

디지털 영상의 밝기와 대비에 따른 워터 마크 잡음 강도의 차이†

감기택¹⁾ 문호석²⁾ 유현우¹⁾ 정찬섭¹⁾

¹⁾ 인지과학연구소 ²⁾ 고려대학교

연세대학교 산업시스템정보공학과

The effect of mean brightness and contrast of digital image on detection of watermark noise

Keetaek Kham¹⁾, Ho-Seok Moon²⁾, Hun-Woo Yoo¹⁾, Chan-Sup Chung¹⁾

¹⁾ Center for Cognitive Science ²⁾ Department of Industrial System and Information Engineering,

Yonsei University

Korea University

요약

디지털 영상물에 대한 저작권을 보호하기 위해 저작권자의 고유한 영상을 기존 디지털 영상에 삽입하는 것을 워터 마킹이라고 부른다. 삽입된 워터 마크가 효과적으로 사용되기 위해서는 영상의 다양한 왜곡이나 변형에도 강건할 수 있게 그 강도가 강해야 하며, 동시에 워터 마크가 삽입된 영상의 왜곡을 식별할 수 없게 그 강도를 약하게 하여야 한다. 비가시성을 유지한 채 가능한 한 강한 워터마크를 삽입하는 것은 워터마크를 적용하는 데 매우 중요한 문제이다. 대부분의 워터 마크 알고리즘에서 삽입될 워터 마크의 강도는 원영상과 워터 마크 영상간의 물리적인 차이에 근거하여 계산된 특정 값으로 고정한 채, 이 값을 모든 영상에 동일하게 적용하고 있다. 인간의 경우 자극의 탐지는 주변 영상의 밝기나 대비 등 여러 요소에 의해 변화되므로 디지털 영상에 삽입된 워터 마크의 탐지도 영상의 특징에 따라서 변화될 수 있다. 본 연구에서는 원영상으로부터 세 수준의 밝기와 세 수준의 대비를 갖는 기본 영상들을 만든 후, 기본 영상에서 탐지될 수 있는 워터 마크의 강도가 변화되는 지를 살펴보았다. 연구 결과 영상의 밝기가 밝아질수록, 대비가 커질수록 지각될 수 있는 워터 마크의 강도는 더 커지는 것으로 나타났다. 또한 회귀분석을 통해 영상의 밝기와 대비에 근거하여 삽입될 워터 마크의 강도를 결정할 수 있는 회귀 식을 만들어 내었다. 이러한 회귀 식은 주어진 영상의 통계 치에 근거하여 워터 마크 강도를 적응적으로 변화시킬 수 있는 알고리즘을 개발하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

컴퓨터와 멀티미디어기술의 혁신적인 발전에 따라, 음성이나 영상, 비디오 등에서 생성되는 디지털 저작물들이 넘쳐 나고 있다. 또한 과거에 고가의 제품이던 디지털카메라나 캠코더, 스캐너 등의 영상기기들을 일반 사용자도 쉽게 사용할 수 있게 됨으로 해서 디지털 영상의 생성은 향후에도 지속될 것으로 생각된다. 디지털 영상에 대한 접근과 이를 복사하고 변형하는 것이 용이해짐에 따라 원작자의 저작권이 중요한 문제로 대두되고 있다(Dai, Jang & Yang, 2003). 디지털 콘텐츠의 불법적인 사용을 방지하고 저작권을 보호하기 위한 방법으로서는 저작권자의 고유한 영상을 일반 사용자가 식별할 수 없는 비밀 코드의 형태로 삽입하는 디지털 워터 마킹 기술이 연구되고 있다(Lin & Chen, 2000).

삽입된 워터 마크가 효과적으로 사용되기 위해서는 그 강도가 매우 커서 크기나 해상도의 변화와 같은 다양한 변형에도 원래의 워터 마크를 추출할 수 있어야 한다. 이와 동시에 사용자가 주어진 영상으로부터 워터 마크가 삽입되었다는 것을 식별하지 못할 정도로 약하게 삽입되어야 한다. 워터 마크의 강도를 높일수록 왜곡이나 변형에는 강건하지만 쉽게 식별될 수 있으며, 이와 반대로 워터 마크의 강도가 약할수록 식별되지는 않지만 왜곡이나 다른 변형에 의해서 이를 복구하기는 어려워진다. 왜곡에 대한 강건성과 비가시성 이 두 기준은 서로 상충적이기 때문에 워터 마킹 알고리즘을 설계하는 데 있어서 삽입할 워터마크의 최적 강도를 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 일반적으로 워터 마킹 알고리즘 개발자들은 원본 영상과 워터 마크 영상들의 화소 값의 물리적인 차이에 근거하여 그 강도를 결정한다. 공학 분

† 본 연구는 본 논문은 2004년도 한국 학술진흥재단의 지원(KRF-2004-005-H00004)에 의해서 연구되었다.

야에서 두 영상의 물리적인 차이를 수량화 해주는 대표적인 측정치는 최대 신호대 잡음비(peak signal-to-noise ratio: PSNR)로서 다음의 공식으로 구할 수 있다.

$$PSNR = 10 \log \frac{(256 \times 256)}{\frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (X_{ij} - Q_{ij})^2}$$

X_{ij} 와 Q_{ij} 는 각각 $N \times M$ 크기의 원본 영상과 사본 영상의 ij 위치에서 있는 화소 값을 나타내며 두 영상이 유사할수록 PSNR 값은 커진다. 일반적으로 PSNR 값이 대략 35에서 40dB 이상일 경우 원본 영상과 구별되지 않기 때문에 이 기준을 만족시키는 한도 내에서 가장 강한 워터 마크를 삽입하지만 그 기준에 대한 경험적 자료나 논리적 근거는 희박하다.

본 연구에서는 실제 영상의 평균 밝기와 대비에 따라 워터마크의 탐지 가능성이 달라지는 것을 살펴보기 위해서 실시되었다. 워터 마크의 탐지 가능성이 영상의 밝기와 대비 수준에 따라 어떻게 변화되는지를 파악하고 예측할 수 있다면, 삽입되는 워터마크의 강도를 모든 영상에 일률적으로 적용하는 대신에 각 영상의 밝기와 대비의 특징에 따라 다르게 결정할 수 있으므로 영상 통계치에 근거하여 적용적으로 워터 마크의 강도를 결정할 수 있을 것이다. 이를 통해 워터 마크의 비가시성을 유지하면서도 강한 워터마크를 삽입할 수 있으므로 영상의 비

가시성을 손상시키지 않는 범위 내에서 왜곡에 강건한 워터 마크를 삽입할 수 있을 것이다.

실험

영상의 평균 밝기와 대비에 따라 탐지될 수 있는 워터마크의 강도가 변화되는 것을 알아보기 위해 영상 처리 분야에서 대표적으로 사용되는 ‘비행기’, ‘레나(lena)’, ‘원숭이(baboon)’, 그리고 ‘고추’의 네 영상이 사용되었다. 다양한 밝기와 대비 값을 갖는 각기 다른 영상들을 사용할 경우 밝기와 대비 이외에 각 영상이 가지는 다른 변인들이 영향을 줄 수 있으므로, 이를 최소화하기 위해 본 연구에서는 위에 제시된 네 개의 영상만을 실험에 포함시켰다.

방법

참가자 실험의 목적을 알지 못하는 여덟 명의 학부생과 대학원생이 실험에 참가하였으며 이들 모두는 교정시력 0.8이상이었다.

자극

1) 실험에 포함시킬 영상의 밝기와 대비의 기준 설정
보통의 디지털 영상들이 가지고 있는 밝기와 대비 값들을 실험에 적용하여야 한다. 이 값들을 파악하고 실험에 적용하기 위해서 코렐 드로우의 영상 자료집(DB)에서 약 1200개의 영상을 무선적으로 선정한 후 밝기와 대비

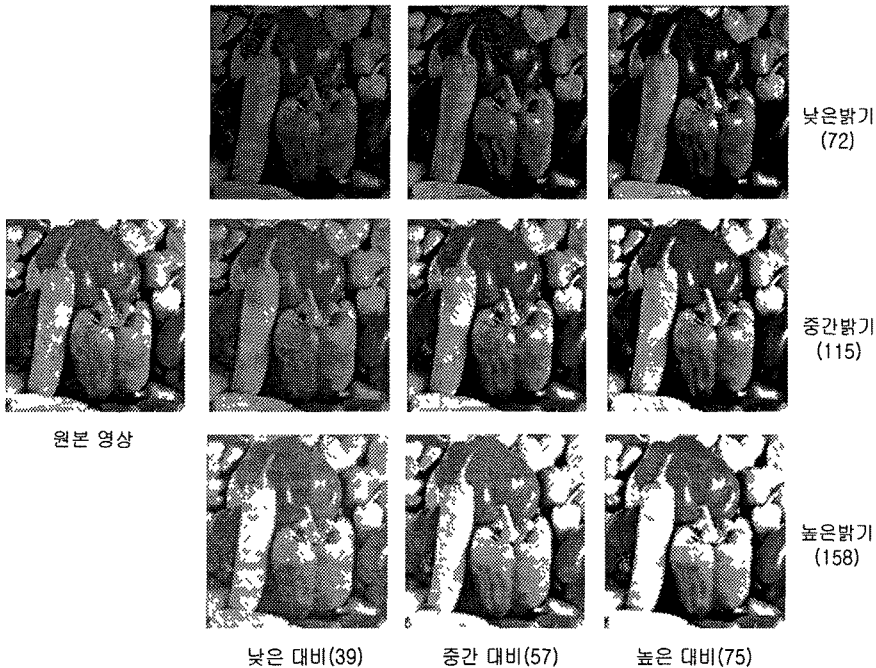


그림 175. 왼쪽에 제시된 원본 영상을 72, 115, 158의 평균밝기와 39, 57, 75의 대비를 가지는 기본 영상들로 변환한 예.

값을 분석하였다. 각 영상을 256의 밝기 수준을 가지는 흑백 영상으로 변환한 후 영상의 각 화소 값을 이용하여 평균 밝기와 대비 값을 다음의 공식으로 구하였다.

$$\text{평균밝기}(\mu) = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} X_{ij}$$

$$\text{대비} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (X_{ij} - \mu)^2}{NM - 1}}$$

위 공식에 따라 1200개의 자연 영상의 평균 밝기 값과 대비 값을 구한 결과 영상의 평균 밝기는 113.21 (±2.56)이었고, 평균 대비는 56.82(±8.03)이었다. 따라서 실험에 사용될 영상의 밝기 수준은 자연 영상의 평균 밝기 수준과 유사한 115와 이로부터 1표준 편차보다 크거나 작은 72, 158의 세 수준으로 결정되었다. 대비의 경우에도 평균 대비 수준인 57과 대비의 1 표준 편차인 18보다 큰 수준(75)과 작은 수준(39)이 포함되어 모두 세 수준으로 결정되었다.

2) 정해진 밝기와 대비 값에 따라 기본 영상의 생성
실험에서는 영상 처리에서 자주 이용되는 ‘고추’, ‘비행기’, ‘레나(lena)’, ‘원숭이(baboon)’의 네 그림을 원 영상으로 사용하였다. 영상의 밝기와 대비 값에 따라 탐지될 수 있는 위터마크 잡음 영상의 강도가 변화되는 지를 알아보기 위해서 먼저 사전 조사에서 발견된 밝기와 대비 값을 가지는 영상들을 만들었다. 세 수준의 밝기 값과 세 수준의 대비 값의 조합으로 만들어 질 수 있는 아홉 조건에서 사용될 기본 영상들을 만들기 위해 먼저 원영상의 각 화소의 평균 밝기는 0으로 대비는 1인 값을 가지도록 표준화시켰다. 표준화된 영상의 각 화소 값에 해당 조건의 대비 값을 곱한 후 해당 조건의 밝기 값을 더함으로써 각 조건에 사용될 기본 영상의 각 화소 값을 만들었다. 디지털 영상에서는 한 화소의 밝기 값이 0에서 255까지 256 단계로 변화되므로 기본 영상을 생성하는 과정에서 이 범위를 벗어난 화소 값은 0과 255로 고정시켰다. 이러한 오차 때문에 생성된 기본

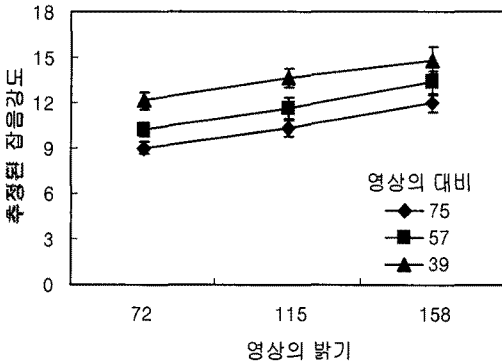


그림 177 영상의 밝기와 대비에 따라 추정된 잡음 강도

영상의 밝기와 대비 값은 기본 영상을 만들 때 적용시킨 밝기와 대비 값과는 약간의 차이가 발생하였다. 그림 1은 ‘고추’의 원 영상으로부터 밝기와 대비 값을 변화시킨 아홉 개의 기본 영상을 보여주고 있다. 이 과정을 통해 네 그림 각각의 원영상으로부터 아홉 조건의 기본 영상을 산출하였다.

3) 위터 마크가 삽입된 영상 생성

아홉 개의 실험 조건에서 지각할 수 있는 잡음 강도의 차이를 발견하기 위해 각 조건의 기본 영상에 각기 다른 수준의 강도를 갖는 위터 마크 영상을 실험 전에 생성하였다. 위터 마크는 Moon 등(2005)의 알고리즘에 의해 생성되었으며, 해당조건의 기본 영상으로부터 15수준의 각기 다른 강도를 갖는 위터 마크 삽입 영상들이 만들어졌다. 모든 영상은 512x512의 화소의 크기로 1280x1024의 해상도를 가지는 21인치 모니터에 제시되었다.

절차 본 연구의 주된 목적은 영상의 밝기와 대비에 따라 지각될 수 있는 잡음 강도에서 조건 간 차이가 발생할 지를 판단하는 것이었기 때문에 탐지될 수 있는 잡음 강도의 절대 값보다는 밝기와 대비 조건에 따라 잡음 강도의 상대적인 값의 차이를 발견하는 데 초점을 맞추었다. 따라서 모든 조건에서 공통적으로 적용될 잡음 강도에 대한 준거 자극을 정한 후, 각 조건에서는 이 준거 자극에서 발견되는 잡음의 강도와 해당 조건의 잡음의 강도를 일치시키도록 하였다. 밝기와 대비가 가장 낮은 조건의 ‘고추’의 기본 영상과 이 영상에 잡음 강도가 6인 위터 마크가 삽입된 영상을 준거 자극으로 삼았다. 잡음 강도가 6인 영상을 선택한 이유는 Moon 등(2005)의

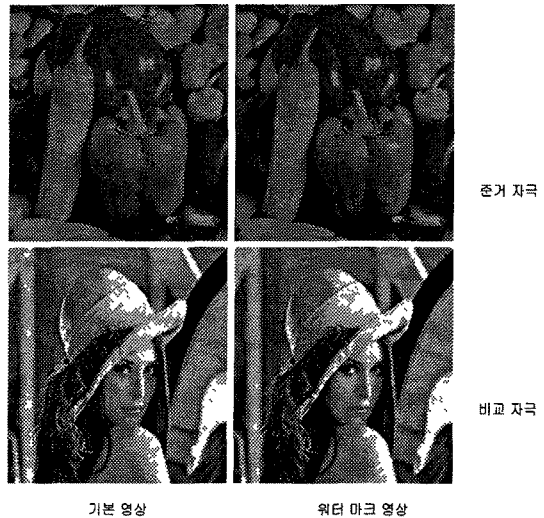


그림 176. 실험의 한 시행에서 제시된 준거 자극과 비교자극들.

알고리즘에서 적용된 위터 마크 강도 값이기 때문이었다.

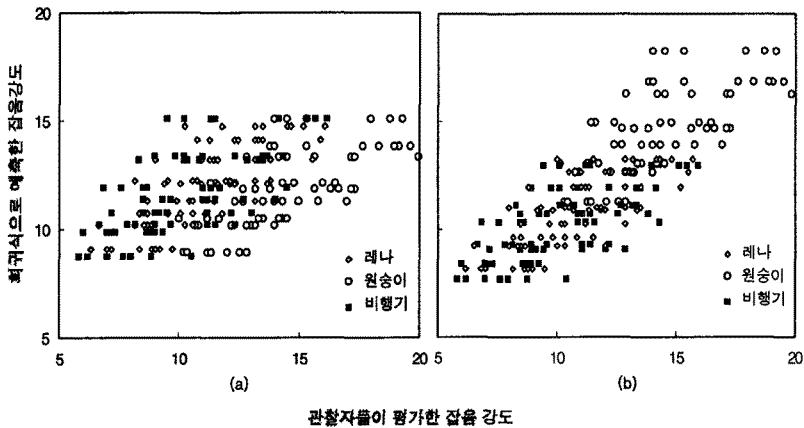


그림 178. 관찰자들이 평가한 잡음 강도와 회귀식에 의해 예측된 잡음 강도간의 산포도. (a)는 전체 자료로부터 구해진 회귀식의 예측 값이 (b)는 각 그림 별 자료로부터 얻어진 회귀식의 예측 값이 y축에 제시되어 있다.

준거자극과 동일하게 비교자극에서도 각 조건의 기본 영상과 무선적으로 선정된 잡음 강도를 가지는 워터 마크 영상이 제시되었다. 관찰자들의 과제는 두 준거 자극 사이에서 발견되는 잡음 강도를 두 비교 자극 사이에서 발견되는 잡음 강도와 비교하는 것이었다. 그림 2는 한 시행에서 제시된 준거자극과 비교자극의 예를 보여주고 있다. 준거 자극은 모든 조건의 시행에서 동일한 영상이 제시되었으며, 비교 자극은 해당 밝기와 대비 조건의 기본 영상과 여러 수준의 잡음 강도를 가지는 워터 마크 영상들 중 하나가 제시되었다. 관찰자들은 두 준거자극에서 발견할 수 있는 잡음 강도를 먼저 파악한 다음 비교자극으로 제시된 두 영상에서 발견되는 잡음 강도를 평가하였다. 비교자극에서 발견되는 잡음 강도가 준거 자극에서 발견되는 잡음 강도와 다를 경우 키보드의 특정 키들을 누름으로써 비교 자극들 중 워터 마크가 삽입된 영상의 잡음 강도를 변화시킬 수 있었다. 한 시행에서 참가자들은 준거 자극의 잡음 강도와 일치시킬 때까지 비교자극의 잡음 강도를 올리거나 내릴 수 있었으며 시간제한은 없었다. 준거자극과 비교자극에서의 잡음 강도가 동일하다고 판단되면 특정 키를 누름으로써 해당 시행을 종료했으며, 곧바로 다른 조건의 비교자극이 제시되었다. 세 수준의 밝기와 대비 변인의 조합으로 만들어지는 아홉 조건 각각에서 비교자극들 간의 잡음 강도가 준거 자극들 간의 잡음 강도와 비교되었다. 준거 자극으로 사용된 고추 영상을 제외 한 나머지 세 개의 그림들(비행기, 원숭이, 레나)이 비교자극으로 사용되었기 때문에 총 27번의 시행이 한 구획으로 구성되었다. 한 회귀동안에 한 구획은 두 번 반복적으로 측정되었으며, 세 번의 회귀가 각각 다른 날짜에 실시되어 각 자극에 대한 잡음 강도의 추정은 모두 여섯 번에 걸쳐 수행되었다.

결과 및 논의

1) 밝기와 대비 두 변인에 따른 잡음 강도 값의 차이
 그림 3에 제시되어 있는 것과 같이 변량 분석 결과 영상의 평균밝기가 증가할수록 잡음 강도도 증가하는 것으로 나타났으며($F(2, 14)=87.86, p < .001$), 영상의 밝기 대비 값이 증가함에 따라 잡음 강도도 증가하는 것으로 나타났다($F(2, 14)=103.38, p < .001$). 밝기에 따른 효과는 각기 다른 대비조건에서도 유사하게 나타나 두 변인들 간에 상호작용은 유의하지 않았다($F(4, 28)=1.01, p > .05$). 영상의 밝기와 대비에 따라 물리적으로는 각기 다른 수준의 잡음 강도가 지각적으로는 유사한 것으로 나타난 본 연구의 결과는 물리적인 차이에 근거한 PSNR 값이 동일한 경우에도 영상의 밝기와 대비에 따라 지각된 워터 마크의 강도는 달라질 수 있음을 보여준다. 이러한 결과는 영상의 밝기와 대비에 따라 삽입되는 워터 마크의 강도를 적응적으로 변화시킴으로써 모든 영상에 동일한 강도의 워터 마크를 삽입하는 기존의 알고리즘보다 훨씬 강한 워터 마크를 삽입할 수 있음을 보여준다.

2) 영상의 밝기와 대비 값에 따른 잡음 강도
 각 밝기와 대비 조건에서 관찰자들이 추정된 잡음 강도는 각 영상의 밝기와 대비 값들로부터 예측될 수 있는지, 또한 예측될 수 있다면 이 두 변인으로부터 예측된 값들이 실제 각 조건에서 측정된 값들과 얼마나 유사한지를 살펴볼 필요가 있다. 영상의 밝기와 대비 두 변인을 예언변인으로 삼고 추정된 잡음 강도를 종속변인으로 삼아 중다 회귀분석을 실시하였다. 전체 그림을 대상으로 회귀분석을 한 결과 밝기와 대비 두 변인 모두 잡음 강도 예측에 유의미한 것으로 나타나 다음과 같은 회귀식이 산출되었다.

$$\text{잡음 강도} = 2.852 + 0.034 * \text{영상의 밝기} + 0.068 * \text{영상의 대비}$$

그림 4의 (a)는 전체 그림을 대상으로 하여 얻어진 회귀

식으로부터 예측된 잡음 강도와 실제 관찰자들이 각 조건에서 추정한 잡음 강도를 산포도로 보여주고 있다. 밝기와 대비 두 변인은 추정된 잡음 강도 변량의 32.4%를 설명하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 역으로 잡음 강도 변량의 68%는 개인 차나 또는 본 연구에 포함되지 않은 영상의 또 다른 특징에 의해 영향을 받고 있는 것을 의미한다. 잡음 강도에 영향을 줄 수 있는 또 다른 영상 특징을 발견할 수 있다면, 이러한 변인을 회귀식에 포함시킴으로써 각 영상의 잡음 강도를 보다 정확하게 예측할 수 있다. 세 그림에 적용된 밝기와 대비 값들은 모두 유사하였지만 관찰자들이 평가한 잡음 강도는 그림에 따라 매우 다르다는 것을 그림 4의 (a)는 보여주고 있다. 검은 사각형과 마름모로 표시되어 있는 레나와 비행기 자극에 대한 잡음 강도는 유사하여 비슷한 영역에 걸쳐 제시되어 있으며, 두 자극에 대한 자료는 주로 45도의 대각선 영역에 걸쳐서 분포함으로써 회귀식이 예측한 값과 실제 관찰자들이 추정한 값이 유사함을 보여준다. 그러나 흰 원으로 제시되어 있는 '원숭이' 자극에 대한 잡음 강도 값은 이들보다 더 높은 것으로 나타났으며 45도의 대각선에서 벗어나서 오른쪽으로 치우쳐 있음을 확인할 수 있다. 실제 추정된 잡음 강도에서 '원숭이' 자극의 잡음 강도 (14.66 +/-1.75)는 '레나' (10.20 1.72)나 '비행기' (10.78 1.37)의 잡음 강도보다 유의하게 큰 것으로 나타났다($F(2, 14)=146.08, p < .001$).

실험에 포함된 세 그림의 밝기와 대비는 모두 유사하였으므로 세 그림에서 나타난 잡음 강도의 차이는 밝기와 대비 이외의 변인에 의해서 발생한 것임을 쉽게 유추할 수 있다. 따라서 세 그림에서 얻어진 모든 자료로부터 만들어진 회귀식에서는 밝기와 대비변인에 의한 잡음 강도의 설명력이 낮게 나타날 수 있다. 각 그림이 갖고 있는 밝기와 대비 이외의 효과를 최소화한 채 밝기와 대비에 의한 잡음 강도의 설명력을 알아보기 위해서 각 그림에서 얻어진 자료 각각에 대해 회귀 분석을 따로 실시하였다. 각 그림별로 만들어진 회귀 식에서 예측된 잡음 강도와 관찰자들이 추정한 잡음 강도의 산포도가 그림 4의 (b)에 제시되어 있다. 그림 4의 (a)에 제시된 것과는 달리 세 그림에서 얻어진 자료들 모두 45도 대각선의 주변 영역에 제시되어 있음을 볼 수 있다. 각 그림별로 만들어진 회귀 식에서 예측된 잡음 강도와 관찰자들이 추정된 값들 사이의 상관계수 $r=.825$ 로 매우 높게 나타났다.

본 연구는 영상이 가지고 있는 특징을 이용하여 비가시성을 유지하면서도 보다 강한 강도의 워터 마크를 삽입할 수 있는 가능성을 살펴보기 위해 실시되었다. 실험 결과 영상의 밝기와 대비가 높아질수록 워터 마크의 강도를 높이는 경우에도 쉽게 탐지되지 않음을 확인하였다.

참고 문헌

- Dai, Y. J., Zhang L., & Yang, Y. X. (2003). A New Method of MPEG Video Watermarking Technology. *Proceedings of IEEE ICCT*, 2.
- Lin, S. D., & Chen, C. F. (2000). A Robust DCT-Based Watermarking for Copyright Protection. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 46 (3), 415-421.
- Moon, H.-S., Yoo, H.-W., Sohn, M.-H., & Jang, D.-S. (2005) Adaptive Image Watermarking with Similar Mask, *Multimedia Tools and Applications*, (Submitted)