

단일 CCD 컬러 캠코더 시스템을 위한 컬러 영상복원

正會員 羅 雲*, 朴 溶 喆*, 白 俊 基**

Color Image Restoration for a Single-CCD Color Camcorder System

Woon Na*, Yong Cheol Park*, Joon Ki Paik** *Regular Members*

요 약

대부분의 가정용 컬러 캠코더는 3개의 컬러 채널에 대하여 각각 독립적인 CCD를 사용하는 대신에, 서로 다른 컬러 신호를 주기적으로 샘플링하는 color filter array (CFA)와 하나의 charge-coupled device (CCD)를 사용하여 색을 재현한다. 이러한 이유로 출력 영상은 입력 영상과 같은 완전한 해상도를 유지하지 못한다. 보다 구체적으로 손실된 컬러 정보는 같은 채널 내에서는 이웃하는 화소로부터 보간(interpolation)되고, 다른 컬러 채널들 사이에는 처리과정 동안에 간섭이 발생하여 상호적으로 상관관계를 갖게 된다.

본 논문에서는 컬러 영상 시스템 구조를 갖는 영상 기기들의 화질 개선을 위한 이론적 근거로서 여러가지 다채널 영상 모델에 기반한 복원 기법들이 소개되고, 단일 CCD 컬러 캠코더의 화질 개선을 위한 새로운 영상복원 시스템이 제안된다. 또한 제안된 영상복원 시스템의 하드웨어 구조를 제시하여 실시간 처리가 가능함을 보인다. 단일 CCD 컬러 캠코더는 하나의 CFA와 하나의 CCD로부터 RGB 컬러 채널을 재구성한다. 이러한 재구성 과정동안에 채널간 컬러 누화(상호채널간 열화)와 주기적인 공간불변적 열화(자기채널간 열화)가 일어난다. 제안된 복원 시스템은 먼저상호채널간의 간섭에 의한 열화를 감소시키고, 해당하는 자기채널내의 열화를 제거함으로써 각 컬러 채널을 복원한다. 실험 결과로써 제안된 복원 시스템이 주관적 측면과 객관적 측면에서 모두 개선된 영상을 제공한다. 제안된 시스템은 유한임펄스응답(finite impulse response; FIR) 필터 구조로 구현되기 때문에 실시간 화질 개선이 가능한 것이 가장 큰 장점이다.

ABSTRACT

Instead of using three charge-coupled devices (CCDs) for the corresponding color channels, most consumer's

*삼성전자 마이크로 사업부 미디어팀
Media Team, Micro Devices Business, Samsung Electronics

**중앙대학교 전자공학과
Department of Electronic Engineering, Chung-Ang
University

論文番號: 96052-0209

接受日字: 1996年 2月 9日

color camcorders reconstruct color images by using only one CCD with a color filter array (CFA), which periodically samples different color signals. By this reason the resulting image cannot produce the full resolution of the input image. More specifically, a single-CCD color camcorder reconstructs red, green, and blue color channels from a color filter array followed by a CCD. During the reconstruction process, color cross-talk among channels (interchannel distortion) and periodically space-varying blur (intrachannel distortion) occur. The proposed restoration system reduces distortions due to interchannel interference, and then restores each color channel by removing the corresponding intrachannel distortion. Experimental results show that the proposed system provides the improved images in both objective and subjective senses. A major advantage of the proposed system is feasible to real-time image improvement because it can be implemented by a finite impulse response (FIR) filter structure.

I. 서 론

디지털 영상은 일반적으로 음성 데이터나 문자 데이터보다 더 많은 정보를 갖고 있다. 이러한 정보의 양적인 차이뿐만 아니라, 영상 데이터는 인간이 갖고 있는 독특한 시각 정보 처리 시스템에 의해서 인식되는 2차원 패턴을 제공하기 때문에, 다른 정보 매체와 구별된다. 또한 더 많은 정보와 인간의 시각적인 욕구 충족을 위해서 영상에 컬러 성분들을 첨가시킬 수도 있다.

그러나 관찰된 (또는 기록된) 영상은 물리적인 영상 시스템의 불완전한 특성으로 인하여 원 영상의 열화된 형태가 된다[1, 2]. 따라서 열화된 영상의 질을 개선하기 위한 영상처리 기술이 요구되는데, 대표적인 것으로 영상복원을 들 수 있다. 영상복원이란 불완전한 영상 시스템과 부가적 잡음에 의해서 얻어진 관찰된 영상으로부터 열화 요인을 제거 또는 최소화 시킴으로써 원래의 영상을 추정해 내는 기술이다. 이에 대한 구체적인 응용분야의 예를 들면, (i) 초점이 맞지 않는(defocused) 정지영상의 복원, (ii) 카메라의 움직임에 의해 열화된(motion blurred) 영상의 복원, (iii) 초점이 맞지 않고 동시에 움직임에 의해서 열화된 항공 정찰 및 측정 용도의 영상의 복원, (iv) 초점이 맞지 않고 대기 중의 잡음과 빛의 산란에 의해서 열화된 우주 및 천체 망원경 영상의 복원, (v) 높은 압축비로 압축된 영상의 열화 요인의 제거, (vi) 텔레비전 신호 및 video cassette recorder (VCR)의 녹화 방식에 기인한 영상열화의 제거, (vii) 단일 CCD 컬러 캠코더 신호의 화질 개선, 그리고 (viii) 컴퓨터 시각의 성능 개선을 위한 전처리 또는 후처리 과정으로서의

영상복원 등이 있다.

영상복원 문제는 학문적으로도 높은 관심의 대상인 동시에 실용적으로도 매우 중요하기 때문에 많은 사람들에 의해서 광범위하게 연구되고 있다[3]. 여러 가지 단일채널 영상복원 방식들이 제안되어 있고, 현재 많은 영상처리 분야에서 널리 응용되고 있다. 또한 1984년에 Hunt와 Kbler [4]에 의해서 다채널 영상복원에 관한 문제가 제기된 이후로 다채널 또는 컬러 영상복원은 많은 사람들에게 관심의 대상이 되었고, 이러한 작업의 결과들이 많은 논문에서 발표된 바 있다[5, 6, 7]. 이러한 다채널 영상복원 기법들은 대부분의 영상처리 시스템들이 컬러 영상 구조를 가지고 있기 때문에 더욱더 강력하게 요구되고 있다.

컬러 영상 구조를 가지고 있는 대표적인 영상처리 시스템으로 디지털 텔레비전과 단일 CCD 컬러 캠코더를 들 수 있다. 그러나 현재 민생용 전자 산업계에서는 컬러 TV와 VCR의 보급률이 거의 포화점에 다다랐기 때문에 컬러 캠코더 시장이 급격히 성장하고 있다. 이러한 컬러 캠코더는 앞으로 가격과 크기를 줄이기 위해 디지털적으로 구현되며, 고화질의 영상 [8,9]과 다양한 특수효과[10, 11, 12]를 제공하는 모델이 개발되어야 한다.

본 논문에서는 단일 CCD 컬러 캠코더의 화질 개선을 위한 영상복원 시스템을 제안하고, 이의 하드웨어 구현 방법을 제시한다. 보다 구체적으로 제안된 복원 시스템은 서로 다른 컬러 성분들 사이의 상호간섭을 감소시키고, 각 컬러 채널에서 손실된 주파수 성분을 독립적으로 복원하는 것이다. 복원된 RGB 신호로부터 만들어진 휘도(Y)와 색차(C) 신호는 보다 개선된 TV 신호를 제공한다. 이 TV 신호는 방송용 카메라와

같이 3개의 CCD를 동시에 사용한 디지털 캠코더가 제공하는 TV 신호에 보다 근접한 화질을 제공할 것으로 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 여러가지 컬러 영상을 위한 다채널 영상복원 기법들을 설명한다. 3장에서는 단일 CCD 컬러 캠코더 시스템을 설명한다. 4장에서는 단일 CCD 컬러 캠코더의 화질 개선을 위한 영상복원 시스템을 제안하고, 이의 하드웨어 구조를 설명한다. 컴퓨터 모의 실험에 의한 실험 결과가 5장에서 제시되고, 마지막으로 6장에서 본 논문을 결론 맺는다.

II. 컬러 영상을 위한 다채널 영상복원 기법

본 장에서는 컬러 영상복원을 위한 다채널 영상열화 모델을 소개하고, 위너 필터 이론에 근거한 세 가지 서로 다른 다채널 영상복원 기법들을 설명한다.

2.1 다채널 영상열화 모델

영상의 크기를 $M \times M$ 이라고 할 때, N 개의 채널을 갖는 영상의 열화 모델을 행렬-벡터 표기 형태로 나타내면,

$$y = Hx + \eta \quad (1)$$

와 같다. 여기에서 y , x , 그리고 η 는 각각 $NM^2 \times 1$ 의 크기를 가지며 사전순으로 배열된 관찰된 영상, 원 영상, 그리고 잡음 벡터를 나타낸다. 그리고 H 는 불완전한 영상시스템의 점확산함수(point spread function; PSF)를 나타내며, $M^2 \times M^2$ 크기의 블럭 토이플리츠 행렬을 $N \times N$ 크기의 부분블럭으로 갖는 $NM^2 \times NM^2$ 크기의 이중 블럭 행렬을 나타낸다[5]. 즉,

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}, \eta = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_1 \\ \vdots \\ \eta_N \end{bmatrix},$$

$$\text{그리고 } H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1N} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N1} & H_{N2} & \cdots & H_{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이다. 이러한 다채널 영상열화 모델에 대하여 Hunt는 각 영상 채널이 동일한 자기채널간 열화(intrachannel distortion)만을 겪는다고 가정하였다[4]. 즉, 식 (2)의 H 에서 $H_{ij} = 0, i \neq j$ 이고 $H_{ii} = H_c$ 이다. 또한 Galatsanos는 각 영상 채널이 서로 다른 자기채널간 열화만을 겪는다고 가정하였다[5]. 즉, $H_{ij} = 0, i \neq j$ 이고 $H_{ii} = H_{jj}, i \neq j$ 이다. 그러나 두 방법은 단지 자신의 채널만을 열화시킨다는 것을 알 수 있다. 반면에, Na는 자기채널간 열화뿐만 아니라 상호채널간 열화(interchannel distortion) 과정도 포함시켰다[13]. [13]에서 제안된 열화 형태에 대한 가정은 현재 사용되고 있는 디지털 텔레비전[14]이나 단일 CCD를 사용한 디지털 캠코더[9] 등과 같은 컬러 영상 시스템들이 유사한 열화 형태를 가지고 있기 때문에 이론적으로 보다 일반적인 동시에 실용면에서도 타당성이 높다고 볼 수 있다.

2.2 다채널 위너 필터

본 절에서는 Hunt [4], Galatsanos [5], 그리고 Na [13]에 의해서 제안된 다채널 위너 필터를 사용하여 다채널 영상복원 알고리즘을 구현하는 방법을 제시하여, 컬러 영상복원에 필요한 이론을 정리한다.

2.2.1 Hunt의 방법

Hunt는 채널간의 상관관계를 완전히 제거하기 위하여 KL 변환을 사용한 다채널 영상복원 방법을 제안하였다. Hunt에 의해 제안된 방법은 공간(spatial) 차원과 채널 방향(spectral)에서의 자기상관행렬이 분리가능(separable)하다는 가정에 근거한다. 이 방법은 영상 채널간의 상관관계를 제거함으로써 채널간의 정보의 손실없이 독립적인 복원이 가능하다.

Hunt에 의해 제안된 다채널 위너 필터의 복원 구조가 그림 1에서 보여진다. 그림에서 보여지듯이, 이 방법은 관찰된 영상을 KL 변환을 통하여 채널간의 상관관계를 제거시키고, 독립적인 복원을 수행한 다음, 역 KL 변환을 취함으로써 복원된 영상을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법은 모든 채널에 동일한 열화 형태를 가정하였기 때문에 컬러 영상복원을 위한 응용분야는 극히 제한되어 있다고 할 수 있다.

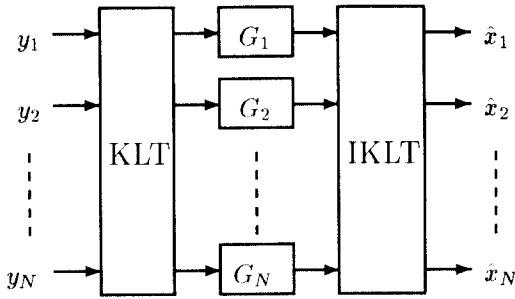


그림 1 Hunt에 의해 제안된 다채널 위너 필터의 복원 구조
Fig 1 The restoration structure of the multichannel Wiener filter proposed by Hunt

2.2.2 Galatsanos의 방법

Galatsanos는 거대한 블록 행렬의 역행렬을 반복적으로 계산하는 다채널 영상복원 방법을 제안하였다. Galatsanos에 의해서 제안된 방법은 복원 과정에서 채널간의 상관관계를 고려하였기 때문에 단일채널 복원 방식보다 더 나은 복원 결과를 얻을 수 있다.

Galatsanos에 의해 제안된 다채널 위너 필터의 복원 구조가 그림 2에서 보여진다. 그림에서 보여지듯이, 이 방법은 2중의 블록 행렬 즉, $NM^2 \times NM^2$ 의 역행렬을 반복적으로 계산하고, 채널마다 서로 다른 열

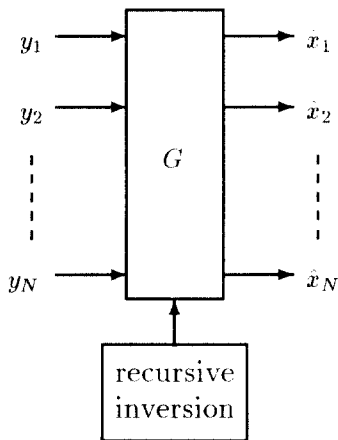


그림 2 Galatsanos에 의해 제안된 다채널 위너 필터의 복원 구조
Fig 2 the restoration structure of the multichannel Wiener filter proposed by Galatsanos

화를 가정하고, 채널간 열화도 수용하여 Hunt의 방법 보다는 일반화되었으나, 그 적용에는 채널 내부의 열화로 제한되어 있다.

2.2.3 Na의 방법

식 (1)과 (2)에 의하여 열화된 i 번째 채널의 영상은

$$y_i = \sum_{m=1}^N H_{im} x_m + \eta_i \quad (3)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 또한 식 (1)의 다채널 영상열화 모델에 따라서, 다채널 영상복원 모델은

$$\hat{x} = Gy \quad (4)$$

와 같다. 여기에서 \hat{x} 과 G 는 아래와 같이 각각 사전순으로 배열된 복원된 영상과 해당하는 다채널 복원 필터를 나타낸다.

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \vdots \\ \hat{x}_N \end{bmatrix} \quad \text{그리고 } G = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & G_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & G_N \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 보여지듯이 G 는 블록 대각 행렬이므로 복원 필터는 채널간에 독립적으로 구성하는 것으로 가정한다.

식 (4)와 (5)로부터 i 번째 채널의 복원된 영상은

$$\hat{x}_i = G_i y_i \quad (6)$$

가 된다. Na에 의해 제안된 다채널 위너 필터의 복원 구조가 그림 3에서 보여진다.

원 영상과 복원된 영상간의 평균제곱오차(mean square error)를 최소화한다는 의미에서 직교성 원리(orthogonality principle)을 사용하면, i 번째 채널에 대한 다채널 위너 필터의 주파수 응답은

$$G_i(k, l) = \frac{\sum_{j=1}^N \mathbf{H}_{ij}^*(k, l) S_{xx}^{jj}(k, l)}{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \mathbf{H}_{im}(k, l) \mathbf{H}_{in}^*(k, l) S_{xx}^{mn}(k, l) + S_{\eta\eta}^{ii}(k, l)} \quad (7)$$

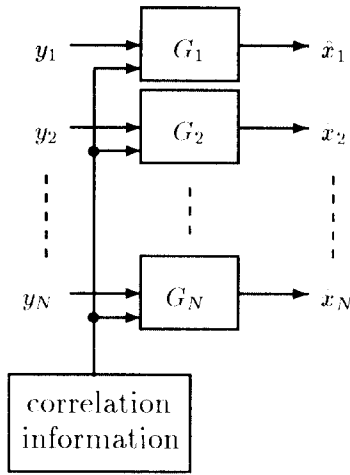


그림 3 제안된 방법에서 사용된 다채널 위너 필터의 복원 구조
 Fig 3 The restoration structure of the multichannel Wiener filter used in the proposed method

가 된다. 여기에서 $S_{xx}^{ij}(k, l)$ 은 원 영상의 i 와 j 번째 채널간의 파워 스펙트럼을 나타내고, $S_{yy}^{ii}(k, l)$ 은 각 채널에 인가된 잡음의 파워 스펙트럼을 나타낸다. 그리고 *는 공액복소수(complex conjugate)를 나타낸다[13].

그림 3과 식 (7)에서 보면, 복원 필터가 겹으로 보기에 독립적으로 구현된 것처럼 보이지만, 내재적으로는 채널간의 상관관계가 고려되어 있다.

III. 단일 CCD 컬러 캠코더 시스템

본 장에서는 단일 CCD 컬러 캠코더 시스템의 구조

를 간략히 설명하고, CCD 신호를 사용하여 Y와 C 신호를 만드는 디지털 카메라 처리부(digital camera processor; DCP) 내부의 컬러 처리모듈(color processing module; CPM)을 분석한다.

3.1 단일 CCD 컬러 캠코더의 구조

단일 CCD 컬러 캠코더는 크게 세 부분으로 나누어서 렌즈로부터 광학적 신호를 받아들여서 TV 신호를 발생하는 카메라부, TV 신호를 받아 저장하는 VCR 부, 그리고 처리된 영상을 볼 수 있는 eye view-finder (EVF)라고 불리는 초소형의 TV부로 구성되어 있다.

그림 4의 단일 CCD 컬러 캠코더 시스템의 전체 구성도에서 보는 바와 같이, 카메라부에서 렌즈로부터 받아들여진 광학적 신호는 광학적 저역통과필터(lowpass filter; LPF), 원하는 컬러 성분을 적절한 위치에 배열시키는 CFA, 광학적 영상의 밝기를 전기적 신호로 바꿔주는 CCD를 거쳐서 전기적 신호로 변환된다. 여기서 얻어진 전기적 신호는 연속 신호의 형태이며, 일침음을 제거하기 위한 correlated double-sampling (CDS)과 자동이득보정 장치인 automatic gain control(AGC)을 차례로 통과한다. AGC의 출력 신호는 감마보정(γ -compensation)된 후에 analog-to-digital converter (ADC)를 통과하여 이산 신호의 형태로 변환되고, DCP에 의해 Y와 C 신호를 만들어진다. 이 두 이산 신호는 각각 digital-to-analog converter (DAC)를 거쳐 연속신호의 형태로 변환된 후 TV 신호로 합성된다. 그리고 VCR부에서는 카메라부에서 출력된 TV 신호를 다시 녹화가 가능한 형태로 변조해서 테이프에 저장하게 되고, 동시에 TV부에서는 같은 신호가 디스플레이 된다.

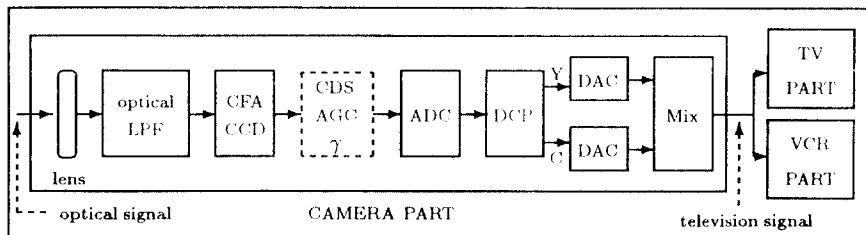


그림 4 단일 CCD 컬러 캠코더 시스템의 전체 블록도
 Fig 4 The complete block diagram of a single-CCD color camcorder system

3.2 디지털 카메라 처리부(DCP)와 컬러 처리 모듈(CPM)

캡코더 내부의 디지털 영상처리 부분은 DCP에 의해 완벽하게 그 특성을 설명할 수 있다. DCP 내부의 주요 신호처리는 그림 5에서 보여지듯이 세 부분으로 나뉘어진다. 검출 모듈(detection module; DM)은 자동 노출(auto-exposure; AE), 자동 초점(auto-focus; AF), 자동 백색 보정(auto-white balance; AWB), 잡음 제거, 이득 보정 등을 수행한다. 잡음 제거와 이득 보정은 캡코더의 특성에 따라서 디지털 또는 아날로그 형태로 수행된다[15]. DM을 통과한 신호는 CPM에서 Y와 RGB 성분으로 변환된다. 부호화 모듈(encoding module; EM)에서는 NTSC나 PAL 방식에서 사용되는 표준 Y 신호가 만들어지고, 또한 디지털적으로 변조된 C 신호가 만들어진다[8, 15].

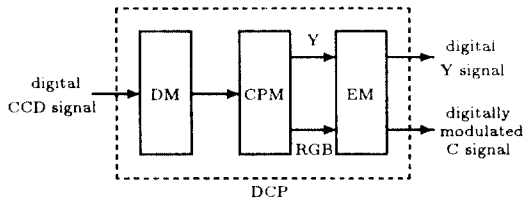


그림 5 DCP의 블록도
Fig 5 The block diagram of the DCP

단일 CCD 컬러 캡코더의 화질은 DM을 통과한 디지털 CCD 신호로부터 디지털 Y와 C 신호를 만드는 CPM의 특성에 의해 주로 결정된다. [15]에서 제안된 CPM의 블럭도가 그림 6에서 보여진다. DM의 출력 신호는 2개의 라인 메모리에 의하여 지연된다. 수평적으로 한 라인 지연된 신호(1H)와 0H, 2H 지연된 신호의 평균 신호는 각각 해당하는 저역통과필터에 의하여 Y_1 과 Y_{02} 신호로 변환된다. 저역통과필터에 의하여 상실된 고주파 성분은 수평, 수직 고역통과필터인 aperture에 의해서 부분적으로 복구된다. 이러한 결과로 생성된 휘도 신호를 Y_h 라 부르기로 한다.

3.3 컬러 신호처리

CPM의 입력 신호는 다음과 같은 과정을 거쳐서 생성된다. CCD는 광학적 영상의 밝기를 전기적 신호로 변환시키는 장치이다. 이러한 이유는 캡코더에서 완전한 컬러를 재현하기 위해서는 3개의 CCD가 필요하다. 그러나 대부분의 캡코더는 비용을 절감하기 위하여 하나의 CFA를 갖는 단일 CCD만을 사용한다. 일반적인 CFA/CCD의 구조가 그림 7에서 보여진다. 그림에서 보여지듯이 3개의 보색(complementary color)인 시안($C_y = G + B$), 마젠타($M_g = R + B$), 그리고 옐로우 ($Y_e = R + G$)와 그린(G) 성분들이 각 화소 위치에서 주기적으로 샘플링된다.

그림 7에서 보여진 CFA/CCD 구조는 프레임 구조

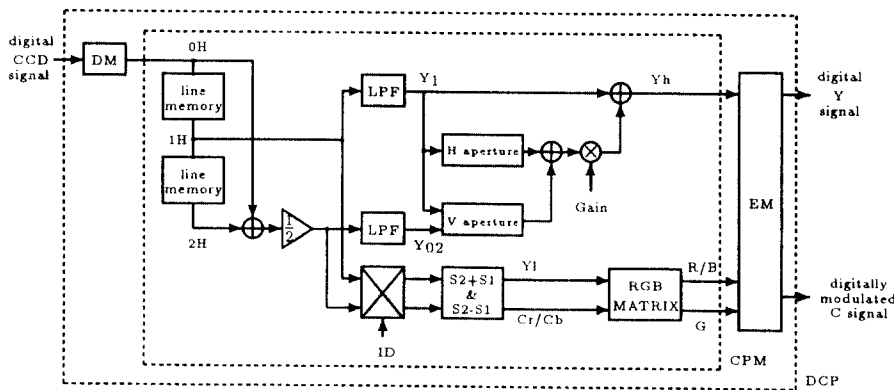


그림 6 DCP 내의 CPM의 블록도
Fig 6 The block diagram of the DCP with emphasis on the CPM

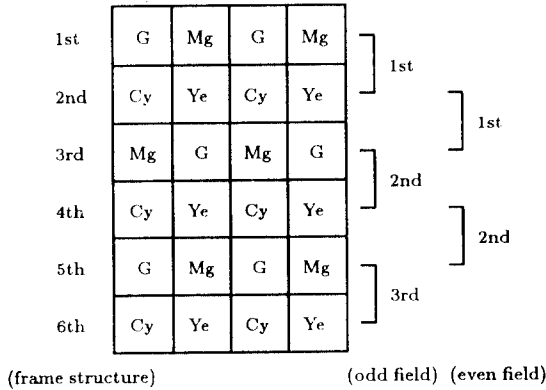


그림 7 단일 CCD 컬러 캠코더의 일반적인 CFA 구조
Fig 7 A typical structure of the CFA for a single-CCD camcorder

를 나타낸다. 구조를 2개의 필드 구조로 나누는 방법은 다음과 같다. 첫번째 라인과 두번째 라인을 더해서 기수 필드(odd field)의 첫번째 라인을 만들고, 두번째 라인과 세번째 라인을 더해서 우수 필드(even field)의 첫번째 라인을 만든다. 두 필드의 나머지 라인을 구성하기 위해서 같은 절차를 반복한다. 일반적인 필드 구성 방법이 그림 8에서 보여진다. 그림에서 보면, 기수 필드와 우수 필드의 매 라인상에서 두 가지의 서로 다른 색 성분의 혼합이 화소 단위로 교대로 출력되고 있는 것을 볼 수 있는데, 편의상 그 두 성분을 S1과 S2 성분이라 부르기로 한다.

캠코더에서의 주요 컬러 신호처리 과정은 S1과 S2 성분으로부터 RGB 신호를 재구성하는 과정이다.

모든 라인에서 S1 + S2의 값은 같기 때문에, YI의 값은

$$\begin{aligned} S1 + S2 &= G + Gy + Mg + Ye \\ &= 2R + 3G + 2B \\ &= YI \end{aligned} \tag{8}$$

와 같다. S1 + S2 신호는 NTSC 시스템에서 사용된 휘도 성분이 저역통과필터를 거친 형태이기 때문에 편의상 YI 신호로 표기한다[16].

반면 S1과 S2의 차분 신호는 라인마다 그 성분이 달라지는데 기수 필드의 홀수 라인에서는

$$\begin{aligned} (S2 - S1)_{\text{odd line}} &= (Mg + Ye) - (G + Cy) \\ &= 2R - G \\ &= Cr \end{aligned} \tag{9}$$

와 같이 주어진다. 또한 기수 필드의 짝수 라인에서는

$$\begin{aligned} (S2 - S1)_{\text{even line}} &= (G + Ye) - (Mg + Cy) \\ &= -(2B - G) \\ &= Cb \end{aligned} \tag{10}$$

와 같다.

최종적으로 RGB 신호는 다음과 같이 YI, Cr, 그리

Line	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1	G+Cy	Mg+Ye	G+Cy	Mg+Ye	Cy+Mg	Ye+G	Cy+Mg	Ye+G
2	Mg+Cy	G+Ye	Mg+Cy	G+Ye	Cy+G	Ye+Mg	Cy+G	Ye+Mg
3	G+Cy	Mg+Ye	G+Cy	Mg+Ye	Cy+Mg	Ye+G	Cy+Mg	Ye+G

그림 8 필드 구성 방법의 예
Fig 8 A typical example for field construction method

고 Cb 신호로부터 만들어진다.

$$\begin{aligned} RED &= Cr + 0.2 * GREEN = 2R \\ GREEN &= Yl - Cr' = 5G, (Cr' = Cr - Cb). \\ BLUE &= -Cb + 0.2 * GREEN = 2B \end{aligned} \quad (11)$$

IV. 제안된 영상복원 시스템

본 장에서는 3.3절에서 기술된 CPM부의 RGB 재구성 과정에 근거하여 열화 요인을 결정하고, 영상복원과 상관관계제거 과정으로 구성된 영상복원 시스템을 제안한다. 또한 제안된 영상복원 시스템을 구현하기 위한 하드웨어 구조에 대해 설명한다.

본 논문에서는 모든 신호처리에 대해 필드 구조를 가정하였으며, 또한 기수 및 우수 필드의 처리과정이 비슷하기 때문에 기수 필드의 예만을 제시한다.

4.1 열화 식별(blur identification)

디지털 CCD 신호로부터 CPM에서 만들어진 RGB 신호는 상호채널간 열화와 자기채널간 열화에 의해 훼손된다.

먼저, 그림 7에서 보여진 CFA/CCD의 구조가 구체적인 화소 위치를 가지고 그림 9에서 다시 보여진다. 이와 유사하게 해당하는 기수 필드의 구조가 그림 10에서 보여진다.

G(1,1)	R(1,2)+B(1,2)	G(1,3)	R(1,4)+B(1,4)
G(2,1)+B(2,1)	R(2,2)+G(2,2)	G(2,3)+B(2,3)	R(2,4)+G(2,4)
R(3,1)+B(3,1)	G(3,2)	R(3,3)+B(3,3)	G(3,4)
G(4,1)+B(4,1)	R(4,2)+G(4,2)	G(4,3)+B(4,3)	R(4,4)+G(4,4)

그림 9 구체적인 화소 위치를 가진 CFA/CCD의 구조
Fig 9 The structure CFA/CCD with information of pixel position

S1	S2	S1	S2
G(1,1)+G(2,1)+B(2,1)	R(1,2)+B(1,2)+R(2,2)+G(2,2)	G(1,3)+G(2,3)+B(2,3)	R(1,4)+B(1,4)+R(2,4)+G(2,4)
R(3,1)+B(3,1)+G(4,1)+B(4,1)	G(3,2)+R(4,2)+G(4,2)	R(3,3)+B(3,3)+G(4,3)+B(4,3)	G(3,4)+R(4,4)+G(4,4)
G(5,1)+G(6,1)+B(6,1)	R(5,2)+B(5,2)+R(6,2)+G(6,2)	G(5,3)+G(6,3)+B(6,3)	R(5,4)+B(5,4)+R(6,4)+G(6,4)
R(7,1)+B(7,1)+G(8,1)+B(8,1)	G(7,2)+R(8,2)+G(8,2)	R(7,3)+B(7,3)+G(8,3)+B(8,3)	G(7,4)+R(8,4)+G(8,4)

그림 10 프레임 위치를 가진 CFA/CCD의 기수 필드 컬러 성분
Fig 10 The odd field color components of the CFA/CCD with "frame" positions

그림 10으로부터 기수 필드의 (i, j) 번째 화소의 Yl 성분은

$$\begin{aligned} Yl(i, j) &= S1(i, j) + S2(i, j+1) \\ Yl(i, j+1) &= S1(i, j+2) + S2(i, j+1) \end{aligned} \quad (i, j: \text{홀수인 정수}) \quad (12)$$

가 된다. 기수 필드의 홀수 라인에서의 Cr 성분은 $S2$ 성분에서 $S1$ 성분을 제거한 것인데 이는 홀수 열과 짝수 열이 서로 다르다. 식 (9)를 사용하여 홀수 열의 Cr 성분을 나타내면

$$Cr(i, j) = S2(i, j+1) - S1(i, j) \quad (i, j: \text{홀수인 정수}) \quad (13)$$

이고, 짝수 Cr 열의 성분은

$$Cr(i, j+1) = S2(i, j+1) - S1(i, j+2) \quad (i, j: \text{홀수인 정수}) \quad (14)$$

가 된다. 또한 기수 필드의 짝수 라인에서의 Cb 성분도 홀수 열과 짝수 열이 서로 다르다. 식 (10)을 사용하여 홀수 열의 Cb 성분을 나타내면

$$Cb(i+1, j) = S2(i+1, j+1) - S1(i+1, j) \quad (i, j: \text{홀수인 정수}) \quad (15)$$

이고, 짝수 열의 Cb 성분은

$$Cb(i+1, j+1) = S2(i+1, j+1) - S1(i+1, j+2) \quad (i, j: \text{홀수인 정수}) \quad (16)$$

가 된다. 여기에서 짝수 라인의 Cr 성분과 홀수 라인의 Cb 성분이 존재하지 않는 것으로 처리된다. 이러한

이유로 짝수 라인의 Cr 성분은 이전 라인의 Cr 성분을 사용하고, 홀수 라인의 Cb 성분은 다음 라인의 Cb 성분을 사용한다. 즉,

$$\begin{aligned} Cr(i+1, j) &= Cr(i, j) \\ (i: \text{홀수인 정수}) \\ Cb(i, j) &= Cb(i+1, j) \end{aligned} \quad (17)$$

이다. 3.3절에서 언급되었듯이 최종적인 RGB 신호는 지금까지 설명된 방법으로 얻어진 Yl, 그리고 Cr, 그리고 Cb 성분으로부터 식 (11)을 사용하여 얻을 수 있다.

이제는 앞에서 설명된 과정들을 좀 더 자세하게 화소별로 설명하기로 한다. 그림 10에서 각 컬러 성분 표시는 프레임 위치를 나타낸다. 그러나 필드 처리를 가정하였기 때문에 각 필드에서의 위치를 필요로 한다. 따라서 프레임 위치를 필드 위치로 변환하는 방법이 그림 11에서 보여지고, 변환된 필드 위치를 갖는 기수 필드의 컬러 성분들이 그림 12에서 보여진다. 예를 들어, 그림 10의 S1 성분 중 G(1, 1) + G(2, 1)은 그림 11의 과정을 통하여 그림 12에서 보여지듯이 2G(1, 1)이 된다.

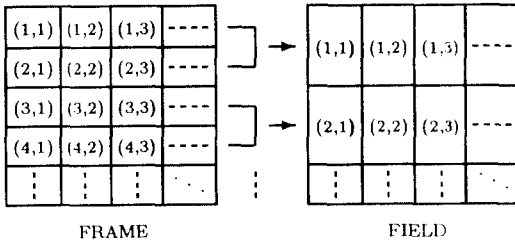


그림 11 프레임 위치를 필드 위치로 변환하는 방법
Fig 11 The method to convert frame positions to field positions

그림 12에서 보여지듯이 모든 라인과 열에 대하여 4개의 서로 다른 컬러 성분이 되풀이된다. 그림 12에서 보여진 S1과 S2 신호는 RGB 성분을 만들기 위하여 식 (11)에 의해 처리된다. 최종적인 R, G, 그리고 B 채널 신호가 그림 13에서 보여진다. 예를 들어, 그림 13(a)에서 보여지듯이 (i, j)번째 위치에서의 R 신호는 R 성분 뿐만 아니라 G와 B 성분도 포함한다. 본문에서는 R 채널에 포함된 G와 B 성분을 컬러 누화(color cross-talk) 또는 상호채널간 왜곡이라고 부르기로 한다.

2R(1,2)-0.2R(2,1)+0.2R(2,2)	2R(1,2)+0.2R(2,2)-0.2R(2,3)
-1.2G(1,1)+G(1,2)-0.2G(2,1)+0.4G(2,2)	G(1,2)-1.2G(1,3)+0.4G(2,2)-0.2G(2,3)
-0.6B(1,1)+B(1,2)-0.4B(2,1)	B(1,2)-0.6B(1,3)-0.4B(2,3)

(a) R 채널

R(2,1)+R(2,2)	R(2,2)-R(2,3)
4G(1,1)-G(2,1)+2G(2,2)	4G(1,3)+2G(2,2)-G(2,3)
2B(1,1)-2B(2,1)	2B(1,3)-2B(2,3)

(b) G 채널

0.8R(2,1)-0.8R(2,2)	-0.8R(2,2)+0.8R(2,3)
0.8G(1,1)+0.8G(2,1)-1.6B(2,2)	0.8G(1,3)-1.6G(2,2)+0.8G(2,3)
0.4B(1,1)+1.6B(2,1)	0.4B(1,3)+1.6B(2,3)

(c) B 채널

그림 13 처리된 R, G, 그리고 B 채널 컬러 성분

Fig 13 The processed R, G, and B channel color components

S1	S2	S1	S2
2G(1,1)+B(1,1)	2R(1,2)+G(1,2)+B(1,2)	2G(1,3)+B(1,3)	2R(1,4)+G(1,4)+B(1,4)
R(2,1)+G(2,1)+2B(2,1)	R(2,2)+2G(2,2)	R(2,3)+G(2,3)+2B(2,3)	R(2,4)+2G(2,4)
2G(3,1)+B(3,1)	2R(3,2)+G(3,2)+B(3,2)	2G(3,3)+B(3,3)	2R(3,4)+G(3,4)+B(3,4)
R(4,1)+G(4,1)+2B(4,1)	R(4,2)+2G(4,2)	R(4,3)+G(4,3)+2B(4,3)	R(4,4)+2G(4,4)

그림 12 필드 위치를 갖는 CFA/CCD의 기수 필드 컬러 성분
Fig 12 The odd field color components of the CFA/CCD with "field" positions

4.2 영상복원(image restoration)

그림 13(a)에서 보여지듯이 (i, j) 번째 위치에서의 R 신호는 이웃하는 화소 위치의 R 성분을 가지고 있다. 여기에서 이웃하는 화소 위치의 성분들을 제거시키는 것을 영상복원이라고 한다. 본 절에서는 그림 14에서 보여지는 제안된 복원 시스템의 첫번째와 세번째 부분을 설명한다.

본 절에서는 2장에서 기술된 다채널 영상복원 기법과는 달리 단일채널 영상복원 기법을 사용하였고, 복원 필터로는 원 영상과 잡음의 파워 스펙트럼을 필요로 하지 않는 제약최소제곱법(constrained least squares; CLS) 필터를 사용하였다.

식 (1)과 (4)의 다채널 영상열화-복원 모델을 단일채널로 축소시키면, x 의 추정치인 CLS 필터의 출력 \hat{x} 은

$$f(x, \lambda) = \|y - Hx\|^2 + \lambda \|Cx\|^2 \quad (18)$$

을 최소화시키는 해로 나타낼 수 있다. 여기서 C 는 고역통과필터(highpass filter)를 나타내고, 라그랑주 곱셈자(Lagrange multiplier)를 나타내는 정착화 매개변수(regularization parameter) λ 는 역 필터와 잡음 억제 필터 사이에서 해를 결정하는 요소이다[1, 2].

식 (18)을 최소화시키는 해를 구하기 위해 식 (18)을 \hat{x} 에 관하여 편미분하고, 그 결과를 0으로 놓으면,

해 \hat{x} 은

$$\hat{x} = (H^T H + \lambda C^T C)^{-1} H^T y \quad (19)$$

와 같다. 식 (19)의 양변을 이산푸리에변환시키면, 정착화 방법에 의한 CLS 필터의 주파수 응답은

$$G_{CLS}(k, l) = \frac{H^*(k, l)}{|H(k, l)|^2 + \lambda |C(k, l)|^2} \quad (20)$$

가 된다. 여기에서 $H(k, l)$ 과 $C(k, l)$ 은 각각 영상 시스템의 점확산함수와 고역통과필터의 이산푸리에변환을 나타낸다. 식 (20)의 양변을 역 이산푸리에변환시키고, 적절한 크기로 잘라내면, 원하는 FIR CLS 복원 필터의 계수 $g_{CLS}(i, j)$ 가 얻어진다. 이 계수를 사용함으로써 영상복원 시스템이

$$\hat{x}(i, j) = \sum_{(m, n) \in W} g_{CLS}(i-m, j-n) y(m, n) \quad (21)$$

와 같은 컨볼루션에 의해 구현된다. 여기서 W 는 유한 임펄스응답 필터의 지지 영역을 나타낸다[17, 18].

그림 15에서는 R, G, 그리고 B 채널에 대하여 각각의 자기채널에 의한 4개의 다른 점확산함수가 보여진다. 이는 모든 라인과 열에 따라서 반복된다.

그림 15에서 보여진 4개의 다른 점확산함수에 대하여 식 (21)을 사용하여 공간 영역에서 복원된 영상은

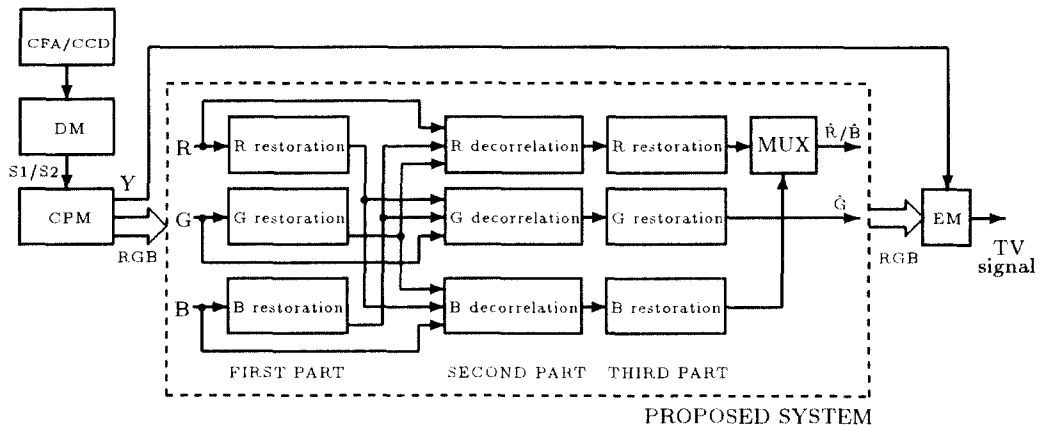


그림 14 제안된 상관관계제거와 복원 시스템의 블록도
Fig 14 The block diagram of the proposed decorrelation and restoration system

*0.0	1.0	*1.0	0.0
-0.1	0.1	0.1	-0.1
0.0	0.8	0.8	0.0
*0.0	0.2	*0.2	0.0

(a) R 채널

*0.8	0.0	*0.0	0.8
-0.2	0.4	0.4	-0.2
0.4	-0.2	-0.2	0.4
*0.0	0.8	*0.8	0.0

(b) G 채널

*0.2	0.0	*0.0	0.2
0.8	0.0	0.0	0.8
0.1	-0.1	-0.1	0.1
*1.0	0.0	*0.0	1.0

(c) B 채널

그림 15 R, G, 그리고 B 채널에 대한 4개의 다른 집합산함수(*는 처리과정의 중심점을 나타낸다)

Fig 15 Four different PSFs for R, G, and B channels (*represents the processing point)

4개의 다른 결과를 갖고 있다. 이는 4개의 다른 집합산함수를 사용하였기 때문이다. 따라서 최종적인 복원 영상은 이들 4개의 복원 영상을 평균하여 얻는다.

위에서 언급된 영상복원 필터를 구현하기 위한 주요 논점은 실시간 처리이다. 이러한 이유로 제안된 FIR CLS 필터의 구현 방법은 다음과 같다.

[단계 1] 그림 15에서 보여진 것처럼 각 컬러 채널에 대한 4개의 다른 H를 결정한다.

[단계 2] 식 (20)을 사용하여 주파수 영역에서 CLS 복원 필터를 구현한다.

[단계 3] 역 이산푸리에변환을 취하여 공간영역에서의 임펄스응답을 구하고, FIR CLS 복원

필터를 구현하기 위하여 적당한 크기로 잘라낸다.

[단계 4] 식 (21)을 사용하여 공간 영역에서 4개의 다른 복원된 영상을 얻고, 이들을 평균하여 최종적인 복원 영상을 얻는다.

4.3 상관관계제거(decorrelation)

본 절에서는 상호채널간 컬러 누화를 제거하기 위하여 그림 14에서 보여진 제안된 복원 시스템의 두번째 부분인 상관관계제거 과정을 설명한다.

4.1절에서 언급되었듯이 그림 13(a)에서 보여진 (i, j) 번째 위치에서의 R 신호는 R 성분 뿐만 아니라 G와 B 성분들을 포함한다. 여기에서 해당하는 채널로부터 서로 다른 채널 성분을 제거하는 것을 상관관계제거라고 부르기 위하여 한다. 예를 들어, 그림 13(a)에서 G와 B 성분이 (i, j)번째 위치에서의 R 신호로부터 제거된다. R 신호로부터 제거될 컬러 성분들이 그림 16에서 보여진다.

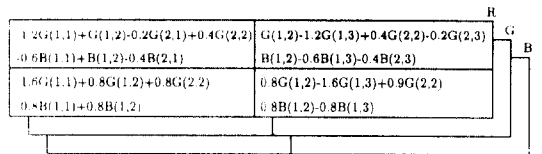


그림 16 처리된 R 채널에서 상관관계를 제거할 컬러 성분
Fig 16 Color components decorrelated in the processed R channel

캠코더에서 처리된 R, G, 그리고 B 신호들은 상호채널간 열화와 자기채널간 열화에 의해 훼손되었기 때문에, 상호채널간 열화를 제거하기 위한 신호로는 부족하다. 따라서 제안된 복원 시스템에서는 먼저 FIR CLS 필터를 사용하여 독립적인 영상복원을 수행한다. 그리고 나서 각각의 채널영상들은 복원된 나머지 두 채널 영상을 사용하여 상관관계가 제거된다.

상호채널간 열화가 제거된 후에도 (i, j)번째 위치에서의 각 신호는 아직도 이웃하는 화소 위치로부터 자신의 채널 성분들을 포함한다. 따라서 이웃하는 화소 위치로부터 자신의 채널 성분들을 제거하기 위하여 각각의 R, G, 그리고 B 신호에 대하여 독립적인 영상복원이 FIR CLS 필터를 사용하여 구현된다.

4.4 제안된 시스템의 하드웨어 구조

본 절에서는 제안된 영상복원 시스템을 구현하기 위한 하드웨어 구조에 대해 설명한다. 제안된 영상복원 시스템을 카메라 신호처리에 적용하기 위해서는 실시간 처리를 위한 하드웨어 구현과 성능이 주요한 요소가 되기 때문에 본 절에서는 실시간 처리를 위해 소요되는 하드웨어 구조를 기술한다.

단일 CCD 컬러신호 개선을 위하여 제안된 영상복원 시스템의 하드웨어 구조가 그림 17에서 보여진다. 그림에서 보여지듯이, 컬러 누화를 보다 많이 제거하기 위하여 각 R, G, 그리고 B 신호에 대한 독립적인 영상복원이 먼저 FIR CLS 필터에 의해 구현된다. 그리고 캠코더에서 처리된 신호들 간의 컬러 누화가 복원된 R, G, 그리고 B 신호를 사용하여 제거된다. 마지막으로 상관관계가 제거된 각각의 신호는 FIR CLS 필터를 사용하여 한번 더 독립적으로 복원된다.

그림 17에서 보인 바와 같이 캠코더에서 처리된 R, G, 그리고 B 채널에 대한 영상복원을 구현하기 위해서는 $(M-1)$ 라인 \times $(M-1)$ 의 메모리가 필요하다. 그리고 각 컬러 성분에 대한 컬러 누화를 제거하기 위해서 2라인 \times 2화소의 데이터 배열이 필요하다. 2×2 데이터 배열에서 출력된 R'' , G'' 및 B'' 의 데이터는 각 화소 위치별 (1, 1), (1, 2), (2, 1), (2, 2) 배열에 해당하는 신호이다. 상관관계가 제거될 각 컬러 성분은 필요한 데이터 배열에서 가산, 감산, 승산의 과정을 거쳐 검출된다. 예를 들어, 상관관계가 제거된 R''' 성분은 캠코더에서 처리된 R 채널로부터 G'' 와 B'' 성분을 제거함으로써 얻어진다.

상관관계제거 과정을 거쳐 컬러 누화가 제거된 R''' , G''' , 그리고 B''' 성분은 아직도 원 영상의 성분을 완벽하게 재생하지 못한다. 따라서 상관관계가 제거된 각 성분을 개선시키기 위하여 FIR CLS 복원 필

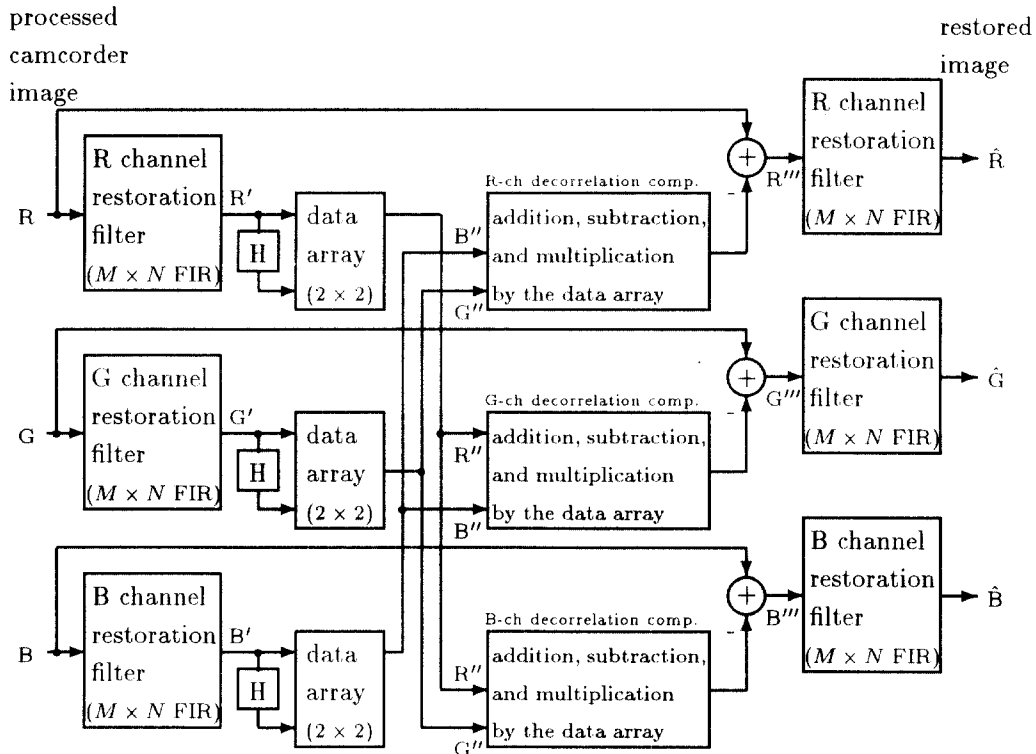


그림 17 제안된 단일 CCD 컬러 신호 개선을 위한 영상복원 시스템의 하드웨어 구조
Fig 17 Hardware structure of the proposed restoration system for a single-CCD color camcorder

터가 한번 더 사용된다. 상기 기술된 상관관계제거 과정과 영상복원 필터를 거쳐 얻어진 \hat{R} , \hat{G} , 및 \hat{B} 신호는 카메라 신호처리에서 감마보정, 색차신호변환, Hue 조정을 거쳐 엔코더에서 변조(modulation) 처리를 하게 된다.

본 질에서 검토된 실시간 처리를 위한 하드웨어 구조는 복원 과정에서 $3(M-1)$ 개 그리고 상관관계제거 과정에서 3개를 합해 $3M$ 개의 라인 메모리가 소요되고, 또한 상관관계제거 및 복원필터를 구현하기 위해 다수의 곱셈기가 소요된다. 그러나, 상관관계제거를 제외한 영상복원 기능만으로도 단일 CCD 신호처리에 의한 컬러 영상을 개선할 수 있으며, 계수 조정 등을 거치면 구현상의 효율을 높일 수 있다. 이 때 필요한 라인 메모리의 수는 $3(M-1)$ 개이다.

V. 실험 결과

본 장에서는 4.1절에서 검정된 상호채널간 열화와 자기채널간 열화를 사용하여 4장에서 제안된 알고리즘과 2.2.3편에서 설명된 Na의 방법으로부터 얻어진 실험 결과들을 제시한다.

5.1 제안된 알고리즘을 사용한 경우

본 질에서는 4장에서 제안된 복원 시스템에 의한 실험 결과를 제시한다. 실험에 사용된 영상은 $512(H) \times 256(V)$ 크기의 컬러 영상으로 기수 필드 영상을 가정하였다. 원래의 컬러 영상의 R 채널이 그림 18에서 보여진다.



그림 18 원래의 컬러 영상의 R 채널
Fig 18 The R channel of the original color image

실험에 대한 결과로서, 원 영상 x 에 대하여 캠코더에서 처리된 영상 y 와 복원된 영상 \hat{x} 간의 개선된 정도를 나타내기 위한 improvement in signal-to-noise ratio (ISNR)을 다음과 같이 계산하였다.

$$ISNR = 10 \log \frac{\|x - y\|^2}{\|x - \hat{x}\|^2} \quad [dB]. \quad (22)$$

캠코더에서 처리된 컬러 영상의 R 채널이 그림 19에서 보여지고, 3×5 맵의 FIR CLS 복원 필터를 사용한 두번의 영상복원과 상관관계제거에 과정에 의하여 복원된 컬러 영상의 R 채널이 그림 20에서 보여진다. 보다 명확한 비교를 위하여, 캠코더에서 처리된 컬러 영상과 복원된 컬러 영상의 R 채널을 2배 확대한 영상이 각각 그림 21과 22에서 보여진다. 본 논문에서는 제시되지 않았지만 제안된 방법을 사용하여 복원된 영상은 유포라 색상 모두 원래의 컬러 영상에 가까워짐을 볼 수 있다.



그림 19 캠코더에서 처리된 컬러 영상의 R 채널
Fig 19 The R channel of the color image processed in the camcorder



그림 20 제안된 방법에 의해서 복원된 컬러 영상의 R 채널 (FIR CLS 필터 = 3×5 , ISNR = 9.62[dB])
Fig 20 The R channel of the restored color image by the proposed method (FIR CLS filter = 3×5 , ISNR = 9.62[dB])



그림 21 캠코더에서 처리된 컬러 영상의 R 채널을 2배 확대한 영상
Fig 21 The magnified R channel of the color image processed in the camcorder



그림 22 복원된 컬러 영상의 R 채널을 2배 확대한 영상
Fig 22 The magnified R channel of the restored color image

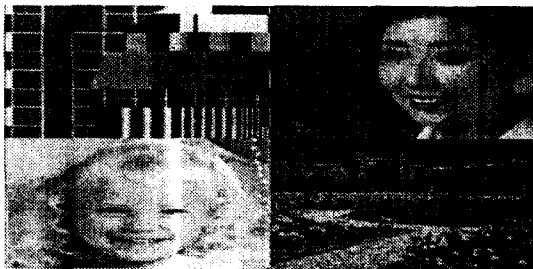


그림 23 원 영상의 피리오도그램을 사용하여 복원된 컬러 영상의 R 채널(ISNR = 8.15[dB])
Fig 23 The R channel of the restored color image obtained by using the original periodogram (ISNR = 8.15 [dB])

두번의 영상복원과 상관관계제거 과정에 의한 ISNR 값과 사용된 FIR CLS 복원 필터의 탭수가 표 1에서 보여진다. 그리고 상관관계제거 과정을 제외하고 한번의 영상복원만을 수행했을 때 FIR CLS 복원 필터의 탭수에 따른 ISNR 값이 표 2에서 보여진다. G와 B 채널에 대한 실험 결과도 R 채널과 비슷하기 때문에 본 논문에서는 제시하지 않는다.

표 1. 두번의 영상복원과 상관관계제거 과정에 의한 ISNR 값과 사용된 FIR CLS 복원 필터의 탭수

Table 1 ISNR and the number of the tabs in the FIR CLS restoration filter when the proposed decorrelation and restoration processes are used

탭수 ISNR [dB]	1 × 3	1 × 5	3 × 3	3 × 5	5 × 3	5 × 5
R	6.95	7.10	9.68	9.62	9.67	9.48
G	5.19	5.32	6.14	7.27	6.32	7.05
B	7.43	7.67	10.00	10.00	9.95	9.80
TOTAL	6.89	7.08	9.26	9.42	9.26	9.25

표 2 한번의 영상복원만을 수행했을 때 FIR CLS 복원 필터의 탭수에 따른 ISNR 값

Table 2 ISNR and the number of the tabs in the FIR CLS restoration filter when a restoration process is only used

탭수 ISNR [dB]	1 × 3	1 × 5	3 × 3	3 × 5	5 × 3	5 × 5
R	8.29	8.79	7.92	8.53	7.88	8.43
G	7.00	7.00	7.53	8.20	7.74	7.74
B	8.68	9.20	8.57	9.22	8.51	9.08
TOTAL	8.27	8.70	8.14	8.77	8.12	8.60

5.2 Na의 알고리즘을 사용한 경우

본 절에서는 2.2.3편에서 설명된 Na의 방법으로부터 얻어진 실험 결과들을 제시한다. 대부분의 영상복원 문제에 있어서는 실제로 원 영상의 파워 스펙트럼을 구할 수 없다. 따라서 실제적으로 이용 가능하고 관찰된 영상의 파워 스펙트럼을 사용한 것 보다 더 나은 수행 능력을 갖는 원 영상에 대한 파워 스펙트럼이 추정되어야 한다.

식 (3)의 다채널 영상열화 모델의 주파수 응답으로부터 원 영상의 파워 스펙트럼이 근사적으로 추정될 수 있다. 식 (3)의 주파수 응답은

$$\begin{aligned} y_1 - \varepsilon_1 &= \mathbf{H}_{11} \chi_1 + \mathbf{H}_{12} \chi_2 + \dots + \mathbf{H}_{1N} \chi_N \\ y_2 - \varepsilon_2 &= \mathbf{H}_{21} \chi_1 + \mathbf{H}_{22} \chi_2 + \dots + \mathbf{H}_{2N} \chi_N \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ y_N - \varepsilon_N &= \mathbf{H}_{N1} \chi_1 + \mathbf{H}_{N2} \chi_2 + \dots + \mathbf{H}_{NN} \chi_N \end{aligned} \quad (23)$$

와 같은 N 개의 선형 방정식으로 나타낼 수 있다. 여기서 ε_i 는 η_i 의 이산푸리에변환을 나타낸다. 식 (23)의 해는 추정된 원 영상의 주파수 응답으로, $\tilde{\chi}_i(k, l)$ 로 표시하며, Cramer's rule[19]을 적용하여 구할 수 있다. 식 (23)의 해를 구하기 위하여 먼저 $N \times N$ 행렬의 행렬식(determinant)을 다음과 같이 구한다.

$$\mathbf{D}(k, l) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11}(k, l) & \mathbf{H}_{12}(k, l) & \dots & \mathbf{H}_{1N}(k, l) \\ \mathbf{H}_{21}(k, l) & \mathbf{H}_{22}(k, l) & \dots & \mathbf{H}_{2N}(k, l) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N1}(k, l) & \mathbf{H}_{N2}(k, l) & \dots & \mathbf{H}_{NN}(k, l) \end{bmatrix} \quad (24)$$

따라서 $\tilde{\chi}_i(k, l)$ 을 포함한 식은

$$\mathbf{D}(k, l) \tilde{\chi}_i(k, l) = \mathbf{D}_i(k, l) \quad (25)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서

$$\mathbf{D}(k, l) =$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11}(k, l) \dots \mathbf{H}_{1,i-1}(k, l) y_1(k, l) - \varepsilon_1(k, l) \mathbf{H}_{1,i+1}(k, l) \dots \mathbf{H}_{1N}(k, l) \\ \mathbf{H}_{21}(k, l) \dots \mathbf{H}_{2,i-1}(k, l) y_2(k, l) - \varepsilon_2(k, l) \mathbf{H}_{2,i+1}(k, l) \dots \mathbf{H}_{2N}(k, l) \\ \vdots \\ \mathbf{H}_{N1}(k, l) \dots \mathbf{H}_{N,i-1}(k, l) y_N(k, l) - \varepsilon_N(k, l) \mathbf{H}_{N,i+1}(k, l) \dots \mathbf{H}_{NN}(k, l) \end{bmatrix} \quad (26)$$

이다. 모든 (k, l) 에 대하여 $|\mathbf{D}(k, l)| \neq 0$ 이면, 식 (23)의 해는

$$\tilde{\chi}_i(k, l) = \frac{\mathbf{D}_i(k, l)}{\mathbf{D}(k, l)}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N \quad (27)$$

과 같은 유일한 해(unique solution)를 갖는다. 이러한 결과로부터 추정된 영상의 파워 스펙트럼을 구한다. 따라서 추정된 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 식

(7)에서 나타난 다채널 위너 필터를 구현하면,

$$\mathbf{G}_{i(\text{EST})}(k, l) = \frac{\sum_{j=1}^N \mathbf{H}_{ij}^*(k, l) \text{PER}_{\tilde{\chi}\tilde{\chi}}^{ij}(k, l)}{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \mathbf{H}_{im}(k, l) \mathbf{H}_{in}^*(k, l) \text{PER}_{\tilde{\chi}\tilde{\chi}}^{mn}(k, l) + \sigma_\eta^2} \quad (28)$$

가 된다. 그러나 식 (28)은 단지 $|\mathbf{D}(k, l)| \neq 0$ 에 대해서만 정의되기 때문에, 다음과 같이 개선되어야 한다.

$$\mathbf{G}_{i(\text{MOD})}(k, l) = \begin{cases} \mathbf{G}_{i(\text{EST})}(k, l), & \text{if } |\mathbf{D}(k, l)| \geq \delta \text{ for } \forall (k, l). \\ \mathbf{G}_{i(\text{OBS})}(k, l), & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (29)$$

여기에서 $\mathbf{G}_{i(\text{OBS})}(k, l)$ 은 관찰된 영상의 파워 스펙트럼을 사용한 다채널 위너 필터이고, δ 는 $|\mathbf{G}(k, l)|$ 가 가질 수 있는 최소의 0보다 큰 값이다.

원래의 컬러 영상의 R 채널과 캡코더에서 처리된 컬러 영상의 R 채널이 각각 그림 18과 19에서 보여진다. 복원 결과로서 먼저 원 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 복원된 컬러 영상의 R 채널이 그림 23에서 보여진다. 그리고 관찰된 영상의 파워 스펙트럼과 추정된 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 복원된 컬러 영상의 R 채널이 각각 그림 24와 25에서 보여진다. 이에 대한 실험 결과들이 표 3에서 보여진다. 표 3에서 보여지듯이 Na에 의해 제안된 방법은 단일 CCD 컬러 캡코더 시스템에 적용 가능하다는 것을 알 수



그림 24 관찰된 영상의 피리오도그램을 사용하여 복원된 컬러 영상의 R 채널(ISNR=4.51[dB])

Fig 24 The R channel of the restored color image obtained by using the observed periodogram (ISNR=4.51 [dB])

표 3. 단일 CCD 컬러 캠코더의 영상 시스템을 Na의 알고리즘에 적용한 실험 결과

Table 3 Simulation results applying an imaging system of a single-CCD color camcorder to Na's algorithm

복원 방식	ISNR [dB]	R	G	B	TOTAL
원 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 복원된 결과		8.15	2.94	9.15	7.65
관찰된 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 복원된 결과		4.51	2.23	5.30	4.49
추정된 영상의 파워 스펙트럼을 사용하여 복원된 결과 (δ 값)		7.79	2.78	8.62	7.27 0.00001



그림 25 추정된 영상의 피리오도그램을 사용하여 복원된 컬러 영상의 R 채널(ISNR = 7.79[dB])

Fig 25 The R channel of the restored color image obtained by using the estimated periodogram (ISNR = 7.79 [dB])

있다. 그러나 Na에 의해 제안된 방법은 실시간 처리는 가능하나 FFT를 수행해야 하기 때문에 제품의 비용이 많이 드는 단점이 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 컬러 영상 시스템 구조를 갖는 영상 기기들의 화질 개선을 위한 이론적 근거로서 여러가지 다채널 영상 모델에 기반한 복원 기법들을 소개하였고, 단일 CCD 컬러 캠코더의 화질 개선을 위한 새로운 영상복원 시스템을 제안하였다. 먼저 단일 CCD 컬러 캠코더의 구조와 카메라부에 있는 DCP에 대하여 간략히 설명하였다. 또한 DCP 내의 CPM을 집중적으로 분석하였고, 상호채널간 열화와 자기채널간 열화를 결정하였다. 마지막으로 다른 채널에 의한 열화를 제거시키기 위한 상관관계제거 시스템과 영상에서 잃어버린 주파수 성분을 복구하기 위한 복원 시

스템을 제안하였으며, 이의 하드웨어 구조를 제시하였다.

제안된 상관관계제거 시스템은 레지스터(register), 곱셈기(multiplier), 덧셈기(adder) 등을 사용하여 FIR 필터의 형태로 구현될 수 있다. 제안된 복원 시스템 또한 실시간 처리에 적합한 FIR 필터로 구현될 수 있다.

본 논문에서는 단지 기수 필드에 대한 실험 결과만을 제시하였지만, 우수 필드에 대해서도 이와 비슷한 결과를 얻을 수 있다는 것을 쉽게 예상할 수 있다. 제안된 시스템은 상관관계제거와 두번의 FIR CLS 필터에 의한 복원 과정과 같이 세 부분으로 나뉘어 지는데, 단지 한번의 영상복원에 의하여 처리된 결과만으로도 충분히 개선된 영상을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

1. H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1977.
2. A. K. Katsaggelos, editor, *Digital Image Restoration*, Springer-Verlag, 1991.
3. G. Demoment, "Image reconstruction and restoration: Overview of common estimation structures and problems," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, no. 12, pp. 2024-2036, March 1989.
4. B. R. Hunt and O. Kbler, "Karhunen-Loeve multispectral image restoration, Part I: Theory," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-32, no. 3, pp. 592-600, June 1984.
5. N. P. Galatsanos and R. T. Chin, "Digital restoration of multichannel images," *IEEE Trans.*

- Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, no. 30, pp. 415-421, March 1989.
6. N. P. Galatsanos, A. K. Katsaggelos, R. T. Chin, and A. D. Hillery, "Least squares restoration of multichannel images," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 39, no. 10, pp. 2222-2236, October 1991.
 7. N. P. Galatsanos and R. T. Chin, "Restoration of color images by multichannel kalman filtering," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 39, no. 10, pp. 2237-2252, October 1991.
 8. 백준기, 나운, 백종호, 문준일, 단일 CCD를 사용한 비데오 카메라의 휘도 및 색 신호 개선을 위한 영상복원 알고리즘 개발, 삼성전자 산학연구과제 최종보고서, 1994년 11월.
 9. W. Na, J. K. Paik, and C. H. Lee, "An image restoration system for a single-CCD color camcorder," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 563-572, August 1995.
 10. J. K. Paik, Y. C. Park, and S. W. Park, "An edge detection approach to digital image stabilization based on tri-state adaptive linear neurons," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 37, no. 3, pp. 521-530, August 1991.
 11. J. K. Paik, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 38, no. 3, pp. 607-616, August 1992.
 12. S. W. Park, J. K. Paik, and H. J. Kim, "Combined digital zooming and digital effects system utilizing the CCD signal characteristics," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 39, no. 3, pp. 398-406, August 1993.
 13. W. Na and J. K. Paik, "Multichannel image restoration based on a pseudo-block-diagonalized Wiener filter," *Proc. 1996 SPIE's Visual Communications, Image Processing*, vol. 2727, no. 3, pp. 1495-1504, March 1996.
 14. 백준기, 백종호, 나운, 디지털 텔레비전 신호의 영상복원을 위한 시뮬레이션 알고리즘 개발, 산학협동재단 최종보고서, 1994년 5월.
 15. H. Zen, S. H. Kim, J. H. Jang, H. S. Chun, and C. H. Lee, "A new digital camera processor with separated Y and C gamma control," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 40, no. 3, pp. 610-615, August 1994.
 16. K. Jack, *Video Demystified*, Hightext, 1993.
 17. A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1989.
 18. 백종호, 백준기, 양원영, "실시간 영상복원을 위한 유한임펄스응답 필터의 구현," *중앙대 학교 기술과학연구소 논문집*, 제 24집, pp. 177-184, 1994년 12월.
 19. E. Kreyszig, *Advanced Engineering Mathematics*, 7th Ed., John Wiley & Sons, 1993.



羅 雲(Woon Na) 정회원
 1970년 12월 31일생
 1994년 2월: 중앙대학교 전자공학
 학과 졸업(공학사)
 1996년 2월: 중앙대학교 대학원
 전자공학과 졸업(공학석사)
 1996년 2월~현재: 삼성전자 반
 도체 마이크로 본부
 근무(주임연구원)

※주관심 분야: 영상처리, 영상복원, 디지털 카메라
 처리



朴 溶 喆(Yong Cheol Park) 정회원
 1963년 1월 24일생
 1989년 2월: 전북대학교 전자공
 학과 졸업(공학사)
 1989년 5월~현재: 삼성전자 반
 도체 마이크로 본부
 근무(전임연구원)

※주관심 분야: 영상처리, 영상안
 정화, 디지털 카
 메라 처리



白 俊 基(Joon Ki Paik) 정희원

1960년 7월 10일생

1984년 2월:서울대학교 제어계
측공학과 졸업(공학
사)

1987년 6월:Northwestern 대학
교 전기 및 컴퓨터공
학과 대학원 졸업(공
학석사)

1990년 6월:Northwestern 대학교 전기 및 컴퓨터공
학과 대학원 졸업(공학박사)

1990년 7월~1993년 1월:삼성전자 반도체 마이크로
본부 근무(선임연구원)

1993년 3월~현재:중앙대학교 전자공학과 조교수

※주관심 분야:영상처리, 영상복원, 영상처리 VLSI
설계