

특집논문-00-5-2-10

입체 카메라의 자동 초점 제어를 위한 웨이블릿 변환을 이용한 제어 변수 추출

엄기문*, 허남호*, 김형남*, 조진호*, 이진환*

Control Parameter Extraction using Wavelet Transform for Auto-Focus Control of Stereo Camera

Gi-Mun Um*, Nam-Ho Hur*, Hyoung-Nam Kim*, Jin-Ho Cho* and Jin-Hwan Lee*

요 약

본 논문에서는 입체 카메라의 자동 초점 제어에 필요한 제어 변수 추출 방법을 제안한다. 일반적으로 카메라로 획득한 입체 영상에서 관심 있는 피사체가 영상의 중심부에 있다고 가정을 한다. 이 경우에 획득된 영상에서 특정한 크기의 중심 영역에 대해서만 2D 웨이블릿 변환을 한다. 변환을 거친 신호 중에서 고역 성분(HH)에 대한 L1 Norm을 이용하여 필요한 초점제어 변수를 추출한다. 실험결과를 통해 제안된 방식이 기존의 DCT를 이용한 방식에 비해 입체카메라의 자동 초점 제어에 효과적으로 적용될 수 있음을 보인다.

Abstract

An efficient control parameter extraction scheme required for auto-focusing control of a stereo camera is proposed. Without loss of generality, it is assumed that an interesting object exists in the center of a captured image by a stereo camera. In such a case, we apply a 2-dimensional wavelet transform to the center area with specific image size in the captured image. Next, we extract required focus control parameters using an L1-norm for doubly high-pass filtered components. Experimental results show that the proposed scheme is effectively applicable to the auto-focusing for a stereo camera compared to the conventional control scheme using discrete cosine transform (DCT).

I. 서 론

19세기 중엽 물체 크기의 차이, 음영, 투시도 등 입체감을 느끼는 요인에 양안 시차의 효과를 부여하는 방법이 입체사진에 처음으로 시도된 이후 입체영화, 최근의 3DTV에 이르기까지 입체 영상에 대한 연구는 다양한 방면에서 이뤄져 왔다^[1].

특히 1980년대부터 필름을 매체로 한 입체 영화로부터

입체 텔레비전으로 연구 개발 방향이 이행되었는데, 이는 고선명 텔레비전 (HDTV) 기술의 발달로 HD 급 입체 영상이 35mm 입체 영화에 비해 손색없는 화질을 제공할 수 있을 것이라는 기대를 가지게 했다. 또한 방송이나 통신 분야에서의 본격적인 이용에 대한 고조와 오락, 교육, 의료 분야에서의 이용가치 재인식 등도 관심이 높아지는 계기가 되었다. 최근 일본은 98년 나가노 동계 올림픽을 3DTV로 중계 방송한 경험이 있고, 2002년 한·일 월드컵을 앞두고 국내외적으로 3차원 영상에 대한 관심이 높아지고 있다.

3DTV 중계를 위해서는 2대가 1조가 되는 여러 쌍의

* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 방송시스템연구부
Broadcasting System Technology Dept., Radio & Radio & Broadcasting
Technology Lab., ETRI

카메라와 CG (Character Generator)로 대표되는 촬영 및 생성부와 이를 기록하는 VCR이나 압축하여 전송하는 편집처리 및 전송부, VCR에 기록되거나 전송된 입체영상을 재생하여 모니터나 기타 디스플레이 시스템에 디스플레이 하여 편광안경 등으로 입체 영상을 시청하기 위한 디스플레이부가 필요하게 된다.

이 중 카메라는 디스플레이와 함께 입체영상 시스템의 성능을 결정짓는 가장 중요한 부분 시스템으로서 촬영 및 생성 부의 주체이다. 입체 영상 디스플레이를 위해서는 최소한 두 장 이상의 영상이 필요하며, 일반적으로 두 대 이상의 카메라를 이용하여 동시에 촬영하여 얻는다. 양안 입체카메라는 두 개의 카메라를 이용하여 좌우 영상으로 구성되는 입체 영상을 동시에 획득 가능한 장치를 말한다.

입체 카메라 장치로는 두 카메라의 배열 및 이동 방식에 따라 크게 평행축, 교차축, 그리고 수평 이동축 방식의 세 가지가 주로 사용되고 있다^[2].

먼저 평행축 방식은 두 카메라를 사람의 눈 간격과 비슷한 거리로 평행하게 고정시켜두고 영상을 획득하는 방식으로서 영상의 왜곡이 적다는 장점이 있으나, 좌우 카메라 영상 센서 사이의 거리가 고정되어 있어 주시각 제어 기능이 없으므로, 피사체와의 거리 변화에 따라 시차를 조절하는 주시각 제어 기능이 없다는 문제점이 있다.

교차축 방식에서는 피사체와의 거리 변화에 따라 영상 센서의 광축을 회전시켜 주시각 제어가 가능하도록 설계되었으며, 항상 피사체의 상이 좌우 영상센서의 중심에 맞히도록 카메라를 회전시켜 주시각을 조절한다. 이 방식은 입체 영상 재생 시 평행축 방식에 비해 주시각 제어가 쉽다는 장점 때문에 입체 영상 획득을 위해 많이 사용되고 있다.

수평이동축 방식은 렌즈를 영상 센서로부터 분리시킨 후 렌즈에 대해 영상센서가 수평 방향으로 평행하게 움직이도록 하여 주시각을 조절한다.

이러한 여러 종류의 입체 카메라로부터 얻은 영상에서 사람의 눈으로 보는 것과 같은 자연스러운 입체감을 느낄 수 있게 하기 위해서는, 양안시차(binocular parallax) 기능, 초점 제어기능, 주시각 제어 기능과 같은 인간의 시각 기능을 갖추어야 한다^{[3][4]}.

초점 제어 기능은 피사체의 원근에 따라 카메라의 초점을 맞추어 관측영상을 선명하게 보도록 하는 기능으로, 입체감을 느끼게 하는 데 있어 매우 중요하다. 입체 카메라에서 이러한 초점 제어를 구현하기 위해서는 적절한 제어 변수가 필요하며, 또 이를 효율적으로 구하는 방법이

요구된다.

본 논문에서는 이를 위하여 웨이블릿 변환으로부터 추출된 영상의 고역 성분을 이용한 카메라 초점 제어 알고리즘을 제안한다.

II. 입체 카메라 초점 제어 알고리즘

일반적으로 피사체를 정확한 초점으로 맞추기 위해서는 해당 피사체의 영상부분만을 기초로 하여 초점 맞추기 정보를 얻는 등 실제의 초점 맞추기 정보와 실제 초점 맞추기 상태의 상관성을 높이는 것이 필요하다.

기존의 카메라 초점 제어 알고리즘은 이산 역변환 (Discrete Cosine Transform: DCT) 처리 기법을 사용하고 있다^[5]. 이 알고리즘은 DCT 프로세서에 공급한 영상 데이터를 기초로, 주파수 변환된 DCT 계수의 고역성분 크기가 초점이 맞춰진 위치에서 최대가 되는 것을 이용한 것이다. 그리고, 초점 렌즈의 위치를 1단계씩 초점을 맞추는 방향으로 이동시켜 가고, 영상 데이터의 DCT 계수의 고역 성분 값이 단조 증가로부터 한 번 감소로 바뀌면, 이전의 위치를 최대 위치라 판단하고, 제어를 수행한다^{[5][6]}.

그러나, DCT를 이용한 카메라 초점제어 방법은 입력 영상 중에 약간의 잡음이나 표본화(sampling) 오차에 의한 고역성분의 증감에 의해 실제 초점 위치에 맞추지 않고 제어를 종료하는 경우가 있다. 이러한 경우 초점 조절의 정밀도가 저하되거나 초점 제어가 곤란한 경우가 발생하게 된다^{[5][6]}.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 카메라로부터 얻어진 영상에서 중심 부분의 일정 크기 영역만을 이산 웨이블릿 변환하고, 이로부터 얻어진 성분 중 고역 필터링을 2회 거친 성분 (HH 성분)의 절대값의 합을 초점 제어 변수로 이용하며, 관계식은 식 (1)과 같다.

$$S_{Y_{hh}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |Y_{hh}(i, j)| \quad (1)$$

여기서, M은 영역의 행 크기, N은 영역의 열 크기, $Y_{hh}(i, j)$ 는 1 단계 이산 웨이블릿 변환된 영상의 대각선 방향 성분, 즉 1차 2D 웨이블릿 변환을 거쳐 얻어진 성분 중 고역 성분(HH)이다.

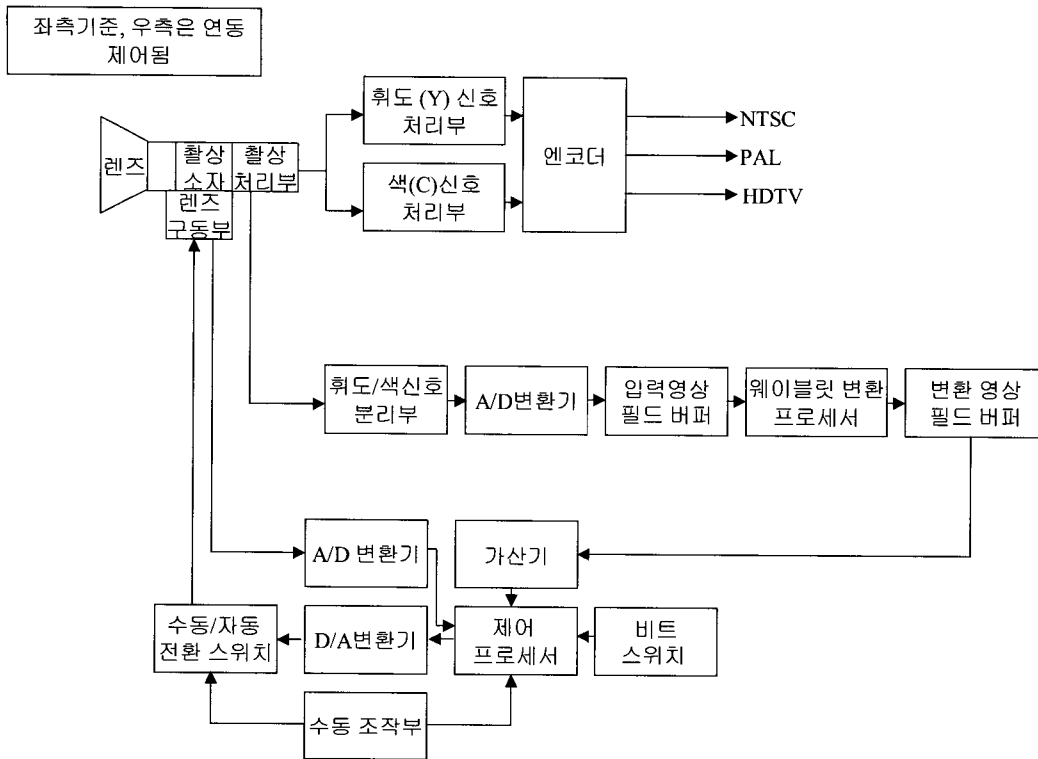


그림 1. 제안한 초점 제어 알고리즘을 이용한 입체 카메라 장치 구성도
 Fig. 1. Block diagram of stereo camera system using a proposed focus control algorithm

제안한 알고리즘은 영역 전체에 대해 동시에 고역 성분을 추출함으로써 여러 개의 8×8 또는 16×16 구역 (block)으로 나누어 고역 성분을 추출하는 DCT에 의한 방법에 비해, 보다 영상의 전역적 (global) 특성을 잘 나타낼 수 있으며, 또한 2회의 고역 필터링을 거친 성분을 이용함으로써 더 정밀한 고역 성분을 추출할 수 있다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 카메라 초점 제어 알고리즘을 이용한 입체 카메라 장치의 구성도를 나타내고 있다. 각 장치의 구성에 대해 좀더 상세히 설명하면, 먼저 카메라 부는 촬영된 영상을 영상 데이터로 변환하고, 초점 제어 정보에 의해 초점을 조절하는 역할을 하며, 주파수 변환 부는 상기 영상 데이터로부터 휘도 신호를 분리하여 웨이블릿 변환을 통해 각 주파수 성분을 분리하고 저장하는 역할을 수행한다. 또한 초점 제어 부는 제어모드에 따른 초점 제어 정보를 통해 상기 초점 제어 정보를 계산하는 역할을 수행한다. 한편, 이 때 좌측 카메라와 우측 카메라의 연동 제어는 두 카메라로 들어가는 제어 신호를

동시에 동기화 하여 하나의 제어 신호에 의해 제어가 가능하도록 구성하였다.

그림 2는 제안한 카메라 초점 제어 알고리즘을 순서도로 표시한 것이다.

여기서 제안한 초점 제어 알고리즘은 먼저 수동 조작에 의해 좌우 카메라의 초점 조절을 수행한 후 자동 조작 스위치에 의해 자동 조절 모드로 전환된 후 수행하게 된다.

또한 자동 초점 조절 모드에서는 좌우 카메라가 동일한 피사체를 바라보고 있다는 가정 하에 한쪽 카메라 기준으로 신호처리를 통한 초점 조절을 수행하고, 다른 카메라의 초점은 동시에 연동되어 조절된다.

한편 전체 영상에 대해서도 웨이블릿 변환 성분을 구할 수 있으나, 방송용 카메라의 경우 주로 피사체를 중심영역에 두고 촬영하므로 초점 제어를 중심영역에서만 수행하여도 무방하므로 본 논문에서는 계산 시간을 줄이고 제어 속도를 개선하기 위해 중심영역의 영상에 대해서만 웨이블릿 변환을 수행하였다.

상세한 알고리즘의 설명은 그림 2에 자세히 기술되어

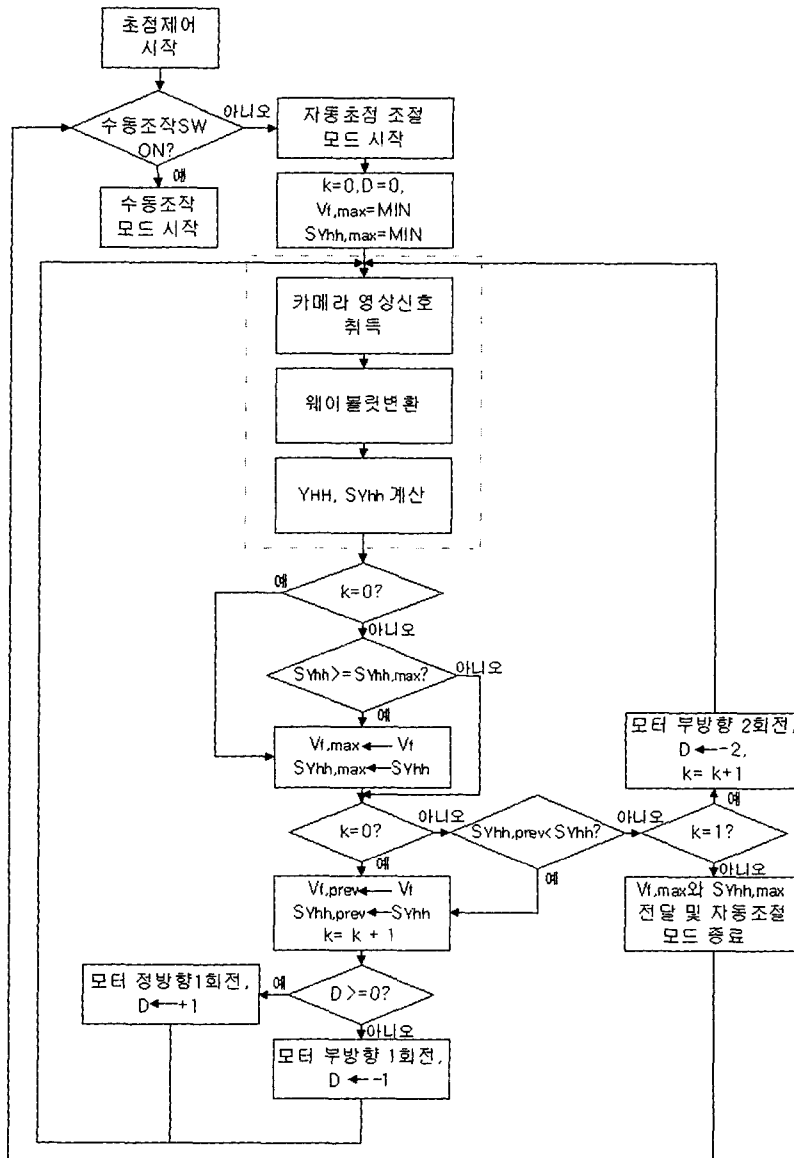


그림 2. 웨이블릿 변환을 이용한 카메라 초점 제어 알고리즘 순서도
 Fig. 2. Flowchart of camera control algorithm using wavelet transform

있으므로 생략하기로 한다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 실험 방법

본 실험에서는 입체카메라의 초점 제어 알고리즘을 실

제 적용에 대한 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여, 우선 카메라로부터 취득된 영상을 이용하여 초점 제어에 필요한 제어 변수를 웨이블릿 변환을 이용하여 추출하였다. 이를 위하여 먼저 SD급 카메라로 촬영한 640×480 크기의 영상을 영상 취득기 (Frame Grabber)를 통하여 RGB 형식으로 저장하였다. 다음으로 저장된 영상을 다시 gray level 영상으로 변환하고, 이의 중심영역을 웨이블릿 변환하였다. 끝으로 웨이블릿 변환된 영상 중 HH

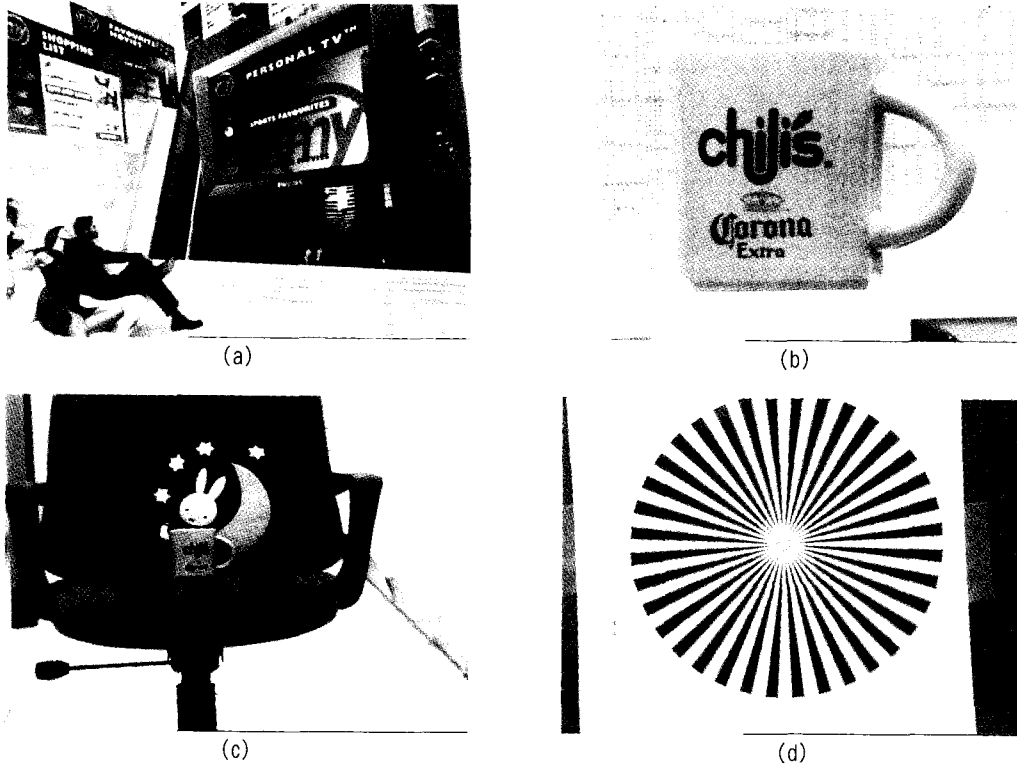


그림 3. 실험 영상 (a) TV 영상 (b) 컵 영상 (c) 의자 영상 (d) 패턴 영상
 Fig. 3. Experimental Images (a) TV (b) Cup (c) Chair (d) Pattern

표 1. 4-tap Daubechies 필터 계수

Table 1. 4-tap Daubechies filter coefficient

필터 계수 번호	필터 계수
1	0.34150635094622
2	0.59150635094587
3	0.1584936405378
4	-0.09150635094587

성분의 절대값 합을 계산하였다. 이러한 과정은 각 영상에 대해 먼저 수동으로 초점 조절을 행하여 초점을 맞춘 후, 초점 조절 눈금을 일정 간격 만큼 한쪽 방향으로 이동시켜 가면서 각 눈금 위치마다 반복하였다. 실험에 사용된 영상의 종류는 그림 3에 나타난 바와 같이 4 종류이며, 웨이블릿 변환은 MATLAB 상에서 수행하였다. 이 때, 웨이블릿 변환 시에 사용된 필터는 4-탭(tap) 두비체스(Daubechies)필터로서 각 계수는 표 1에 주어진 바와 같다.

한편, 기존의 DCT를 이용한 카메라 초점 조절 알고리즘을 이용한 실험은 DCT를 취하는 영상의 종류, 영역의 크기, 초점 제어에 사용할 고역 성분의 범위, 고역 성분 계산

영역의 크기 등에 따라 다른 결과가 나올 수 있기 때문에 제안한 알고리즘과의 정확한 성능 비교가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 영상 중심 부분에 피사체가 위치하고 있다고 가정하여, 가장 널리 쓰이고 있는 방법 중의 하나인 다음 방법을 사용하여 고역 성분을 계산하였다. 즉 영상 중심 주위 256×256 영역을 16×16 영역 16×16개로 분할하고, 각 영역에 대해 16×16 DCT를 취한 다음 그림 4와 같

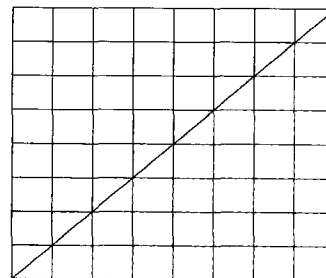


그림 4. 고역 성분 계산에 이용된 주파수 성분들(회색)
 Fig. 4. Frequency Components used for the Calculation of High Frequency Components(Gray)

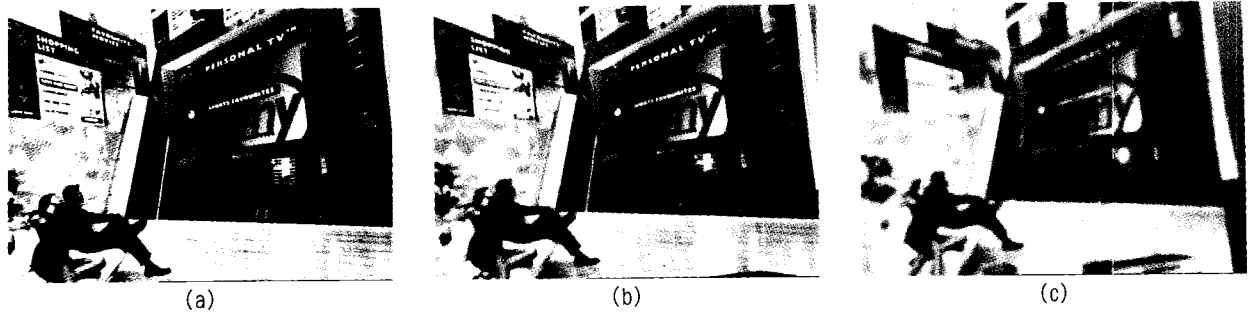


그림 5. 초점 거리 변화에 따른 영상의 변화 (a) 초점 조절 됨 (b) 약간 초점 조절되지 않음 (c) 심하게 초점 조절되지 않음
 Fig. 5. The change of images according to the changes of focus distance (a) Focused (b) Slightly de-focused (c) Severely de-focused

초점 거리 변화에 따른 제어 변수의 변화 (제안한 알고리즘)

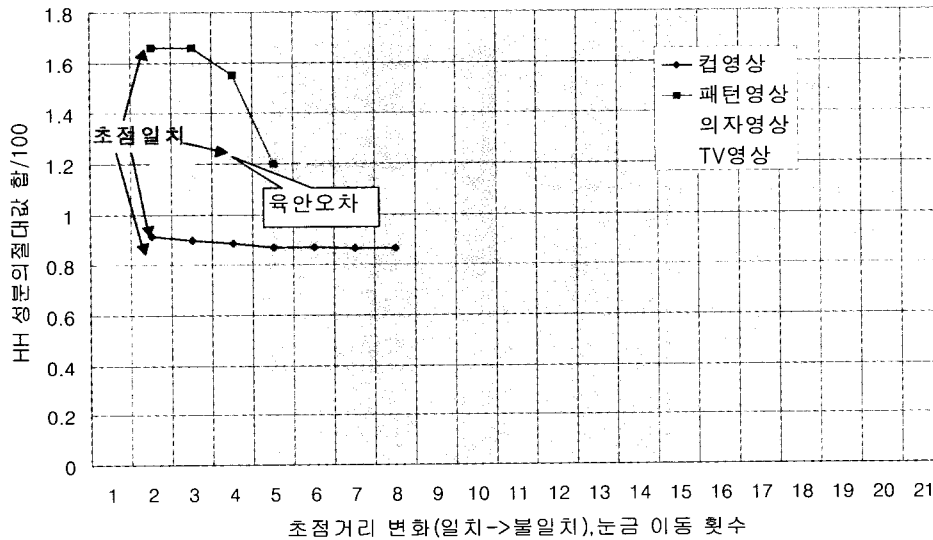


그림 6. 제안한 알고리즘을 이용한 초점 거리 변화에 따른 각 영상 제어 변수의 변화
 Fig. 6. The changes of control parameters using proposed algorithm of each image according to the changes of focus distance

이 대각선 아래의 고역성분의 절대값 합을 구하고, 이를 모두 합한 성분을 1/100로 스케일링하여 초점 거리 변화에 따른 이 값의 변화를 조사하였다^{[5][6]}.

2. 실험 결과

그림 3은 본 논문에서 사용된 실험영상을 나타내고 있고, 그림 5는 TV영상을 예로 들어 초점 거리 변화에 따른 영상의 변화를 나타내고 있으며, 그림 6은 제안한 고역 성분 추출 알고리즘을 이용하여 각 실험영상의 초점 거리 변화에 따른 제어 변수인 고역 (HH) 성분 절대값의 합의 변화량을 각 초점 눈금 이동 회수마다 나타낸 것이고, 그

림 7은 기존의 DCT를 이용한 고역 성분 추출 알고리즘을 이용한 실험결과를 나타낸 것이다.

그림 5의 결과를 보면 (a)의 경우가 처음에 초점 조절이 가장 잘 된 경우의 영상이고, (a)에서 (c)로 변해가면서 초점이 흐려지는 현상을 볼 수 있다. 또한 그림 6의 결과를 보면 거의 대부분 영상에서 각 단계마다 초점이 점차 흐려지면서 제어 변수로 사용될 HH 성분의 절대값 합이 점차 감소하고 있음을 볼 수 있다. 일부 영상의 일부 구간에서 약간 증가하는 부분이 있으나 3 개 이상의 제어 변수 값의 변화를 볼 경우에는 추세는 충분히 반영될 것임을 볼 수 있다. 또한 TV영상의 경우 초기에 초점 제어 변수 값이 증가함을 볼 수 있는데 이것은 육안에 의한 초

초점거리 변화에 따른 제어 변수의 변화(기존의 알고리즘)

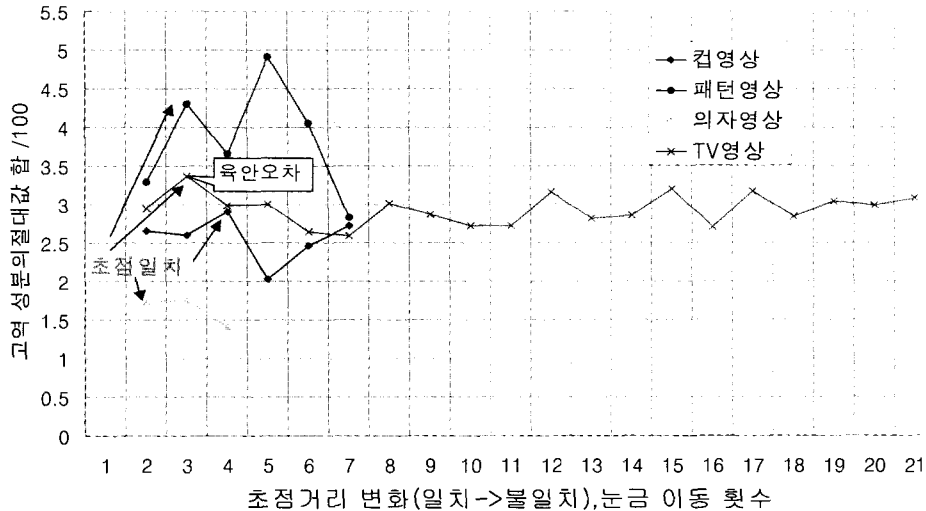


그림 7. 기존의 DCT 알고리즘을 이용한 초점 거리 변화에 따른 각 영상 제어 변수의 변화

Fig. 7. The changes of control parameters using conventional DCT algorithm of each image according to the changes of focus distance

점 조절의 오차 때문인 것으로 볼 수 있다.

다음으로 기존 DCT를 이용한 결과인 그림 7을 보면, 전체적으로 그 값이 감소하는 경향은 보이고 있으나, 그림 6의 결과에 비해 변화 폭이 크고, 값이 중간에 다시 증가하는 부분이 많으며, 일부 영상에서는 값이 처음부터 증가하는 경향을 보이는 등 영상의 종류에 따른 일관성이 부족한 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 입체 카메라의 자동 초점 제어를 위해 카메라로부터 얻어진 영상에서 중심 영역을 포함하는 작은 영역에 대해 이산 웨이블릿 변환을 수행하고, 이로부터 얻어진 성분 중 고역 필터링을 2회 거친 성분(HH 성분)의 절대값 합을 제어 변수로서 이용하는 알고리즘을 제안하였다. 여러 종류의 실험 영상에 대해 제어 변수 추출 실험을 수행한 결과, 대부분의 영상에서 초점이 점차 흐려짐에 따라 HH 성분의 절대값 합이 점차 감소하고 있음을 볼 수 있었다. 또한 기존의 DCT의 고역 성분을 이용한 알고리즘에 비해 제어 변수의 신뢰도가 높음을 실험적으로 확인할 수 있었다.

추후 과제로는 제안한 초점 제어 알고리즘을 실제 입체

카메라 시스템에 적용하여 실험하고, 기존의 다른 초점 제어 알고리즘과의 정량적인 성능 비교 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Takehiro Izumi, "3차원 영상의 기초", NHK 방송기술연구소, pp. 1-4, 1998.
- [2] 이용범, "수평이동축 입체카메라의 설계와 자동 주시각 제어", 박사학위 논문, 경북대학교, 대구, pp. 7-15, 1999.
- [3] P. W. Smith and N. Nandhakumar, "An Improved Power Cepstrum Based Stereo Correspondence Method for Textured Scenes," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 18, no. 3, pp. 338-348, Mar. 1996.
- [4] T. Olsen and D. Coombs, "Real-time Vergence Control for Binocular Robots," *International Journal of Computer Vision*, vol. 7, no. 1, pp. 67-89, 1991.
- [5] Y. Hasimoto, M. Yamamoto and T. Asaida, "Cameras and Display Systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 7, pp. 1032-1043, July 1995.
- [6] (주) Ikekami, "포커스 제어 장치 및 그 방법 및 기억매체", 일본 공개 특허 98-51676호.

— 저 자 소 개 —



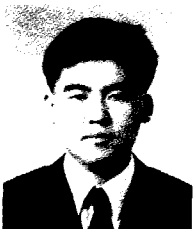
엄 기 문

1991년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업
 1993년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사학위 취득
 1998년 2월 : 서강대학교 전자공학과 박사학위 취득
 1998년 6월 ~ 3월 : ETRI 컴퓨터 소프트웨어 기술연구소 Post-Doc.연구원
 2000년 4월 ~ 현재 : ETRI 무선 방송 기술연구소 방송시스템연구부 3DTV연구팀 선임연구원



허 남 호

1992년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
 1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사학위 취득
 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사학위 취득
 2000년 4월 ~ 현재 : ETRI 무선 방송 기술연구소 방송시스템연구부 3DTV 연구팀 선임연구원



김 형 남

1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사학위 취득
 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사학위 취득
 2000년 3월 ~ 4월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 위촉연구원
 2000년 5월 ~ 현재 : ETRI 무선 방송 기술연구소 방송시스템연구부 AV전송연구팀 선임연구원



조 진 호

1986년 2월 : 충남대학교 전자공학과 졸업
 1988년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사학위 취득
 1989년 6월 ~ 현재 : ETRI 무선 방송 기술연구소 방송시스템연구부 3DTV연구팀 팀장



이 진 환

1987년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 졸업
 2000년 2월 : 한국정보통신대학원 통신공학부 석사학위 취득
 1989년 2월 ~ 현재 : ETRI 무선 방송 기술연구소 방송시스템연구부 AV전송연구팀 팀장