

논문 2004-41SP-5-16

칼라영상의 화질열화를 고려한 선택적 삽입의 강인한 워터마킹

(Robust Watermarking using Selective Embedding Method in Color Images)

원 준 호*, 전 병 우**

(Jun-Ho Won and Byeung-Woo Jeon)

요 약

본 논문에서는 칼라영상 각 채널에 대한 인간시각 특성이 다르다는 것을 이용하여, 워터마킹의 강인성과 화질열화에 중요한 영향을 미치는 Scaling값을 구하는 알고리즘을 제안한다. 또한, 칼라영상이 다채널 영상임을 이용하여, 상관도와 임계값의 차이가 최대가 되는 경우를 선택하여 워터마크를 삽입하는 선택적 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 통하여 동일한 화질열화의 조건 아래에서 보다 향상된 강인성을 얻을 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose the new algorithms of watermarking that utilize the characteristics of color images for solving the trade-off problem between the image quality and the robustness. Since the human visual characteristics of each RGB channel are different, we can gain more robust watermarking on the condition of the same image degradation.

Keywords : 칼라영상 워터마킹, Global Scaling Factor, Noise Factor, 화질열화요소, 채널선택정보

I. 서 론

디지털 미디어 기술의 급속한 발전에 따라 저작권 보호 문제에 대한 해결책이 필요하게 되었다. 워터마킹은 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 연구되고 있다^{[1][5]}. 워터마킹은 다음의 기본적인 조건들을 만족해야 한다^{[1][8]}. 첫째, 워터마킹에 의해서 발생하는 원 신호에 대한 손실은 인간의 시각적 특성을 고려하여 최소로 하여야 한다. 둘째, 정당한 권리자가 원 신호에 삽입된 워터마크의 정보를 이용하지 못하도록 하는 의도적인 공격과 오디오/비디오/정지영상에 일반적으로 행해지는 처

리과정과 채널에서의 잡음에 의한 공격에 강인하여야 한다. 첫째 조건은 원 영상의 화질열화에 대한 조건이며, 둘째 조건은 워터마킹의 강인성에 대한 조건이다. 이러한 두 가지의 기본적인 조건을 만족시키는 것은 굉장히 중요하면서도 쉽지 않은 일이다. 그 이유는 워터마킹의 강인성을 증가시키는 것은 원 영상에 대한 화질열화를 증가시키는 것이며, 원 영상에 대한 화질열화를 감소시키는 것은 워터마킹의 강인성을 감소시키는 것이기 때문이다. 즉, 강인성과 화질열화의 문제는 워터마킹에 있어서 trade-off 관계에 있는 것이다.

기존의 많은 워터마킹은 워터마크를 일정 비율로 Scaling하여 원 영상에 삽입하였다. Scaling값은 워터마크의 강인성에 영향을 미치는 값으로서, 워터마크의 강인성을 증가시키기 위해서 Scaling값을 극단적으로 크게 할 수 없는 이유는 원 영상의 화질열화 때문이다. 반대로 Scaling값을 극단적으로 작게 할 경우, 원 영상의 화질열화는 적어지지만 강인성은 감소하게 된다. 결국, 문제는 원 영상의 가치를 손상시키지 않는 범위에서 최대한의 강인성을 얻는 것이다.

* 정회원, 서울통신기술(주) 통신시스템연구소
(Communications Solution R&D Center, Seoul Commtech Co., Inc.)

** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부
(Dept. of Information and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

※ 본 연구는 정보통신부 ITRC(2000-20000385-000) 사업에 의해 수행되었습니다.

접수일자: 2004년5월24일, 수정완료일: 2004년8월27일

본 논문에서는 이 문제에 접근하기 위해서 두 가지 알고리즘을 제안한다. 먼저 워터마킹에 의한 화질열화 정도에 따라서 강인성에 영향을 주는 Scaling값을 구하는 알고리즘을 제안한다. 화질열화의 개념은 원 영상과 원 영상에 대한 잡음인 워터마크와의 SNR(Signal to Noise Ratio)을 이용하여 접근한다. 즉, SNR개념을 선형연산인 DCT에 적용하기 위해서 Scaling되어 삽입되는 워터마크를 NF(Noise Factor)로 정의하고 주파수 영역에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)개념으로 화질열화요소 Q를 정의한다. 강인성의 개념은 Scaling값을 이용하여 접근한다. Cox의 논문 이후에 많이 연구되어지고 있는 Spread Spectrum 기법은 식 (1.1)과 같이 α (Global Scaling Factor)와 β (Local Scaling Factor)를 이용하여 워터마크를 Scaling하였다^[9]. 식 (1.1)에서 I는 원 영상, W는 워터마크, I_w 는 워터마크가 삽입된 영상이다. α (Global Scaling Factor)는 영상에 상관없이 워터마킹의 강인성에 영향을 주는 요소이며, β (Local Scaling Factor)는 영상의 국부적인 성질에 의해서 결정되는 요소이다. Scaling Factor α 와 β 는 워터마킹의 강인성과 화질열화에 있어서 중요한 요소이다.

$$I_w = I + \alpha \cdot \beta \cdot W \quad (1.1)$$

본 논문에서는 영상에 독립적인 Global Scaling Factor를 Scaling값으로 이용한다. 본 논문의 III.1장에서는 화질열화요소 Q값을 정의하고, 정의된 화질열화요소 Q값에 따라서 Scaling값을 구하는 알고리즘을 제안한다.

다음으로 본 논문에서는 원 영상의 가치를 손상시키지 않는 범위에서 보다 향상된 강인성을 얻기 위해서 칼라영상의 다채널 특성을 다음과 같이 이용한다. RGB 세 채널로 이루어진 칼라영상에 워터마크를 삽입할 수 있는 경우는 모두 7가지이며, 각 경우에 대하여 III.1장에서 제안된 화질열화요소 Q값을 모두 동일하게 한다. 이 때, 7가지 경우 중에서 삽입된 워터마크와 검출된 워터마크의 상관도와 임계값의 차가 최대가 되는 경우를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 본 논문의 III.2장에서 다채널 영상인 칼라영상의 특성을 이용하여 동일 화질열화의 조건 아래에서 보다 향상된 강인성을 얻는 알고리즘을 제안한다.

II. 칼라영상에서의 워터마킹

칼라영상은 밝기 영상과는 달리 일반적으로 RGB 채널로 나누어지는 다채널 영상이다. 이 때, 각 채널에서

의 인간의 시각적 특성은 서로 다르다. 칼라영상을 위한 많은 워터마킹 방법들은 주로 위의 두 가지 특성을 어떻게 이용하는가에 따라 구별될 수 있다.

1. Kutter et al. 방법^[10]

인간의 시각적 민감도가 둔감한 Blue채널에 워터마크를 삽입하였다. 적절한 Scaling값으로 화질열화와 강인성의 trade-off를 만족시키려고 하였으나, 적절한 Scaling값을 구하는 방법을 명확하게 제시하지 못하였다.

2. Fleet et al. 방법^[11]

칼라영상의 반대 색설(opponent-color system)을 이용하여, 주파수 차단대역이 가장 낮은 yellow-blue 대역에서 인간의 시각적 민감도가 낮은 고주파지역에 sinusoidal 신호들의 합을 워터마크 신호로 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나, 제안된 방법은 오히려 워터마크 신호의 선택을 제한하게 된다. 또한, 검출 방법에 있어서 완벽한 해결점을 제시하지 못하였다^[17]. 결국, 워터마킹에 의한 화질열화라는 측면에서는 우수한 방법임에도 불구하고 동일 화질열화의 조건 아래에서 보다 향상된 강인성을 보장하지는 못하였다.

3. Caramma et al. 방법^[12]

DWT를 이용한 밝기영상에서의 워터마킹 방법을 칼라영상에 적용하였다. RGB 칼라공간에서 인간의 시각적 민감도가 Green채널이 가장 민감하고, Blue채널이 가장 둔감하다는 것을 이용하여 각 채널의 Scaling값을 B/R=10, R/G=2와 같이 정하였다. 하지만, 경험적으로 이러한 비율을 구함으로써 칼라영상에서의 워터마킹에 의한 화질열화와 강인성의 trade-off 문제에 대한 해결책을 제시하지 못하였다.

4. Chun-Hsien Chou et al. 방법^[13]

칼라영상을 RGB 칼라공간에서 CIELab 칼라공간으로 변환한 뒤 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 칼라영상이 다채널 영상임을 이용하였으나, 결국 화질열화와 강인성을 독립적으로 고려함으로써 동일 화질열화에서의 보다 향상된 강인성이라는 문제에는 접근하지 못하였다.

5. A. Piva et al. 방법^{[14]~[16]}

칼라영상이 RGB 다채널 영상이라는 것을 이용하여

각 채널의 DCT 중간주파수 영역에 워터마크를 삽입하였으며, 각 채널의 인간의 시각적 민감도가 다르다는 것을 이용하여 Blue채널의 Scaling값을 가장 크게, Green채널의 Scaling값을 가장 적게 하였다. 또한, 각 채널에서 워터마크가 삽입된 영상과 워터마크와의 상관도를 이용하여 워터마크의 삽입 유무를 판단하는 새로운 검출 알고리즘을 제안하였다. 그러나, 각 채널의 Scaling값을 경험적으로 구함으로써 Scaling값에 의한 워터마킹의 강인성과 화질열화라는 문제에는 접근하지 못하였다.

기존의 많은 칼라영상 워터마킹은 단순히 밝기영상에서의 워터마킹 방법을 칼라영상에 그대로 확장하거나, 앞에서 언급된 워터마킹 방법들처럼 칼라영상의 두 가지 특징을 주로 이용하였다. 그러나, 본 논문에서 언급된 Scaling값과 같이 워터마킹의 강인성에 중요한 영향을 미치는 요소를 칼라영상의 화질열화를 고려하지 않고 경험적으로 구하였다. 이로 인해 워터마킹의 중요한 문제인 강인성과 화질열화의 trade-off 문제를 좀 더 효과적으로 해결하지 못하였다. 이에 본 논문의 III장에서는 워터마킹에 의한 화질열화 정도에 따라서 강인성에 영향을 주는 Scaling값을 구하는 알고리즘과 다채널 영상인 칼라영상의 특징을 이용하여 동일 화질열화의 조건 아래에서 보다 향상된 강인성을 얻는 알고리즘을 제안한다.

III. 화질열화를 고려한 강인한 칼라영상 워터마킹

3.1. Global Scaling Factor 구하기

본 논문에서는 칼라영상 워터마킹에서의 Scaling값인 Global Scaling Factor를 구하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 기본적으로 기존 연구^{[9][14]}의 알고리즘을 이용하여 DCT 계수 중에서 Zigzag Scan 순서로 중간영역에 존재하는 n 개의 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 이를 위해 크기가 $M \times N$ 인 원 영상의 $M \times N$ 개 DCT 계수들 중에서 중간영역에 존재하는 k 번째 이후의 n 개의 계수들을 이용하여 벡터 I 를 식 (3.1)처럼 생성하고, 평균이 0이고 분산이 1인 n 개의 Gaussian Pseudo-random Number로 구성된 워터마크 벡터 W 를 식 (3.2)처럼 생성한다^[14].

$$I = \{I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.1)$$

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_n\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.2)$$

식 (3.3)의 Spread Spectrum 기법^[9]을 식 (3.4)와 같이 칼라영상에 대해서 적용할 수 있다. 식 (3.3)과 (3.4)에서 α , α_R , α_G , α_B 는 Global Scaling Factor이다.

$$\begin{aligned} I_{W,i} &= I_i + \alpha \cdot I_i \cdot W_i, \quad 1 \leq i \leq n & (3.3) \\ I_{W,R,i} &= I_{R,i} + \alpha_R \cdot I_{R,i} \cdot W_{R,i}, \quad 1 \leq i \leq n \\ I_{W,G,i} &= I_{G,i} + \alpha_G \cdot I_{G,i} \cdot W_{G,i}, \quad 1 \leq i \leq n \\ I_{W,B,i} &= I_{B,i} + \alpha_B \cdot I_{B,i} \cdot W_{B,i}, \quad 1 \leq i \leq n \end{aligned} \quad (3.4)$$

위의 식에서 알 수 있듯이 원 영상에 삽입되는 워터마크는 원 영상을 기준으로 보면 모두 잡음이다. 그러므로 주파수 영역에 삽입되는 워터마크에 의한 잡음을 계산하여 조절한다면 워터마킹에 의한 화질열화를 계산하여 조절할 수 있다. 본 논문에서는 화질열화요소 Q 를 제안한다. Q 값에 의해서 우리는 Global Scaling Factor를 조절할 수 있다. 식 (3.5)에서 보는 것과 같이 영상의 밝기 신호는 영상의 RGB 세 채널의 선형결합으로 이루어진다.

$$I_{Y,i} = 0.299 \cdot I_{R,i} + 0.587 \cdot I_{G,i} + 0.114 \cdot I_{B,i} \quad (3.5)$$

이 때, 선형결합계수가 다른 이유는 각 채널에서의 인간의 시각적 민감도가 다르기 때문이다. 워터마크 삽입에 의한 원 밝기 영상에 대한 잡음을 식 (3.6)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{W,Y,i} - I_{Y,i} &= 0.299 \cdot (I_{W,R,i} - I_{R,i}) \\ &+ 0.587 \cdot (I_{W,G,i} - I_{G,i}) \\ &+ 0.114 \cdot (I_{W,B,i} - I_{B,i}) \end{aligned} \quad (3.6)$$

NF(Noise Factor)를 식 (3.7)과 같이 정의하고, 밝기 영상에서의 Global Scaling Factor를 식 (3.8)과 같이 정의한다. 밝기 영상에서 워터마크의 삽입에 의한 잡음은 식 (3.9)와 같이 계산된다.

$$NF_i \triangleq I_{R,i} \cdot W_{R,i} + I_{G,i} \cdot W_{G,i} + I_{B,i} \cdot W_{B,i} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} \alpha &\triangleq 0.299 \cdot \alpha_R \\ &= 0.587 \cdot \alpha_G \\ &= 0.114 \cdot \alpha_B \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$I_{W,Y,i} - I_{Y,i} = \alpha \cdot NF_i \quad (3.9)$$

화소와 주파수 영역에서의 DCT 연산은 선형연산이기 때문에 주파수 영역에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)은 화소 영역의 SNR(Signal to Noise Ratio)에 그대로 영향을 미친다. 그러므로 제안된 화질열화요소 Q를 식 (3.10)과 같이 계산할 수 있다.

$$Q = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^n I_{Y,i}^2}{\alpha^2 \cdot \sum_{i=1}^n NF_i^2} \quad (3.10)$$

화질열화요소 Q를 통해서 식 (3.11)과 같이 밝기영상에서의 Global Scaling Factor를 구할 수 있다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_{Y,i}^2}{\sum_{i=1}^n NF_i^2}} \cdot 10^{-\frac{Q}{20}} \quad (3.11)$$

일반적으로 칼라영상의 워터마킹에서 Blue채널이 워터마크의 삽입 채널로 많이 이용된다. 그 이유는 각 채널에 동일한 Global Scaling Factor 값을 적용하여 워터마크를 삽입했을 때, 인간이 느끼는 워터마킹에 의한 화질열화가 Blue채널이 가장 낮기 때문이다. 이러한 인간의 시각적 민감도의 차이는 식 (3.5)에서 보는 것과 같이 영상의 밝기 신호에 대한 각 채널의 서로 다른 선형결합계수로 반영된다. 본 논문에서도 이러한 칼라영상의 특징을 이용하여 좀 더 칼라영상에 적응적인 강인한 워터마킹을 구현하고자 한다. 칼라영상의 각 채널은 식 (3.11)에서 구한 영상의 밝기 신호에 대한 Global Scaling Factor 값을 식 (3.12)와 같이 선형결합계수의 역수만큼 나누어 가진다. 각 채널의 Global Scaling Factor 값은 Blue, Red, Green 순서로 큰 값을 갖게 된다. 결국, 인간의 시각적 민감도에 따라서 Blue채널이 가장 큰 워터마크의 삽입 강도를 가지게 된다. 본 논문에서는 식 (3.12)를 통해서 RGB 세 채널의 Global Scaling Factor를 각각 구한다.

$$\begin{aligned} \alpha_R &= \frac{\alpha}{0.299} \\ \alpha_G &= \frac{\alpha}{0.587} \\ \alpha_B &= \frac{\alpha}{0.114} \end{aligned} \quad (3.12)$$

표 1. 제안된 선택적 워터마킹에서의 채널정보
Table 1. Index of selected channel information.

Index	Selected Channel
1	R
2	G
3	B
4	RG
5	GB
6	RB
7	RGB

III.1장에서 제안된 알고리즘을 통해서 기존의 많은 워터마킹에서 경험적으로 Global Scaling Factor를 구한 것과 달리 원 영상의 화질열화정도에 따라서 Global Scaling Factor를 구할 수 있다.

3.2. 칼라영상에서의 선택적 워터마킹

본 논문에서는 칼라영상의 다채널 특성을 이용하여 동일 화질열화 조건 아래에서 보다 향상된 강인성을 얻는 알고리즘을 제안한다. 칼라영상의 RGB 세 채널에 워터마크를 삽입할 수 있는 선택 가능한 경우는 모두 7가지이다. 표 1은 선택 가능한 각 경우에 대한 채널정보이다. 식 (3.1)과 식 (3.2)를 칼라영상의 RGB 세 채널에 적용하여 RGB 각 채널에서의 워터마크 W_R, W_G, W_B 와 워터마크가 삽입되어지는 벡터 I_R, I_G, I_B 를 식 (3.13)과 식 (3.14)와 같이 생성한다. 워터마크 W_R, W_G, W_B 의 평균은 0이고 분산은 1이다.

$$\begin{aligned} I_R &= \{I_{R,1}, I_{R,2}, \dots, I_{R,i}, \dots, I_{R,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \\ I_G &= \{I_{G,1}, I_{G,2}, \dots, I_{G,i}, \dots, I_{G,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \\ I_B &= \{I_{B,1}, I_{B,2}, \dots, I_{B,i}, \dots, I_{B,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} W_R &= \{W_{R,1}, W_{R,2}, \dots, W_{R,i}, \dots, W_{R,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \\ W_G &= \{W_{G,1}, W_{G,2}, \dots, W_{G,i}, \dots, W_{G,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \\ W_B &= \{W_{B,1}, W_{B,2}, \dots, W_{B,i}, \dots, W_{B,n}\}^T, \quad 1 \leq i \leq n \end{aligned} \quad (3.14)$$

워터마크의 삽입은 식 (3.15)의 채널선택정보를 가지고 식 (3.16)과 같이 삽입된다.

$$r, g, b = \begin{cases} 1, & \text{watermark's embedded} \\ 0, & \text{watermark's not embedded} \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned}
 I_{W,R,i} &= I_{R,i} + r \cdot \alpha_R \cdot I_{R,i} \cdot W_{R,i}, 1 \leq i \leq n \\
 I_{W,G,i} &= I_{G,i} + g \cdot \alpha_G \cdot I_{G,i} \cdot W_{G,i}, 1 \leq i \leq n \\
 I_{W,B,i} &= I_{B,i} + b \cdot \alpha_B \cdot I_{B,i} \cdot W_{B,i}, 1 \leq i \leq n
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

식 (3.7)의 NF는 식 (3.15)의 채널선택정보를 가지고 식 (3.17)과 같이 수정된다.

$$\begin{aligned}
 NF_i \triangleq & r \cdot I_{R,i} \cdot W_{R,i} \\
 & + g \cdot I_{G,i} \cdot W_{G,i} \\
 & + b \cdot I_{B,i} \cdot W_{B,i}
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

식 (3.17)에서 보는 것과 같이 NF는 채널선택정보 r, g, b에 따라서 7가지의 서로 다른 값을 가지게 된다. 그러므로, 식 (3.11)에서 화질열화요소 Q값을 정하면, 채널선택정보에 따라서 서로 다른 7가지의 밝기신호 Global Scaling Factor를 구할 수 있고, 각각에 대하여 식 (3.12)를 통해서 각 채널의 Global Scaling Factor를 구할 수 있다.

워터마크의 삽입기에서는 동일한 화질열화요소 Q값이라는 조건에서 선택 가능한 7가지 경우에 대한 밝기신호의 Global Scaling Factor를 각각 구한다. 각각에 대해서 식 (3.12)를 통하여 각 경우에 해당하는 RGB 각 채널의 Global Scaling Factor를 구하여 워터마크를 채널선택정보에 따라서 삽입한다. 또한, 삽입기에서는 III.3장에서 정의되는 상관도와 임계값에 대한 식들을 이용하여, 워터마크의 추출기와 마찬가지로 채널선택정보를 이용하지 않고 선택 가능한 7가지 각 경우의 상관도와 임계값을 구한다. 삽입기는 상관도와 임계값의 차가 최대가 되는 경우를 선택하여 워터마크를 삽입한다.

3.3. 워터마크의 검출

제안된 워터마킹에서 워터마크의 검출은 수신된 영상과 워터마크의 Seed를 가지고 이루어진다. RGB 세 채널의 Random Variable $I_{R,i}$, $I_{G,i}$, $I_{B,i}$ 는 i.i.d.(Independent Identically Distributed)라고 가정한다.^{[14][16]} 또한, 서로 다른 Seed를 가지는 RGB 세 채널에서의 워터마크 $W_{R,i}$, $W_{G,i}$, $W_{B,i}$ 도 역시 평균이 0이고 분산이 1인 i.i.d.(Independent Identically Distributed) Random Variable이다. 추출기측에서는 선택적 워터마킹의 채널정보를 가지고 있지 않다. 하지만 세 개의 워터마크가 서로에 대해서 각각 독립변수이기 때문에 추출기측에서는 '워터마킹에서의 채널정보가 필요하지 않다. 그러므로 각 채널에서의 상관도를 통계적인 방법으로 구하여 더

함으로써 메시지의 검출에 필요한 상관도를 식 (3.18)과 같이 구할 수 있다. $I_{W,R}$, $I_{W,G}$, $I_{W,B}$ '는 전송채널을 통해서 추출기에 수신된 워터마크가 삽입된 영상이다.

$$\rho = \frac{\langle I_{W,R}, W_R \rangle + \langle I_{W,G}, W_G \rangle + \langle I_{W,B}, W_B \rangle}{n}
 \tag{3.18}$$

워터마크의 검출을 위한 임계값은 기본적으로 Piva의 Blind Thresholding 방법^{[14][16]}을 이용한다. 본 논문에서는 Piva의 알고리즘^{[14][16]}과는 달리 RGB 세 채널에서 서로 다른 워터마크를 삽입함으로써 계산상의 복잡성을 줄이고 각 채널에 서로 다른 Seed를 가지는 워터마크를 삽입함으로써 워터마킹의 Security를 증가시킨다. 식 (3.18)을 통해서 제안된 상관도는 중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의해서 Gaussian pdf를 가진다고 가정한다. 그러므로, 식 (3.19)를 통해서 워터마크를 검출하기 위한 임계값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 p(\rho_{not} > Threshold \mid Watermark \text{ is not embedded}) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot erfc\left(\frac{Threshold}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{not}^2}\right) \\
 &= false \ positive \ error \ probability
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

ρ_{not} 는 워터마크가 삽입되지 않은 영상에서의 상관도이며 σ_{not}^2 은 워터마크가 삽입되지 않은 영상에서의 상관도에 대한 분산이다. ρ_{not} 의 평균은 0이며 $E(\rho_{R,not} \cdot \rho_{G,not})$, $E(\rho_{R,not} \cdot \rho_{B,not})$, $E(\rho_{G,not} \cdot \rho_{B,not})$ 의 값도 모두 0이다. 또한, $E(\rho_{R,not}^2) \approx E(I_{W,R,i}^2)/n$ 이기 때문에 σ_{not}^2 은 식 (3.20)과 같이 구하여진다. $\rho_{R,not}$, $\rho_{G,not}$, $\rho_{B,not}$ 는 워터마크가 삽입되지 않은 영상의 각 채널에 대한 상관도이다.

$$\sigma_{not}^2 = \frac{1}{n} \cdot \{E(I_{W,R,i}^2) + E(I_{W,G,i}^2) + E(I_{W,B,i}^2)\}
 \tag{3.20}$$

식 (3.19)와 식 (3.20)을 통해서 워터마크를 검출하기 위한 임계값을 식 (3.21)과 같이 구할 수 있다. 칼라영상 워터마킹의 다른 알고리즘^{[14][16]}과 비교하기 위해서 false positive error probability를 [14][16]과 같이 10^{-6} 으로 한다.

$$Threshold = 3.3 \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{not}^2}
 \tag{3.21}$$

IV. 실험

본 논문에서 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘^{[14][16]}을 비교하기 위해서 크기가 256*256인 Baboon영상과 Lena영상에 대해서 각각 실험하였다. 본 실험에서는 Baboon영상과 Lena영상의 256*256개의 DCT 계수들 중에서 Zigzag Scan 순서로 8001번째부터 24000번째까지의 중간영역에 있는 16000개의 DCT 계수들을 가지고 각 채널에서의 벡터 I_R, I_G, I_B 를 만들었다. 각 채널에 삽입되는 워터마크는 서로 다른 Seed를 가진 평균이 0이고 분산이 1인 벡터 원소의 개수가 16000개인 Gaussian Pseudo-random Number이다.

4.1. Q값에 따른 화질열화

기존의 알고리즘^{[14][16]}에서는 Baboon영상과 Lena영상에 대해서 RGB 각 채널에서의 Global Scaling Factor를 표 2의 Global Scaling Factor 값과 같이 경험적으로 구하여 RGB 각 채널에 워터마크를 삽입하였다. 256*256 크기의 각 영상에 대해서 [14][16]의 워터마킹 방법으로 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상과의 PSNR은 표 2의 PSNR과 같다. Baboon영상과 Lena영상에 제안된 방법으로 RGB 세 채널에 모두 워터마크를 삽입하는 경우, Baboon영상은 Q값이 22일 때의 PSNR은 38.15[dB]이고 Q값이 23일 때의 PSNR은 39.11[dB]이다. Lena영상은 Q값이 26일 때의 PSNR은 45.50[dB]이고 Q값이 27일 때의 PSNR은 46.28[dB]이다. 결국, [14][16]의 워터마킹 방법은 본 논문에서 제안한 선택적 워터마킹의 화질열화요소 Q가 Baboon영상은 22에서 23 사이의 값을 가지는 경우 중에서, Lena영상은 Q가 26에서 27 사이의 값을 가지는 경우 중에서, RGB 세 채널을 모두 선택하여 워터마크를 삽입하는 경우에 해당된다. 단지, 차이는 본 논문에서 제안된 워터마킹 방법이 서로 다른 Seed의 워터마킹을 사용함으로써 워터마킹의 Security를 높인다는 것이다.

그림 1은 제안된 선택적 워터마킹 방법으로 각각 Baboon영상과 Lena영상에 RGB 세 채널을 모두 선택하여 워터마크를 삽입한 그림들이다. 각 영상에 대해서

표 2. 기존 알고리즘 [14][16]에서의 PSNR과 RGB 각 채널의 Global Scaling Factor
Table 2. PSNR & Global Scaling Factor in [14][16].

Image	PSNR[dB]	a_R	a_G	a_B
Baboon	38.56	0.147	0.107	0.346
Lena	45.72	0.071	0.098	0.231

각각 Q=0, Q=5, Q=10, Q=15, Q=20, Q=25에 대한 그림들이다.

4.2. 동일 화질열화요소에서의 상관도와 임계값

본 논문에서는 기존 알고리즘^{[14][16]}과의 비교를 위해 Baboon영상은 화질열화요소 Q=23을 Lena영상은 화질열화요소 Q=27을 선택하여 제안된 선택적 워터마킹의 강인성을 실험하였다.

표 3과 표 4는 각각 Baboon영상과 Lena영상의 삽입 기층에서 채널선택정보를 가지지 않고 추출기의 입장에서 구한 상관도와 임계값의 차를 구한 것이다. 표 3과 표 4에서 보는 것과 같이 Blue채널을 포함한 워터마킹이 다른 채널을 포함한 워터마킹보다 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 제안된 워터마킹 방법이 인간의 시각적 특성을 이용하기 때문이다. 본 실험의 Baboon영상에서는 화질열화요소 Q=23에서 상관도와 임계값의 차이가 가장 큰 RB채널을 선택하여 워터마크를 삽입하고 Lena영상에서는 화질열화요소 Q=27에서 상관도와 임계값의 차이가 가장 큰 B채널을 선택하여 워터마크를 삽입한다. Baboon영상에 대해 화질열화요소 Q=23에서 채널정보 6(RB채널을 선택)을 가지고 제안된 워터마킹 방법으로 워터마크를 삽입했을 때의 채널선택정보는 $r=1, g=0, b=1$ 이다. 이 때, 밝기영상에서의 Global Scaling Factor a 는 0.049이고, 각 채널에서의 Global Scaling Factor는 각각 a_R 은 0.164이고 a_B 는 0.430이다. Lena영상에 대해 화질열화요소 Q=27에서 채널정보 3(B채널을 선택)을 가지고 제안된 워터마킹 방법으로 워터마크를 삽입했을 때의 채널선택정보는 $r=0, g=0, b=1$ 이다. 이 때, 밝기영상에서의 Global Scaling Factor a 는 0.046이고, B채널에서의 Global Scaling Factor a_B 는 0.401이다.

그림 2에서 (a)와 (c)는 원 Baboon영상과 원 Lena영상이고 (b)와 (d)는 화질열화요소 Q=23에서 채널정보 6(RB채널을 선택)을 가지고 제안된 워터마킹의 방법으로 워터마크를 삽입했을 때의 Baboon영상과 화질열화요소 Q=27에서 채널정보 3(B채널을 선택)을 가지고 제안된 워터마킹의 방법으로 워터마크를 삽입했을 때의 Lena영상이다.

4.3. JPEG과 Gaussian Noise에 대한 워터마킹의 강인성 비교

그림 3은 칼라영상에서의 RGB 세 채널에 대한 기존 워터마킹 방법^{[14][16]}과 제안된 워터마킹 방법의 강인성에



그림 1. (a) Q=0 (b) Q=5 (c) Q=10 (d) Q=15 (e) Q=20 (f) Q=25 (g) Q=0 (h) Q=5 (i) Q=10 (j) Q=15 (k) Q=20 (l) Q=25
 Fig. 1. (a) Q=0 (b) Q=5 (c) Q=10 (d) Q=15 (e) Q=20 (f) Q=25 (g) Q=0 (h) Q=5 (i) Q=10 (j) Q=15 (k) Q=20 (l) Q=25.

표 3. 상관도와 임계값의 차(Q값 22~24), Baboon영상
Table 3. Difference between correlation & threshold in Baboon, Q : 22~24.

	Selected Channel						
	R	G	B	RG	GB	RB	RGB
Q=22	3.31	0.95	11.50	3.54	9.38	11.54	10.37
Q=23	2.79	0.67	10.09	2.98	8.19	10.12	9.07
Q=24	2.31	0.43	8.84	2.48	7.13	8.86	7.92

표 4. 상관도와 임계값의 차(Q값 25~27), Lena영상
Table 4. Difference between correlation & threshold in Lena, Q : 25~27.

	Selected Channel						
	R	G	B	RG	GB	RB	RGB
Q=25	1.15	0.10	4.74	1.30	3.69	4.61	4.12
Q=26	0.92	-0.02	4.12	1.05	3.20	4.00	3.60
Q=27	0.71	-0.13	3.57	0.85	2.77	3.45	3.15

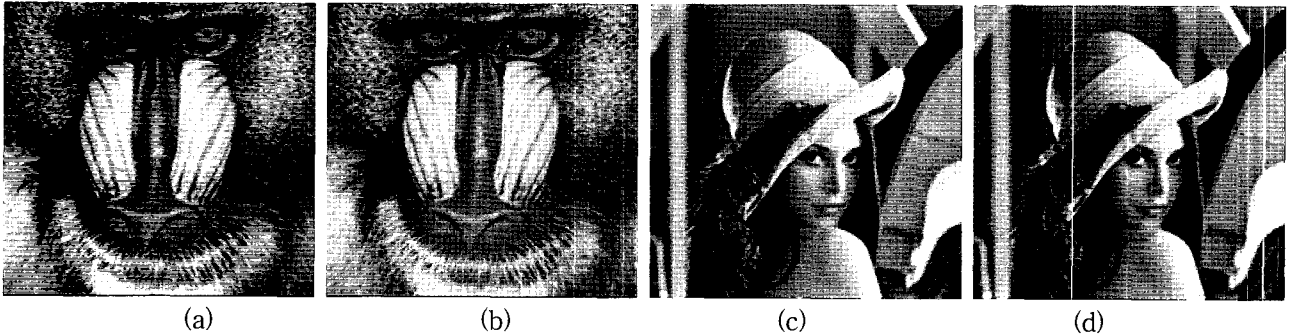


그림 2. 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 주관적 화질 비교 (a) 원 Baboon영상 (b) 워터마크가 삽입된 영상(Q=23, 채널정보 6) (c) 원 Lena영상 (d) 워터마크가 삽입된 영상(Q=27, 채널정보 3)

Fig. 2. The subjective quality comparison between the original image and the watermarked image (a) the original Baboon image (b) the watermarked Baboon image (c) the original Lena image (d) the watermarked Lena image.

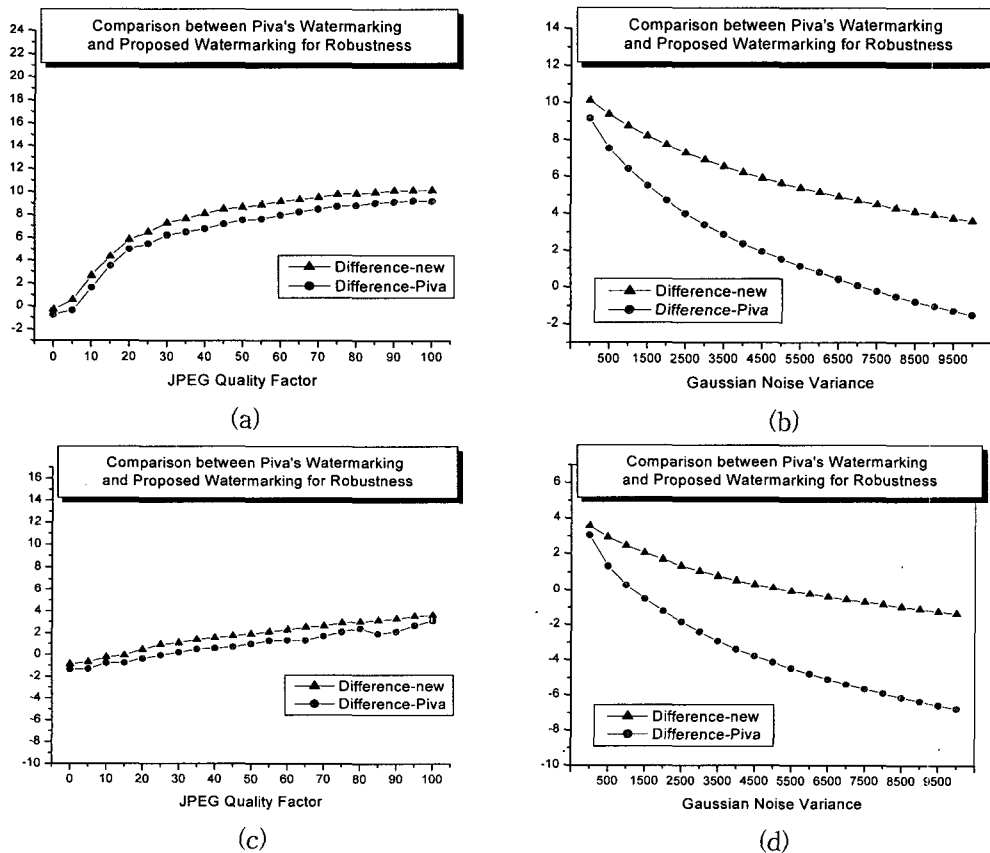


그림 3. 기존 워터마킹 방법^{[14][16]}과 제안된 방법의 강인성에 대한 비교실험 결과 (a) Baboon영상에서의 JPEG에 대한 비교 (b) Baboon영상에서의 Gaussian Noise에 대한 비교 (c) Lena영상에서의 JPEG에 대한 비교 (d) Lena영상에서의 Gaussian Noise에 대한 비교

Fig. 3. The comparison of robustness between the proposed method & [14][16] (a) JPEG in Baboon image (b) Gaussian Noise in Baboon image (c) JPEG in Lena image (d) Gaussian Noise in Lena image.

대한 비교실험 결과이다. (a)와 (c)는 JPEG에 대한 비교 실험 결과이며, (b)와 (d)는 Gaussian Noise에 대한 비교 실험 결과이다. 이 때 Gaussian Noise의 평균은 모두 0이다.

V. 결 론

워터마킹에 있어서 화질열화와 강인성은 trade-off 관계에 있다. 칼라영상은 이 문제에 접근함에 있어서 확실히 이점을 가지고 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 이러한 칼라영상의 이점을 이용하여, 동일한 화질열화라는 조건 아래에서 상관도와 임계값의 차이가 최대가 되는 경우를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 실험결과를 통하여 칼라영상에 대해 제안된 워터마킹의 방법이 동일한 화질열화라는 조건 아래에서 기존의 방법^{[14][16]}보다 더 강인한 워터마킹 방법이라는 것을 알 수 있다. 또한, 서로 다른 3개의 Seed를 사용함으로써 워터마킹의 Security를 높일 수 있다.

본 논문의 근본적인 출발점 중의 또 다른 하나는 '워터마킹에 의한 화질열화가 동일하다는 조건 아래에서 과연 RGB 세 채널에 워터마크를 모두 삽입하는 경우가 모든 영상에서 항상 다른 삽입 경우보다 유리한가?'라는 의문점이었다. 실험결과를 통하여 '그렇지 않다'라는 것을 확인할 수 있었으며, '영상에 따라서 7가지 삽입 경우 중에서 좀 더 유리한 워터마크 삽입 경우를 선택할 수 있다'라는 결론을 확인할 수 있었다.

워터마킹에 의한 화질열화를 줄이면서 보다 강인한 워터마킹을 할 수 있도록, 칼라영상이 가지는 인간의 시각적 특성과 다채널 특성은 다양한 칼라공간에서의 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] S. Katzenbeisser, F.A.P. Petitcolas, et al., "Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking," Artech House, 2000.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, "Digital Watermarking," Moran Kaufmann, 2002.
- [3] C. I. Podilchuk, E. J. Delp, "Digital Watermarking: Algorithm and Applications," IEEE Signal Processing Magazine, no. 4, pp. 33-46, July, 2001.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, A. Lu, "Techniques for Data Hiding," IBM Systems Journal, vol. 35, no. 3 and 4, pp. 313-336, 1996.
- [5] F. Hartung, M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," Processing of IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, July, 1999.
- [6] I. J. Cox, M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling," Processing of Electronic Imaging, vol. 3016, pp. 92-99, February, 1997.
- [7] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, E. J. Delp, "Perceptual Watermarks for Digital Images and Video," Processing of IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1108-1126, July, 1999.
- [8] S. Voloshynovskiy, et al., "Attack Modeling: Towards a second Generation Watermarking Benchmark," Signal Processing, Special Issue on Information Theoretic Issues in Digital Watermarking, vol. 81, no. 6, pp. 1177-1214, 2001.
- [9] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, pp. 1673-1687, December, 1997.
- [10] M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen, "Digital Signature of Color Images Using Amplitude Modulation," Processing of SPIE, vol. 3022, pp. 518-526, January, 1997.
- [11] D. J. Fleet, D. J. Heeger, "Embedding Invisible Information in Color Images," Processing ICIP-1997, vol. 1, pp. 532-535, October, 1997.
- [12] M. Caramma, R. Lancini, F. Mapelli, S. Tubaro, "A Blind & Readable Watermarking Technique for Color Images," Processing ICIP-2000, pp. 10-13, September, 2000.
- [13] Chun-Hsien Chou, Tung-Lin Wu, "Embedding Color Watermarks in Color Images," 2001 IEEE Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 327-332, 2001.
- [14] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," Signal Processing, vol. 66, no. 3, pp. 357-372, May, 1998.
- [15] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, "Threshold Selection for Correlation-based Watermark Detection," in Processing COST 254 Workshop on Intelligent Communication, pp. 67-72, June, 1998.
- [16] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, "Multichannel Watermarking of Color Images," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 12, pp. 142-156, March, 2002.
- [17] 김희수, 이호영, 하영호, "칼라 정지 영상에 적합한 디지털 워터마킹(Digital Watermarking for Color Still Images)," 한국통신학회 논문지, 제 26권, 8호, pp. 1161-1167, 2001.

저 자 소 개



원 준 호(정회원)

2001년 2월 성균관대학교 전기
전자 및 컴퓨터공학과
학사 졸업.

2003년 2월 성균관대학교 정보통
신공학부 석사 졸업.

2003년 2월~현재 서울통신기술
(주) 통신연구소 연구원.

<주관심분야: 디지털 워터마킹, 멀티미디어,
이동통신>



전 병 우(정회원)

1985년 2월 서울대학교
전자공학과 학사 졸업.

1987년 2월 서울대학교
전자공학과 석사 졸업.

1992년 12월 Purdue Univ, School
of Elec. 박사 졸업.

1993년~1997년 8월 삼성전자 신호처리연구소
수석연구원.

1997년 9월~현재 성균관대학교 정보통신공학부
부교수.

<주관심분야: 멀티미디어, 영상압축, 영상인식>