어 Piano나 Manage 영상), 전역 밝기 보상을 수행해 줌으로써 다소 PSNR 상승을 가져옴을 알 수 있다. 또한 이런 압축의 효율 측면 이외에도 국부 지역 밝기 보상의 수행에 앞서 전역 밝기 보상을 통하여 좌영상과 우영상의 평균 밝기 보상을 수행해 줌으로써 좌영상과 우영상의 대응 블록을 잘못 찾는 것을 방지하는 역할을 한다. 표 3에서 국부 지역 밝기 보상(Local), 전역 밝기 보상 후 국부 지역 밝기 보상(G+L)과 계층적 밝기 보상(Hierarchical G+L)의 결과를 살펴보면, 세 방법 모두 국부 지역 밝기 보상 방법을 포함하는데, 현저한 PSNR의 상승이 나타남을 알 수 있다. Manage 영상의 경우 국부 지역 밝기 보상과 계층적 밝기 보상 방법으로 약 2dB 이상의 PSNR 상승을 가져옴을 알 수 있다. 이는 국부 지역으로 보상을 수행하였을 경우 PSNR 측면에서 두드러진 성능 향상을 얻을 수 있음을 보여준다.

표 3에서 국부 지역 방법 및 계층적 방법 중 "any a ", " $a=1$ ", "bounded"는 각각 변수 a 의 범위제한 없는 경우, a 를 강제로 1로 하는 경우, a 값 중 1 근처 이외의 값을 제한하는 경우를 나타낸다. 표 3에서 특이할 만한 것은 " $a=1$ "로 강제로 두는 경우는 각 대응 블록 별 평

표 3. 밝기차 보상 방법별 성능 분석

Table 3. Performance of several intensity compensation.

(a) Simulated with MPEG-2 MVP (10Mbps) [dB]

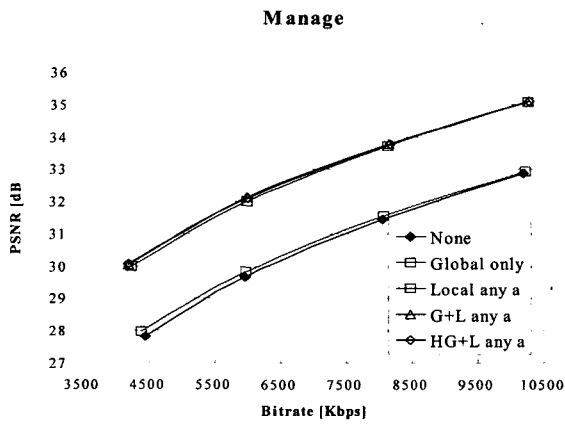
sequence		Train	Piano	Manage	Soccer
None		36.24	38.76	32.87	42.74
Global Only		36.36	38.85	32.93	42.69
Local	any a	36.93	38.93	35.08	42.81
	$a=1$	36.07	38.49	32.77	42.67
	bounded	36.54	38.62	34.05	42.76
G+L	any a	36.87	38.95	35.08	42.83
	$a=1$	36.06	38.73	32.92	42.65
	bounded	36.80	38.67	34.23	42.75
Hierarchical G+L	any a	37.17	38.98	35.11	42.84
	$a=1$	36.34	38.72	32.93	42.65
	bounded	36.81	38.66	34.26	42.77

(b) Simulated with MPEG-2 MVP (4Mbps) [dB]

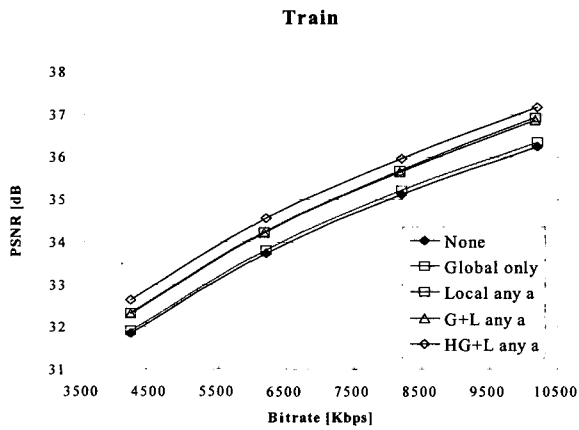
sequence		Train	Piano	Manage	Soccer
None		31.85	35.45	27.83	38.14
Global Only		31.90	35.72	27.98	38.09
Local	any a	32.32	34.38	29.98	38.11
	$a=1$	31.53	34.76	27.83	38.05
	bounded	32.00	34.59	29.03	38.12
G+L	any a	32.31	34.87	30.05	38.18
	$a=1$	31.55	35.30	28.01	38.05
	bounded	32.30	34.88	29.24	38.15
Hierarchical G+L	any a	32.63	34.84	30.08	38.16
	$a=1$	31.88	35.26	28.02	38.07
	bounded	32.34	34.85	29.28	38.15

균 밝기차를 보상하는 것과 같다. 하지만 이 경우 약 0.03dB에서 0.27dB 정도 PSNR이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 15에서도 알 수 있듯이, 변수 a 의 범위를 제한하지 않는 경우가 가장 높은 PSNR을 얻을 수 있었다. 반면에 a 의 값이 1보다 훨씬 큰 값을 갖거나 0에 가까운 값을 가질 경우에는 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 너무 큰 값을 가질 경우 블록에 곱하여지는 계수부분이 증가하여 화소값의 변화폭이 커지게 될 수 있다. 따라서 비록 국부 지역 밝기 보상, 전역 밝기 보상 후 국부 지역 밝기 보상과 계층적 밝기 보상에서 "bounded" 방법이 "any a " 방법보다 절반 정도의 PSNR 효율을 얻지만, 안정성을 고려할 때 변수 a 의 범위를 적절하게 제한하는 방법이 효과적이라 볼 수 있다.

결론적으로 표 3과 그림 14에서 보이는 것과 같이 제안한 계층적 밝기차 보상 방법은 다른 전역 방법 또는 국부 지역 방법을 개별적으로 적용하는 것보다 비트율과 PSNR에서 더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.



(a) Manage

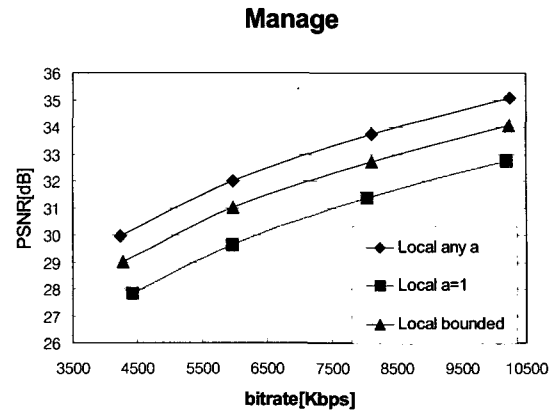


(b) Train

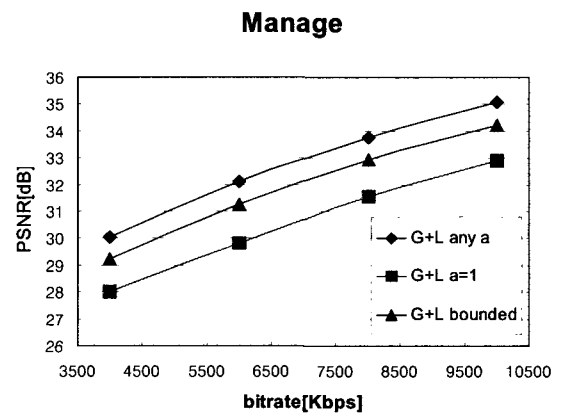
그림 14. 밝기차 보상 방법 별 PSNR vs. Bitrate
Fig. 14. PSNR vs. Bitrate of several intensity compensation.

여기서 국부 지역 보상을 위한 블록 크기는 8x8을 이용하였다. Manage 영상의 경우 좌영상과 우영상의 평균 밝기차는 약 13으로 양안차 추정에 있어 부정확한 양안차 벡터를 얻을 수 있다.

표 3의 경우 밝기차 보상을 하지 않은 경우와 계층적 밝기 보상 방법을 적용한 경우를 비교하면 무려 2.25dB가 향상되었다. 그림 14에서 Manage 영상과 Train 영상 모두에서 국부적으로 밝기차 보상을 수행하였을 경우 스테레오 영상의 압축효율이 두드러지게 향상되었다. 또한 그림 14의 그래프 상에서 전역 밝기 보상의 효율 향상은 현저하게 증가하지는 않았지만 국부 지역을 바로 적용할 경우보다 전역 밝기차 보상을 먼저 수행함으로써 국부지역 밝기차 보상 수행시 양안차 추정 벡터의 정확성을 조금 더 안정화 시킨다고 볼 수 있다.



(a) 국부 지역 보상 방법의 경우



(b) 전역 및 국부 지역 보상 방법의 경우

그림 15. 변수 a의 제한에 따른 성능
Fig. 15. Performance according to restriction of parameter "a".

V. 결 론

본 논문은 스테레오 동영상 압축 효율을 높이기 위한 전처리로 밝기차 보상방법을 제안하였다. 스테레오 영상의 특성상 좌영상과 우영상의 밝기차가 발생하였을 경우, 앞서 제안한 밝기차를 보상하는 전처리 과정을 수행함으로써 스테레오 영상 압축에 사용되는 양안차 추정 정확성을 높여 스테레오 영상 압축 효율을 높일 수 있었다. 본 논문의 밝기차 보상 실험에서는 8x8 블록 크기에 half-pel 단위의 부화소 정확도로 양안차 벡터 추정을 이용하였다. 스테레오 영상에서 양안차 추정은 일반적으로 화소의 밝기값에 의존을 하기 때문에 좌영상과 우영상의 밝기차가 존재하는 스테레오 영상을 아무런 처리 없이 양안차 벡터를 추정할 경우, 전혀 예기치 못한 블록을 대응 블록으로 찾아내는 경우가 발생

하였다. 이렇게 얻어진 부정확한 양안차 정보는 다시 3차원 깊이정보에 영향을 주게 되어 원하지 않는 전혀 다른 값을 얻을 수 있기 때문에 신중히 고려하여야 한다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 밝기차가 있는 스테레오 영상 간의 밝기 보상 방법을 제안하였다. 제안하는 방법으로 밝기차가 존재하는 스테레오 영상을 미리 보상을 해 줌으로써 이런 부정확한 양안차 벡터추정을 줄일 뿐 아니라, 예측 오차를 줄임으로써 스테레오 동영상의 압축 효율을 높일 수 있었다.

전역 밝기차 보상은 좌영상과 우영상의 전체적인 평균 밝기 화소값을 보상해 주는 간단한 방법이다. 좌영상과 우영상의 전체적인 평균 밝기를 보상해 줌으로써 얻는 영상 압축의 효율로서 객관적 화질의 지표인 PSNR 상승은 기대하기 어렵지만, 전역 밝기차 보상으로 우영상의 부호화시 양안차 벡터의 활용 빈도가 높아졌으며, 국부 지역 밝기차 보상의 선행처리로서 양안차 벡터 추정 정확도를 높일 수 있었다.

국부 지역 밝기차 보상방법은 스테레오 영상의 일부 분에서 발생할 수도 있기 때문에 실험결과와 그림 14와 표 3에서 알 수 있듯이 스테레오 영상 압축 효율 측면에서 현저한 성능 향상을 가져 왔다. 하지만 이 방법은 스테레오 영상간의 밝기차가 작다는 전제하에서 이루어졌으며, 좌영상과 우영상 간의 대응 블록을 먼저 찾아야 하는 문제점이 있다. 국부 지역 밝기차 보상을 할 경우 대응 블록을 찾고, 두 대응 블록간의 밝기 오차를 최소화하는 변수 a 와 b 를 찾아내는 것이 중요하다. 식 (5)로부터 얻어진 a 와 b 로 우영상의 블록을 국부 보상할 때 블록의 크기에 따라 각각 장단점이 있다. 즉, 그림 7과 그림 8에서 16x16과 같이 블록의 크기가 너무 크고 이웃한 블록 간의 변수 a 와 b 가 서로 차이가 많이 나면 블록 경계면에서 블록화 현상이 두드러지게 나타났다. 반대로 블록의 크기가 너무 작으면 블록화 현상은 줄어들지만 양안차 벡터 추정 시 너무 많은 대응 블록들이 발생하여 정확하지 않은 양안차 벡터를 찾을 경우가 있다. 따라서 국부지역 보상을 위해서는 성능과 화질 측면에서 적당한 블록 크기의 결정이 중요하다. 제안하는 밝기차 보상방법에서는 블록화 현상과 압축 효율 및 속도를 고려하여 8x8 블록 크기에 half-pel 단위의 부화소 정확도로 양안차 추정을 수행하였다.

밝기차가 있는 스테레오 영상에서 보다 정확한 양안차 벡터의 추정을 위하여 밝기차 보상 방법으로 전역보상 방법과 국부 지역보상 방법을 살펴보았다. 두 방법

모두 각각의 장단점을 가지는데, 전역 보상 방법의 경우 구현은 간단하지만 PSNR의 개선이 거의 없었고, 국부 지역 보상방법의 경우는 블록 크기에 따라 성능과 블록화 현상이 반비례하여 블록크기의 결정이 중요하였다. 또한 국부 지역 밝기 보상은 좌영상과 우영상 간의 평균 밝기차가 작을 경우로 한하였다. 따라서 위에 기술한 두 가지 방법의 장단점을 보완하는 방법으로 계층적 밝기차 보상을 제안하였다. 제안하는 계층적 밝기차 보상은 먼저 전역 밝기차 보상 방법으로 좌영상과 우영상의 전 영역에 걸쳐 대응 영역끼리 평균 화소값을 일치시킨 후, 각 국부 지역별 보상 방법을 적용함으로써 밝기차 보상의 효율을 높일 수 있었다. 본 논문에서 제안한 계층적 밝기차 보상 방법은 밝기차를 보상해 주지 않은 경우에 비해 대략 1~2dB 정도 화질 개선을 가져왔으며, 비트율은 약 9.35% 정도 줄일 수 있었다.

감사의 글

Puppy 영상과 Soccer 영상은 한국전자통신연구원으로부터 제공받아 실험을 하였습니다.

참고 문헌

- [1] L. McMillan and G. Bishop, "Head-Tracked stereoscopic display using image warping," SPIE Proc. 2409, pp.21-30, Feb. 1995.
- [2] O. Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision," the MIT Press, pp. 165-169, 1993.
- [3] B. K. Horn. "Robot Vision," the MIT Press, pp. 299-301, 1986.
- [4] Ping An, Zhaoyang Zhang, and Li Shi, "Theory and Experiment Analysis of Disparity for Stereoscopic image," Proc. Of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, pp. 68-71, May 2001.
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29WG11, "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio : Recommendation H.262," Doc. N0702, March 1994.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29WG11, "Proposed Draft Amendment No. 3 to 13818-2(Multi-view Profile)," Doc. N1088, Nov. 1995.
- [7] Jens-Rainer Ohm, "Stereo/Multiview Video Encoding Using the MPEG Family of Standards," Invited Paper, Electronic Imaging '99, San Diego, Jan. 1999.
- [8] Eric Chan, Sethuraman Panchanathan, "Review of Block Matching Based Motion Estimation Algorithms for Video Compression," IEEE

Electrical and Computer Engineering, 1993. Canadian Conference on, pp. 151-154, Vol.1, Sept. 1993.

[9] Won-Ho Kim, Jae-Young Ahn, Sung-Woong Ra, "An Efficient Disparity Estimation Algorithm for Stereoscopic Image Compression," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, pp. 165-172, May 1997.

[10] Chia-Wen Lin, Er-Yin Fei, Yung-Chang Chen, "Hierarchical disparity estimation using spatial correlation," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, August 1998.

[11] Chun-Jen Tsai, Aggelos K. Katsaggelos, "Dense Disparity Estimation with a Divide-and-Conquer Disparity Space Image Technique," IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 1, No. 1, Issue 1, pp. 18-29, Mar. 1999.

[12] K. Kamikura, H. Watanabe, H. Jozawa, H. Kotera and S. Ichinose, "Global Brightness-Variation Compensation for Video Coding," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. CSVT-8, No. 8, pp. 988-1000, Dec. 1998.

[13] Zhengyou Zhang, "Modeling geometric structure and illumination variation of a scene from real images," IEEE 6th International Conference on Computer Vision, pp. 1041-1046, Jan. 1998.

[14] Mohamaed Ben Slima, Janusz Konrad, and Andrzej Barwicz, "Improvement of Stereo Disparity Estimation Through Balanced Filtering: The Sliding-Block Approach," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 7, No. 6, Dec. 1997.

[15] Ho-Keun Lee and Yeong-Ho Ha, "변이 정보의 칼라채널별 은닉을 통한 스테레오 동영상 전송 기법," 전자공학회논문지, 제40권 SP편 제2호, pp.29-36, Mar. 2003.

저 자 소 개



전 영 탁(정회원)
 2002년 성균관대학교 전자공학과
 학사
 2004년 성균관대학교 전자공학과
 석사
 2004년 2월~현재 현대기아자동차
 남양연구소 근무 중
 <주관심분야 : 스테레오 영상 압축, MPEG>



전 병 우(정회원)
 1985년 서울대학교 전자공학과
 학사
 1987년 서울대학교 전자공학과
 석사
 1992년 Purdue Univ, School of
 Elec. 박사
 1993년~1997년 8월 삼성전자 신호처리연구소
 수석연구원
 1997년 9월~현재 성균관대학교 정보통신공학부
 부교수
 <주관심분야: 멀티미디어, 영상압축, 영상인식, 신
 호처리>