

디지털 NTSC 시스템의 화질 개선을 위한 영상복원

正會員 白鍾皓**, 羅雲*, 文俊逸*, 白俊基*

Image Restoration for Improving Digital NTSC Signal

Jong Ho Paik**, Woon Na*, Joon Il Moon*, Joon Ki Paik* Regular Members

要 約

본 논문에서는 디지털 텔레비전 신호의 부호화 및 복호화 과정에서 열화된 영상을 영상복원 기술을 사용하여 원 상태에 보다 가깝게 만드는 방법을 제안한다.

이와 같은 디지털 텔레비전의 영상복원 시스템의 시뮬레이션 모델을 구현하기 위해서 우선 디지털 NTSC 텔레비전 신호의 부호화 및 복호화 과정을 이해하고 이 과정에서 영상신호를 가장 심각하게 열화시키는 부분을 검토한다.

일반적인 컬러영상은 다채널 영상모델이기 때문에 이를 복원하기 위한 다채널 위너 필터를 이론적 근거로 제시하였다. 그러나 실제 시스템에 적용될 때, 원영상의 정보를 사용할 수 없기 때문에, 우선 채널간의 상관관계를 제거한 후, 위너필터와 그 성능이 유사하면서 원영상 및 잡음의 스펙트럼을 사용하지 않는 CLS 필터를 채널별로 독립적으로 적용하였다.

실험결과로서는 일반적인 NTSC시스템을 통과한 영상과 제안된 영상복원 시스템을 통과한 영상을 비교하였으며, 신호대잡음비가 20dB인 부가적인 잡음을 인가한 경우도 제시하였다. 두 경우 모두 주관적으로나 객관적으로 개선된 결과를 보였다.

ABSTRACT

In the present paper we propose an image restoration system for improving the quality of the digital NTSC video signal.

For that purpose, we briefly summarize the existing digital NTSC system, and then propose a mathematical model of the degradation in the system.

Since a color image is generally modeled by a set of multichannel images, a multichannel Wiener filter is proposed as a theo-

* 중앙대학교 전기공학과

** 중앙대학교 전자공학과

論文番號 : 95001-0103

接受日字 : 1995年 1月 3日

retical basis of color image restoration. Because the real restoration system, however, cannot utilize the original spectrum information, we first reduce the interchannel correlation, and then restore each color channel separately by using constrained least squares (CLS) restoration filter.

As experimental results, the NTSC coded/decoded image and the retored image are compared. The same comparison with 20dB additive Gaussian noise is also presented. In both cases, the restored images by the proposed decorrelation-restoration system give improvement in both objective and subjective sense.

1. 서론

텔레비전 수상기의 대형화, 고급화, 고선명화 추세는 현재의 디지털화 및 나아가서는 완전 디지털 방식의 고선명 텔레비전의 개발로 이어질 전망이다. 이같은 텔레비전 신호처리 기술은 전송 데이터량의 압축에 많은 관심을 두고 발전되어왔으나, 주어진 데이터 자체를 이용한 화질 개선은 아날로그 회로에 의한 단순한 잡음제거 기능 정도에 머물러 있다고 할 수 있다.

현재 사용되고 있는 텔레비전 시스템으로는 우리나라와 미국 및 일본 등에서 채택하고 있는 National Television System Committee (NTSC) 방식과, 영국, 독일 등을 중심으로 하는 서부 유럽 지역의 Phase Alternation Line (PAL) 방식, 그리고 동유럽과 러시아 지역의 Sequential Color with Memory (SECAM) 방식 등이 있다⁽¹⁾. 위의 세 가지 방식들은 컬러 영상을 한개의 채널로 압축시켜 전송 및 저장을 하는데 그 목적이 있기 때문에, 공통적으로 컬러 영상 신호를 휘도와 색 신호로 분리한 후 주파수 내삽 방식을 사용하고 있다.

NTSC 컬러 텔레비전 방식은 크게 적(R), 녹(G), 청(B) 영상신호를 복합 비디오 신호로 만드는 부호화부, 복합 비디오 신호로부터 R, G, B 영상신호를 분리하는 복호화부의 두 부분으로 구성되어 있다. 그림 1의 전체 구성도에서 보는 바와 같이 부호화부에서는 먼저 R, G, B 영상신호를 Y, I, Q 신호 성분으로 변환한다.

I와 Q 신호 성분을 직각 평형 변조하여 색차 신호 C를 얻는다. 여기서 얻어진 Y신호와 C신호를 합성하여 NTSC 복합 신호를 만든다. 복호화부에서는 NTSC 복합 신호로부터 저역통과 필터를 통과하여 Y신호를 얻고, 대역통과 필터를 통과하여 C신호를 얻는다. 여기서 얻어진 C신호를 복조하여 I, Q 성분을 얻는다. 그리고 마지막으로 Y, I, Q 신호를 변환하여 R, G, B를 얻고, 이를 사용해서 컬러 영상으로 디스플레이하게 된다.

상기에서 설명된 텔레비전 신호는 1차원적인 데이터의 배열로 간주될 수 있다. 한편 텔레비전 수상기의 품질은 수평해상도에 의해서 결정되며 수직 방향의 해상도는 일단 방송방식이 결정되면 변화하지 않도록 되어있다. 이때 수평방향의 해상도는 텔레비전 신호의 복조 및 복호화에 사용되는 필터의 특성이나, VCR등과 같은 저

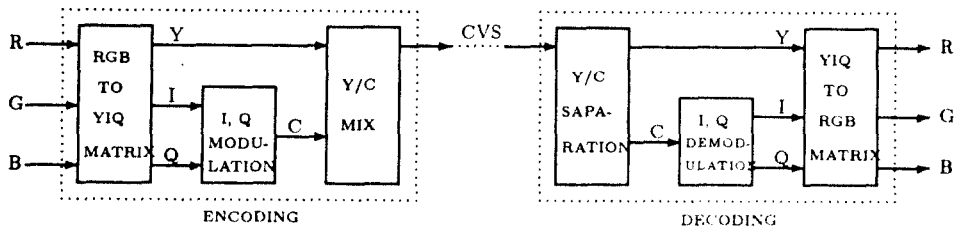


그림 1. NTSC 시스템의 전체 구성도

장 수단의 저장 방식에 좌우된다.

변조되기 전의 텔레비전 신호는 약 4MHz의 주파수 대역을 갖는데, 이는 수송기 혹은 VCR등의 기록장치를 거치는 동안 고주파 성분이 손상됨을 알 수 있다. 이같은 고주파 성분의 손실은 텔레비전 신호의 변조, 부호화, 복조 및 복호화 등의 일련의 처리과정에 내재된 지역통과 필터 성분의 영향이며, 텔레비전 화질 열화의 주된 원인이 된다.

만약 우리가 텔레비전 신호처리 각 부분에 내재되어 있는 지역통과 필터의 특성을 정확하게 알아낼 수 있다면, 수송기상에서 열화되지 않은 원래의 영상을 그대로 복원하는 것이 영상복원의 이론상 가능하다 할 수 있다.

본 논문의 목적은 기존의 NTSC 시스템을 디지털화하여 부호화, 변조, 복호화 및 복조 등 일련의 과정에서 발생하는 열화 요인을 수학적으로 규명하고 모델링한 후 영상복원 기술을 사용하여 원 영상에 보다 가깝게 만드는 최적의 알고리즘을 개발하는데 있다.

본 논문에서는 서론에 이어 II절에서는 영상복원의 이론 및 방법에 대하여 간략하게 기술하고, III절에서는 채널간의 상관관계를 고려한 컬러영상복원에 대하여 설명한다. 이어서 IV절에서는 디지털 NTSC 시스템에서 발생하는 채널간의 상관관계에 관하여 기술하고, V절에서는 영상복원을 이용한 디지털 텔레비전 신호의 개선방법에 대해서 설명한다. VI절에서는 실험 결과를 보이고, 마지막으로 VII절에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 영상복원의 개요

영상을 저장하거나 전송하는 경우 불완전한 영상시스템에 의해 열화현상이 발생한다. 게다가 열화된 영상시스템의 영상형성과정, 전송과정, 저장과정 및 이들의 복합적인 과정에서 발생하는 잡음에 의해 더욱 열화된다. 이와 같이 열화된 영상을 원영상에 보다 가깝게 추정하는 영상복원기술이 널리 연구되고 있다.

실제로 열화된 영상은 비선형적인 열화요인을 갖고 있지만, 많은 경우 선형적이며 공간불변적(linear space invariant: LSI)인 것으로 가정하여 계산을 단순화시킬 수 있다²¹⁾.

따라서 영상열화모델은

$$y(k, l) = \sum_m \sum_n h(k-m, l-n)x(k, l) + \eta(k, l), \quad (1)$$

이라고 정의할 수 있다²²⁾. 여기서 $h(k, l)$ 은 영상시스템의 점확산 함수(point spread function: PSF)를 나타내며, $x(k, l)$, $y(k, l)$, $\eta(k, l)$ 은 각각 원영상, 잡음을 포함한 관측영상 및 부가적 잡음을 나타낸다. 식 (1)을 행렬-벡터 형태로 나타내면,

$$y = Hx + \eta \quad (2)$$

가 되고, 영상의 크기를 $L \times L$ 라 하면, x, y, η 는 사전적 순서로 배열된 $L^2 \times 1$ 크기의 원영상 벡터, 잡음을 포함한 관측영상벡터 및 잡음벡터를 각각 나타낸다. H 는 $L^2 \times L^2$ 크기의 블록-토폴리츠(block-Toeplitz) 행렬이며, 이의 구성원소는 점확산함수의 원소를, 식 (1)과 (2)가 일치하도록 적절히 배열한 것이다. 그런데 이러한 행렬 구조는 역행렬을 구하는 것이 거의 불가능하므로 블록-순환(block-circulant)구조로 근사화시켜 사용한다. 왜냐하면 2차원 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform: DFT)을 사용하면 블록-순환 행렬은 대각화할 수 있기 때문이다. 블록-순환구조는 주대각선의 원소구성이 블록-토폴리츠구조와 거의 유사하지만 행원소가 순환적으로 더해져 있는 것이 차이점이다. 그러나 이런 차이점으로 인해 영상의 가장자리 부분에서 무시할 정도의 이동(shift) 혹은 지연(delay)현상이 발생하므로 전체 영상에는 큰 영향을 주지 않는다. 유클리디안 노름(Euclidean norm)에 근거하면 블록-토폴리츠와 블록-순환구조는 점근적으로 같은 값을 갖는다. 그림 2는 영상열화 모델의 블록도이다.

앞서 언급한 영상열화모델을 사용한 영상복원기술은 크게 선형최소평균제곱에러(linear minimum mean square error: LMMSE) 알고리즘과 제약적최소제곱(constrained least square: CLS) 에러 알고리즘의 두가지로 분류할 수 있다.

선형최소평균제곱에러 알고리즘은 입력영상의 스펙트럼정보를 알아야 하기 때문에 입력신호가 바뀔때마다 스펙트럼 정보를 다시 추정해야 하므로 실제 적용에 있어 매우 제약적이다¹³⁾. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 입력영상의 스펙트럼을 사용하지 않는 제약적최소제곱에러 복원 필터를 사용하고자 하는데, 이는 다음과 같이 정의된다.

복원된 추정치 \hat{x} 는 제약조건

$$\|y - H\hat{x}\|^2 = \|\eta\|^2, \quad (3)$$

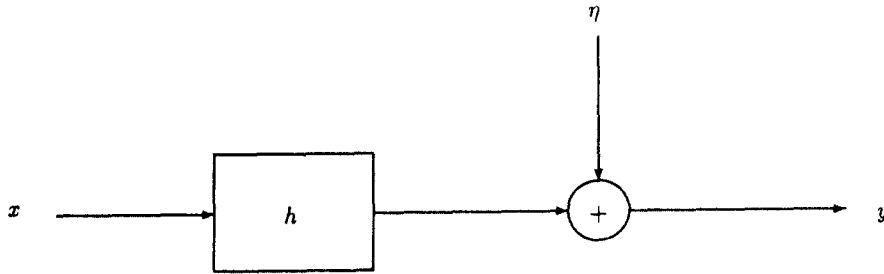


그림 2. 영상열화모델의 블럭도

을 만족하며 동시에

$$\|Cx\|^2 \tag{4}$$

을 최소화시키는 해로 나타낼 수 있다^[2]. λ를 라그랑제 곱셈자(Lagrange multiplier)라 가정하면, 식 (3)과 식 (4)를 동시에 만족시키는 해는

$$\hat{x} = (H^T H + \lambda C^T C)^{-1} H^T y = G_{CLS} y, \tag{5}$$

가 되며^[4], 복원 필터 G_{CLS} 의 주파수 응답은

$$G_{CLS}(k, \Omega) = \frac{H^*(k, \Omega)}{|H(k, \Omega)|^2 + \lambda |C(k, \Omega)|^2}. \tag{6}$$

가 된다. 여기서 G, H, C 는 각각 CLS 관측영상 복원 필터, 영상시스템의 정확산 함수, 그리고 고역통과필터의 이산푸리에변환을 나타낸다.

이와는 달리, 공간영역에서 제약적최소제곱에러 성질을 만족하는 정칙화이론에 근거한 반복적 복원 방법^[5, 6]에 제시된 바 있다.

III. 채널간의 상관관계를 고려한 컬러 영상복원

일반적으로 컬러 영상은 다수의 컬러 채널, 보다 구체적으로는 세가지 독립적인 컬러 채널들의 집합으로 생각할 수 있다. 색공간 이론에 의하면 이 세 가지 채널은 RGB, YUV 등으로 상호 변환이 가능하다^[1]. 본 절에서는 다채널 영상복원 문제와 채널간의 상관관계를 고려한 다채널영상복원 알고리즘에 대해서 논의한다.

식 (1)에서 주어진 단일 채널 영상 열화 모델을 확장

시킴으로써 다채널 영상 열화 모델은

$$y = Hx + \eta \tag{7}$$

와 같이 주어진다. 여기에서 단일 채널 모델과 다른 점은 각각의 영상 x, y 그리고 η 가 다수의 주파수 채널 혹은 컬러 채널들의 집합을 나타낸다는 것이고, 이는 다시 식으로 표현하면

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}, \tag{8}$$

$$\eta = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_N \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1N} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{M1} & H_{M2} & \cdots & H_{MN} \end{bmatrix}$$

와 같고, N 은 컬러 채널의 수를 나타낸다. 식 (8)에서 각 블록 H_{ij} 는 j 번째 채널의 입력과 i 번째 채널의 출력을 갖는 점분산함수를 나타내며, 단일채널 영상 열화 모델 식 (2)에서 주어진 H 와 같은 차원과 구조를 갖는다^[7].

식 (7)과 (8)에 의하여 i 번째 채널의 열화된 영상은

$$y_i = H_{i1}x_1 + H_{i2}x_2 + \cdots + H_{iN}x_N + \eta_i \tag{9}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 또한 복원된 영상을 \hat{x} 라고 하면,

$$\hat{x} = Gy \tag{10}$$

가 된다. 여기에서 G는 위너 필터를 나타내고,

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \vdots \\ \hat{x}_N \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & G_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & G_N \end{bmatrix} \tag{11}$$

이다⁸⁾. 식 (11)에서 보여지듯이 G는 블록 대각 행렬이므로 복원 필터는 채널간에 독립적으로 구성하는 것으로 가정한다. 참고적으로 G 내부의 대각 성분 블록 G_i 는 각각 N개의 컬러 채널 상호 상관행렬(cross-correlation matrix)에 의해서 결정되기 때문에 형식상 채널간 독립적으로 보이지만, 내용적으로는 채널간 상관관계가 고려되고 있다. i 채널의 위너 필터의 주파수 응답은 다음과 같이 구현된다.

$$G_i(k, \Delta) = \frac{\sum_{m=1}^N H_{im}^*(k, \Delta) S_{xx}(k, \Delta)}{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N H_{im}(k, \Delta) H_{in}^*(k, \Delta) S_{xx}(k, \Delta) + S_{\eta\eta}(k, \Delta)} \tag{12}$$

여기에서 S_{xx} 는 원 영상의 i 와 j 채널간의 전력 스펙트럼을 나타내고, $S_{\eta\eta}$ 는 각 채널에 인가된 잡음의 전력 스펙트럼을 나타낸다. 위와 같은 다채널 위너 필터를 구현하기 위해서는 원 영상과 잡음의 전력 스펙트럼인 S_{xx} 와 $S_{\eta\eta}$ 에 대한 정보가 필요하다. 만약 잡음이 백색 가우스 분포를 갖는다고 가정하면, 그것의 전력 스펙트럼은

$$S_{\eta\eta}(k, \Delta) = \sigma_{\eta}^2, \quad \forall(k, \Delta) \tag{13}$$

으로 정의되고, 여기에서 σ_{η}^2 은 잡음의 분산을 나타낸다. 그러나 원영상의 전력 스펙트럼은 스펙트럼 추정 기법을 사용하여 모든 (k, Δ) 에 대하여 그 값이 얻어지지 않는다.

대부분의 영상복원 문제에 있어서는 실제로 원 영상의 전력 스펙트럼 정보를 구할 수 없다. 그러나 많은 복원 알고리즘들의 성능을 비교해야 할 경우, 원래의 전력 스펙트럼 정보를 알고 있다고 가정하는 것이 보통이고, 그 결과들이 다른 방식에 의한 결과와 비교 대상으로 사용되어 진다.

IV. 채널간의 상관관계 제거

III 절에서는 선형최소제곱에러 기준을 만족하는 다채널 위너필터 이론에 관하여 설명하였다. 이러한 방법은 각 채널 혹은 채널간의 스펙트럼을 추정해야 하므로 실제적으로 구현하기에는 어려움이 따른다.

본 절에서는 I 절에서 설명한 디지털 NTSC 신호의 부호화 및 복호화과정에서 발생하는 채널상호간의 상관관계를 제거시킴으로써 각 채널에 대하여 독립적인 단순 처리가 가능하도록 할 수 있는 이론적인 근거를 제시한다. 참고적으로 영상의 모든 처리과정은 프레임단위로 구성된다.

A. 디지털 NTSC 부호화

RGB 색공간과 YIQ 색공간은 상호간 손실 없는 변환이 이루어지므로, YIQ 공간에서 복원이 이루어지면, RGB 공간에서도 같은 효과가 나타난다. 그림 3에 디지

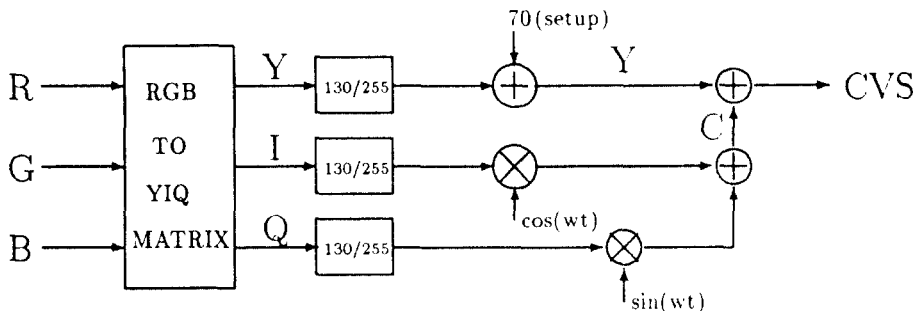


그림 3 디지털 NTSC 부호화의 블럭도

털 NTSC 부호화의 불력도가 보여진다.

R, G, B 신호는 휘도 신호성분 Y 와 동위상 신호성분 I , 직교 신호성분 Q 로 전환되고 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.144B \\ I &= 0.596R - 0.274G - 0.322B \\ Q &= 0.211R - 0.523G + 0.312B \end{aligned} \quad (14)$$

만일 각 화소가 8비트의 디지털로 처리된다면, R, G, B 값은 각각 0부터 255의 값을 가지며, Y, I, Q 신호 성분의 크기를 적절히 보정하여 Y 신호 성분은 0에서 130, I 신호성분은 -78에서 78, Q 신호 성분은 -68에서 68의 값을 갖도록 한다. 다음과정으로는 Y 신호는 점정색 값을 기준으로 한 셋업값 70이 더해지므로 70에서 200사이의 값을 갖게된다. I, Q 신호 성분은 각각 $\cos(n\omega T)$, $\sin(n\omega T)$ 를 곱하여 평형 변조된 후 변조된 두 신호를 더하여 C 신호를 얻으며 값의 범위로는 -78에서 78의 값을 갖게 된다. 최종적으로 Y 신호와 C 신호를 더하여 복합 비디오 신호 U 를 얻는다.

$$\begin{aligned} U(n) &= Y(n) + C(n) \\ &= Y(n) + I(n)\cos(n\omega T) + Q(n)\sin(n\omega T) \\ &= Y(n) + I(n)\cos\left(\frac{n\pi}{2}\right) + Q(n)\sin\left(\frac{n\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (15)$$

이때 $w = 2\pi f_{sc}$, f_{sc} 는 색부반송파의 주파수, $f_s = 4f_{sc}$ 는 샘플링 주파수를 나타내고, n 은 이산 신호의 시간 인덱스를 표시한다. 식 (15)에서 구해진 복합 비디오 신호 $U(n)$ 은 휘도 정보를 갖고 있는 휘도 신호를 평균값으로 하고 색차 정보를 갖는 색차 신호를 편차로 갖는다고 생각할 수 있다. $U(n)$ 의 일부가 그림 4에 보여진다.

B. 디지털 NTSC 복호화

NTSC 방식으로 부호화된 복합 비디오 신호는 유선 또는 무선의 채널을 통해 전송된다. 전송된 복합 비디오 신호인 $U(n)$ 으로 부터 휘도 신호와 색차 신호를 분리하기 위해서 많은 연구논문에서 다양한 필터링 기술들이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 수평, 수직 2차원 필터를 사용한 방법을 예로 들어 이로운 열화 과정을 모델링하고 복원하는 과정을 소개하기로 한다.

수평, 수직의 2차원 필터를 사용한 복호화 방법의 불력도가 그림 5에 보여진다.

복호화부에서 받아들인 복합 비디오 신호는 수평 지연 버퍼에 저장되는데 이는 수평방향의 신호를 지연시키는 효과를 갖는다. 색신호 C 는 1번 지연된 수평신호에서 현재의 수평 신호와 2번 지연된 수평신호를 더한 것을 2로 나누어서 만든 신호를 제거한 신호로, 매화소마다 I 와 Q 가 교대로 출력된다. I 와 Q 신호의 크기는 Y 신호의 1/2 크기인데 이는 보간법을 사용하여 2배로 확장시킨

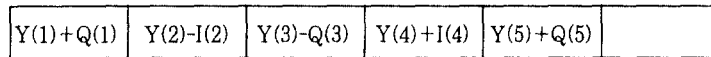


그림 4. 디지털 합성 비디오 신호 $U(n)$

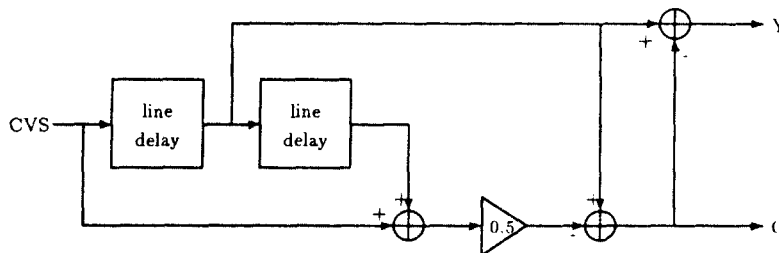


그림 5. 수평, 수직의 2차원 필터를 사용한 복호화 방법의 불력도

다. 회도신호 Y 는 1번 지연된 수평신호에서 I 와 Q 가 교대로 출력되는 C 신호성분을 제거한 신호이다. 앞에서 소개된 수평, 수직 2차원 필터를 사용한 경우, 복호화된 YIQ 신호는 8가지의 경우로 다음과 같이 표현할 수 있다.

1. 홀수번째 라인의 $(4k+1)$ 번째 열 (k 는 0보다 큰 정수)

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) - 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ Q(m, n) &= \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) + 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

2. 홀수번째 라인의 $(4k+2)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{I(m-1, n) - 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ I(m, n) &= \frac{1}{4} \{I(m-1, n) + 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

3. 홀수번째 라인의 $(4k+3)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) - 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ Q(m, n) &= \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) + 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

4. 홀수번째 라인의 $(4k)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{I(m-1, n) - 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ I(m, n) &= \frac{1}{4} \{I(m-1, n) + 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

5. 짝수번째 라인의 $(4k+1)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) - 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ Q(m, n) &= \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) + 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

6. 짝수번째 라인의 $(4k+2)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{I(m-1, n) - 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ I(m, n) &= \frac{1}{4} \{I(m-1, n) + 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \end{aligned}$$

$$- \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\}$$

7. 짝수번째 라인의 $(4k+3)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) - 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ Q(m, n) &= \frac{1}{4} \{Q(m-1, n) + 2Q(m, n) + Q(m+1, n)\} \\ &\quad - \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

8. 짝수번째 라인의 $(4k)$ 번째 열

$$\begin{aligned} Y(m, n) &= \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) + 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{I(m-1, n) - 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ I(m, n) &= \frac{1}{4} \{I(m-1, n) + 2I(m, n) + I(m+1, n)\} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{Y(m-1, n) - 2Y(m, n) + Y(m+1, n)\} \end{aligned}$$

복호화된 신호에서 보면 채널간의 상관관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 채널간의 상관관계를 제거함으로써 각 채널의 독립적인 영상복원이 이루어질 수 있음을 알 수 있다. 상관관계가 제거되었다고 가정하면 각 채널에 대한 시스템 임펄스 응답 h 는 다음과 같으며 YIQ 신호는 모두가 같은 형태의 임펄스 응답을 갖는다.

$$h = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.25 & 0.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.0 \\ 0.0 & 0.25 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

V. 영상복원을 이용한 디지털 텔레비전 신호의 화질개선

디지털 NTSC 시스템의 부호화 및 복호화 과정에서 발생하는 화질열화를 제거하기 위해서 부호화부의 기능을 지역통과필터로 대체하고, 복호화부에서는 채널간의 상관관계를 제거하며 또한 부호화부의 지역통과필터 영향을 제거하기 위한 복원부를 추가하여 개선된 NTSC 시스템의 시뮬레이션 모델을 그림 6에 제시하였다.

먼저, 입력영상인 디지털 RGB 신호를 YIQ 신호로 변환시킨다. 변환된 I 와 Q 신호는 C 신호로 합성되기 전에 대역제한을 한 후 수평방향으로 부표본화(down-sampling) 한다. 합성된 C 신호와 Y 신호는 부호화 및 복호화 과정을 거쳐 다시 YIQ 신호로 변환된다. 얻어진 Y 신호에 대해서는 부호화부에서 이미 I 와 Q 신호의 대역을 제한하였으므로 채널간의 상관관계를 제거하지 않고 부호화 및 복호화부에서 발생하는 지역통과필터에 해당

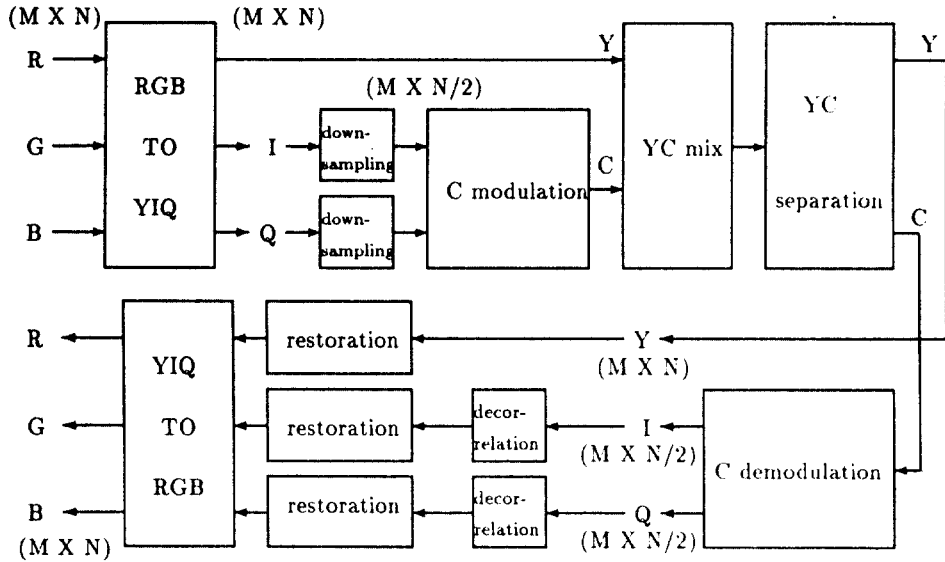


그림 6. 영상복원 알고리즘 블록도

하는 영향만을 제거하였다. IQ 신호는 각각 채널간의 상관관계가 존재하기 때문에 독립적인 단일채널의 영상 복원으로는 사실상 효율적인 화질의 개선이 불가능하다. 따라서 IQ신호의 상관관계를 제거한 후 각 채널에 대하여 부호화 및 복호화과정에서 발생하는 지역통과필터의 영향을 제거하는 2단계의 독립적인 복원을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 실제적용에 있어 매우 제약적인 위너필터 대신 앞서 II절에서 소개한 제약적최소제곱 필터를 사용하였고, 이 때의 주파수 응답은 식 (6)과 같으며, 여기에서 열화시스템의 임펄스 응답은 식 (16)에 주어져 있고, 고주파 통과 필터 C의 임펄스 응답은

$$c = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

와 같다.

VI. 실험결과

실험 영상으로 480(V)×512(H)의 영상 크기를 갖는 quadl.r, quadl.g, quadl.b 영상을 256(V) × 256(H) 크기로 만든 ql.r, ql.g, ql.b 를 사용하였으며 그림 8에 보여진다. 이들은 각각 RGB 컬러 채널의 화소값을 가지므로 완벽한 컬러 영상이라고 가정하였다.

먼저 복원된 영상의 개선 정도를 파악하기 위해 다음과 같은 몇 가지 비교지표를 정의한다.

원 RGB 영상과 관측 $\hat{R} \hat{G} \hat{B}$ 영상사이의 PSNR을 각각

$$PSNR_R = 10 \log_{10} \frac{256 \times 256 \times 255^2}{\|R - \hat{R}\|^2} \text{ [dB]},$$

$$PSNR_G = 10 \log_{10} \frac{256 \times 256 \times 255^2}{\|G - \hat{G}\|^2} \text{ [dB]},$$

$$PSNR_B = 10 \log_{10} \frac{256 \times 256 \times 255^2}{\|B - \hat{B}\|^2} \text{ [dB]},$$

로 $\hat{R} \hat{G} \hat{B}$ 영상이 $Y_2I_3Q_3$ 로 변환한 경우 PSNR을 PSNR1, $Y_2I_4Q_4$ 로 변환한 경우 PSNR2, $Y_3I_5Q_5$ 로 변환한 경우 PSNR3라고 정의한다.

복원된 영상의 개선지표로써 $ISNR$ 은

$$ISNR1 = PSNR2 - PSNR1 \text{ [dB]},$$

$$ISNR2 = PSNR3 - PSNR1 \text{ [dB]},$$

로 각각 정의한다. 여기에서 $256(V) \times 256(H)$ 는 컬러 영상의 전체 화소수를 의미하며, 255는 화소가 가질 수 있는 최대값을 나타낸다.

디지털 NTSC 시스템의 화질개선을 위한 영상복원 시스템은 그림 7에 보여지며 각각의 과정에서의 복원결과를 표 1에 나타낸다. 표 1의 $PSNR3$ 은 식 (6)의 제약적최소제곱에러 필터를 사용한 결과로써 $Y_3I_5Q_5$ 신호에 대하여 λ 는 각각 0.004, 0.05, 0.13095이다.

그림 9는 NTSC 시스템을 통과하여 얻은 영상이고, 그림 10은 복호화과정에서 채널간의 상관관계를 제거하여 얻은 영상이며, 그림 11은 채널간의 상관관계 제거 및 영상복원 필터를 사용하여 얻은 영상이다. 그림 9에서 B 영상은 채널간의 상관관계로 인하여 수평라인이

돋니모양처럼 보이며, 곡선부 또한 날카롭게 보인다. 채널간의 상관관계 제거 및 영상복원 필터를 사용하므로써 수평라인과 곡선부는 완만하게 복원되었음을 그림 11에서 볼 수 있다.

NTSC 시스템에 잡음이 인가된 경우 컴퓨터 시뮬레이션 결과로써 그림 12는 20[dB] 백색가우시안 잡음이 인가된 RGB 영상이고, 그림 13은 NTSC 시스템을 통과하여 얻은 영상이며, 그림 14는 복호화과정에서 채널간의 상관관계를 제거하여 얻은 영상이다. 그림 15는 채널간의 상관관계 제거 및 영상복원 필터를 사용하여 얻은 영상이다. 표 2의 $PSNR3$ 은 식 (6)의 제약적최소제곱에러 필터를 사용한 결과로써 잡음이 인가된 $Y_3I_5Q_5$ 신호에 대하여 λ 는 각각 0.005, 0.061, 0.176이다.

부호화 및 복호화의 모든 신호처리 과정을 단계별로 워크스테이션상에서 C-언어로 실험하였다.

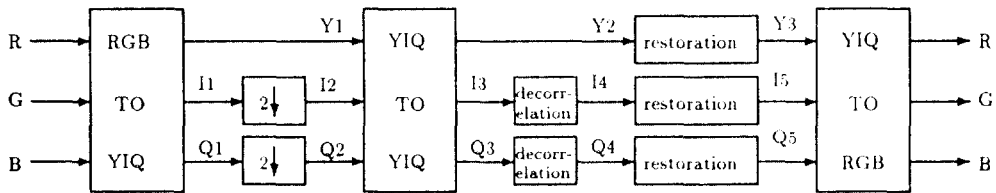


그림 7. 디지털 NTSC 시스템의 화질개선을 위한 영상복원 시스템



그림 8. 256×256 RGB 원영상



그림 9. NTSC 시스템을 통과하여 얻은 RGB 영상

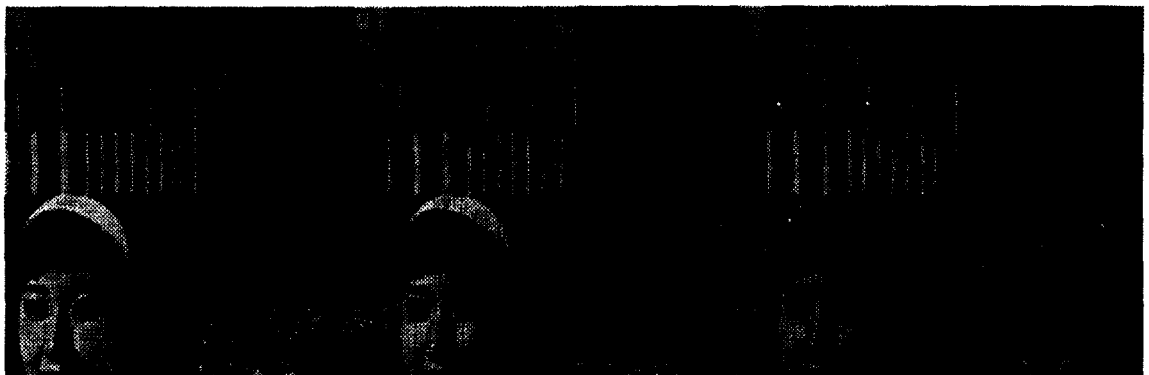


그림 10. 채널간의 상관관계를 제거하여 얻은 RGB 영상

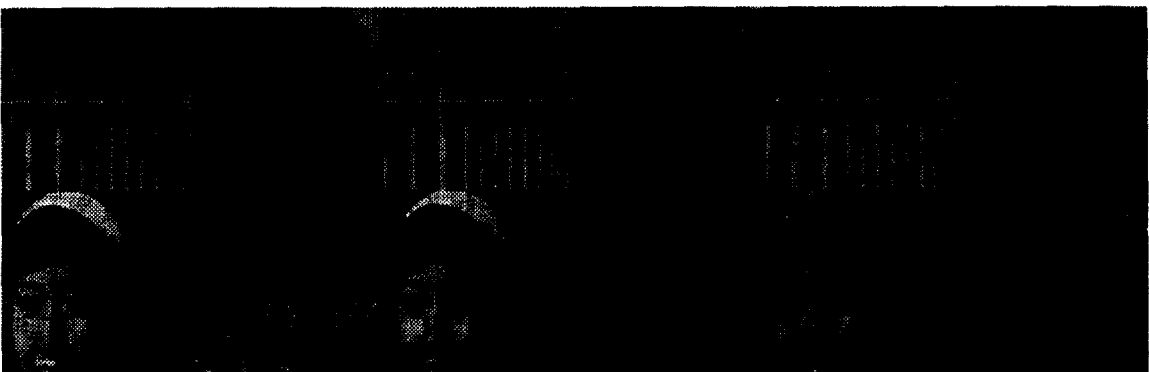


그림 11. 채널간의 상관관계 제거 및 영상복원 필터를 사용하여 얻은 RGB 영상

표 1. 원영상과 관측 및 복원된 영상의 PSNR과 ISNR

$PSNR_1$	$PSNR_2$	$PSNR_3$	$PSNR_4$	$PSNR_1$	$PSNR_2$
$PSNR_{\hat{r}}$ [dB]	59.43	60.88	62.66	1.45	3.23
$PSNR_{\hat{c}}$ [dB]	64.36	65.52	70.84	1.16	6.48
$PSNR_{\hat{b}}$ [dB]	47.97	52.64	58.01	4.67	10.04

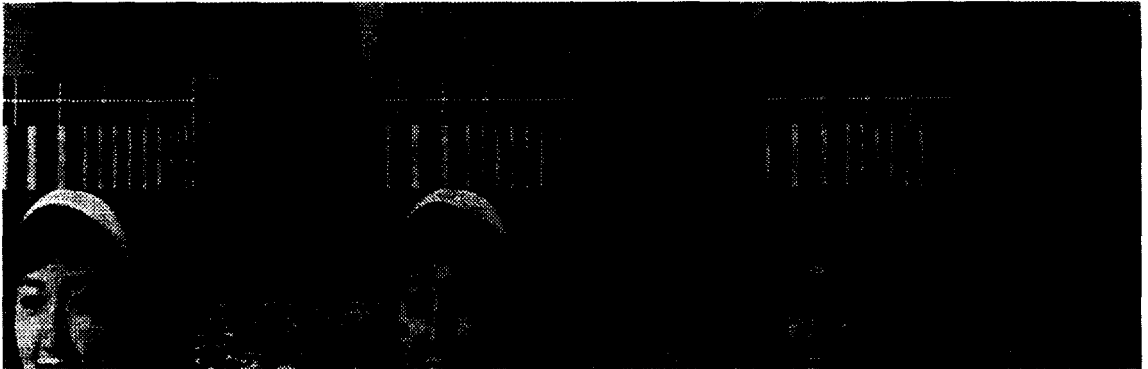


그림 12. 20(dB) 백색가우시안 잡음을 포함한 256×256 RGB영상



그림 13. NTSC 시스템을 통과하여 얻은 RGB 영상



그림 14. 채널간의 상관관계를 제거하여 얻은 RGB 영상



그림 15. 채널간의 상관관계 제거 및 영상복원 필터를 사용하여 얻은 RGB 영상

표 2. 20(dB) 백색가우시안 잡음을 포함한 영상과 관측 및 복원된 영상의 PSNR과 ISNR

$PSNR_1$	$PSNR_2$	$PSNR_3$	$PSNR_4$	$PSNR_1$	$PSNR_2$
$PSNR_{\hat{r}} [dB]$	58.06	59.52	61.26	1.46	3.20
$PSNR_{\hat{c}} [dB]$	62.75	63.87	67.96	1.12	5.21
$PSNR_{\hat{b}} [dB]$	47.20	51.60	57.11	4.40	9.91

VII. 결 론

본 논문에서는 디지털 NTSC 텔레비전 시스템의 부호화 및 복호화 과정에서 발생하는 열화요인을 분석하고, 그에 대한 수학적인 모델을 제시함으로써 영상복원

에 적용할 수 있는 이론적인 근거를 제시하였다. 그 결과를 토대로 하여 부호화 및 복호화 과정을 나타내는 시스템의 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발한 시뮬레이션 모델을 통하여 YIQ 채널간의 상관관계를 제거시킴으로써 각 채널의 독립적인 영상복원이 가능하다는 것을 규명하였으며 또한 각 채널에 대한 시스템 임펄스 응답

을 찾아내었다.

디지털 NTSC 텔레비전 신호의 화질개선을 위해서는 상관관계 제거와 영상복원 필터의 2단계로 나뉘어지기 때문에 실제 적용에서는 하드웨어 및 실시간 처리에 제약이 따르므로 첫단계인 상관관계의 제거만으로도 어느 정도의 화질개선이 이루어진다. 향후 영상복원의 실시간 처리를 위하여 유한 임펄스 응답 필터에 대한 연구가 논의되어야 할 것이다.

참고문헌

1. K. Jack, *Video Demystified*, Hightext, 1993.
2. H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1977.
3. W. Na and J. K. Paik, "Image Restoration Using Spectrum Estimation," *Proc. Visual Communications, Image Processing*, vol. 2308, no. 2, pp.1313-1321, September, 1994.
4. 백준기, 나운, 백종호, 문준일, 단일 CCD를 사용한 비디오 카메라의 휘도 및 색신호 개선을 위한 영

상복원 알고리즘개발, 삼성전자주식회사최종보고서, 1994년, 11월.

5. A. K. Katsaggelos, "Iterative image restoration algorithms," *Optical Engineering*, vol. 28, no. 7, pp.735-748, July, 1989.
6. A. K. Katsaggelos, editor, *Digital Image Restoration*, Springer-Verlag, 1991.
7. 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.
8. 백준기, 나운, "Wiener filter를 이용한 영상복원에 관한 연구," 제6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp.21-24, 경주 현대호텔, 1994년, 1월.
9. I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice-Hall, 1993.
10. 나운, 백준기, "채널간의 상관관계를 고려한 다채널 영상복원," 제7회 신호처리 합동 학술 대회 논문집, vol. 7, no. 1, pp.367-371, 1994년, 10월.



白鍾皓(Jong Ho Paik) 정회원

1971년 1월 11日生.
 1994년 2월 : 中央大學校 電氣工學科 卒業(工學士).
 1994년 9월 ~ 現在 : 中央大學校 大學院 電氣工學科 碩士課程 在學中.

*주관심 분야 : 영상처리, 영상복원 및 영상부호화



羅雲(Woon Na) 정회원

1971년 1월 30日生.
 1994년 2월 : 中央大學校 電子工學科 卒業(工學士).
 1994년 3월 ~ 現在 : 中央大學校 大學院 電子工學科 碩士課程 在學中.

*주관심 분야 : 영상처리, 영상복원, 신호처리



文俊逸(Joon Il Moon) 정회원

1971년 6월 30日生.
 1994년 2월 : 中央大學校 電子工學科 卒業(工學士).
 1994년 9월 ~ 現在 : 中央大學校 大學院 電子工學科 碩士課程 在學中.

*주관심 분야 : 영상처리, 영상복원, 신호처리



白俊基(Joon Ki Paik) 정회원

1960년 7월 10日生.
 1984년 2월 : 서울大學校 制御計測工學科 卒業(工學士).
 1987년 6월 : Northwestern 大學校 電氣 및 컴퓨터工學科 大學院 卒業(工學碩士).

1990년 6월 : Northwestern 大學校 電氣 및 컴퓨터工學科 大學院 卒業(工學博士).
 1990년 7월 ~ 1993년 1월 삼성전자 반도체 부천 연구소 근무 (신입연구원)
 1993년 3월 ~ 現在 中央大學校 電子工學科 助教授.
 *주관심 분야 : 영상 처리, 영상 복원, 영상처리 VLSI 설계.