

공학박사 학위논문

통계적 다해상도 이론 및 시각적 동조
특성을 이용한 내용기반 적응
디지털 워터마킹



이 논문을 김현천이 제출함

2004년 2월

부경대학교 대학원

전자공학과

김 현 천

김현천의 공학박사 학위논문을 인준함

2003년 12월 26일

| | | | | | |
|---|---|------|---|---|---|
| 주 | 심 | 공학박사 | 김 | 문 | 수 |
| 부 | 심 | 공학박사 | 문 | 광 | 석 |
| 위 | 원 | 공학박사 | 서 | 경 | 룡 |
| 위 | 원 | 공학박사 | 권 | 기 | 룡 |
| 위 | 원 | 공학박사 | 김 | 종 | 진 |



목 차

| | |
|------------------------------|----|
| Abstract | 1 |
| 제 1 장 서 론 | 4 |
| 1.1 연구 배경 | 4 |
| 1.2 연구 목적 및 내용 | 6 |
| 제 2 장 디지털 워터마크 알고리즘 | 9 |
| 2.1 디지털 워터마크 이론 | 9 |
| 2.1.1 워터마크 | |
| 2.1.2 워터마크의 필요조건 | |
| 2.2 디지털 워터마크 삽입 알고리즘 | 12 |
| 2.3 디지털 워터마크 추출 알고리즘 | 14 |
| 2.3.1 비공개 워터마킹 | |
| 2.3.2 공개 워터마킹 | |
| 제 3 장 기존의 디지털 워터마킹 방법 | 19 |
| 3.1 Cox의 방법 | 20 |
| 3.2 Podilchuk의 방법 | 21 |
| 3.3 Lumini의 방법 | 23 |
| 3.4 Voloshynovskiy의 방법 | 25 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 제 4 장 제안한 내용기반 적응 워터마크 알고리즘 | 28 |
| 4.1 통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘 ... | 28 |
| 4.1.1 다해상도 이론 | |
| 4.1.2 연속 부대역 양자화 | |
| 4.1.3 비정상상태 가우시안 모델에서의 삽입 알고리즘 | |
| 4.1.4 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 삽입 알고리즘 | |
| 4.1.5 내용기반 적응 워터마크 삽입 알고리즘 | |
| 4.2 지각적 동조 특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘 | 40 |
| 4.2.1 지각적 중요계수의 선택 | |
| 4.2.2 워터마크 삽입을 위한 삽입 강도의 선택 | |
| 4.3 통계적 판정이론을 이용한 워터마크 검출 알고리즘 | 46 |
| 4.3.1 유사도 기반의 워터마크 검출 | |
| 4.3.2. 통계적 판정이론을 이용한 워터마크 검출 | |
| 4.3.3 웨이브릿 변환 기반의 우도비 및 임계치 설정 | |
| 제 5 장 실험 결과 및 고찰 | 54 |
| 5.1 워터마크 삽입 알고리즘에 대한 실험 | 54 |
| 5.1.1 통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘 | |
| 5.1.2 지각적 동조특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘 | |
| 5.2 워터마크 검출 알고리즘에 대한 실험 | 83 |
| 제 6 장 결 론 | 91 |
| 참고문헌 | 93 |

<그림 차례>

| | | |
|--------|--|----|
| 그림 1. | 위터마크의 기본 원리 | 14 |
| 그림 2. | 비공개 위터마킹 알고리즘 | 16 |
| 그림 3. | 공개 위터마킹 알고리즘 | 18 |
| 그림 4. | DWT의 서브밴드에 대한 다해상도 분해의 구성 | 32 |
| 그림 5. | 다해상도 분해의 (a)스케일 함수 공간 (b)웨이브릿 함수 공간 | 33 |
| 그림 6. | LENA 영상에 대한 PSCs | 35 |
| 그림 7. | 제안한 통계적 다해상도를 이용한 적응 위터마킹 모델 ... | 39 |
| 그림 8. | LENA 영상에 대한 PSCs | 41 |
| 그림 9. | AIRPLANE 영상에 대한 PSCs | 41 |
| 그림 10. | 에지와 텍스처 영역의 삼입강도 | 44 |
| 그림 11. | 평탄 영역의 삼입강도 | 44 |
| 그림 12. | 제안한 지각적 동조 특성을 이용한 적응적 모델 | 45 |
| 그림 13. | 각종 공격을 당했을 경우, 가설 H_0 및 H_1 에 따른 ρ 의 PDF들 | 47 |
| 그림 14. | 제안한 위터마크 검출 알고리즘의 과정 | 50 |
| 그림 15. | 제안한 판단 규칙의 흐름도 | 51 |
| 그림 16. | 삼입강도에 따른 PSNR 비교 | 56 |
| 그림 17. | 비정상상태 모델의 유사도 | 58 |
| 그림 18. | 정상상태 모델의 유사도 | 60 |

| | |
|---|----|
| 그림 19. JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교 | 63 |
| 그림 20. JPEG 압축률 80%에서 절단을 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교 | 65 |
| 그림 21. LENA 및 BARBARA 영상에 대한 비정상상태 모델 | 67 |
| 그림 22. LENA 및 BARBARA 영상에 대한 정상상태 모델 | 68 |
| 그림 23. LENA 영상에 대한 워터마킹 결과 | 70 |
| 그림 24. AIRPLANE 영상에 대한 워터마킹 결과 | 71 |
| 그림 25. BARBARA 영상에 대한 워터마킹 결과 | 72 |
| 그림 26. BABOON 영상에 대한 워터마킹 결과 | 73 |
| 그림 27. PEPPERS 영상에 대한 워터마킹 결과 | 74 |
| 그림 28. GOLDHILL 영상에 대한 워터마킹 결과 | 75 |
| 그림 29. 추출한 워터마크와 원 워터마크와의 유사도(CR=74.30) .. | 76 |
| 그림 30. LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도 | 77 |
| 그림 31. LENA 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR | 77 |
| 그림 32. BARBARA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도 | 78 |
| 그림 33. BARBARA 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR | 78 |
| 그림 34. GOLDHILL 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도 ... | 79 |
| 그림 35. GOLDHILL 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR | 79 |
| 그림 36. 워터마크가 삽입된 영상 및 추출된 영상 | 85 |
| 그림 37. 워터마크가 삽입된 영상 및 추출된 영상 | 86 |

| | |
|---|----|
| 그림 38. BARBARA 영상에 대한 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비 | 88 |
| 그림 39. BARBARA 영상에 대한 절단 공격 후의 우도비 | 88 |
| 그림 40. JPEG LENA 영상에 대한 Q-factor 50%에서의 절단을 실험 | 89 |
| 그림 41. PEPPERS 영상에 대한 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비 | 90 |
| 그림 42. PEPPERS 영상에 대한 절단 공격 후의 우도비 | 90 |

<표 차례>

| | |
|--|----|
| 표 1. 정보은닉 기술에 사용하는 워터마크 | 10 |
| 표 2. 연구자별 워터마크에 대한 연구 특징 | 19 |
| 표 3. 4-레벨 Antonini DWT에 대한 양자화 문턱값 | 23 |
| 표 4. PSCs 선택을 위한 문턱값 | 41 |
| 표 5. LENA 영상에 대한 여러 가지 공격 실험 | 57 |
| 표 6. 영상 특성에 따른 워터마크 신호의 개수 | 80 |
| 표 7. LENA 영상의 필터링 공격에 대한 비교 | 81 |
| 표 8. JPEG LENA 영상에 대한 Q-factor 80%에서의 절단 공격 실험 | 81 |
| 표 9. AIRPLANE 영상의 필터링 공격에 대한 비교 | 82 |
| 표 10. JPEG AIRPLANE 영상에 대한 Q-factor 80%에서의 절단 공격 실험 | 82 |
| 표 11. BARBARA 영상의 필터링 공격에 대한 비교 | 87 |
| 표 12. PEPPERS 영상의 필터링 공격에 대한 비교 | 87 |

Content Base Adaptive Digital Watermarking Using Statistical Multiresolution Theory and Perceptually Tuned Characteristics

Hyun-Chun Kim

*Department of Electronic Engineering,
Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

A digital watermark is an imperceptible signal embedded directly into the media content, and it can be detected from the host media for some applications. The insertion and detection of digital watermarks can help to identify the source or ownership of the media, the legitimacy of its usage, the type of the content or other accessory information in various applications.

One of the important requirements of watermark embedding systems is to compromise between the invisibility and robustness of the embedding algorithm. First of all, the watermark must be embedded in invisible way to avoid degrading the perceptual quality of the host image. Users should not distinguish the existence of the watermark by viewing of the watermarked image. Secondly, the watermark must be robust against watermark attacks in which are applied to the image content for the purposes of editing, storage or even circumventing watermark detection.

The conventional watermarking approach, based on global information about the image characteristics, embed the watermarking signal as random noise in the

whole host image with the same watermark strength regardless of the local property of image. Therefore, this embedding method is led in practice to visible artifacts in the flat regions that are characterized by small variability. In order to decrease these artifacts, the given watermark strength has to be decreased. This reduces the robustness of the watermark against several attacks, since the image region which generate the most visible artifacts determine the maximum strength of the watermark signal to be embedded.

Content base adaptive watermarking algorithm is proposed that uses a stochastic image modeling based on wavelet transform for the more strongly embedded watermarking. To embed watermark, the host image is decomposed into 4 levels using a discrete wavelet transform of biorthogonal form, a watermark is embedded into the perceptual significant coefficients (PSCs) of each subband. The PSCs in high frequency subband are selected by successive subband quantization (SSQ), that is, by setting the thresholds as the one half of the largest coefficient in each subband. After the PSCs in each subband are selected by SSQ, perceptual model is applied with a stochastic modeling for watermark embedding. This is based on the computation of a noise visibility function (NVF) that have local image properties. The perceptual model with adaptive watermarking algorithm embed at the texture and edge region for more strongly embedded watermark by the successive subband quantization. The experiment results of simulation were found to be excellent invisibility and robustness. Experiments of such distortion are executed by the Stirmark 3.1 benchmark test.

Also, a new watermark embedding algorithm is proposed that has robust and transparent property using perceptually tuned characteristics based on 9/7

biorthogonal wavelet transform. The perceptually tuned characteristics model with content adaptive watermarking algorithm embed at the texture and edge regions for more strongly embedded watermark. This method uses stationary GG (generalized Gaussian) and non-stationary Gaussian models because watermark has noise properties. The proposed algorithm is confirmed more robust and invisible than others algorithm for various attacks. The experimental results of computer simulation of the proposed scheme were found to be good invisibility and robustness.

A watermark detection algorithm using on statistical decision theory is proposed to improve the disadvantages of the correlation based detection algorithm. The proposed method is derived according to distributional characteristics of discrete wavelet transform(DWT) coefficients, the Bayes decision theory, and Neyman-Pearson criterion. For selecting the proper decision rule, Bayes decision theory is utilized which needs the probability density function of marked signal and non-marked signal. Distribution of DWT coefficients is similar to Gaussian distribution so that Gaussian distribution is adopted as probability density function of DWT coefficients. In computer experiments, the proposed method was tested in the context of robustness, and the results confirmed the superiority of the proposed technique over conventional detection method.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

멀티미디어 콘텐츠 보호 기술이 멀티미디어 및 인터넷 시대의 핵심 산업으로 자리 잡아가고 있다. 인터넷과 네트워크 등의 정보통신 기술은 편리한 만큼 개방적이고 분산된 네트워킹과 비대면성이라는 특징을 지니고 있다. 디지털 콘텐츠들은 불법복제, 편집, 저장 및 분배가 용이하고, 해킹 등 각종 정보화의 역기능에 취약한 구조를 갖고 있다. 따라서 이러한 디지털 콘텐츠들은 원본과 복사본의 구분이 불가능하여 불법복제 문제와 이를 방지하고자 하는 저작권 관리 및 보호 기술이 절실히 요구되고 있다. 그 대표적인 예로서 멀티미디어 디지털 콘텐츠의 저작권 보호 (copyright protection)를 위하여 멀티미디어 보안(multimedia security) 및 정보은닉(information hiding) 기술인 디지털 워터마킹(digital watermarking) 알고리즘 개발이 활발히 연구되고 있다.

워터마킹은 인간이 지각적(perceptual)으로 인지할 수 없는, 의미 있는 표시인 워터마크(watermark)를 영상[1-83], 오디오[84-89] 및 비디오[90-98] 데이터와 같은 디지털 미디어에 은닉한 후, 그 표시를 찾아냄으로써 저작자임을 입증할 수 있는 기술이다. 따라서 워터마크가 삽입된 미디어는 삽입된 워터마크로 인해 품질의 저하가 없어야하고, 추출할 때 완벽하게 워터마크를 추출할 수 있어야 저작자가 소유권을 주장할 수 있다.

현재까지 진행되고 있는 워터마킹 알고리즘에 대한 연구는 크게 공간 영역 (spatial domain)[1-4]과 주파수 영역(frequency domain)에서 워터마크를 삽입하

는 두 가지 방법이 있다. 공간 영역 기법에는 각 화소의 LSB(least significant bit)에 2진화된 워터마크를 삽입한다. 주파수 영역 기법에는 강인성을 증대시키기 위하여 DFT(discrete Fourier transform)[46,47], DCT(discrete cosine transform)[48-54], DWT(discrete wavelet transform)[55-64] 등을 사용하며, 변환 영역에서 워터마크를 삽입 후 이를 역변환 한다.

공간영역에서의 워터마크 삽입기법으로 Dautzenberg 등[1]은 영상에 워터마크를 삽입하기 위하여 모든 화소의 LSB에 랜덤이진(0 혹은 1) 워터마크를 삽입하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 JPEG 등과 같은 손실 압축 부호화에서 LSB의 무작위 변화로 인하여 화질의 열화가 심하다. 따라서 공간영역에서의 워터마킹 방법은 알고리즘이 간단하여 빠른 수행 시간을 갖는 장점이 있지만, 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹에 비하여 잡음이나 손실 부호화 (lossy coding) 등에 약하다는 단점이 있다.

주파수 영역에서 워터마킹의 방법으로 Cox 등[5-9]은 대역확산방법(secure spread spectrum)을 제안하였다. 이 방법은 먼저 전체 영상을 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 DCT 영역에서 큰 계수값은 대부분 저주파 성분이므로 화질의 열화가 발생할 수 있다. 또한 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 저역 통과 필터, 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리 및 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다.

Podilchuk 등[10-12]은 임계 검출 문턱값(just noticeable difference, JND)을 이용한 지각 모델(perceptual model)을 갖는 워터마킹 알고리즘을 제안하였다.

이 방법에서는 DCT 및 DWT 변환하여 각 블록 및 부대역에 따라서 기저대역을 제외한 각 DCT 및 DWT 계수들에 대한 임계 검출 문턱값에 근거하여 워터마크를 적응적으로 조절하여 삽입한다. 삽입방법은 각 웨이브릿 계수들과 JND를 비교하여, JND보다 큰 계수들에 대하여서만 워터마크를 삽입한다.

Lumini 등[13]은 영상의 통계적 특성에 따라 서로 다른 삽입 강도를 사용하는 워터마킹 알고리즘을 제시하였다. 그러나 이 방법은 한 영상에서 각 웨이브릿 계수들의 국부적 통계 특성을 고려하지 않고 동일한 삽입강도를 사용하였다. Voloshynovskiy 등[14]은 적응 디지털 워터마크를 위해 통계적 모델링 기법을 제안하였다. 원 영상 및 워터마크의 통계적 모델을 이용하여 비정상상태(non-stationary) 및 정상상태(stationary)에서 고전적 Bayesian 및 다해상도(multiresolution) 특성에 따른 워터마크를 추정 및 검출하였다.

1.2 연구 목적 및 내용

기존의 워터마크 기법은 영상 특성에 대한 전체(global) 정보를 기반으로 하여 영상의 국부 특성에 관계없이 전체 원 영상에 대하여 동일한 워터마크 강도(strength)를 갖는 랜덤 시퀀스로 워터마킹 신호를 삽입한다. 이 방법은 작은 변화에 대하여 민감한 평탄 영역에서 artifact를 초래한다. 워터마크의 강도를 약하게 하면 이러한 artifact를 줄일 수 있으나 강인성이 약해지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 워터마크의 삽입 방법으로 통계적 다해상도 이론을 이용한 적응적 워터마크 알고리즘 및 지각적 동조 특성을 이용한 새로운 워터마크 알고리즘들을 제안한다. 제안한 알고리즘들은 영상의

국부 특성에 따라서 적응적인 워터마크의 삽입 강도를 갖는 강인성과 비가시성이 동시에 만족하는 새로운 방법이다.

통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘은 보다 효과적이고 강한 워터마크 은닉을 위하여 웨이브릿 변환 영역에서 영상의 국부적 특성을 갖는 통계적 추정 모델인 비정상상태 가우시안 모델과 정상상태 일반화 가우시안 (generalized Gaussian) 모델을 이용한 시각적 방법의 적응 워터마크 은닉 기술을 사용한다. 워터마크 삽입은 기저대역에서는 DWT 계수값의 크기가 큰 계수들이 화질에 큰 영향을 미치므로, 이들을 기저대역에서의 시각적으로 중요한 계수들로 선택한다. 고주파 대역에서는 연속 부대역 양자화(successive subband quantization: SSQ)에 따라 각 부대역 별로 각각의 문턱값을 사용하여 다해상도 영상의 웨이브릿 계수 중에서 시각적 중요 계수(perceptual significant coefficients: PSC)를 선택하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크 은닉을 위한 시각 모델은 국부 영상 특성을 갖는 NVF(noise visibility function)에 의해 계산된다. 정상상태 가우시안 모델의 삽입은 다해상도 내의 각 부대역별 국부적 분산과 형상계수를 사용한다. 비정상상태 가우시안 모델은 웨이브릿 변환된 각 부대역의 국부 평균 및 분산을 이용한다.

또한 시각적 동조 특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘은 9/7 쌍직교 (biorthogonal) 웨이브릿 변환영역에서 시각적 중요 계수에만 워터마크를 삽입하며, 워터마크의 삽입 개수는 고정된 크기가 아닌 영상의 특성에 따라 적응적으로 삽입되도록 하는 시각적 동조모델의 워터마크 은닉방법을 사용한다. 시각적 중요 계수는 JND 문턱값을 이용해서 문턱값보다 큰 계수로 선택된다. 워터마크의 삽입은 영상의 국부 특성을 갖는 정상상태 및 비정상상태 가우시

안 모델에서의 NVF를 구한 영상의 통계적 다해상도 특성을 이용한다. 이는 국부 영상 특성을 갖게 함으로써 에지 및 텍스처 영역과 평탄 영역에 따른 적응적 척도로 사용하며, 에지나 텍스처 영역에 더 강하게 워터마크를 삽입할 수 있다.

워터마크의 검출 알고리즘은 통계적 판정 이론(statistical decision theory)에 근거한 Bayes 판단 이론 및 Neyman-Pearson 정의를 기반으로 워터마크 검출 방법을 제안한다. 기존의 유사도 기반 워터마크 검출 알고리즘이 아닌 제안한 워터마크 검출 알고리즘에서는 정확한 판단 규칙(decision rule)을 설정하기 위하여, Bayes 판단 이론에 따른 우도(likelihood)비를 이용한다. 또한 이 우도비와 비교하여 워터마크의 존재를 결정하는데 사용되는 판단 문턱값의 설정에는, 판단 오류 확률(decision error probability)을 최소화하기 위하여 Neyman-Pearson 정의를 이용한다.

본 논문의 구성으로서 제 2장에서는 디지털 워터마크 이론과 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘에 대하여 본 논문에서 다루는 문제와 관련된 연구 배경에 대해 설명한다. 제 3장에서는 기존의 디지털 워터마킹 기법으로 Cox, Podilchuk, Lumini 및 Voloshynovskiy의 방법들에 대하여 그 특징들을 설명한다. 제 4장에서는 제안한 내용 기반 적응 워터마크 삽입 기법으로 통계적 다해상도 이론을 이용한 은닉 알고리즘과 지각적 동조 특성을 이용한 알고리즘을 설명한다. 또한 워터마크의 검출 기법으로 통계적 판정이론을 이용한 알고리즘에 대하여 기술한다. 제 5장에서는 앞서 제안한 알고리즘에 대한 성능 평가를 위하여 모의실험을 실시하고, 그 결과를 비교 및 고찰하였다. 마지막으로 본 논문에 대한 결론을 제 6장에서 제시한다.

제 2 장 디지털 워터마크 알고리즘

최근 멀티미디어 콘텐츠의 많은 생산과 인터넷과 같은 대단위 네트워크 망이 괄목할만하게 발달하고 있다. 이러한 네트워크 망을 통해 콘텐츠는 디지털 매체로 변환되어 일대일 또는 일대 다의 방법으로 처리, 전송 및 저장된다. 이러한 과정에서 미디어 매체의 생산자는 이윤을 얻고 소유권을 매체의 사용자에게 넘긴다. 따라서 디지털화된 매체의 고유한 특성인 자유로운 수정, 무한 복제 등의 문제로 소유권이나 저작권이 없는 불법사용자에 대한 문제가 발생하고 있다.

2.1 디지털 워터마크 이론

2.1.1. 워터마크

정보은닉을 위한 주체인 워터마크는 주로 다음과 같이 두 종류를 사용하고 있다.

(1) **Random number sequence** : 랜덤신호를 이용한 워터마크는 전 주파수 대역에 걸쳐서 평탄하게 분포하는 통계적 성질을 이용하여 대역확산기법을 이용하는 것으로서 주로 $N(0, 1)$ 의 가우시안 분포인 표준정규분포의 성질을 이용하는 방법과 $(0, 1)$ 이거나 $(-1, 1)$ 의 균등분포를 갖는 의사랜덤신호(pseudo-random signal)를 이용하는 방법이 있다. 이 신호를 워터마크로 사용하는 방법은 전 주파수 대역에 분포를 하므로 해커의 공격에 강인성이 우수하다. 그러나 워터마크의 세기에 따라 가시성이나 화질에 영향을 줄 수 있다.

(2) 로고, 인장, 마크, 라벨 신호 : 특정 마크나 로고를 워터마크로 사용하는 방법은 우선 이 신호를 2진 신호로 만든다. 그리고 원영상(host image)에 삽입하는 방법으로서 주로 사용하는 것이 해싱(hashing) 방법[15]과 랜덤치환(random permutation) 방법[16]을 사용한다. 랜덤신호를 워터마크로 사용하는 방법은 검출이론(detection theory)을 이용하여 단지 워터마크의 유무 검출만을 하는 것인데 반하여 이 방법은 워터마크 추출 시 확실한 마크 영상이 추출됨으로써 소유권자나 공격의 유무를 쉽게 판별이 가능하다. 또한 로고의 이진 영상을 원영상에 해싱 함으로써 영상의 화질에 대한 열화는 덜하나 공격을 당했을 때 강인성이 부족한 단점이 있다. 표 1은 위에 설명한 워터마크에 대한 것을 표로 작성한 것이다.

표 1. 정보은닉 기술에 사용하는 워터마크

Table 1. Watermark used information hiding technique.

| | Random Number Sequence | 로고, 인장, 마크, 라벨 신호 |
|------|---|--|
| 워터마크 | <ul style="list-style-type: none"> ■ Gaussian 분포의 랜덤신호 - 평균=0, 분산=1 ■ 의사랜덤신호 (0, 1), (-1, 1)의 2진 랜덤신호 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 로고, 인장, 마크, 라벨 신호 - 2진 영상 - 그레이 레벨 영상 |
| 삽입방법 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 대역확산 기법 | <ul style="list-style-type: none"> ■ hashing 방법 ■ random permutation 방법 |
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 워터마크가 전 주파수 대역에 분포 ■ 강인성이 우수 ■ 화질의 열화나 artifact이 생길 우려 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 워터마크의 추출시 식별 용이 ■ 소유권이나 공격유무 판별 용이 ■ 강인성이 부족 |

2.1.2 워터마크의 필요조건

워터마크의 필요조건으로 워터마크 삽입 유무를 구분하지 못하는 비가시성, 각종 공격에 대한 견고성, 삽입되는 양을 표현하는 용량성, 소유권 구별을 위한 비모호성, 워터마크에 대한 보안성이 있다. 여기서 비가시성 및 견고성은 서로 상충관계(trade-off)이다.

(1) 비가시성(invisibility)

디지털 영상에 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 한다. 즉, 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차이점을 육안으로 구분할 수 없어야 한다. 워터마킹으로 영상 데이터의 품질이 저하된다면 사용될 수 없기 때문이다. 비가시성을 비인지성(imperceptibility) 혹은 투명성(transparency)이라고도 한다.

(2) 견고성(robustness)

워터마크가 삽입된 영상은 의도적 또는 비의도적 영상 변형에 의해 워터마크가 삭제되어서는 안 된다. 워터마크가 의도적인 제거 공격에 강하기 위해서는 영상정보의 중요한 부분에 삽입이 되어 워터마크가 제거되었을 때 영상에 심각한 화질저하를 초래하여 워터마크가 제거되었음을 알 수 있도록 하여야 한다. 그리고 비의도적인 공격에 해당하는 전송 및 저장 시에 발생하는 에러, 손실 압축에 의해 발생하는 압축에러, 양자화, 필터링 등 다양한 영상 신호 처리 과정 후에도 워터마크가 손실되거나 눈에 띄어서는 안 된다.

(3) 용량성(capability)

영상에 삽입될 워터마크의 수가 어느 정도인가 하는 것이다. 워터마크의 수가 많이 삽입되면 견고성은 우수해지나 비가시성이 떨어지게 되고, 워터마크의 수를 적게 삽입하면 비가시성은 우수하나 견고성이 약해진다. 따라서 워터마크의 삽입 양이 비가시성과 견고성의 우수함을 동시에 만족할 수 있는 최대량을 의미한다.

(4) 비모호성(unambiguousness)

워터마크가 찍힌 영상에 대해 명확히 소유권을 증명 할 수 있는 방법이 되어야 한다. 여러 불법 사용자들이 자신이 임의로 만든 워터마크를 이미 워터마크가 삽입된 영상에 재 삽입하여 소유권을 주장하는 충돌이 발생한 경우에도 영상의 실제 소유권자를 구별할 수 있어야 한다.

(5) 보안성(security)

워터마크의 삽입과정이 알려져 있다 하더라도 그에 관련된 파라미터 값들을 모르는 상태에서는 불법적으로 워터마크를 삭제 할 수 없어야 한다.

2.2 디지털 워터마크 삽입 알고리즘

디지털 영상에 워터마크를 삽입하는 방법은 합의 형태와 곱의 형태로서 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

$$x_i' = x_i + \alpha_i w_i \quad (1)$$

$$x_i' = x_i \times (1 + \alpha_i w_i) \quad (2)$$

$$x_i' = x_i \times e^{\alpha_i w_i} \quad (3)$$

여기서 x_i' , x_i , α_i , 및 w_i 는 각각 워터마크가 삽입된 신호의 크기, 원 신호의 크기, 워터마크의 삽입 강도 및 워터마크의 크기를 나타낸다.

식 (1)에서는 워터마크의 크기에 가중치를 두어 원 영상에 더함으로써 워터마크가 삽입된 신호를 얻기 때문에, 계산량적인 측면에서는 장점일 수는 있으나 합 의 형태로 삽입이 되므로 각종 공격에 너무나 취약하여 견고성이 떨어지므로 실제 사용은 하지 않는다. 곱의 형태 삽입 방법으로는 식 (2) 및 식 (3)에서와 같이 워터마크 성분이 삽입강도에 곱한 후, 이를 대상 영상의 크기에 곱함으로써 강인성이 우수하다. 또한 이는 원 영상과의 곱의 형태로 삽입되기 때문에 원 신호의 크기가 0 이외의 값을 가질 경우에만 워터마크의 검출이 가능하다. 일반적으로 워터마크의 삽입은 식 (2)를 가장 많이 사용하며, 식 (3)은 곱의 형태이긴 하나 지수함수의 곱의 형태이므로 계산량이 많고, 워터마크의 추출 단계에서 지수 함수의 역 함수인 로그 함수를 사용해야 하므로 추출이 복잡해진다는 단점이 있어 잘 사용하지 않는다. 이에 대한 워터마크의 기본 원리는 그림 1에 나타내었다.

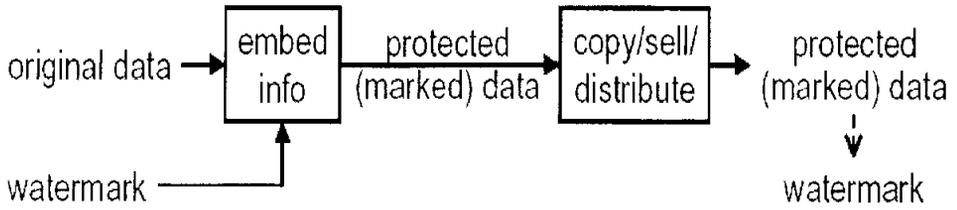


그림 1. 워터마크의 기본 원리

Fig. 1. Basic principle of watermark.

2.3 디지털 워터마크 추출 알고리즘

워터마크의 검출 알고리즘은 검출 단계에서 원 데이터 X 의 이용 여부에 따라 비공개 워터마킹과 공개 워터마킹으로 나눌 수 있다. 즉 비공개 워터마킹은 원 데이터 X 에 대한 접근이 가능해야만 워터마크의 검출이 가능한 방법이고, 공개 워터마킹은 원 데이터가 없어도 삽입된 워터마크의 검출이 가능한 방법이다.

2.3.1 비공개 워터마킹(private watermarking)

비공개 워터마킹 알고리즘에 의한 워터마크 검출은 그림 2에서와 같다. 이 방법에서는 먼저 비밀키 K 를 이용하여, 원 데이터 X 및 검사 대상 데이터 Y' 에서 워터마크의 삽입과 관련된 영역을 추출한다. 추출된 원 데이터의 x 및 검사할 데이터의 y' 에서 삽입 과정의 역과정을 이용하여 Y' 에 삽입된 워터마크 w^* 를 추출한다. 그리고 추출된 워터마크 w^* 와 특정 워터마크 w 를 판단 규칙에 적용하여 검사 대상 데이터 Y' 에 대한 특정 워터마크 w 의 존재

유무를 밝힌다.

의도적(intentional) 혹은 비의도적(non-intentional)인 공격이 가해진 영상에서 추출된 워터마크 w^* 가 원래의 워터마크 X 와 동일할 가능성은 거의 없다. 심지어 영상의 배포를 위하여 워터마크가 삽입된 영상의 정보량을 줄이기 위하여 부표본화를 행한 경우에도 추출된 워터마크와 원래의 워터마크에는 차이가 발생한다. 그러므로 원래 삽입된 워터마크와 추출된 워터마크의 관계를 살펴보기 위하여 다음과 같이 유사도(similarity)를 계산한다.

$$Sim(W, W^*) = \frac{W \cdot W^*}{\sqrt{W^* \cdot W^*}} \quad (4)$$

이 식에서의 $W \cdot W^*$ 는 추출된 워터마크 W^* 와 삽입되어진 원래의 워터마크 W 의 상호 상관성(cross-correlation)을 의미하며, 이를 좀 더 자세히 나타내면

$$W \cdot W^* = \sum_{i=1}^n w_i w_i^* \quad (5)$$

와 같이 표현된다. 이 식은 상수인 w_i^* 을 계수로 갖는 w_i 들의 선형 조합(linear combination)으로 생각될 수 있고, 또한 W^* 와 W 는 서로 독립적(independent)이라고 가정한다면 $W \cdot W^*$ 는 평균이 0이고 분산이 $W^* \cdot W^*$ 인 정규 분포를 갖게 된다. 따라서 유사도 $Sim(W, W^*)$ 는 $W \cdot W^*$ 를 $\sqrt{W^* \cdot W^*}$ 에 의하여 정규화 하였으므로 0과 1을 각각 평균과 분산으로 갖는 정규분포를

따른다. 정규 분포의 오류 함수(error function)는

$$Q(w) = 1 - \Phi(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_w^{\infty} e^{-t^2/2} dt \quad (6)$$

와 같다. 식 (6)에서 w 에 6을 대입하면 $Q(w)$ 는 9.87×10^{-10} 이라는 아주 작은 값을 갖는다. 그러므로 추출된 워터마크와 원래의 워터마크의 유사도 값이 6을 넘어야 워터마크 W 가 획득된 신호에 존재한다고 볼 수 있다. 식 (4)에서 나타난 유사도의 계산은 두 워터마크 벡터의 성분값들을 벡터의 길이만큼 곱을 하여 더하므로, 워터마크의 길이가 길어지게 되면 유사도의 값도 조금 증가하게 된다.

이러한 비공개 워터마킹 알고리즘에서는 워터마크 검출 시 원 데이터가 필요하므로 부가적인 메모리가 필요하고, 또한 워터마크의 삽입 방법을 알지 못할 경우에는 워터마크 검출이 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 공개 워터마킹에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

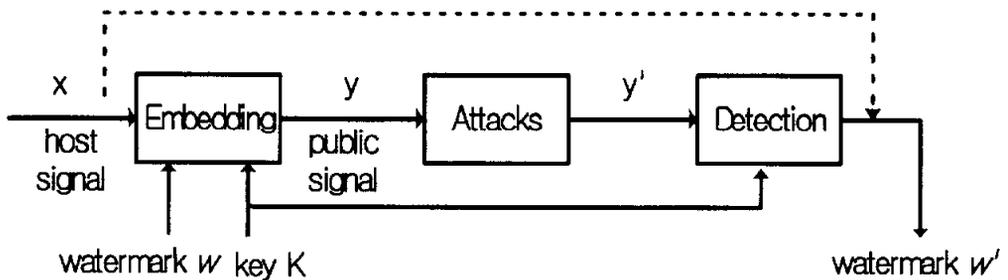


그림 2. 비공개 워터마킹 알고리즘

Fig. 2. Private watermarking algorithm.

2.3.2 공개 워터마킹(public watermarking)

공개 워터마킹 알고리즘[43-45,64]은 그림 3에서와 같다. 검사 대상 신호에 워터마크가 삽입되어 있다면, 이 신호에는 워터마크 성분이 존재하게 된다. 따라서 이러한 사실을 이용하여 공개 워터마킹에서는 삽입된 워터마크를 추출하는 대신, 워터마크가 삽입된 영역을 추출한다. 이 방법에서는 먼저 비공개 워터마킹 알고리즘과 동일한 방법으로 비밀키 K 에 의하여 검사 대상 데이터 Y' 에서 워터마크 삽입과 관련된 부분 y' 를 추출한다. 그리고 추출된 y' 와 특정 워터마크 w 를 판단 규칙에 적용하여 대상 데이터 Y' 에 특정 워터마크 w 가 존재하는지를 밝힌다.

공개 워터마킹의 유사도 기반 알고리즘[49-51]에서는 워터마크가 삽입된 대상 영상의 계수들과 검사할 워터마크 w^* 에 대하여 벡터 투영 (vector projection) 방법을 이용하여 유사도를 구한 후, 이 유사도 값을 판단 문턱값과 비교함으로써 대상 영상에 대한 워터마크 w^* 의 존재 유무를 결정한다.

워터마크의 존재를 검사하기 위하여 먼저 대상 신호에서 워터마크가 삽입된 영역을 추출한다. 즉 비밀키 K 에 의해 대상 신호 Y 에서 워터마크가 삽입된 영역 y 를 추출한 후, 이와 특정 워터마크 w^* 의 유사도를 구한다. 이때 사용되는 유사도는

$$\rho(w^*, y) = \frac{w^* \cdot y}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i^* \cdot y_i \quad (7)$$

와 같다. 여기서 N 은 워터마크 및 워터마크가 삽입된 영역의 길이를 나타내고, $\langle \cdot \rangle$ 는 두 신호간의 내적을 나타낸다.

이러한 공개 워터마킹에서는 검출 과정에서 원 데이터 X 가 필요치 않으므로 부가적인 메모리가 필요 없고, 워터마크의 삽입 과정을 모르더라도 삽입된 워터마크의 검출이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 이러한 장점 때문에 공개 워터마킹은 최근 널리 사용되고 있다.

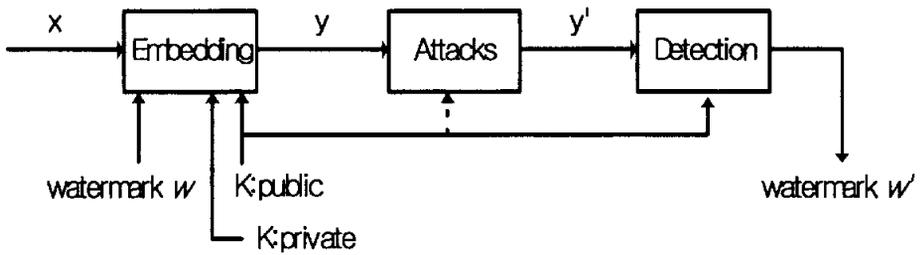


그림 3. 공개 워터마킹 알고리즘

Fig. 3. Public watermarking algorithm.

제 3 장 기존의 디지털 워터마킹 방법

기존의 워터마킹 방법에 대한 소개를 하기 전에 표 2는 기존의 연구자별 워터마킹 기법에 대한 연구 특징을 정리한 것이다.

표 2. 연구자별 워터마크에 대한 연구 특징

Table 2. The research characteristics for each watermark researcher.

| 연구자 명 | 연구 특징 | 웹 사이트 및 e-mail 주소 | 대표 논문 |
|------------------|--|---|--|
| Cox | 대역확산 기법을 사용한 실제적 워터마크의 창시자 | http://www.neci.nj.nec.com/homepages/ingemar ingemar@research.nj.nec.com | Secure spread spectrum watermarking for multi-media |
| Tewfik | 최초의IEEE Proceeding에 워터마크 관련 초청 논문 게재, 오디오 워터마크 권위자 | http://www.ece.umn.edu/users/tewfik/ tewfik@ee.umn.edu | Multimedia data embedding and watermarking technologies |
| Petitcolas | 워터마크 benchmark 테스트 tool인 Stirmark의 발명자 | http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/watermarking/ w+fapp2@cl.cam.ac.uk | On the limits of steganography |
| Craver and Yeung | deadlock의 제안자 http://www.intel.com/research/mrl/people/yeung_m.htm minerva.yeung@intel.com | http://www.ee.princeton.edu/~sacraver/ Either sacraver@ee.princeton.edu | Resolving rightful ownerships with invisible watermarking techniques: limitations, attacks, and implications |
| Kunder | Tempering에 대한 연구 | http://www.comm.toronto.edu/~deepa/deepa.html deepa@comm.toronto.edu | Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication |
| Delp | 영상 및 비디오 워터마크에 대한 연구 | http://dynamo.ecn.purdue.edu/~ace/ ace@ecn.purdue.edu | Perceptual watermarks for digital images and video |
| Macq | HVS에 대한 연구 | http://www.tele.ucl.ac.be/MEMBERS/Macq_Benoit_e.html Macq@tele.ucl.ac.be | Watermaking algorithm based on a human visual model |

3.1 Cox의 방법

Cox 등[5-9]은 공간 영역에서 LSB를 변형하는 워터마킹 알고리즘들보다 손실 부호화 등의 공격에 견고하기 위하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 대역 확산 기법을 제안하였다. 이 방법에서는 먼저 전체 영상에 대하여 DCT를 행하여 주파수 영역으로 변환한 후, 크기가 큰 DCT 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 큰 크기를 갖는 DCT 계수들은 원 영상에서의 현저한 주파수 성분을 나타내므로 큰 크기를 갖는 DCT 계수들에 대하여 워터마크를 삽입하는 것은 원 영상의 시각적으로 가장 중요한 부분들에 워터마크를 삽입하는 것과 동일하다. 이러한 시각적으로 중요한 영역들은 손실 부호화에도 거의 손상되지 않으므로 이 알고리즘은 손실 부호화에 견고하게 된다. 이 때 원 영상의 평균 밝기를 나타내는 DC 계수는 화질에 큰 영향을 미치므로 시각적으로 중요한 계수 선정에서 제외시킨다. 이 알고리즘의 삽입 방법은 크게 네 가지 단계로 구성되어 있다.

- (1) 영상 전체에 대하여 DCT를 행한 후, 워터마크가 삽입될 1000개의 시각적으로 중요한 계수들을 선택한다. 이때 DC 계수는 삽입 단계에서 제외한다.
- (2) 평균 및 분산 값을 각각 0 및 1을 갖는 정규 분포를 따르는 길이 1000의 워터마크를 생성한다.
- (3) 선택된 시각적으로 중요한 계수들에 대하여 식 (2)에서와 같은 방법으로 워터마크를 삽입한다.
- (4) 역 DCT를 행하여 워터마크가 삽입된 영상을 만든다.

워터마크의 삽입 강도를 나타내는 α_i 는 선택된 각 계수에 관계없이 항상 0.1을 사용한다. 이 값은 비가시성과 견고성을 동시에 고려하여 실험적으로 결정한 값이다. 하지만 각 DCT 계수들이 인간 시각 및 화질에 미치는 영향을 고려하여, 각 계수들에 따라 서로 다른 α_i 를 적응적으로 선택한다면 더 좋은 성능을 얻을 것이라고 기대된다.

그리고 정규 분포를 갖는 워터마크는 이진 신호를 갖는 워터마크보다 워터마크의 길이가 길수록 공동 모의 등의 원래의 워터마크를 제거하려는 공격에 견고하다. 워터마크의 검출 과정은 다음과 같이 세 단계로 구성된다.

- (1) 획득된 영상과 원 영상에 대하여 DCT를 행한다.
- (2) 원 영상의 시각적으로 중요한 계수들과 동일한 주파수 성분을 갖는 획득된 영상의 DCT 계수들을 선택한 후, 이 둘 간의 차를 구하여 워터마크를 추출한다.
- (3) 추출된 워터마크와 원래의 워터마크의 유사도를 식 (4)을 이용하여 구한 후, 획득된 영상 내에 워터마크의 존재를 확인한다.

3.2 Podilchuk의 방법

웨이브릿 변환 영역에서 인간 시각 모델을 이용한 대표적인 워터마킹 알고리즘은 Podilchuk 등[10-12]이 제안한 방법이다. 이 방법에서는 DWT 계수들의 방향성과 레벨에 따른 JND 값을 이용하여 워터마크가 삽입될 계수들을 선택하고, JND를 삽입 강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다. 즉 DWT 계수들의 크기가 자신들의 방향성과 레벨에 따른 JND 값 보다 클 경우, 이러한 계수들을 시각적으로 중요한 계수들로 선택한다. 그리고 선택된 시각적으로 중

요한 계수들에 대하여 각각의 JND 값을 삽입강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다. 구체적인 삽입과정은 다음과 같다.

- (1) DWT를 통하여 영상을 4-레벨로 분해한다.
- (2) 기저대역을 제외한 모든 웨이브릿 계수들을 양자화 문턱값과 비교하여 시각적으로 중요한 계수들을 선택한다.
- (3) 이러한 시각적으로 중요한 계수들에 대하여 아래의 식에서와 같이 JND값을 삽입강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다.

$$X_{u,v,l,f}^* = \begin{cases} X_{u,v,l,f} + t_{l,f}^F w_{u,v,l,f}, & \text{if } X_{u,v,l,f} > t_{l,f}^F \\ X_{u,v,l,f}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

- (4) 역 DWT를 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

식 (8)에서 나타난 X^* , X , t^F , 및 w 는 각각 워터마크가 삽입된 DWT 계수의 크기, 워터마크가 삽입될 DWT 계수의 크기, 문턱값, 및 삽입될 워터마크의 크기를 나타낸다. 그리고 u 및 v 는 각각 각 계수의 공간상의 위치를 나타내고, l 및 f 는 각각 각 계수의 레벨과 방향성을 나타낸다.

실제 사용되는 양자화 문턱값은 표 3에서와 같다. 그리고 워터마크의 검출 과정은 다음과 같다.

표 3. 4-레벨 Antonini DWT에 대한 양자화 문턱값

Table 3. Quantization threshold for 4-level Antonini DWT.

| Orientation \ Level | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Horizontal | 14.049 | 11.106 | 11.363 | 14.500 |
| Vertical | 23.028 | 14.685 | 12.707 | 14.156 |
| Diagonal | 58.756 | 28.408 | 19.540 | 17.864 |

- (1) 획득된 영상과 원 영상에 대하여 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한다.
- (2) 획득된 영상과 원 영상의 계수들에 대한 차를 구한 후, 이들을 각각의 양자화 문턱값으로 나누어 워터마크를 추출한다.
- (3) 상관도를 조사하여 워터마크의 존재 여부를 결정한다.

3.3 Lumini의 방법

Lumini 등[13]은 워터마크가 삽입될 영상의 통계적 특성에 서로 다른 삽입 강도를 사용하는 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 먼저 4레벨 웨이브릿 분해를 행한 다음, 견고성을 위하여 기저대역을 제외한 해상도가 낮은 두 레벨에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이 두 레벨의 6 부대역내의 계수들 중 평균 계수값을 문턱값으로 설정한 후, 이 문턱값보다 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 이때 사용되는 워터마크의 삽입강도는 원 영상의 통계적 특성에 따라 달라지게 된다. 즉 선택된 계수들의 위치에 대응되는 원 영상에서의 국부 분산을 다음과 같이 구한다.

$$locV_k = \frac{\left(d \cdot \sum_{x \in B} I^2(x)\right) - \left(\sum_{x \in B} I(x)\right)^2}{d^2} \quad (9)$$

여기서 $I(x)$ 는 x 위치에서의 원 영상을 나타내고, B 는 $d \times d$ 크기의 원도의 크기를 나타낸다. 그리고 이렇게 구한 분산값이 특정 문턱값보다 큰 개수를 구한 후, 이 개수에 따라 삽입 강도를 결정한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (10)에서와 같다.

$$a = \begin{cases} 0.1 & \text{if } \alpha' < 0.1 \\ \alpha' & \text{if } 0.1 < \alpha' < 0.5 \\ 0.5 & \text{if } \alpha' > 0.5 \end{cases}, \text{ given } \alpha' = \nu \frac{V_s}{N \cdot M} \quad (10)$$

여기서 V_s , N , M , 및 ν 는 각각 국부 분산값이 특정 문턱값보다 큰 개수, 원 영상의 가로 및 세로방향의 크기 및 정규화 상수(normalization coefficient)를 나타낸다.

이 방법은 영상의 통계적 특성에 따라 각 영상마다 서로 다른 삽입 강도를 사용하였지만, 한 영상에서 각 웨이브릿 계수들의 특성을 이용하지 않고 동일한 삽입강도를 사용하였다. 따라서 각 웨이브릿 계수들이 견고성과 비가시성에 미치는 영향을 이용하면 더욱 성능이 우수한 워터마킹 알고리즘이 될 것이라고 판단되어 진다.

지금까지 살펴본 웨이브릿 영역에서의 워터마킹 알고리즘들은 화질의 열화를 막기 위하여 원 영상의 대부분의 에너지를 갖고 있는 기저대역을 제외한

나머지 부대역에 워터마크를 삽입한다. 또한 고주파 부대역에서의 워터마크 삽입시 각 계수들이 비가시성 및 견고성에 미치는 영향을 고려하지 않고 동일한 삽입강도로 워터마크를 삽입한다. Podilchuk 등[11]이 제안한 방법에서는 인간 시각 시스템을 이용하여 워터마크를 삽입했지만 각 계수들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려한 것이 아니라, 각 고주파 부대역들이 인간 시각에 미치는 영향을 고려하였다. 따라서 이러한 방법들은 저역 통과 필터, 손실 부호화 등과 같은 고주파 성분들을 제거하는 공격에 견고하지 못하게 된다. 그러므로 견고성과 비가시성을 동시에 고려하여 기저대역을 포함한 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법이 필요하다.

3.4 Voloshynovskiy의 방법

Voloshynovskiy 등[14]은 원 영상 및 워터마크의 통계적 모델을 이용하여 MAP(*maximum a posteriori*) 접근법에 기반한 RLS(*reweighted least square*) 기법을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 일반적인 경우에 비적응적인 워터마크 삽입은 다음 모델에 따라서 정의된다.

$$y = x + n \tag{11}$$

여기서 y 는 워터마킹 영상이고, x 는 원 영상, n 은 대역확산 기술에 따라서 부호화된 잡음 특성을 갖는 워터마크이다. 이것의 목적은 직접적이거나 대등한 워터마크 n 의 추정 \hat{n} 과 원 영상 x 의 추정 \hat{x} 를 발견하는 것이다. 그리고 워터마크의 추정 \hat{n} 은

$$\hat{n} = y - \hat{x} \quad (12)$$

이다. 여기서 \hat{n} 및 \hat{x} 는 각각 추정된 워터마크 및 원 영상을 나타낸다. 주어진 영상에 워터마크의 존재 여부에 대한 결정은 강인성을 가진 검출기에 의해 만들어진다. 이 검출기는 워터마크의 사전 통계성(*prior statistics*)을 고려해야 한다. 적응적 워터마킹 기법은 통계적 방법으로 해결하기 위해 MAP 접근법을 사용한다.

통계적 모델로서 워터마킹 문제를 통합하기 위해서 워터마크와 원 영상의 확률적 모델을 개발한다. 만약 워터마크가 분포 $P_n(n)$ 을 가지고, 원 영상이 분포 $P_x(x)$ 를 가진다면 그때 MAP 표준에 따르면, 워터마크 추정 \hat{n} 은

$$\hat{n} = \arg \max_{\tilde{n} \in R^N} L(\tilde{n} | y). \quad (13)$$

이다. 여기서 $L(\tilde{n} | y)$ 는 $\ln p_x(y | \tilde{n}) + \ln p_n(\tilde{n})$ 으로서 사후(*a posteriori*) 분포 특성의 로그함수이다. 식 (12)의 워터마크의 추정 \hat{n} 을 이용하여 원 영상의 추정 \hat{x} 은

$$\hat{x} = \arg \max_{\tilde{x} \in R^N} \{ \ln p_n(y | \tilde{x}) + \ln p_x(\tilde{x}) \} \quad (14)$$

이다. 식 (14)는 전형적인 영상 디노이징(denoising) 문제로서, 이를 해결하기 위하여 워터마크 $P_n(n)$ 과 원 영상 $P_x(x)$ 에 대한 정확한 통계적 모델을 개발해야 한다. 워터마크가 대역확산기술을 사용해서 받아들여진다는 가정 하에서

가우시안 랜덤 변수로써 모델화 시킨다. 샘플 $n_{i,j}(1 \leq i, j \leq M)$ 가 $M \times M$ 비율의 최고점에 정의되어지고, 각 샘플 $n_{i,j}$ 는 실수값을 가진다. 모든 샘플은 *i.i.d.* (*independent identically distributed*)가 된다. 가우시안 분포함수는

$$P_n(y | x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma_n^2)^N}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_n^2}(y-x)^T(y-x)\right\} \quad (15)$$

이다. 여기서 σ_n^2 는 위터마크 분산으로서, 가우시안 분포가 모든 다른 분포 중 가장 높은 엔트로피를 가진다는 사실로서 확산 스펙트럼 알고리즘이 이 분포에 접근한다. 결과적으로 위터마크는 $n \sim N(0, \sigma_n^2)$ 처럼 모델화 된다.

MAP를 기반으로 한 RLS 기법을 이용한 원 영상의 추정은

$$\hat{x} = \frac{w\sigma_n^2}{w\sigma_n^2 + \sigma_x^2} \bar{x} + \frac{\sigma_x^2}{w\sigma_n^2 + \sigma_x^2} y \quad (16)$$

이다. 여기서 \bar{x} 및 σ_x^2 은 원 영상의 평균 및 분산이고, w 는 상수이다.

제 4 장 제안한 내용기반 적응 워터마크 알고리즘

4.1 통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘

기존의 워터마크 기법은 노이즈 성격의 단순한 랜덤신호를 사용하여 영상의 화질 열화와 비가시성 및 강인성이 결여되어 있다. 따라서 본 연구에서는 삽입된 워터마크의 최적한 추정을 위하여 통계적 성질을 이용한 스토케스틱 이론의 추정 및 검증(estimation and detection) 방법을 사용한다. 본 방법은 워터마크가 노이즈 성격의 랜덤신호임에 착안하여 정상상태인 경우와 비정상상태인 경우에 대한 통계적 성질을 이용하여 워터마크 알고리즘을 개발하고자 한다.

4.1.1 다해상도 이론

웨이브릿 변환에서의 기저함수들은 원형 웨이브릿(mother wavelet)을 신축(dilation) 및 천이(translation)를 시킴으로서 만들어진다[29]. 이에 대한 웨이브릿 기저함수들의 선형결합은

$$\phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (17)$$

이다. 여기서 a 는 원형 웨이브릿을 신축시키는 스케일 변수이고, b 는 이동을 나타내는 천이변수이다. 어떤 신호 $f(t)$ 에 대한 웨이브릿 변환은

$$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (18)$$

로 정의된다. 여기서 매개변수 a, b 가 정수일 때 이산 웨이브릿 변환이라고 한다. 특히 $a=2^m, b=n2^m$ 일 때 정규직교기저(orthonormal basis)를 구성할 수 있고, 이때의 스케일링 함수 및 웨이브릿의 기저함수는

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \phi(2^{-m}t - n) \quad (19)$$

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}t - n), \quad m, n \in \mathbb{Z} \quad (20)$$

가 된다. 이때 스케일링 함수 $\phi(t)$ 와 웨이브릿 함수 $\psi(t)$ 는

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi(2t - n) \quad (21)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \psi(2t - n) \quad (22)$$

이다. 여기서 $h_0(n)$ 및 $h_1(n)$ 는 스케일링 함수 및 웨이브릿 함수의 필터계수이다.

다해상도 이론은 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 정의하는데 유용하다. 스케일링 함수 V_m 은 그림 4와 같이 부공간(subspace) V_{m+1} 과 W_{m+1} 로 구성되며 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_n(t) = \phi(t - n), \quad n \in \mathbb{Z}, \quad \phi \in L^2(\mathbb{R}) \quad (23)$$

$L^2(\mathbb{R})$ 의 부공간은

$$V_0 = \overline{\text{Span}[\varphi_n(t)]} \quad (24)$$

와 같다. 여기서 n 은 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 까지의 모든 정수이다.

V 를 스케일링 공간이라 하고, W 를 웨이브릿 공간이라 할 때 MRA (multiresolution analysis)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dots, \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset V_{-2} \subset \dots, \subset L^2 \quad (25)$$

$$\overline{\bigcup_{m=-\infty}^{\infty} V_m} = L^2(R), \quad \bigcap_{m=-\infty}^{\infty} V_m = \{0\} \quad (26)$$

여기서 $L^2(R)$ 은 전체 함수공간영역이다. 또한 $V_{-\infty} = 0$ 이고 $V_{\infty} = L^2$ 일 때 모든 m 이 Z 에 속할 때 $V_{m+1} \subset V_m$ 이고, 공간은 고주파 및 저주파 해상도 신호 모두 포함하므로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(t) \in V_m \Leftrightarrow f(2t) \in V_{m+1} \quad (27)$$

다해상도 공간을 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $V_{0,0}$ 는 기저대역이고 이는 스케일 함수 공간인 $V_{1,0}$ 와 웨이브릿 함수 공간인 $W_{1,0}$ 로 분할된다. $V_{1,0}$ 와 $W_{1,0}$ 는 서로 상보관계에 있다. 또한 $V_{1,0}$ 는 $V_{2,0}$ 및 $W_{2,0}$, $W_{1,0}$ 는 $V_{2,1}$ 및 $W_{2,1}$ 으로 분해되어 서로 직교 관계를 갖는다. 이렇게 분할된 다해상도 공간은 서로 다른 윈도우 크기로 시간-주파수의 국부성을 갖는다.

신호를 다해상도로 분할하기 위하여 V_m 을 $\phi_{m,n}(t)$ 에 구성되는 벡터공간이라 하면 $\phi_{m,n}(t)$ 는 V_{m-1} 에서 V_m 의 직교보수공간(orthogonal complement space) W_m 은 정규직교기저를 이룬다.

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m, \quad V_m \perp W_m \quad (28)$$

스케일링 함수 및 웨이브릿은 그림 5와 같이 서로 직교이다. V_m 과 W_m 은 V_{m+1} 로 정의되고, 이것의 의미는 V_m 의 모든 함수공간과 W_m 의 모든 함수공간은 직교이다. 변수 공간의 관계는 그림 4에서와 같이 $V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots, \subset L^2$ 이고, $V_1 = V_0 \oplus W_0$ 로 정의되며 이를 확장해서 $V_2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1$ 으로 나타내면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$L^2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots \quad (29)$$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $V_{4.0}$ | $W_{4.0}$ | $V_{4.1}$ | $W_{4.1}$ | $V_{4.2}$ | $W_{4.2}$ | $V_{4.3}$ | $W_{4.3}$ | $V_{4.4}$ | $W_{4.4}$ | $V_{4.5}$ | $W_{4.5}$ | $V_{4.6}$ | $W_{4.6}$ | $V_{4.7}$ | $W_{4.7}$ |
| $V_{3.0}$ | $W_{3.0}$ | $V_{3.1}$ | $W_{3.1}$ | $V_{3.2}$ | $W_{3.2}$ | $V_{3.3}$ | $W_{3.3}$ | | | | | | | | |
| $V_{2.0}$ | $W_{2.0}$ | $V_{2.1}$ | $W_{2.1}$ | | | | | | | | | | | | |
| $V_{1.0}$ | | | | | | | | $W_{1.0}$ | | | | | | | |
| $V_{0.0}$ | | | | | | | | | | | | | | | |

그림 4. DWT의 서브밴드에 대한 다해상도 분해의 구성

Fig. 4. Construction of multiresolution decomposition for DWT subband.

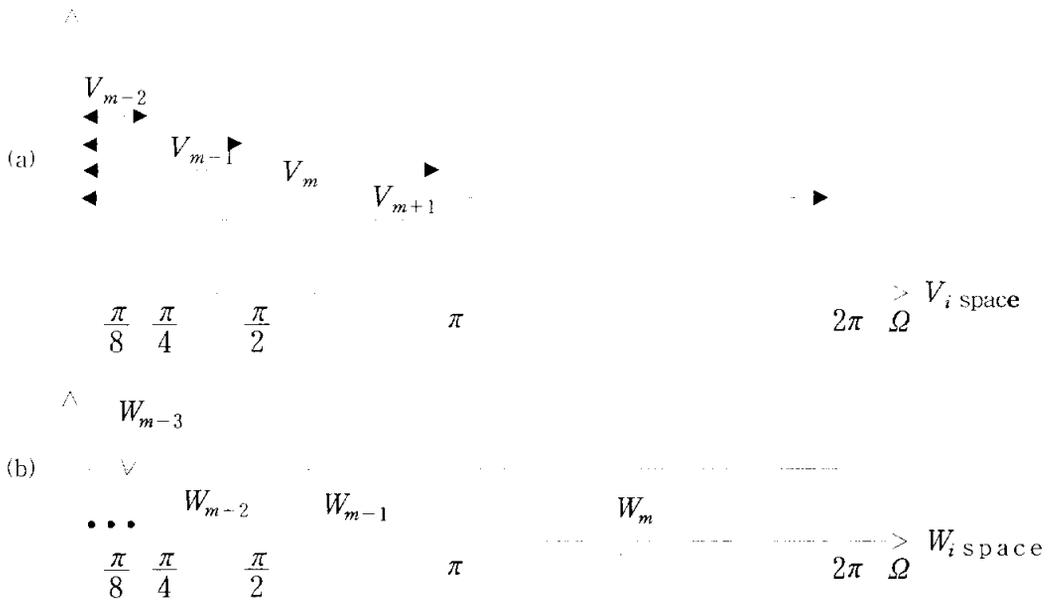


그림 5. 다해상도 분해의 (a)스케일 함수 공간 (b)웨이브릿 함수 공간

Fig. 5. (a) Scaling function space (b) Wavelet function space of multiresolution decomposition.

4.1.2 연속 부대역 양자화

적용 워터마크 삽입 모델은 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환을 한 다음 최상위 레벨의 고주파 부대역(HH1, LH1, HL1)들에 위치한 웨이브릿 계수는 워터마크 삽입 단계에서 제외한다. 이 부대역들은 손실 압축이나 기하학적 변환과 같은 일반 영상처리 기법에 의해 워터마크가 손실되거나 변형되기 쉬운 영역이기 때문이다.

기저대역에 대한 PSC는 시각적으로 중요한 계수로 크기 값이 큰 계수들을 선정한다. 이는 워터마크 삽입에 따른 계수값의 변동율을 작게 하여 비가시성의 열화를 줄이기 위한 것이다. 이를 위하여 기저대역의 모든 계수들을 문턱값 TH 와 비교하여 이 문턱값보다 큰 계수들은 워터마크를 삽입하기 위해 PSC들로 선

정한다. PSC를 선택하기 위한 부대역 적응 문턱값은

$$TH_i = 2^{\lceil \log_2 T_i \rceil} - 1 \quad (30)$$

이다. 여기서 T_i 는 각 부대역의 최대값을 나타낸다. 워터마크는 부대역 적응 문턱값보다 더 큰 PSC에만 삽입된다.

그리고 기저 대역과 1 레벨에 속한 부대역들을 제외한 고주파 부대역들에서의 PSC들을 선택하기 위하여, 서로 다른 주파수 대역과 방향성을 나타내는 각각의 고주파 부대역들에 대하여 연속 부대역 양자화를 행한다. 이 방법에서는 각 부대역내의 계수값들의 크기에 의해 각 부대역의 문턱값을 정한 후 가장 큰 문턱값을 갖는 부대역에 대하여 그 문턱값보다 크기가 큰 계수들을 PSC로 선택한 후, 이 문턱값의 절반을 그 부대역의 새로운 문턱값으로 갱신한다. 새롭게 갱신된 문턱값을 갖는 부대역과 나머지 다른 부대역에 대하여 위의 과정을 다시 수행한다. 이러한 고주파 부대역들에서의 PSC 선정에 사용된 순차적 부대역 양자화 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다.

1 단계: 각 고주파 부대역들에 대하여 최대 크기값을 갖는 계수에 대하여 그 계수 크기의 절반을 각 부대역에서의 초기 문턱값으로 설정한다.

2 단계: 1 단계에서 설정된 각 부대역의 문턱값들 중 가장 큰 문턱값과 이 문턱값이 속한 부대역의 계수들을 비교하여, 크기값이 이 문턱값보다 큰 계수들을 그 부대역에서의 PSC로 선택한다.

3 단계: 2 단계에서 선택된 PSC수들이 속한 부대역의 문턱값의 절반을 그 부

대역에 대한 새로운 문턱값으로 갱신한다.

4 단계: 원하는 개수의 시각적으로 중요한 계수들이 선택될 때까지, 위의 2 및 3 단계를 수행한다.

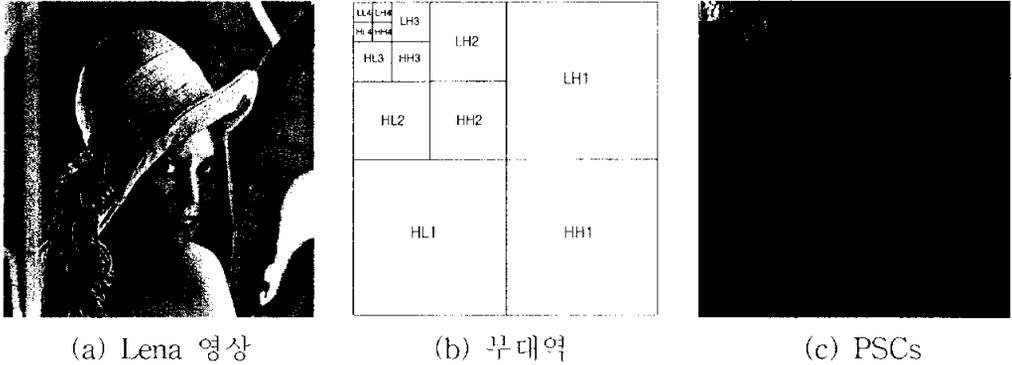


그림 6. LENA 영상에 대한 PSCs

Fig. 6. PSCs of LENA image.

이상에서와 같이 1레벨의 고주파 부대역을 제외한 모든 고주파 부대역들과 기저대역에 대하여 서로 다른 방법으로 PSC를 선정할 후, 이렇게 선정된 PSC들에 대하여 워터마크를 삽입한다. Lena 영상에 대하여 4레벨로 분해한 다음 선택된 PSC는 그림 6과 같고, 워터마크는 각 부대역의 PSC에 대한 비가시성 및 강인성을 제공하는 NVF를 추정하여 삽입된다.

4.1.3 비정상상태 가우시안 모델에서의 삽입 알고리즘

비정상상태 가우시안 모델의 경우 NVF는

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)} \quad (31)$$

이다. 여기서 $\sigma_x^2(i, j)$ 는 화소 좌표 (i, j) , $1 \leq (i, j) \leq M$ 를 중심으로 한 부대역 내의 국부 분산으로 M 은 국부 분산을 구하기 위한 윈도우 크기이다. NVF는 국부 분산에 의해 정의되는 국부 영상의 에너지에 반비례한다. 즉 예지나 텍스처 영역에서는 국부 분산값이 크므로 NVF는 0에 가까워지고, 평탄영역에서는 1에 가까워진다. 그리고 워터마크는 단위 분산, $N(0, 1)$ 을 갖는 *i.i.d.* 가우시안 분포 함수이다. 영상의 국부 분산을 추정하기 위하여 ML(maximum likelihood) 추정 기법을 사용하는데, 이는 다음과 같이 구한다.

$$\sigma_x^2(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L (x(i+k, j+l) - \bar{x}(i, j))^2 \quad (32)$$

$$\bar{x}(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L x(i+k, j+l) \quad (33)$$

여기서 $(2L+1) \times (2L+1)$ 은 추정을 위한 윈도우 크기를 나타내며, $\bar{x}(i, j)$ 는 영상의 국부적 평균을 나타낸다.

4.1.4 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 삼입 알고리즘

최적의 NVF를 결정하기 위해 정상 상태의 NVF는 영상의 국부특성에 따라서 복원영상의 작은 변화에도 시각적 열화를 줄이기 위하여 웨이브릿 영역의 각 부대역의 분산과 형상 계수(shape parameter)를 이용한다. 정상상태의

일반화 가우시안 모델에 대한 NVF는

$$NVF(i, j) = \frac{w(i, j)}{w(i, j) + \sigma_x^2(i, j)} \quad (34)$$

이다. 여기서 $w(i, j)$ 는 가중치를 나타내는 함수로서 다음과 같이 계산한다.

$$w(i, j) = \gamma [\eta(\gamma)^\gamma] \frac{1}{\|a(i, j)\|^{2-\gamma}} \quad (35)$$

$$a(i, j) = \frac{x(i, j) - \bar{x}(i, j)}{\sigma_x}, \quad \eta(\gamma) = \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{3}{\gamma})}{\Gamma(\frac{1}{\gamma})}} \quad (36)$$

$$\Gamma(t) = \int_0^\infty e^{-u} u^{t-1} du \quad (37)$$

여기서 $\bar{x}(i, j)$ 는 영상의 국부 평균값이고, 감마 함수 $\Gamma(t)$ 는 식 (37)과 같이 계산된다. γ 는 형상 계수로서 1일 경우 라플라시안 분포 (Laplacian distribution)를 가지고, 2이면 가우시안 분포 (Gaussian distribution)를 가진다. 일반적으로 대부분의 영상에 있어 형상 계수는 $0.3 \leq \gamma \leq 1$ 의 범위에 있다. 정상상태 일반화 가우시안 모델의 경우 확률분포는 특별한 경우로 라플라시안 분포와 가우시안 분포 모두를 포함한다. 본 논문에서는 이 형상 계수를 추정하기 위하여 모멘트 정합 방법(moment matching method)을 사용하여 추정한다.

다. 워터마크는 비정상 상태의 경우와 같이 단위 분산, $N(0,1)$ 을 갖는 *i.i.d.* 가우시안 분포 함수이다.

4.1.5 내용기반 적응 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입은 주파수 영역에서 행하는 방법으로 9/7 쌍직교 이산 웨이브릿을 사용한다. 따라서 영상을 4레벨로 분해한 다음 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 웨이브릿 계수들의 크기가 큰 계수들을 선정하여 시각적으로 중요한 값을 선정하며, 고주파 부대역들에 대해서만 연속적 부대역 양자화 기법으로 삽입한다.

통계적 지각 모델로 추정되어 계산된 NVF를 이용하여, 원 영상의 이산 웨이브릿 계수에 워터마크를 에지나 텍스처 영역 및 평탄영역으로 구분하여 삽입한다. 본 논문에서 제안한 적응적 워터마크의 삽입은 다음 식과 같다.

$$x' = x + \{(1 - NVF) S_{ET} + NVF \cdot S_F\} \cdot w_i \quad (38)$$

여기서 NVF는 비정상상태 가우시안 모델에서의 경우와 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 NVF에 해당한다. S_{ET} 는 에지나 텍스처영역의 삽입 강도로서 30을 사용하고, S_F 는 평탄영역에서의 삽입 강도로서 10을 사용한다. 이는 Cox 등[5]이 제시한 삽입 방법과 다르게 워터마크 정보를 추정한 NVF 값과 곱하여 삽입한다. NVF=1이 되면 텍스처영역과 에지영역의 워터마크 삽입강도인 A 부분이 0이 되므로 이를 방지하기 위하여 평탄영역의 삽입강도 B 에도 영향을 미치도록 하였다. 본 논문에서의 워터마크 삽입방법은 워터마크의 강도를 증가하여 강인성을 증가시키는 목적과 평탄영역에서의 화질의 열화를 동시에 줄일

수 있는 방법이다. 워터마크가 삽입된 계수들을 역 웨이브릿 변환을 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다. 제안한 적응 워터마크 은닉 모델은 그림 7과 같다.

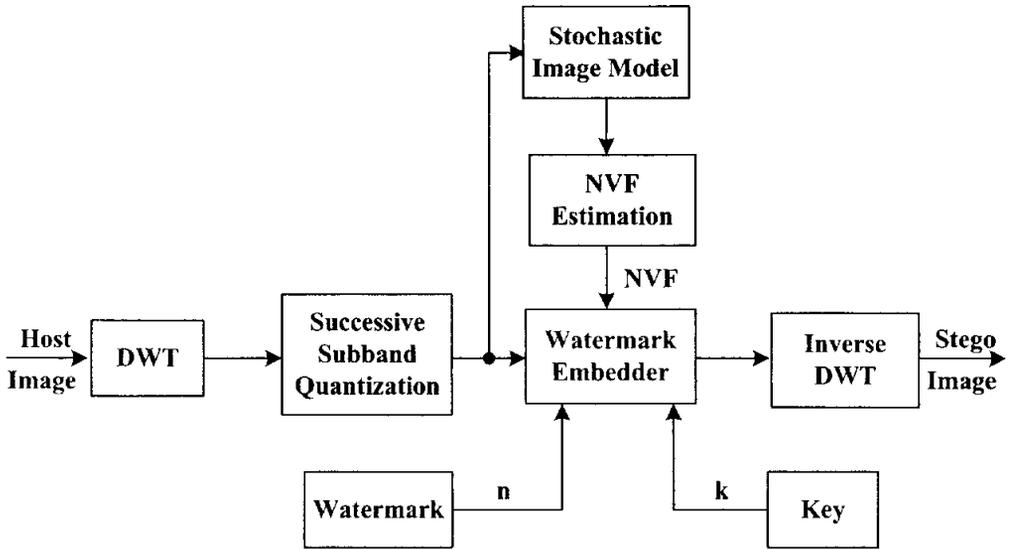


그림 7. 제안한 통계적 다해상도를 이용한 적응 워터마킹 모델

Fig. 7. The proposed adaptive watermarking model using a statistical multiresolution theory.

4.2 지각적 동조 특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘

기존의 워터마크 기법은 영상 특성에 대한 전체 정보를 기반으로 하여 영상의 국부 특성에 관계없이 전체 원 영상에 대하여 동일한 워터마크 강도를 갖는 랜덤 노이즈로서 워터마킹 신호를 삽입한다. 그러므로 이것의 삽입 방법은 작은 변화에 대하여 민감한 평탄 영역에 artifact를 초래하게 한다. 이러한 artifact를 줄이기 위하여 주어진 워터마크의 강도를 줄여야 하나 이는 강인성이 약해지는 문제점이 있다. 따라서 영상의 국부 특성에 대한 적응적인 워터마크의 삽입 강도를 갖으면서 강인성과 비가시성이 동시에 만족하는 새로운 방법이 요구된다.

4.2.1 지각적 중요계수의 선택

워터마크는 9/7 쌍직교 웨이브릿을 이용해 3레벨로 분해한 후 분해된 웨이브릿 계수들 중에서, 각 부대역에 Watson 등[61]에서 영상 압축시의 지각적 양자화와 적응적 비트할당을 위해 사용했던 값을 표 4의 문턱값을 이용해 선택된 지각적 중요계수에만 은닉되게 된다. 그림 8 및 9는 LENA 영상과 AIRPLANE 영상에 대해 표 4를 문턱값으로 하여 선택된 PSC를 나타낸 그림이다.

표 4. PSCs 선택을 위한 문턱값

Table 4. Threshold for PSCs selection.

| orientation \ level | 1 | 2 | 3 |
|---------------------|--------|--------|--------|
| HL | 12.707 | 14.685 | 23.028 |
| LH | 12.707 | 14.685 | 23.028 |
| HH | 19.540 | 28.408 | 58.756 |



그림 8. LENA 영상에 대한 PSCs

Fig. 8. PSCs of LENA image.

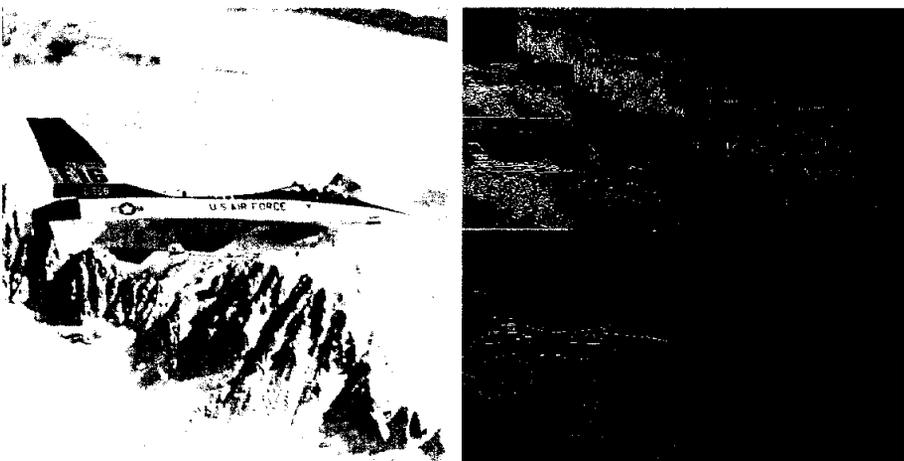


그림 9. AIRPLANE 영상에 대한 PSCs

Fig. 9. PSCs of AIRPLANE image.

4.2.2. 워터마크 삽입을 위한 삽입 강도의 선택

본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입은 주파수 영역에서 행하는 방법으로 쌍직교 웨이브릿을 사용한다. 따라서 영상을 3레벨로 분해한 다음 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 화질의 열화를 고려하여 삽입에서 제외하고, 고주파 부대역들에 대해서만 Watson 등[61]이 영상 압축을 위해 제시한 각 부대역에 대한 문턱값을 결정한다. 이 문턱값은 레벨과 방향성에 대한 각 부대역내의 지각적 중요계수를 판단하는데 사용된다.

본 논문에서 제안한 적응적 워터마크의 삽입은 다음 식과 같다.

$$X' = X + (1 - \beta)(1 - NVF) \cdot w \cdot S_{ET} + \beta \cdot NVF \cdot w \cdot S_F \quad (39)$$

여기서 NVF는 비정상상태 가우시안 모델에서의 경우와 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 NVF에 해당한다. S_{ET} 는 에지나 텍스처영역의 삽입 강도이고, S_F 는 평탄영역에서의 삽입 강도이다. β 는 평탄영역을 구분하여 에지나 텍스처영역에 보다 더 가중치를 부여할 수 있게 실험적으로 0.1을 사용한다. 이는 Cox 등이 제시한 삽입 방법과 다르게 워터마크 정보를 추정된 NVF 값과 곱하여 삽입한다. NVF=1이 되면 텍스처영역과 에지영역의 워터마크 삽입 강도인 A 부분이 0이 되므로 이를 방지하기 위하여 평탄영역의 삽입강도 B에도 영향을 미치도록 하였다. S_F 는 Safranek 등[67]에서 영상 압축을 위해 적용했던 적응적 지각특성을 나타내는 동조모델의 값을 사용하였다. 다음 그림 10 및 11에 각 부대역에 적용한 값을 나타내었다. 이 방법은 워터마크의 강도를

각 부대역의 특징에 맞게 삽입하여 화질의 열화를 최소화하면서 강인성을 증가시키려는 목적으로 제안하였다. 그림 12는 제안한 적응적 워터마크 은닉모델의 블록도이다.

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| LL3 | LH3 12.707 | LH2 14.685 | LH1 23.028 |
| HL3 12.707 | HH3 19.54 | LH2 28.408 | |
| HL2 14.685 | HL2 28.408 | | |
| HL1 23.028 | | HH1 58.756 | |

그림 10. 에지와 텍스처 영역의 삽입강도

Fig. 10. Embedding strength of edge and texture region.

| | | | |
|-------------|-------------|--------------|-------------|
| LL3 | LH3 0.5 | LH2 1.4 | LH1 8.33 |
| HL3 0.5 | HH3 0.66 | LH2 6.6 | |
| HL2 1.4 | HL2 6.6 | | |
| HL1 6.75 | | HH1 10.11 | |

그림 11. 평탄 영역의 삽입강도

Fig. 11. Embedding strength of flat region.

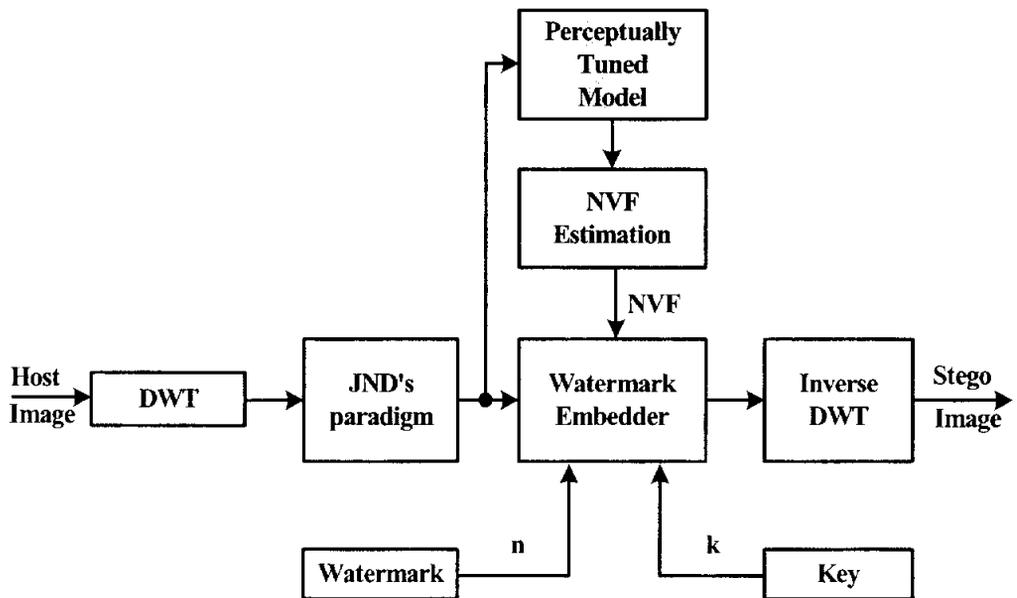


그림 12. 제안한 지각적 동조 특성을 이용한 적응적 모델

Fig. 12. The proposed adaptive model using perceptually tuned characteristic.

4.3 통계적 판정이론을 이용한 워터마크 검출 알고리즘

4.3.1 유사도 기반의 워터마크의 검출

먼저 워터마크가 삽입된 계수를 찾기 위해 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상을 웨이브릿 분해한 후 삽입에서 사용되었던 문턱값으로 삽입 위치를 찾는다. 찾은 계수에 대해 다음 식과 같이 워터마크를 추출한다.

$$w_{u,v,l,f}^* = \frac{X_{u,v,l,f} - \widehat{X}_{u,v,l,f}}{(1-\beta)(1-NVF) \cdot S_{EF} + \beta \cdot NVF \cdot S_F} \quad (40)$$

$$\rho_{w,w}^* = \frac{w_{l,f}^* \cdot w_{l,f}}{\sqrt{w_{l,f} \cdot w_{l,f}}} \quad (41)$$

$$\rho_{w,w}^* = \begin{cases} > T_p : & \text{detected} \\ < T_p : & \text{not detected} \end{cases} \quad (42)$$

여기서, $w_{u,v,l,f}^*$ 는 추출한 워터마크로 원 영상의 웨이브릿 계수와 검출하고자 하는 영상의 웨이브릿 계수의 차를 적응적 삽입 강도로 적용했던 값들로 나눈 값이다. 다음으로 식 (41)과 같이 분모를 자기 상관 (auto correlation)을 구하고 분자를 상호 상관을 구해서 추출한 워터마크와 원래의 워터마크와의 상관도 ($\rho_{w,w}^*$)를 구한다. 식 (42)에서 검출과 검출하지 못하는 정도를 구별하는 문턱값 T_p 는 Cox 등[7]이 제시한 문턱값 ($T_p=6$)을 사용한다.

유사도 방법에 의하여 워터마크를 검출한다면, 워터마크가 삽입된 신호가 공격을 당했을 경우 판단 문턱값 설정에 문제가 발생한다. 공격을 당한 신호에 대한 상관도 ρ 의 PDF는 그림 13에서와 같다. 워터마크가 삽입된 신호가 공

격을 당했을 경우, 이에 대한 상관도 ρ 의 분산은 증가하게 된다. 따라서 유사도 기반의 판단 문턱값을 설정한다면 간과 검출 확률(missed detection probability) P_{MD} 가 오류 검출 확률(false alarm probability) P_{FA} 보다 매우 커지게 된다. 즉 실제 워터마크가 존재하는 신호에 대하여 워터마크가 존재하지 않는다고 판단할 확률이 매우 크게 된다. 따라서 공격이 가해진 신호의 경우, 문턱값 설정에 사용된 가정은 만족되지 않으므로 기존의 유사도 기반 검출 알고리즘은 공격에 취약한 단점을 갖는다.

기존의 유사도 기반 알고리즘에 의하여 워터마크를 검출할 경우, 부적절한 판단 문턱값의 설정으로 검출 성능이 매우 떨어지게 되고, 또한 대상 신호 및 워터마크의 통계적 분포 특성을 고려치 않은 판단 규칙의 설정으로 인하여 검출 성능이 더욱 나빠지게 된다.

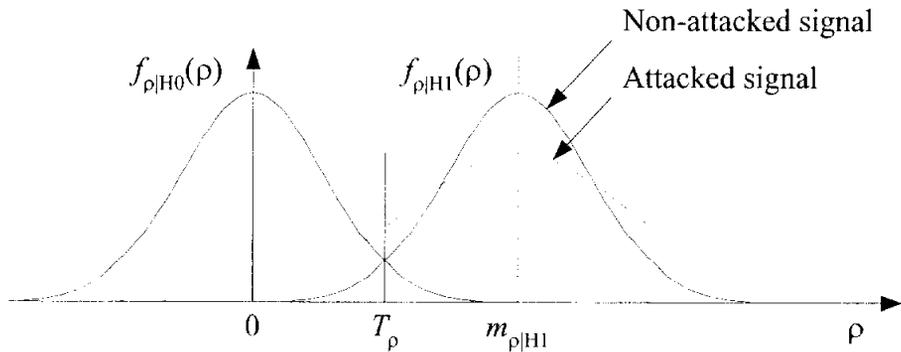


그림 13. 각종 공격을 당했을 경우, 가설 H_0 및 H_1 에 따른 ρ 의 PDF들

Fig. 13. After various attack, PDFs of ρ according to hypothesis H_0 and

H_1 .

4.3.2 통계적 판정이론을 이용한 워터마크 검출

제안한 검출 알고리즘에서는 워터마크 검출에 필요한 판단 규칙을 정확하게 설정하기 위하여 Bayes 판단 이론[75]을 이용한다. 이때 워터마크의 존재 유무를 결정하는 판단 문턱값과 비교되는 우도비에는 워터마크가 삽입될 DWT 계수들의 PDF(probability density function)가 필요하다. 따라서 제안한 알고리즘에서는 DWT 계수들을 이와 가장 유사한 분포 특성을 갖는 가우스 분포로 모델링한다. 또한 공격을 고려할 경우, 기존의 검출 알고리즘의 문제점으로 제기된 간과 검출 확률의 최소화를 위하여, 판단 문턱값의 설정에 Neyman-Pearson 정의[75]를 이용한다.

워터마크 검출 알고리즘의 구성은 그림 14에서와 같다. 여기서 워터마크 공간(watermark space)은 검사할 워터마크 w^* 를 나타내는 W_1 공간과 이를 포함하지 않는 W_0 공간으로 구성될 수 있다. 또한 신호 공간(signal space)은 워터마크가 삽입될 DWT 계수들의 집합을 나타낸다. 이때 $f_w(w)$ 및 $f_x(x)$ 는 워터마크 w 및 워터마크가 삽입될 DWT 계수들 x 의 PDF를 각각 나타내며, 제안한 알고리즘에서는 x 의 PDF를 이의 실제 분포와 가장 유사한 분포 특성을 갖는 가우스 분포로 모델링한다.

관찰 공간(observation space)은 워터마크의 존재를 검사할 대상 신호 y 의 집합을 나타내고, $f_y(y|w)$ 는 사상(event) w 에 대한 y 의 조건부(conditional) PDF이다. 따라서 제안한 검출 알고리즘에서는 검사 대상 신호 y 를 제안한 판단 규칙 $\delta(y)$ 에 적용함으로써, 이에 대한 특정 워터마크의 존재 유무를 판

정한다. 그리고 판단 공간 (decision space)은 판단 규칙을 대상 신호에 적용함으로써 발생한 결과들로 구성된다. 여기서 $\delta(\mathbf{y}) = 0$ 은 검사 대상 신호 \mathbf{y} 에 특정 워터마크 w^* 가 존재하지 않음을 나타내고, $\delta(\mathbf{y}) = 1$ 은 대상 신호에 특정 워터마크가 존재함을 나타낸다. 이때 간과 검출 확률을 최소화하기 위하여, 우도비와 비교되는 판단 문턱값의 설정에는 Neyman-Pearson 정의가 사용된다.

제안한 검출 알고리즘에 대한 판단 규칙의 흐름도는 그림 15에서와 같다. 먼저 Bayes 판단 이론을 이용하여 대상 신호 \mathbf{y} 에 대한 우도비 $l(\mathbf{y})$ 를 설정한다. 이 우도비에는 DWT 계수의 PDF가 필요한데, 제안한 방법에서는 이를 가우스 분포로 모델링한다. 이때 λ 는 우도비와 비교되는 판단 문턱값을 나타낸다.

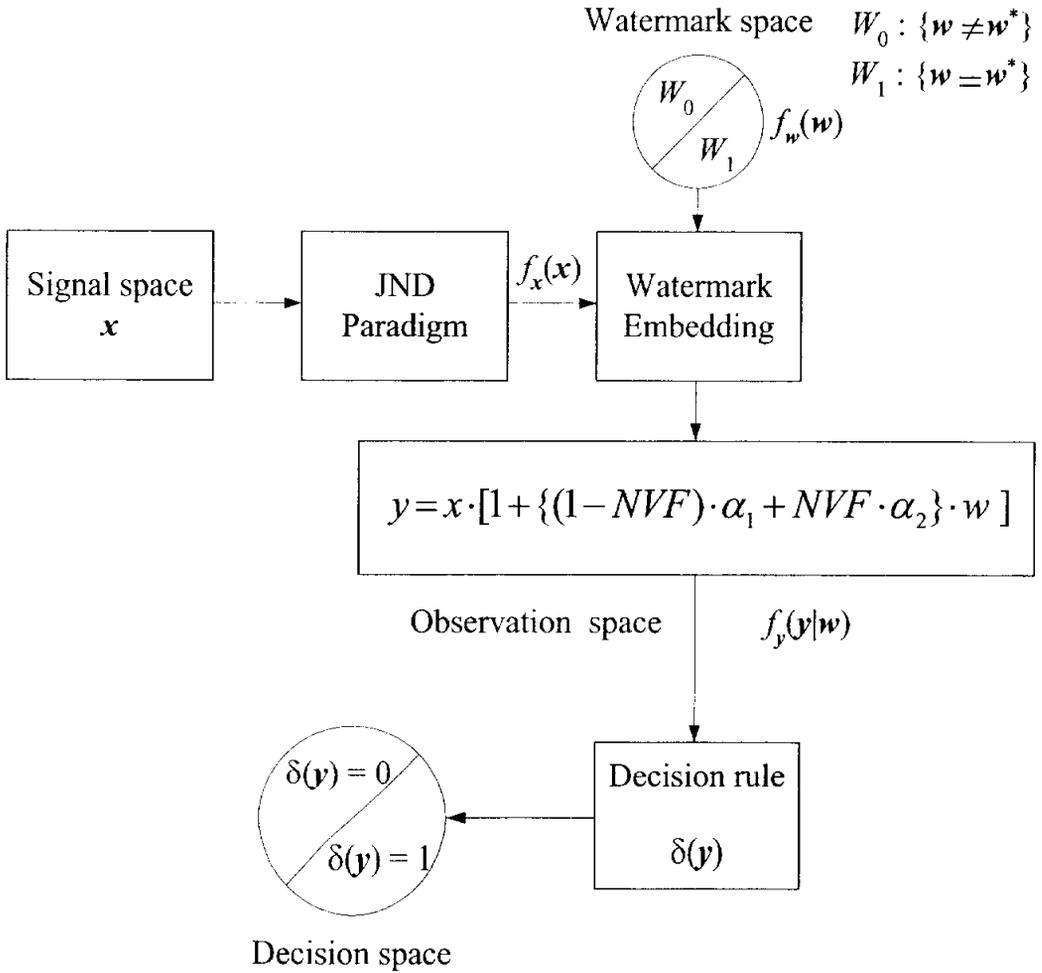


그림 14. 제안한 워터마크 검출 알고리즘의 과정

Fig. 14. Process of the proposed watermark detection algorithm.

가우스 분포로 모델링된 DWT 계수의 PDF를 포함하는 우도비는 지수 함수의 형태이기 때문에, 이를 쉽게 해석하기 위하여 우도비 및 판단 문턱값에 로그를 취하여 로그 우도비 $\ln l(\mathbf{y})$ 및 로그 문턱값 $\ln \lambda$ 를 생성한다. 그리고 로그 우도비를 더욱더 간단히 표현하기 위한 처리를 행하여 $z(\mathbf{y})$ 를 유도하고, Neyman-Pearson 정의를 이용하여 $z(\mathbf{y})$ 와 비교되는 문턱값 λ_1 을 설정한다. 따라서 제안한 워터마크 검출 알고리즘에서는 $z(\mathbf{y})$ 와 λ_1 을 비교함으로써 대상 신호 \mathbf{y} 에 특정 워터마크의 존재를 판단한다.

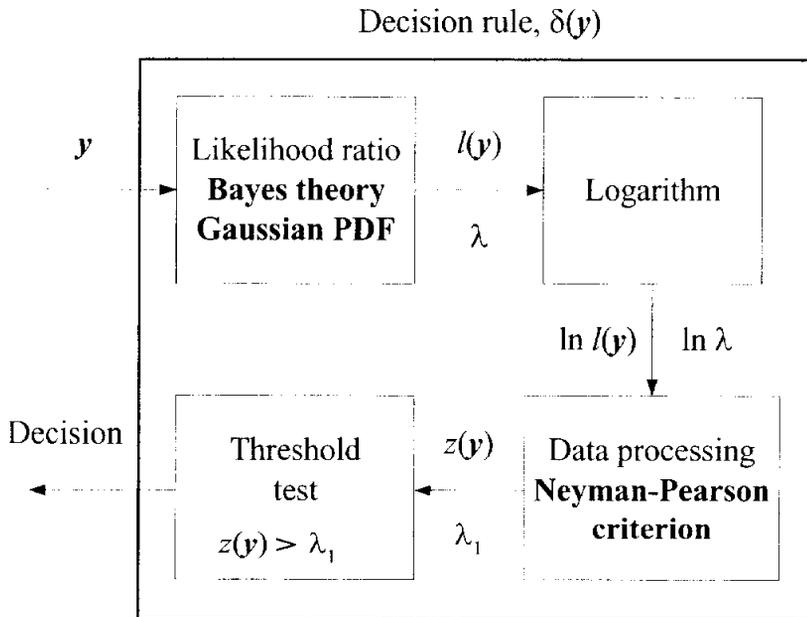


그림 15. 제안한 판단 규칙의 흐름도

Fig. 15. Flowchart of the proposed decision rule.

4.3.3 웨이브릿 변환 기반의 우도비 및 임계치 설정

Bayes 판정 이론에 의한 우도비 $l(\mathbf{y})$ 는 식 (43)과 같다. 식 (43)을 간단히 표현하기 위하여 양변에 로그를 취하여 로그 우도비 $\ln l(\mathbf{y})$ 를 식 (44)에 나타내었다. 로그 우도비와 비교되는 판정 문턱값은 $\ln \lambda$ 가 된다. 이때 $z(\mathbf{y})$ 및 λ' 을 다음에 나타내었다.

$$l(\mathbf{y}) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{1 + a w_i^*} \cdot \exp \left[\frac{(y_i - m_i)^2}{2\sigma_i^2} - \frac{\left(\frac{y_i}{1 + a w_i^*} - m_i \right)^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad (43)$$

$$\ln l(\mathbf{y}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{(y_i - m_i)^2}{2\sigma_i^2} - \frac{\left(\frac{y_i}{1 + a w_i^*} - m_i \right)^2}{2\sigma_i^2} \right] - \sum_{i=1}^N \ln(1 + a w_i^*) \quad (44)$$

또한 기존의 알고리즘에서와 같이 허위 검출 확률 및 간과 검출 확률을 동시에 최소화하는 판정 문턱값 대신, 최대 허용 허위 검출 확률에 대하여 간과 검출 확률을 최소화하는 판정 문턱값을 설정하기 위하여 Neyman-Pearson 정리를 이용한다.

$$z(\mathbf{y}) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2\sigma_i^2} \left[(y_i - m_i)^2 - \left(\frac{y_i}{1 + a w_i^*} - m_i \right)^2 \right] \quad (45)$$

$$\lambda' = 4.24 \sqrt{2\sigma_{z(\mathbf{x})}^2} + m_{z(\mathbf{x})} \quad (46)$$

위 식 (45)에서 m_i 및 σ_i^2 은 각각 x_i 가 속한 부대역의 웨이브릿 계수들의 평균 및 분산을 나타내고 y_i 는 웨터마크가 삽입된 계수를 나타낸다. 식 (46)

에서 $m_{z(x)}$ 및 $\sigma_{z(x)}^2$ 은 x_i 에 대한 확률밀도함수의 평균 및 분산을 나타낸다.

$$\delta(\mathbf{y}) = \begin{cases} 1, & z(\mathbf{y}) > \lambda' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (47)$$

따라서 워터마크 검출 알고리즘에서의 최종 판정 규칙은 식 (47)과 같이 $z(\mathbf{y})$ 와 λ' 을 비교함으로써 워터마크의 존재를 판정한다.

제 5 장 실험 결과 및 고찰

5.1 워터마크 삽입 알고리즘에 대한 실험

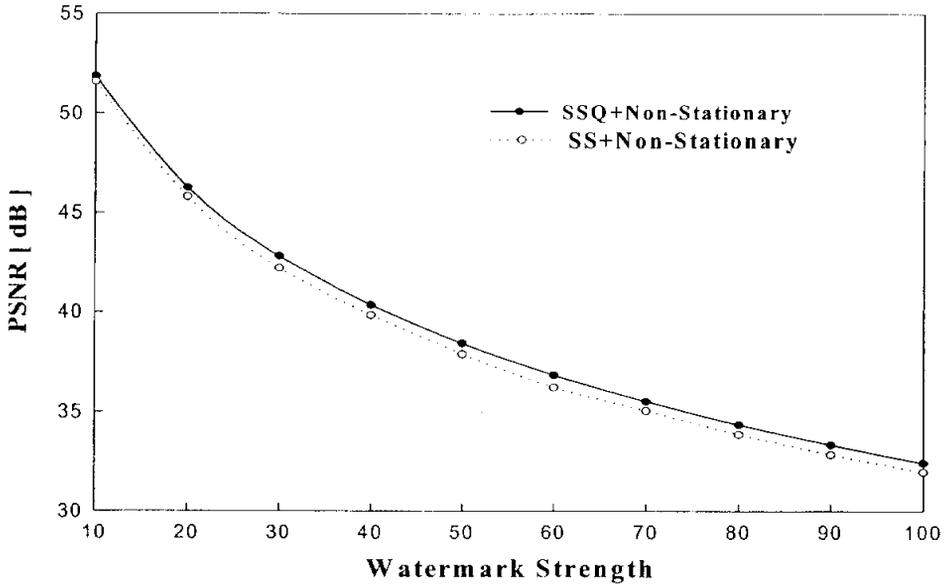
5.1.1 통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘

제안한 웨이브릿 영역에서 내용 적응 워터마크 삽입 방법의 주된 특징을 설명하기 위하여 512×512 크기의 여러 영상에 대하여 실험을 하였다. 사용한 웨이브릿 기법은 9/7 쌍직교 웨이브릿이며, 4레벨로 분해하였다. 워터마크는 평균이 0, 분산이 1을 갖는 가우시안 랜덤 시퀀스 1000개를 사용하였다. 최상위 고주파 부대역은 워터마크 삽입 과정에서 제외한다. 웨이브릿으로 다해상도 분해된 원 영상에 대해 기저대역에 대한 PSC는 시각적으로 중요한 계수로 크기 값이 큰 계수들을 선정한다. 고주파 부대역에서의 PSC들을 선택하기 위하여 연속 부대역 양자화에 의해 지각적 중요계수인 PSC를 선택한다. 그 다음 단계로 비정상상태와 정상상태의 두 모델을 사용하여 각각 NVF를 추정한다. 다음으로 추정된 NVF를 삽입강도를 달리하여 두 모델에 대하여 각각 수행한 후 PSNR(peak signal to noise ratio)을 비교한다. 마지막으로 워터마크를 추출하여 유사도를 구하고, 두 모델을 비교한다. 강인성에 대한 척도로 원래의 워터마크와 추출한 워터마크와의 유사도(correlation response)를 사용하고[7], 비가시성의 척도로 PSNR을 사용하였다.

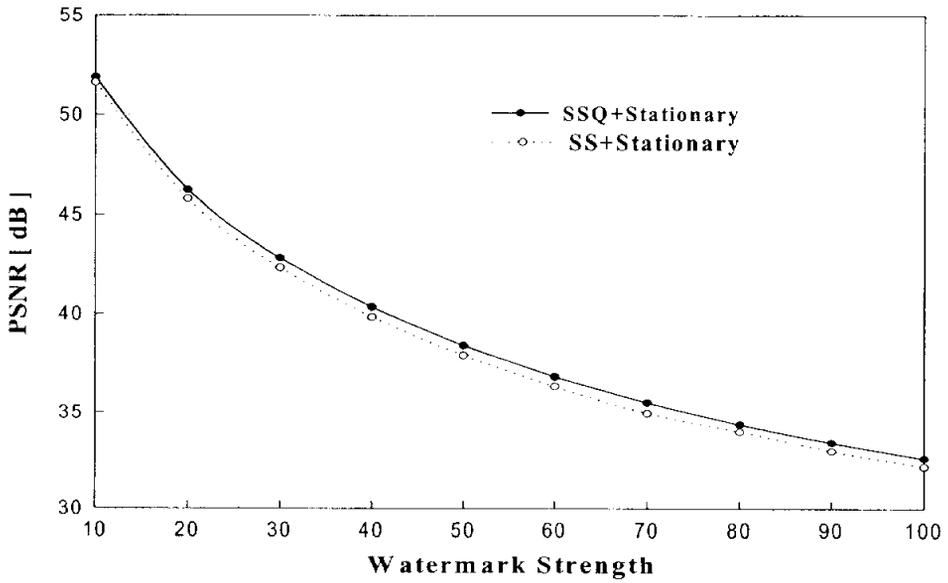
그림 16은 LENA 영상에 대한 워터마크 삽입강도에 해당하는 A 를 변화시키면서 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 나타내었다. A 는 에지 및 텍스처 영역의 삽입강도이고 B 는 평탄 영역의 삽입강도인데 일반적으로 A 가 중요하며 B 는

평탄 영역의 삽입강도로서 가시성에 민감하므로 값을 작게 하여야만 한다. 본 논문에서 반복적 실험의 결과 A 의 값은 30.0을 사용하였고, B 의 값은 0.1을 사용하였다. 워터마크의 삽입강도가 커질수록 PSNR은 떨어지고 강인성이 증가함을 알 수 있었다. 제안한 방법이 기존의 대역확산기법의 모델에서 보다 PSNR이 약 0.5[dB] 더 좋은 것을 알 수 있었고, 정상상태의 모델이 비정상상태 모델보다 약 0.05[dB] 더 우수함을 알 수 있었다. 그림에서 SSQ+Non-stationary는 제안한 방법이고 SS+Non-stationary는 기존의 방법[14]이다.

표 5는 LENA영상에 대한 Stirmark 3.1 벤치마크 테스트에 근거한 여러 가지 공격에 대한 PSNR과 유사도를 보였다. 비가시성의 척도인 PSNR은 정상상태 모델이 우수하며, 강인성의 척도인 유사도는 비정상상태 모델이 우수함을 알 수 있었다. 그리고, 본 논문에서 삽입한 워터마크의 key 값은 200번째의 시드 값 (seed number)를 사용하였으며 워터마크가 삽입된 영상에 공격이 없이 추출된 워터마크의 유사도를 그림 17 및 18에 보였다. 그림 17은 비정상상태의 유사도로서 공격이 없는 경우 유사도는 32.1761을 가졌으며, 그림 18은 정상상태의 유사도로서 공격이 없는 경우 32.1785를 가졌다. 따라서 두 모델의 유사도는 거의 일치함을 알 수 있었다. 그러나 Gaussian 공격, sharpening 공격, median 공격을 했을 경우에 대한 비정상상태 및 정상상태의 유사도를 비교해 보면 비정상상태의 유사도가 높음을 알 수 있다. 이는 비정상상태 모델이 더 견고성이 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 비가시성을 나타내는 척도인 PSNR을 비교해 보면 정상상태 모델이 더 우수함을 알 수 있었다.



(a) Non-stationary Gaussian model



(b) Stationary generalized Gaussian model

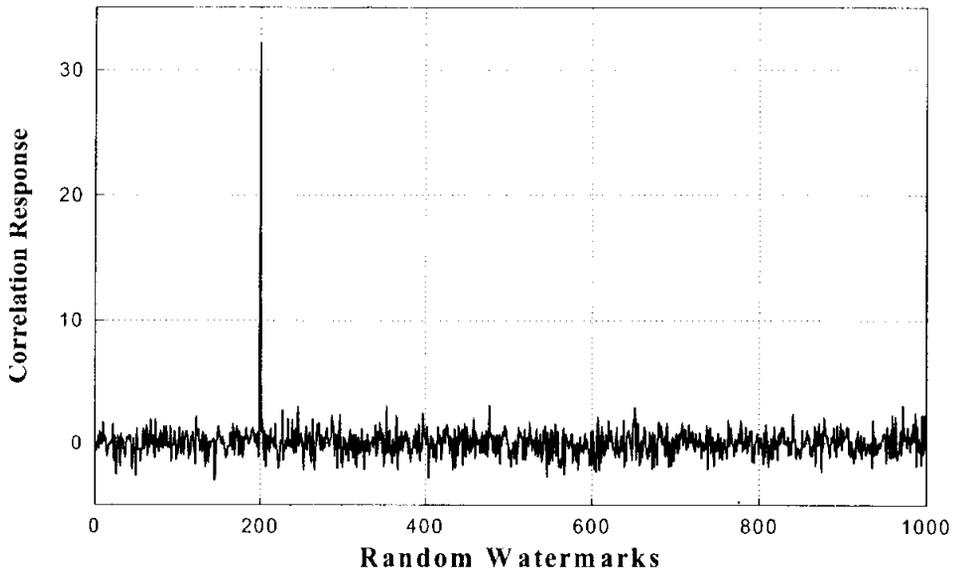
그림 16. 삽입강도에 따른 PSNR 비교

Fig. 16. Comparison of PSNR according to embedding strength.

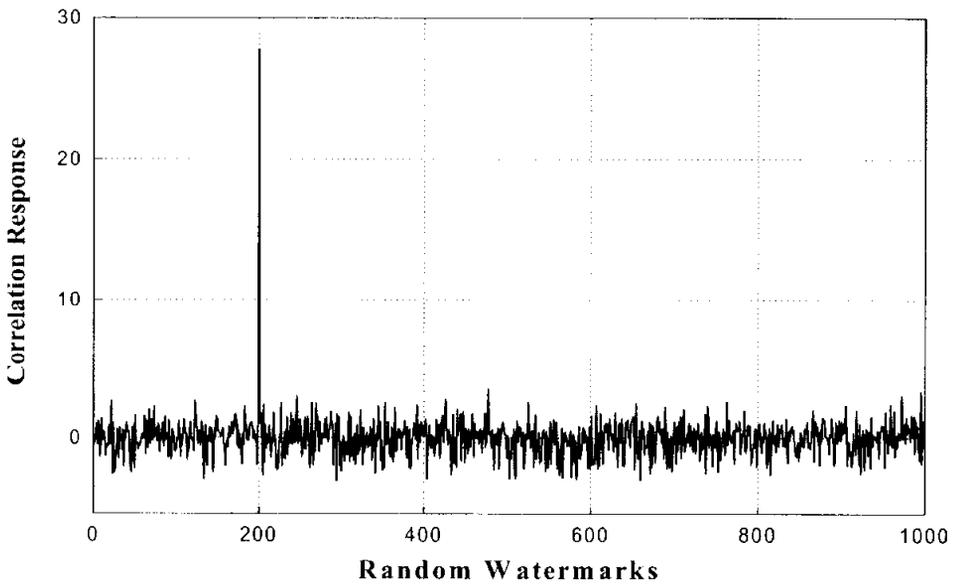
표 5. LENA 영상에 대한 여러 가지 공격 실험

Table 5. Some attacks for LENA image.

| Lena 512×512 | | | | |
|--------------|----------|-------|----------|-------|
| 구분 | 비정상상태 모델 | | 정상상태 모델 | |
| | PSNR[dB] | 유사도 | PSNR[dB] | 유사도 |
| Sharpening | 21.74 | 16.75 | 22.50 | 6.61 |
| Median 3×3 | 30.47 | 20.90 | 31.50 | 8.31 |
| Gaussian 3×3 | 33.23 | 27.77 | 34.53 | 17.40 |
| JPEG Q=50% | 35.02 | 31.75 | 37.18 | 29.74 |
| Cropping 50% | 49.47 | 19.31 | 47.51 | 19.34 |



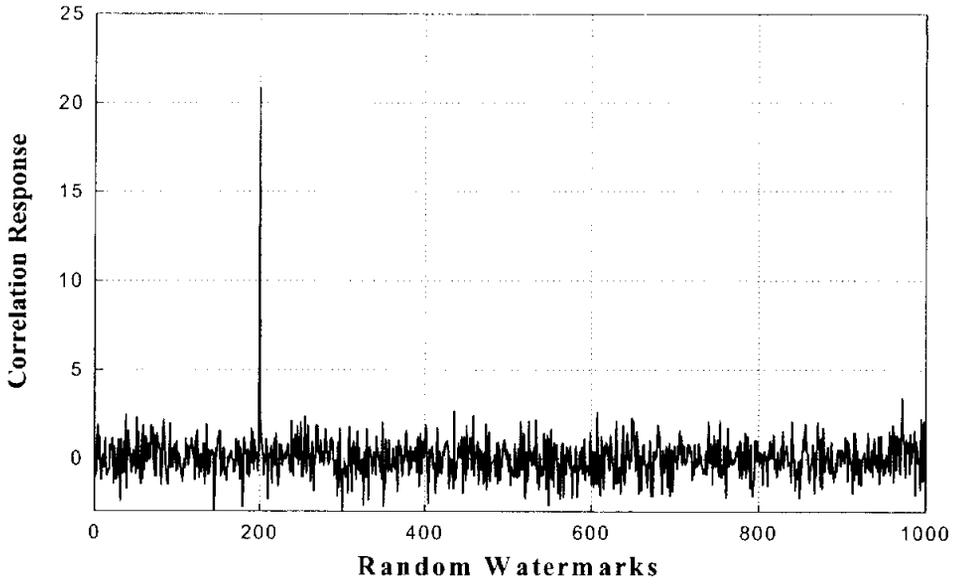
(a) No attack(CR=32.1761)



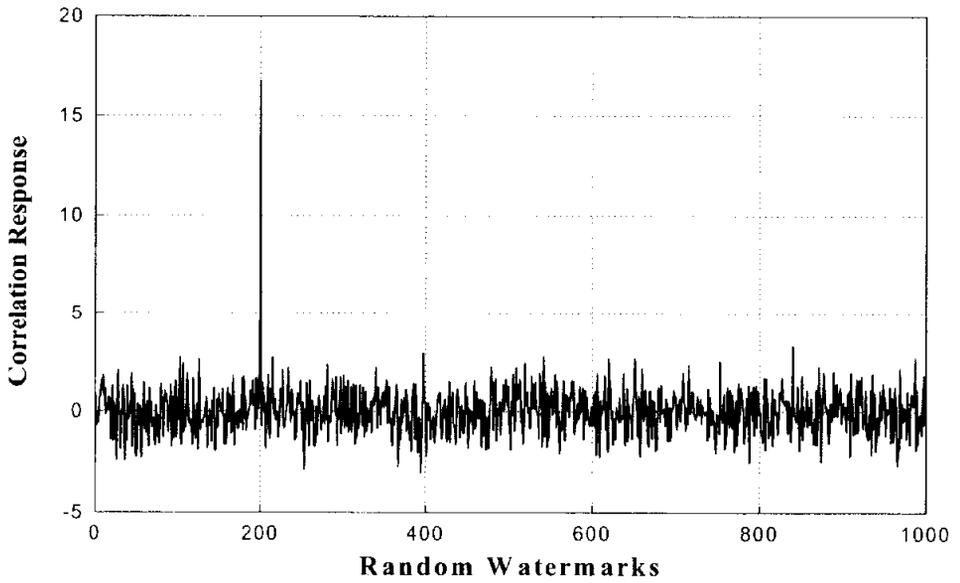
(b) Gaussian attack(CR=27.77)

그림 17. 비정상상태 모델의 유사도

Fig. 17. Correlation response of non-stationary model.



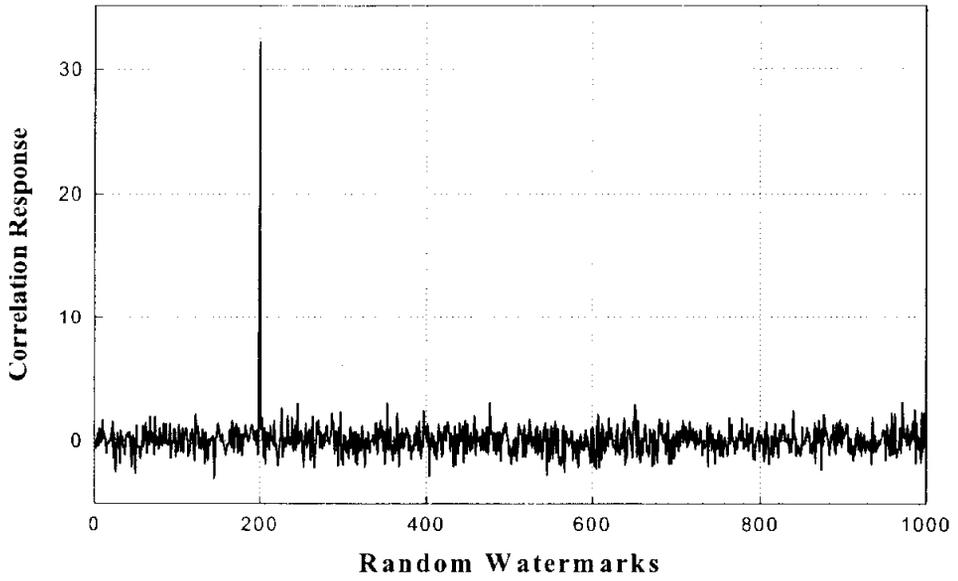
(c) Median attack(CR=20.90)



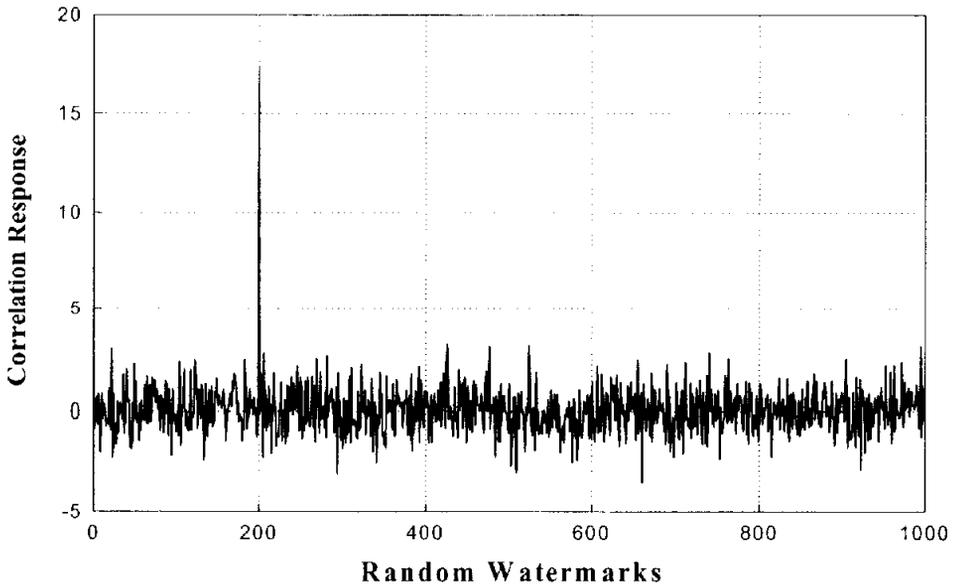
(d) Sharping attack(CR=16.75)

그림 17. (계속)

Fig. 17. (Continued.)



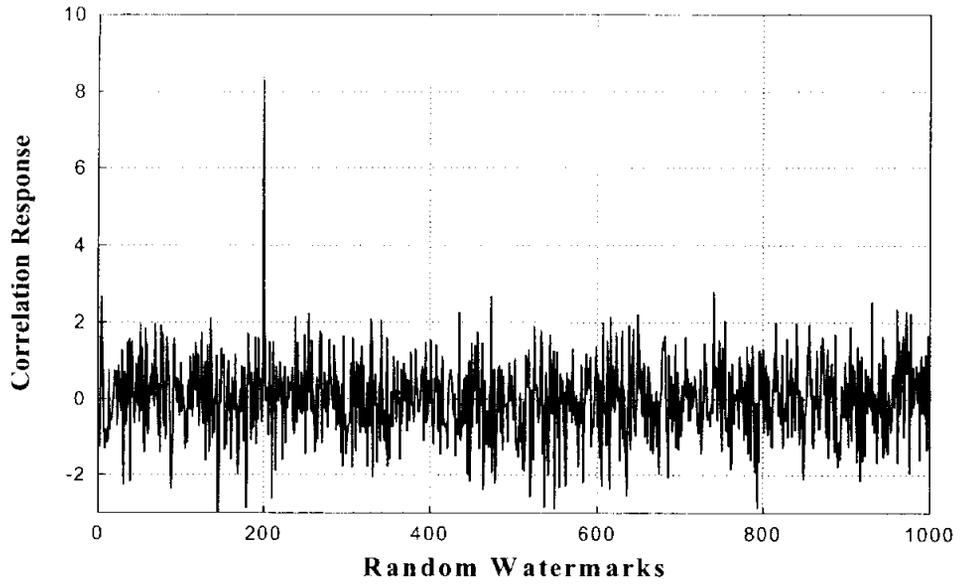
(a) No attack(CR=32.1785)



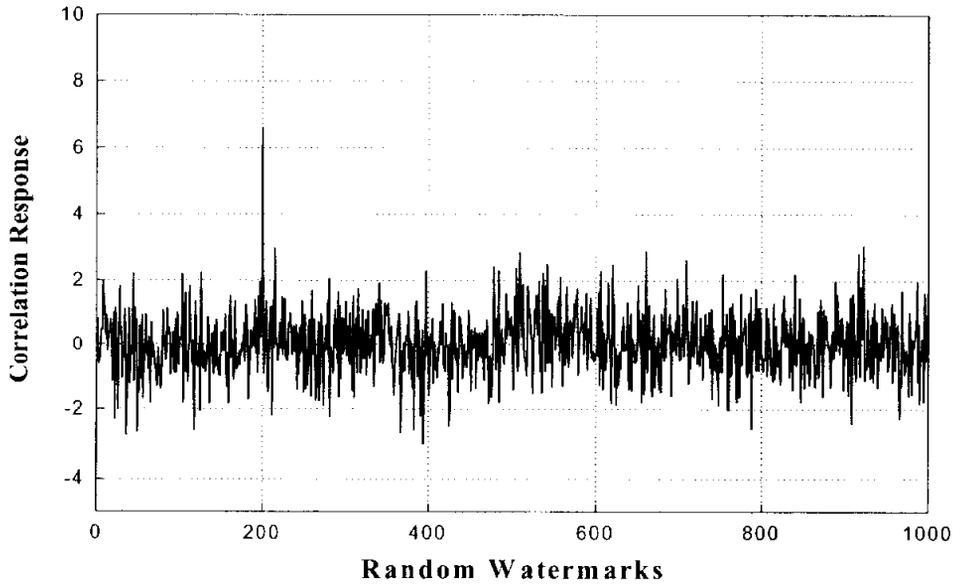
(b) Gaussian attack(CR=17.40)

그림 18. 정상상태 모델의 유사도

Fig. 18. Correlation response of stationary model.



(c) Median attack(CR=8.31)



(d) Sharping attack(CR=6.61)

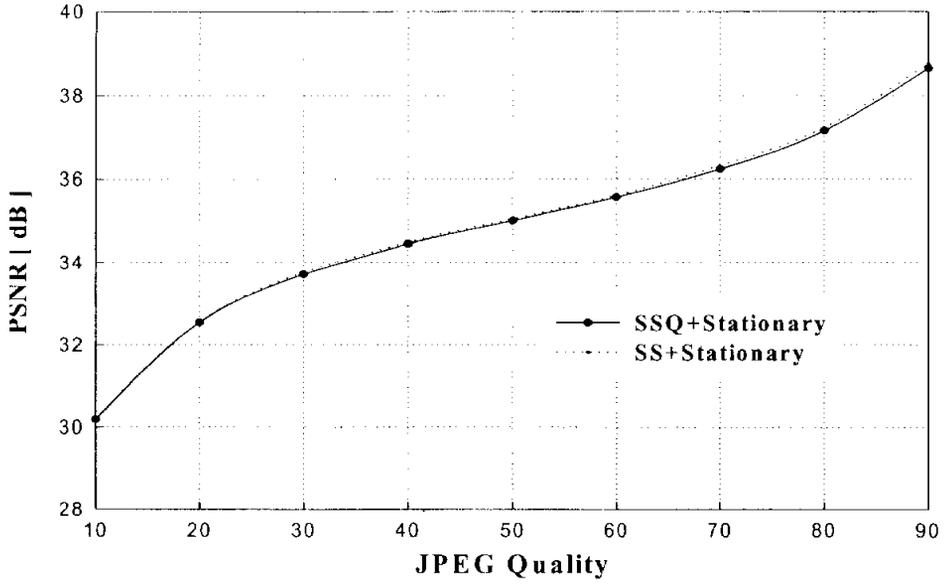
그림 18. (계속)

Fig. 18. (Continued.)

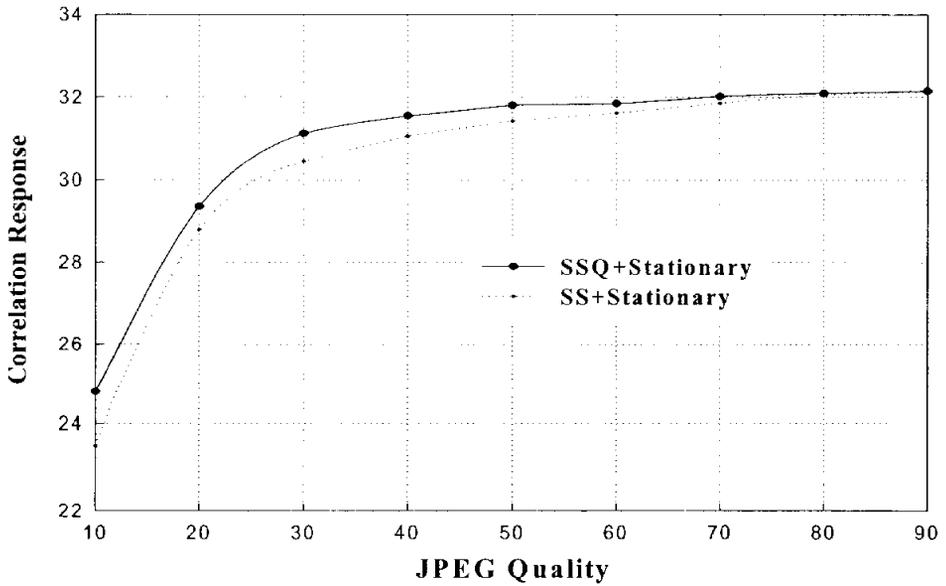
JPEG 공격 하에 강인성을 평가하기 위하여 JPEG Q-factor를 10%에서 90%로 변화시켰을 때의 PSNR 및 유사도를 그림 19에 나타내었다. 그 결과 JPEG 압축에 대한 워터마크 구조의 탄성(resilience)을 알 수 있었다. JPEG 압축 실험에서도 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 비가시성이 우수함을 알 수 있었고, 유사도는 비정상상태 모델이 정상상태 모델보다 우수함을 알 수 있었다.

그림 20은 워터마크가 삽입된 영상을 Q-factor 80%에서 JPEG 압축한 다음 영상 데이터의 내부 10%에서 90%까지 절단(cropping)한 경우 워터마크의 존재 유무에 대한 강인성을 실험한 결과이다. 지금까지의 실험에서 비정상 상태의 Gaussian 모델의 경우는 강인성에서, 정상상태의 GG 모델의 경우는 비가시성에서 더 좋은 결과를 확인하였다. 그 결과 PSNR은 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 현저하게 우수함을 알 수 있으나 유사도는 정상상태 및 비정상상태 모델이 비슷함을 알 수 있었다. 따라서 이런 한 경우 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 우수함을 알 수 있었다.

그림 21(a) 및 21(b)는 비정상상태 모델에 대한 워터마크가 삽입된 LENA영상 및 Stirmark random bend 공격을 받은 영상으로서 화질의 열화가 없음을 보였다. 또한 그림 21(c) 및 21(d)는 BARBARA영상에 대한 워터마크 영상 및 Stirmark random bend 공격에 대한 영상이다. 그림 22는 LENA 및 BARBARA 영상에 대한 정상상태 모델에 대한 워터마크가 삽입된 영상 및 공격 받은 영상으로서, Stirmark 공격 후에도 화질의 열화가 없음을 알 수 있었다.



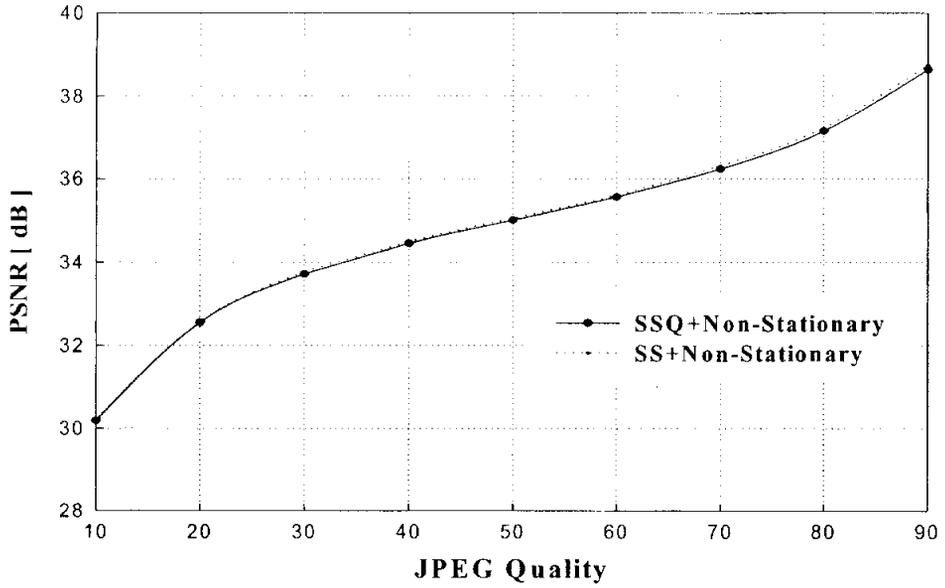
(a) PSNR (Stationary model)



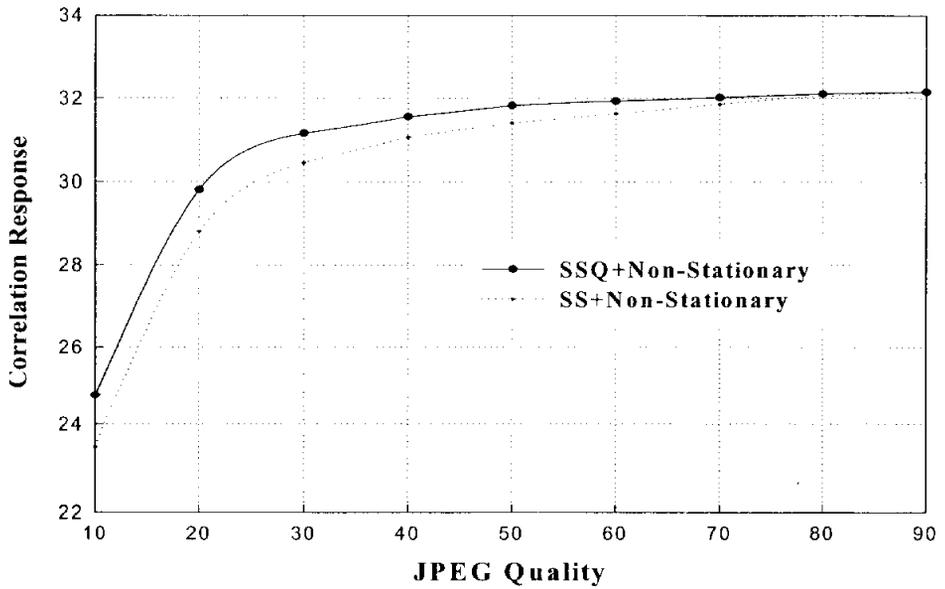
(b) Correlation response (Stationary model)

그림 19. JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교

Fig. 19. Comparison of PSNR and correlation response according to JPEG Quality.



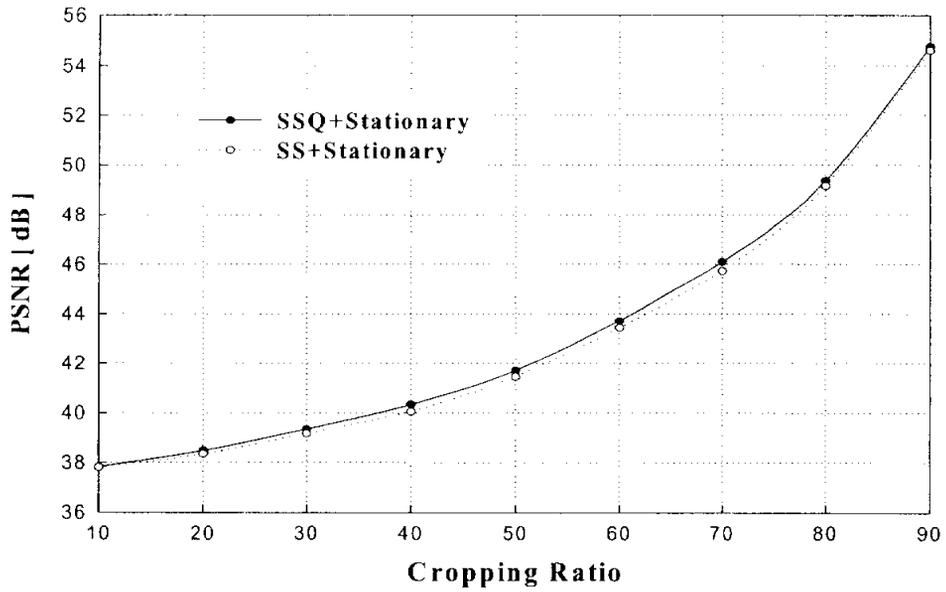
(c) PSNR (Non-stationary model)



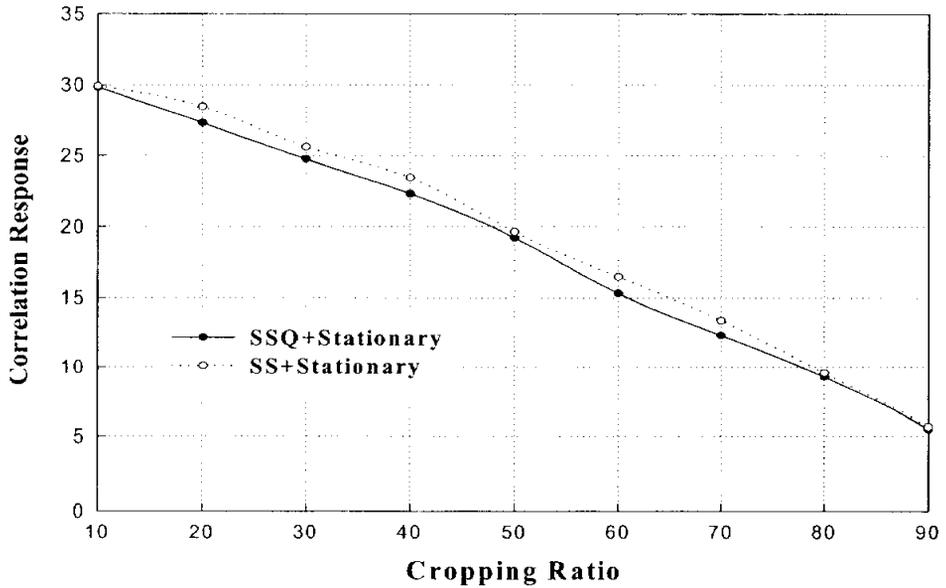
(d) Correlation response (Non-stationary model)

그림 19. (계속)

Fig. 19. (Continued.)

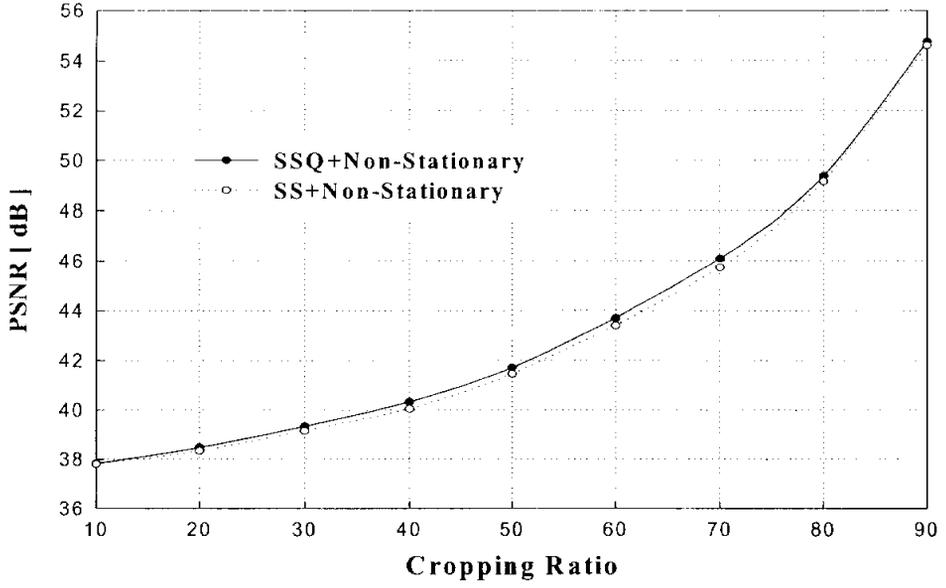


(a) PSNR(Stationary)

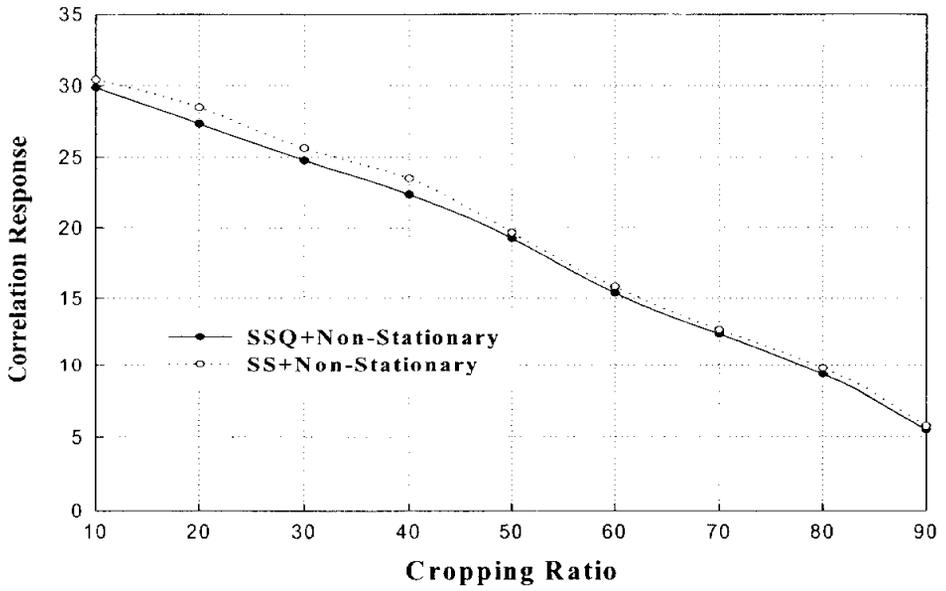


(b) Correlation response (Stationary)

그림 20. JPEG 압축률 80%에서 절단을 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교
 Fig. 20. Comparison of PSNR and correlation response according to cropping attack.(JPEG quality = 80%).



(c) PSNR(Non-stationary)



(d) 유사도(Non-stationary)

그림 20. (계속)

Fig. 20. (Continued.)



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Watermarked LENA image

(b) Attacked LENA image

(c) Watermarked BARBARA image

(d) Attacked BARBARA image

그림 21. LENA 및 BARBARA 영상에 대한 비정상상태 모델

Fig. 21. Non-stationary model about LENA and BARBARA images.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Watermarked LENA image

(b) Attacked LENA image

(c) Watermarked BARBARA image

(d) Attacked BARBARA image

그림 22. LENA 및 BARBARA 영상에 대한 정상상태 모델

Fig. 22. Stationary model about LENA and BARBARA images.

5.1.2 지각적 동조특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안한 방법의 특징들을 비교하기 위해 주된 실험 영상은 512×512 화소크기를 갖는 LENA, AIRPLANE, BARBARA, BABOON, PEPPERS 및 GOLDHILL 영상을 사용하였다. 먼저 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환으로 영상을 3 레벨로 분해한다. 은닉되는 워터마크는 시드값 200을 갖는 *i.i.d.* 가우시안 분포의 단위 분산, $N(0,1)$ 이다. 워터마크의 길이는 선택되는 지각적 중요 계수의 개수와 일대일 대응이다. 실험의 두 번째 단계로 각 부대역에 적응적 문턱값인 표 4를 이용해서 지각적 중요 계수를 찾는다. 그리고 다해상도로 분해된 계수들을 이용하여 통계적 방법으로 정상상태 일반화 가우시안 모델인 경우의 NVF를 계산한다. 선택된 PSC에 계산된 NVF와 삽입강도를 적용시켜 워터마크를 영상의 특성에 따라 고정된 개수가 아닌 적응적으로 은닉한다. 워터마크를 제거하려는 여러 가지 공격은 Stirmark 3.1 벤치마크 테스트를 이용하였다.

그림 23 및 24는 LENA 및 AIRPLANE 영상으로서 (a)는 원영상이고, (b)는 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크를 은닉한 영상이고, (c)는 차영상으로서 삽입된 워터마크를 나타내었다. 또한 (d)는 워터마크가 삽입된 영상이 Stirmark 공격 후에도 화질의 열화가 없음을 보였다. 그림 25 및 26은 고주파 성분이 많은 BARBARA 및 BABOON 영상에 대한 실험이고, 그림 27 및 28은 평탄한 영역의 저주파 성분이 많은 PEPPERS 및 GOLDHILL 영상에 대한 실험이다.

그림 29는 LENA 영상에 대하여 워터마크가 삽입된 후 공격 없이 추출한 워터마크의 유사도를 상관관계(CR)를 이용해 나타낸 그림이다. 워터마크 삽입시 시드값 200을 사용했기 때문에 200의 값에서 원래의 워터마크와 가장 큰 유사도 (CR=74.30)를 보이는 것을 알 수 있었다.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상(PSNR=40.41[dB])
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 23. LENA 영상에 대한 워터마킹 결과

Fig. 23. Watermarking results for LENA image.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상 PSNR=38.92[dB]
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 24. AIRPLANE 영상에 대한 워터마킹 결과
Fig. 24. Watermarking results for AIRPLANE image.



(a)



(b)



(c)



(d)

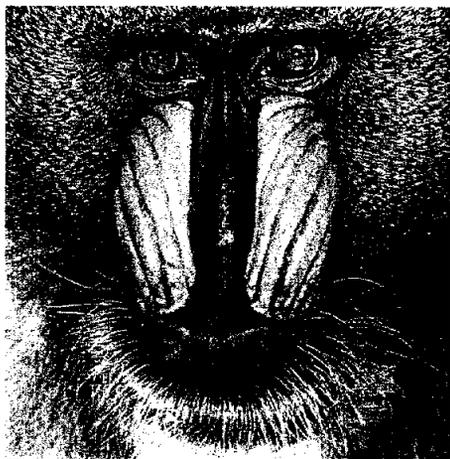
(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상 PSNR = 35.10[dB]
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 25. BARBARA 영상에 대한 워터마킹 결과

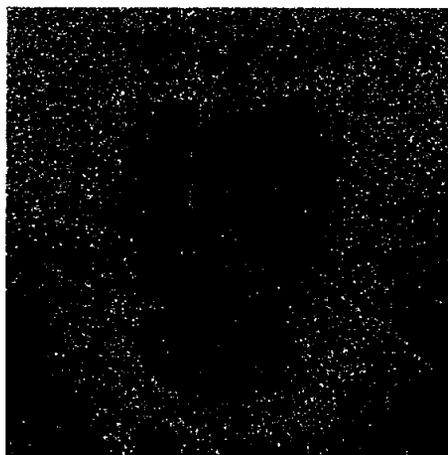
Fig. 25. Watermarking results for BARBARA image.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상 PSNR = 38.92[dB]
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 26. BABOON 영상에 대한 워터마킹 결과

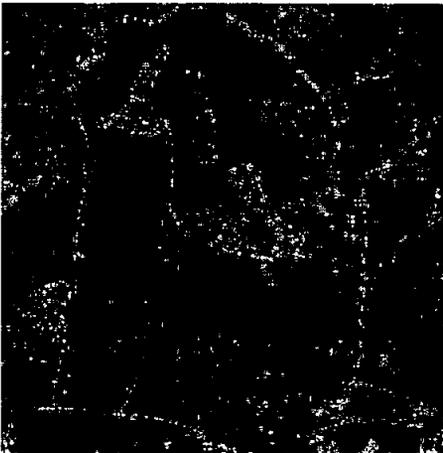
Fig. 26. Watermarking results for BABOON image.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상 PSNR=40.94[dB]
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 27. PEPPERS 영상에 대한 워터마킹 결과

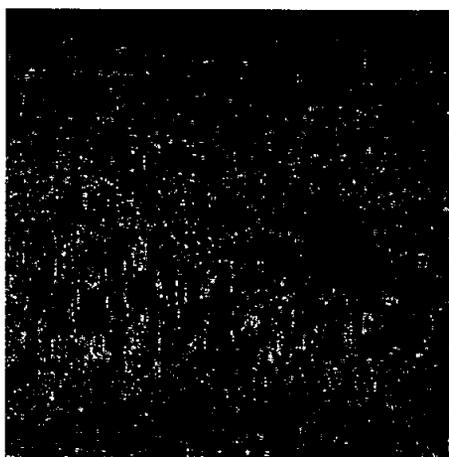
Fig. 27. Watermarking results for PEPPERS image.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 원영상 (b) 워터마크 삽입 영상 PSNR=37.94[dB]
(c) 차영상 (d) Stirmark random bend 공격후의 영상

그림 28. GOLDHILL 영상에 대한 워터마킹 결과
Fig. 28. Watermarking results for GOLDHILL image.

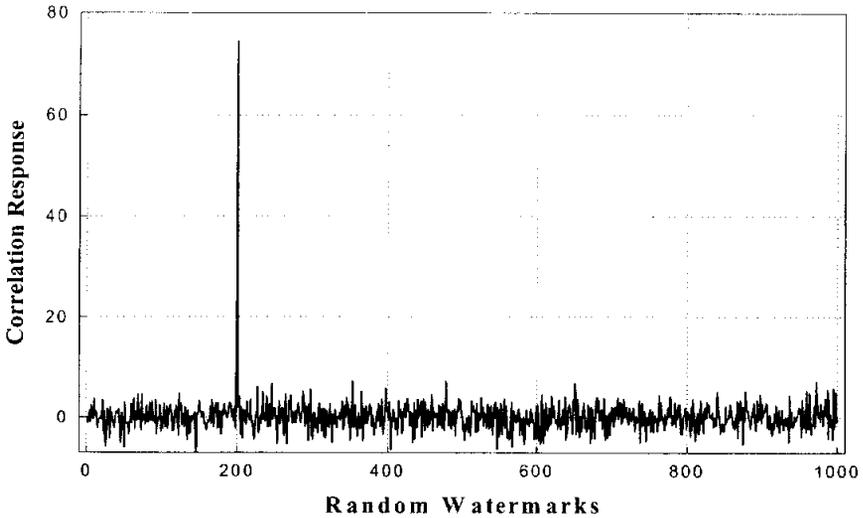


그림 29. 추출한 워터마크와 원 워터마크와의 유사도(CR=74.30)

Fig. 29. Correlation response of detected and original watermarks(CR=74.30).

그림 30은 LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도를 나타낸 그림이다. 본 논문에서는 제안한 방법과 Podilchuk 등[11]이 제안한 방법을 비교하였다. 실험의 객관성을 위해 Podilchuk의 방법을 9/7 쌍직교 웨이브릿으로 3레벨로 분해하였다. 실험 결과 제안한 방법이 압축률 20%~60%에서 더 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 워터마크 은닉의 비가시성을 나타내는 PSNR에서 제안한 방법이 압축률을 높일수록 더 우수한 특성을 나타냄을 그림 31을 통해 확인할 수 있다. 이는 평탄영역에서보다 에지나 텍스처 영역에 워터마크가 더 강하게 삽입되었기 때문이다. 그림 32 및 33은 BARBARA 영상에 대한 유사도 및 PSNR을 Podilchuk 등이 제안한 방법과 비교하였다. 고주파 성분이 많은 BARBARA 영상은 비슷한 결과가 나올 수 있었다. 그림 34 및 35는 평탄영역이 많은 저주파 영역에 대한 실험으로 GOLDHILL 영상에 대한 유사도 및 PSNR을 비교하였다. 그 결과 비정상상태에서의 유사도가 약간 떨어지나 제안한 방법이 전반적으로 우수함을 확인할 수 있었다.

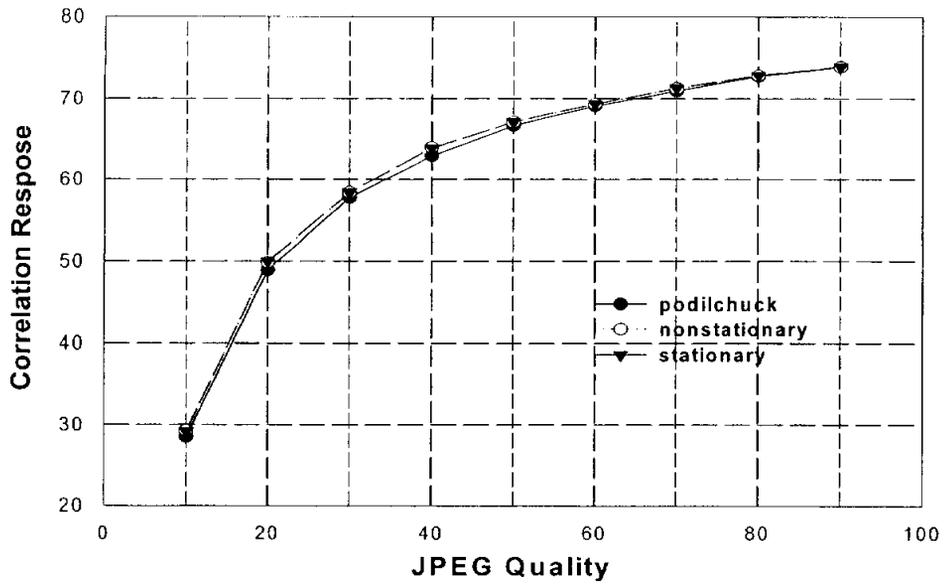


그림 30. LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도
 Fig. 30. Correlation response about LENA image according to JPEG quality.

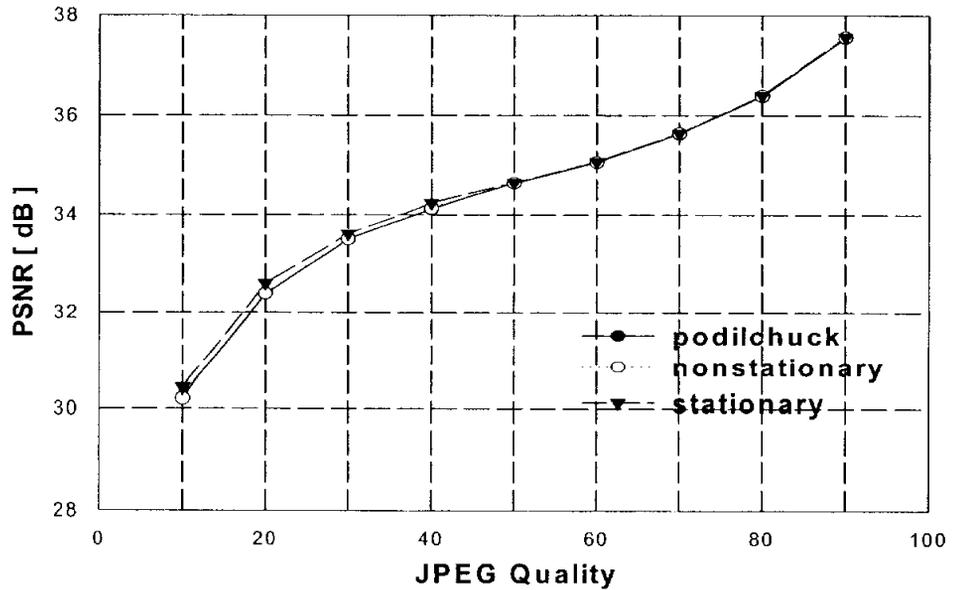


그림 31. LENA 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR
 Fig. 31. PSNR about LENA image according to JPEG quality.

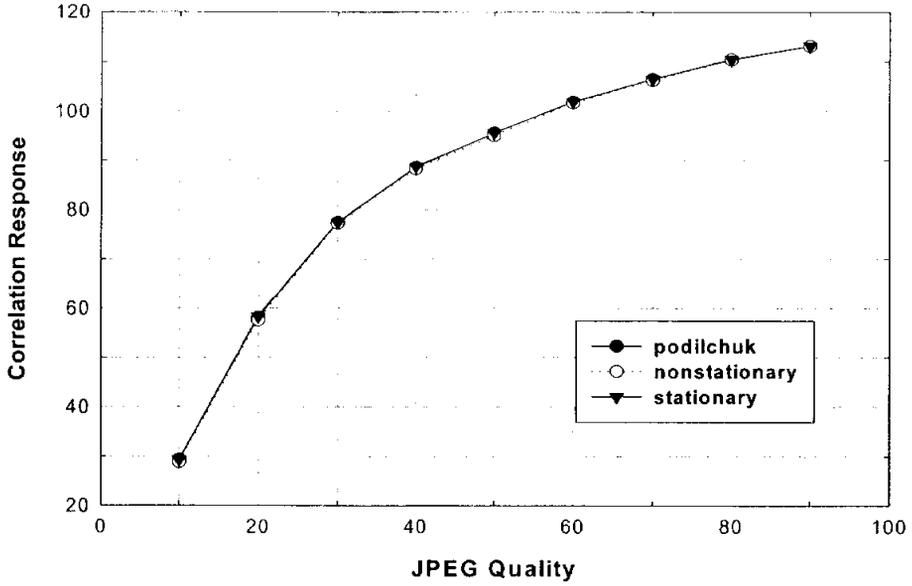


그림 32. BARBARA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도

Fig. 32. Correlation response about BARBARA image according to JPEG quality.

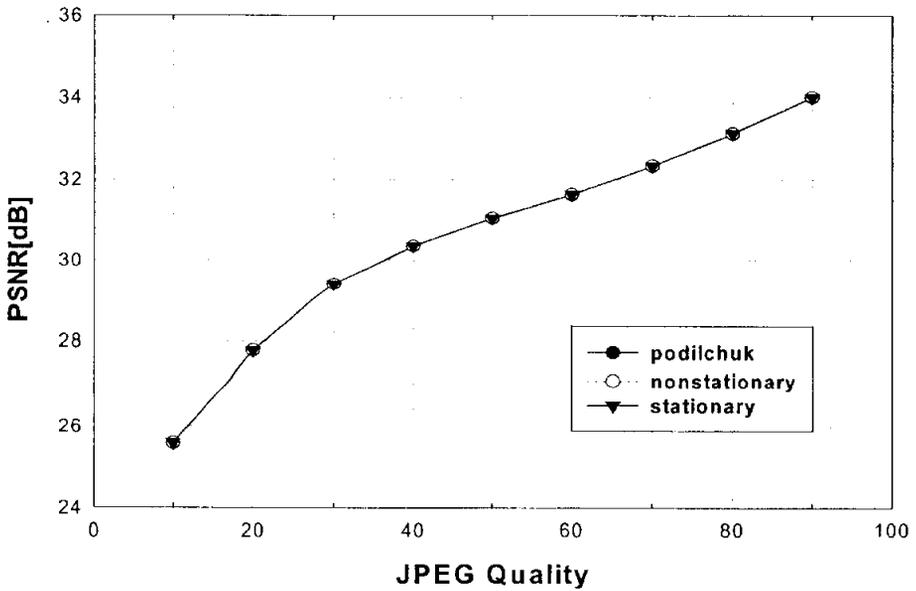


그림 33. BARBARA 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR

Fig. 33. PSNR about BARBARA image according to JPEG quality.

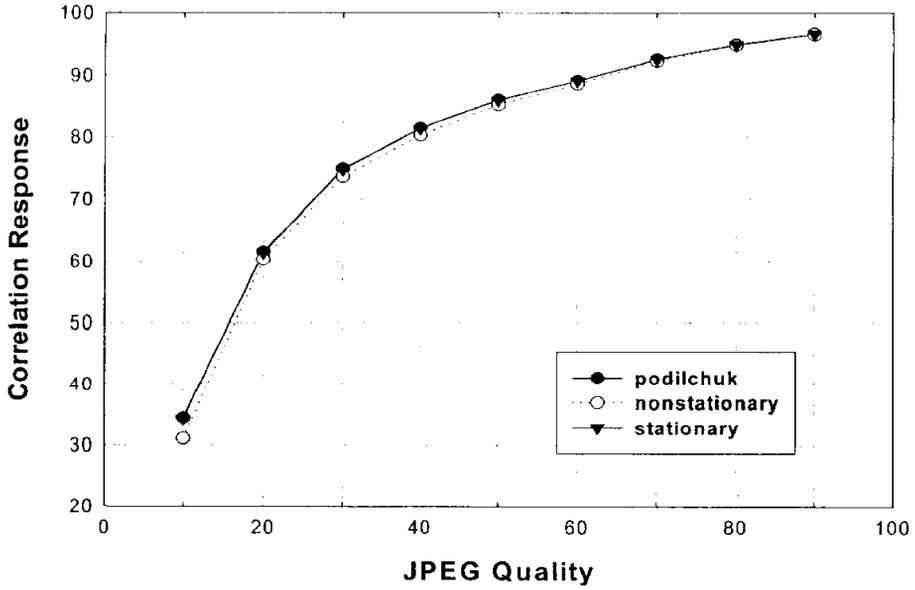


그림 34. GOLDHILL 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도

Fig 34. Correlation response about GOLDHILL image according to JPEG quality.

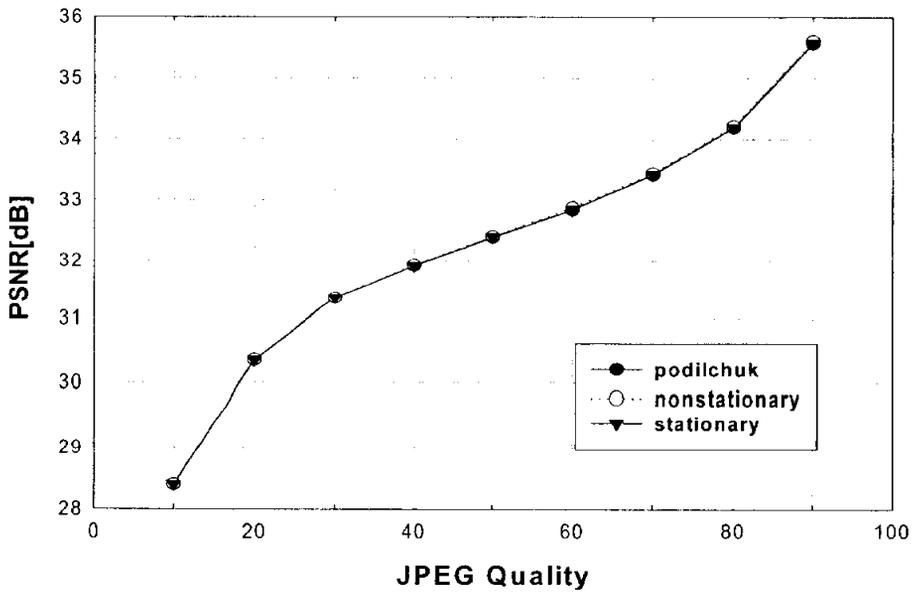


그림 35. GOLDHILL 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR

Fig 35. PSNR about GOLDHILL image according to JPEG quality.

표 6은 선택된 PSC에 따라 계산된 NVF와 삽입 강도를 적응시켜 영상의 특성에 따라 워터마크의 삽입 개수가 적응적이 되도록 한다. 표에서 알 수 있듯이 BABOON 영상이 가장 많이 워터마크가 삽입되며 BARBARA가 그 다음으로 많이 삽입된다. 이는 영상에서 고주파 성분이 많이 포함된 영상일수록 삽입될 워터마크의 개수가 증가함을 알 수 있다. 그리고 저주파나 중간 주파수 성분이 많은 영상에서는 워터마크의 개수가 적음을 알 수 있다. 이는 제안한 알고리즘이 워터마크의 삽입을 주로 에지나 텍스처 영역에 집중적으로 많이 삽입하기 때문이다.

표 7은 워터마크의 강인성을 실험하기 위하여 워터마크된 LENA 영상에서 영상처리의 필터링을 한 후 워터마크를 추출한 결과이다. 제안한 방법이 비가시성은 비슷했지만 강인성에서 기존의 방법보다 더 우수함을 알 수 있었다. 표 8은 보다 강도 높은 공격 실험을 위하여 LENA 영상에서 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG압축률 80%로 압축 한 후 잘라내는 비율을 10%~90%로 변화시키면서 각각에 대한 PSNR 및 유사도를 나타낸 것이다. 실험에서와 같이 기하학적 공격과 손실 압축이 복합된 공격에서도 워터마크가 충분히 살아있음을 알 수 있었다.

표 9는 워터마크의 강인성을 실험하기 위하여 워터마크된 AIRPLANE 영상에 필터링 공격을 한 후 워터마크를 추출한 결과이다. 제안한 방법이 비가시성에서는 기존의 방법과 비슷했지만 강인성에서는 기존의 방법보다 더 우수함을 알 수 있었다. 표 10은 AIRPLANE 영상에서 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG압축률 80%로 압축 한 후 절단 비율을 10%~90%로 변화시키면서 각각에 대한 PSNR 및 유사도를 나타낸 것이다. 실험에서 살펴보면 제안한 방법이 비가시성과 강인성 측면에서 기존의 방법보다 우수함을 확인 할 수 있었다.

표 6. 영상 특성에 따른 워터마크 신호의 개수

Table 6. Watermark signal number according to image characteristics.

| 영상 | LENA | AIRPLANE | BABOON | BARBARA | PEPPERS |
|-----|-------|----------|--------|---------|---------|
| PSC | 6,279 | 13,629 | 25,783 | 5,967 | 8,135 |

표 7. LENA 영상의 필터링 공격에 대한 비교

Table 7. Comparison about filtering attack of LENA image.

| Attack | Stationary | | Nonstationary | | Podilchuck | |
|--------------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| Gaussian 필터링 | 33.32 | 45.08 | 33.31 | 45.12 | 33.34 | 43.24 |
| Sharpening | 21.50 | 43.63 | 21.50 | 43.60 | 21.50 | 41.45 |
| Median 필터링 | 30.44 | 48.29 | 30.43 | 48.49 | 30.43 | 47.93 |
| FMLR | 32.28 | 29.77 | 32.07 | 29.81 | 32.07 | 27.50 |

표 8. JPEG LENA 영상에 대한 Q-factor 80%에서의 절단 공격 실험

Table 8. Cropping attack about JPEG LENA image at Q-factor 80%.

| Cropping Ratio | Stationary | | Nonstationary | | Podilchuck | |
|----------------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| 10% | 36.93 | 69.62 | 36.92 | 69.60 | 36.94 | 69.51 |
| 20% | 37.42 | 66.66 | 37.41 | 66.64 | 37.43 | 66.54 |
| 30% | 38.15 | 62.01 | 38.15 | 62.00 | 38.17 | 61.89 |
| 40% | 39.02 | 56.97 | 39.03 | 56.97 | 39.05 | 56.87 |
| 50% | 40.37 | 48.86 | 40.38 | 48.85 | 40.39 | 48.74 |
| 60% | 42.24 | 39.86 | 42.27 | 39.84 | 42.27 | 39.72 |
| 70% | 44.60 | 30.89 | 44.62 | 30.87 | 44.62 | 30.54 |
| 80% | 47.99 | 21.17 | 47.97 | 21.15 | 47.99 | 21.15 |
| 90% | 53.31 | 12.24 | 53.27 | 12.34 | 53.28 | 12.36 |

표 9. AIRPLANE 영상의 필터링 공격에 대한 비교

Table 9. Comparison about filtering attack of AIRPLANE image.

| Attack | Stationary | | Nonstationary | | Podilchuck | |
|--------------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| Gaussian 필터링 | 32.51 | 41.39 | 32.51 | 41.44 | 32.49 | 41.03 |
| Sharpening | 21.69 | 49.30 | 21.69 | 49.29 | 21.69 | 48.65 |
| Median 필터링 | 29.11 | 49.70 | 29.07 | 49.37 | 29.09 | 49.22 |
| FMLR | 32.25 | 44.29 | 32.25 | 44.31 | 32.25 | 43.99 |

표 10. JPEG AIRPLANE 영상에 대한 Q-factor 80%에서의 절단 공격 실험

Table 10. Cropping attack about JPEG AIRPLANE image at Q-factor 80%.

| Cropping Ratio | Stationary | | Nonstationary | | Podilchuck | |
|----------------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| 10% | 36.76 | 77.70 | 36.74 | 77.79 | 36.73 | 77.68 |
| 20% | 37.32 | 72.98 | 37.29 | 73.01 | 37.28 | 72.96 |
| 30% | 38.03 | 67.77 | 38.00 | 67.81 | 37.99 | 67.66 |
| 40% | 38.99 | 60.72 | 38.96 | 60.76 | 38.95 | 60.70 |
| 50% | 40.39 | 51.84 | 40.35 | 51.88 | 4.34 | 51.82 |
| 60% | 42.03 | 43.02 | 42.00 | 43.06 | 41.98 | 43.01 |
| 70% | 44.26 | 33.26 | 44.22 | 33.30 | 44.21 | 33.22 |
| 80% | 47.06 | 24.14 | 47.02 | 24.19 | 47.01 | 24.12 |
| 90% | 53.64 | 11.48 | 53.55 | 11.46 | 53.56 | 11.44 |

5.2 워터마크 검출 알고리즘에 대한 실험

본 논문에서 제안한 워터마크 검출 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 실험 영상은 512×512 크기의 LENA, BABOON, BARBARA, PEPPERS 영상 등을 사용하였다. 먼저 웨이브릿 영역으로 영상을 4레벨로 분해한다. 각 부대역 문턱값을 이용해 PSC들을 찾는다. 그리고 계수들의 정상상태 일반화 가우시안 모델의 NVF를 계산한다. 선택된 PSC에 의해 계산된 NVF를 에지 및 텍스처 영역과 평탄 영역에 적응적 삽입강도로 적용시켜 워터마크를 삽입하였다.

제안한 최적 검출 알고리즘과 기존의 유사도 기반 알고리즘의 검출 성능을 평가하기 위하여, 워터마크를 제거하려는 일반적인 영상 처리, 손실 부호화 및 기하학적인 변형을 워터마크가 삽입된 영상에 가하였다. 이렇게 공격이 가해진 영상에 대하여 각 검출 알고리즘이 얼마나 정확히 워터마크를 검출하는지를 평가하였다.

비가시성과 견고성을 동시에 고려하여 비교 평가하기 위하여 기존의 방법에서는 4레벨로 분해된 다해상도를 갖는 부대역 영상에서 기저대역과 최저 레벨의 부대역을 제외한 중간 주파수 성분을 나타내는 부대역에서 크기가 큰 5,000개의 계수들에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 이때 삽입 강도 α 및 최대 허용 허위 검출 확률 $\overline{P_{FA}}$ 는 각각 0.3 및 10^{-9} 을 사용하였다.

그러나 제안한 방법에서는 다해상도로 분해 후 삽입하는 워터마크의 수를 제한하지 않고 영상의 특성에 따라 적응적으로 삽입되도록 하여 삽입되는 워터마크의 양을 최적화 시켰다. 또한 워터마크의 삽입 강도도 영상의 특성에 따라 적응적으로 조절이 되도록 하였다. 그리고 영상의 통계적 특성을 고려한 정상상태 및 비정상상태의 지각적 모델을 실험하였다. 그러나 최대 허용 허위

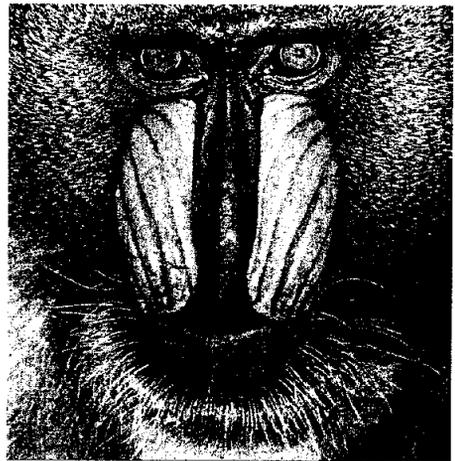
검출 확률 $\overline{P_{FA}}$ 는 기존의 방법과 동일한 10^{-9} 을 사용하였다.

다양한 워터마크 공간을 구성하기 위하여 서로 독립적인 1000개의 워터마크를 실험에 사용하였고, 그 중 200번째 워터마크를 실제로 각 영상에 삽입하였다. 아래 모든 실험의 결과는 실제 삽입된 200번째 워터마크에 대한 검출 응답이 있었다.

그림 36 및 37은 LENA 및 BABOON와 BARBARA 및 PEPPERS 영상에 대한 워터마크가 삽입된 영상과 추출한 워터마크를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 워터마크를 삽입하였음에도 불구하고 화질의 열화가 없음을 확인할 수 있었다. 이는 시각적으로 둔감한 에지와 텍스처 영역에 평탄 영역보다 강하게 워터마크를 적응적으로 삽입하였다.



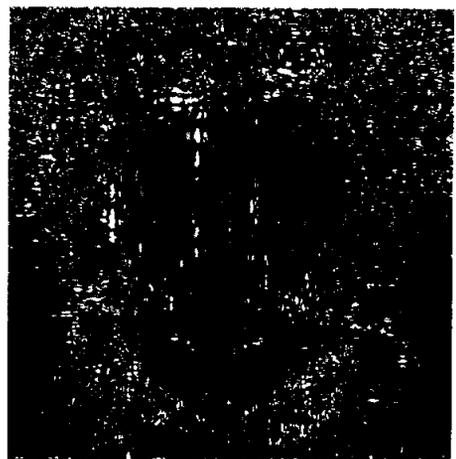
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) LENA 영상 (PSNR=41.70 [dB]) (b) BABOON 영상 (PSNR=39.43 [dB])
(c) 추출된 LENA 영상의 워터마크 (d) 추출된 BABOON 영상의 워터마크

그림 36. 워터마크가 삽입된 영상 및 추출된 영상

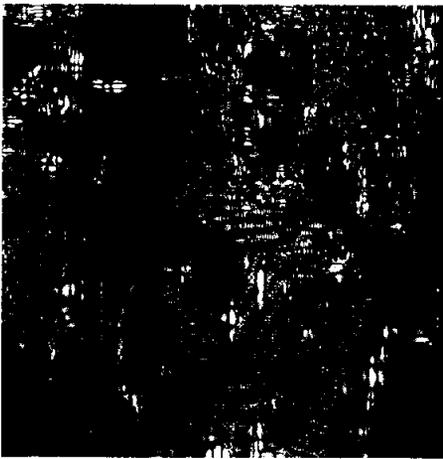
Fig. 36. Watermark embedded and detected images.



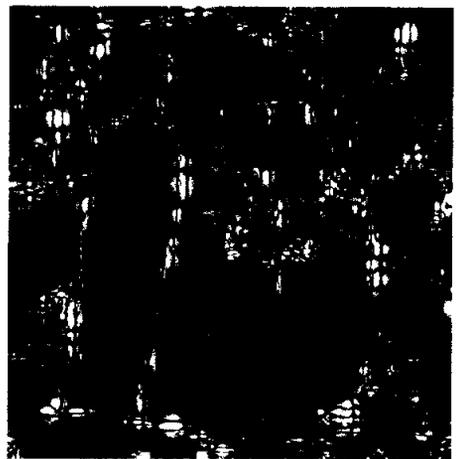
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) BARBARA 영상

(b) PEPPERS 영상

(c) 추출된 BARBARA 영상의 워터마크 (d) 추출된 PEPPERS 영상의 워터마크

그림 37. 워터마크가 삽입된 영상 및 추출된 영상

Fig. 37. Watermark embedded and detected images.

제안한 방법은 5000개로 워터마크를 고정한 기존의 방법과 워터마크를 검출하는 방법을 비교하였다. 표 11 및 12는 일반적인 영상처리에 대한 문턱값 및 우도비를 비교한 것으로서, 제안한 방법이 기존의 방법보다 우수함을 확인할 수 있었다. 그림 38 및 39는 고주파 성분이 많은 BARBARA 영상에 대한 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비 및 절단 공격을 한 후의 우도비를 나타낸 것이다. 제안한 방법이 기존의 워터마크 검출 방법보다 더 정확하게 워터마크 존재 유무를 판정할 수 있었다.

표 11. BARBARA 영상의 필터링 공격에 대한 비교

Table 11. Comparison about filtering attack of BARBARA image.

| Attack | Threshold | | | 우도비 | | |
|-----------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|----------|
| | stat. | non-stat. | convent. | stat. | non-stat. | convent. |
| Gaussian 필터링 | -392.90 | -396.80 | -226.22 | 295.87 | 295.60 | 331.53 |
| Sharpening | -393.21 | -397.13 | -226.56 | -336.42 | -369.64 | 207.92 |
| Median 필터링 | -393.15 | -397.04 | -226.32 | 173.17 | 184.27 | 289.72 |
| FMLR | -392.72 | -397.63 | -226.24 | 452.43 | 450.02 | 564.43 |

표 12. PEPPERS 영상의 필터링 공격에 대한 비교

Table 12. Comparison about filtering attack of PEPPERS image.

| Attack | Threshold | | | 우도비 | | |
|-----------------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|----------|
| | stat. | non-stat. | convent. | stat. | non-stat. | convent. |
| Gaussian 필터링 | -254.27 | -256.71 | -226.32 | 110.46 | 116.18 | 142.64 |
| Sharpening | -254.30 | -256.79 | -226.50 | 378.88 | 372.60 | 393.50 |
| Median 필터링 | -254.50 | -256.97 | -226.47 | 61.26 | 55.12 | 105.14 |
| FMLR | -254.10 | -256.54 | -226.17 | 130.12 | 130.94 | 146.40 |

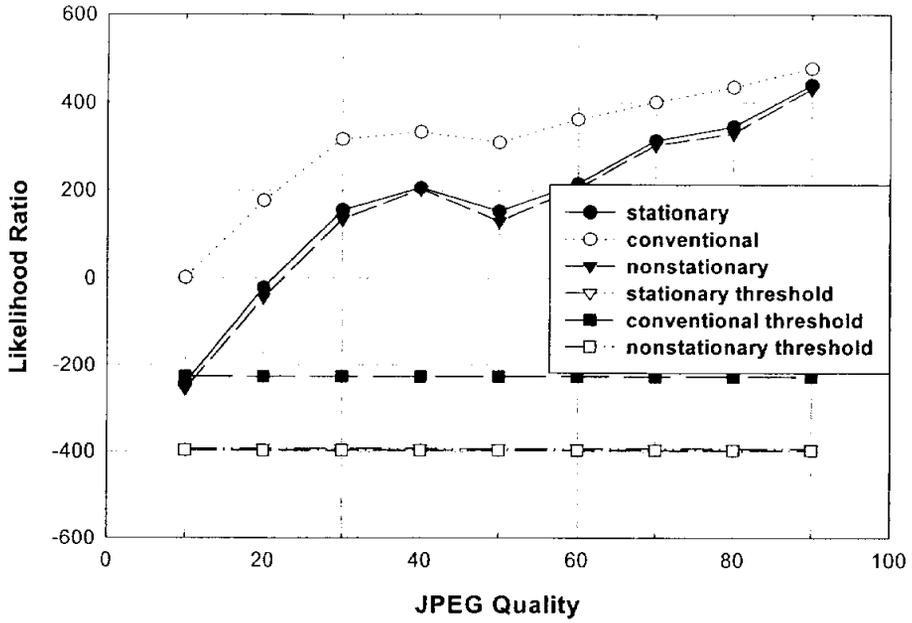


그림 38. BARBARA 영상에 대한 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비
 Fig. 38. Likelihood ratio about BARBARA image according to JPEG quality.

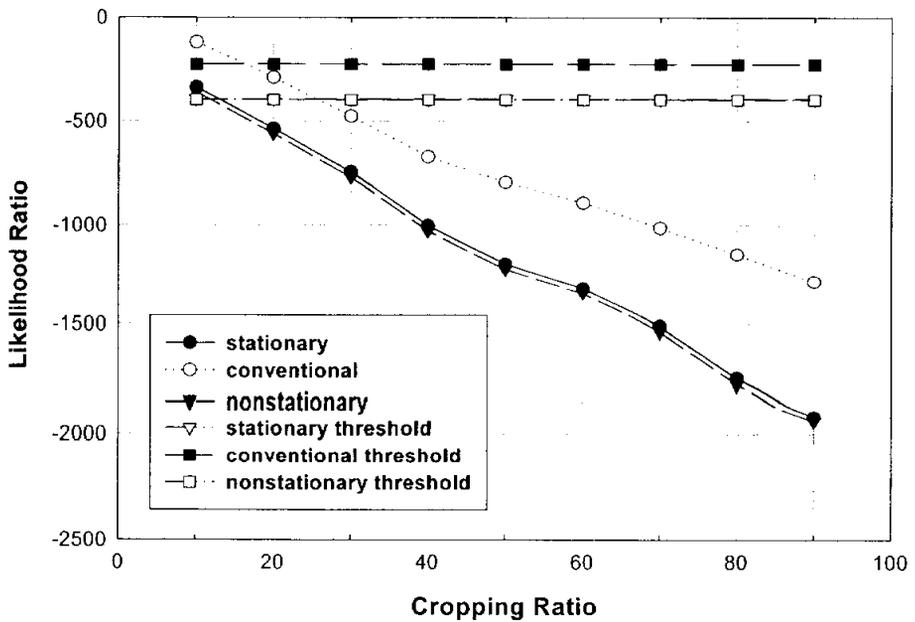


그림 39. BARBARA 영상에 대한 절단 공격 후의 우도비
 Fig. 39. Likelihood ratio about BARBARA image after cropping attack.

그림 40은 LENA 영상에 대한 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 압축률 50%로 압축 한 후 잘라내는 비율을 10~90%로 변화시키는 복합공격에 대한 우도비를 나타내었다. 그림에서와 같이 기하학적 공격과 손실압축이 복합된 공격에서도 워터마크가 정확히 검출되는 것을 볼 수 있었다.

그림 41 및 42는 저주파 성분이 많은 PEPPERS 영상에 대한 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비 및 절단 공격을 한 후의 우도비를 나타낸 것이다. 역시 제안한 방법이 기존의 워터마크 검출 방법보다 더 정확하게 워터마크 존재 여부를 판정할 수 있었다.

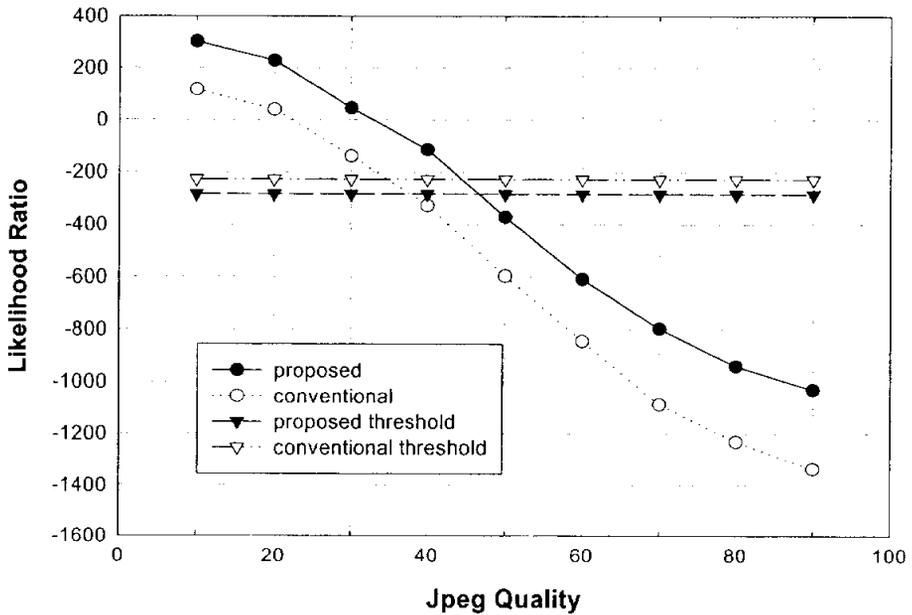


그림 40. JPEG LENA 영상에 대한 Q-factor 50%에서의 절단을 실험
 Fig. 40. Cropping attack about JPEG LENA image at Q-factor 50%.

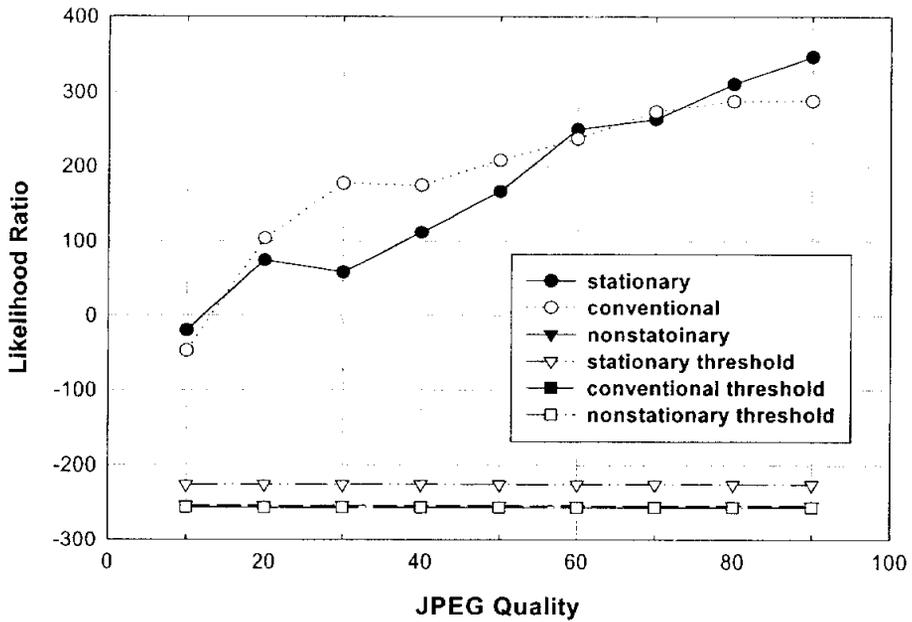


그림 41. PEPPERS 영상에 대한 JPEG 압축율 변화에 따른 우도비
 Fig. 41. Likelihood ratio about PEPPERS image according to JPEG quality.

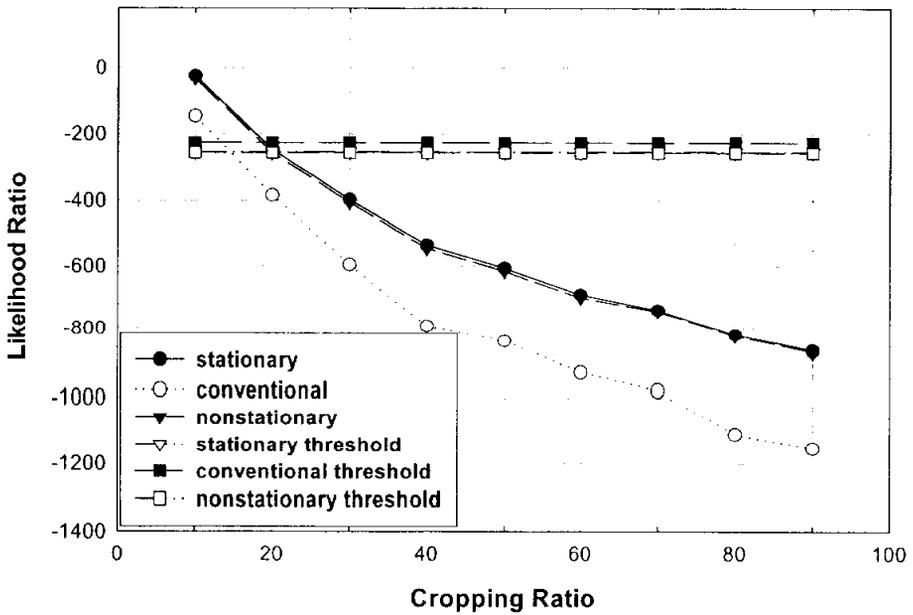


그림 42. PEPPERS 영상에 대한 절단 공격 후의 우도비
 Fig. 42. Likelihood ratio about PEPPERS image after cropping attack.

제 6 장 결 론

본 논문에서는 워터마크의 삽입 방법으로 통계적 다해상도 이론을 이용한 적응적 워터마크 알고리즘과 지각적 동조 특성을 이용하여 비가시성과 강인성이 우수한 새로운 워터마크 알고리즘을 제안하였다. 또한 통계적 판단 이론을 이용하여 보다 정확한 워터마크의 검출 방법을 제안하였다.

통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘은 웨이브릿 변환 영역에서 영상의 국부적 특성을 갖는 통계적 추정 모델인 비정상상태 가우시안 모델과 정상상태 일반화 가우시안 모델을 이용한 지각적 방법의 적응 워터마크 은닉 기술을 제안하였다. 워터마크는 4레벨로 분해된 웨이브릿 계수들 중에서 연속 부대역 양자화를 이용하여 시각적으로 중요한 계수에만 워터마크를 삽입하였다. 워터마크를 은닉하기 위한 지각모델은 연속 부대역 양자화와 통계적 특성을 이용하였으며, 삽입 모델은 국부영상 특성을 갖는 NVF 함수에 의하여 설계되었다. 정상상태 GG 모델의 워터마크 삽입은 다해상도 내의 각 부대역별 분산과 모멘트 정합 방법을 이용한 형상계수를 사용하였으며, 비정상상태 가우시안 모델은 각 부대역의 국부 평균 및 분산을 이용하였다. Stirmark 3.1 벤치마크 테스트에 근거로 하여 여러 가능한 공격에 대한 실험 결과로 제안한 통계적 다해상도 이론을 이용한 워터마크 삽입 모델은 비정상상태와 정상상태에서 기존의 방법보다 강인성과 비가시성에서의 우수함을 확인할 수 있었다.

또한 지각적 동조 특성을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘은 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환하여 JND 문턱값 보다 큰 계수를 지각적 중요 계수로 선택하여 워터마크를 삽입하였으며, 워터마크의 삽입 개수는 고정된 크기가 아닌 영상의

특성에 따라 적응적으로 삽입되도록 하는 새로운 은닉방법을 제안하였다. 워터마크의 삽입은 영상의 국부 특성을 갖는 정상상태 및 비정상상태 가우시안 모델에서의 NMF를 구한 영상의 통계적 다해상도 특성을 이용하였다. 이는 국부 영상 특성을 갖게 함으로써 에지 및 텍스처 영역과 평탄 영역에 따른 적응적 척도로 사용될 수 있으며, 에지나 텍스처 영역에 더 강하게 워터마크를 삽입하도록 하였다. 또한 제안한 방법이 Podilchuk 방법보다 압축률이 20%~60%에서 더 우수함을 확인할 수 있었으며, 워터마크 은닉의 비가시성을 나타내는 PSNR에서 제안한 방법이 압축률을 높일수록 더 우수한 비가시성의 특성을 확인할 수 있었다.

또한 워터마크의 검출 알고리즘은 통계적 판단 이론에 근거한 Bayes 판단 이론 및 Neyman-Pearson 정의를 기반으로 워터마크를 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 영상의 통계적 특성을 고려한 정상상태 및 비정상상태의 지각적 모델을 실험하였다. 기존의 유사도 기반 워터마크 검출 알고리즘이 아닌 제안한 워터마크 검출 알고리즘에서는 정확한 판단 규칙을 설정하기 위하여, Bayes 판단 이론에 따른 우도비를 이용하였다. 또한 이 우도비를 비교하여 워터마크의 존재를 결정하는데 사용되는 판단 문턱값의 설정에는, 판단 오류 확률을 최소화함으로써 워터마크의 존재를 정확하게 판단하기 위하여 Neyman-Pearson 정의를 이용하였다. 그 결과 본 논문에서 제안한 방법이, 기존의 유사도 기반의 워터마크 검출 알고리즘이나 고정된 워터마크의 개수를 갖는 통계적 검출 방법보다 더 우수한 워터마크 검출 방법임을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. Dautzenberg and F. M. Boland, "Watermarking images," *Technical report*, Dept. of Elec. Eng., Trinity Clooeege Dublin, 1994.
- [2] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 86-90, 1994.
- [3] J. Zhao and E. Koch, "Embedding robust labels into images for copyright protection," *Proc. Int. Congr. Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies*, Vienna, Austria, Aug. pp. 21-25, 1995.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," *Proc. of the SPIE Conf. on Storage and Retrieval for Image and Video Databases III*, vol. 2420, pp. 164-173, 1995.
- [5] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *NEC Research Institute Tech. Rep. 95-10*, 1995.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio, and video," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 243-246, 1996.
- [7] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [8] I. J. Cox and M. G. Linnartz, "Public watermarks and resistance to tampering," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 3-6, 1997.
- [9] I. J. Cox and K. Tanaka, "NEC data hiding proposal," *Technical report*,

NEC Copy Protection Technical Working Group, July 1997.

- [10] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Digital image watermarking using visual models," *Proc. of the SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 3016, pp. 100-111, 1997.
- [11] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1997.
- [12] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Perceptual watermarking of still images," in *Proc. IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing*, June 1997.
- [13] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet-based image watermarking scheme," *Proc. of Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing*, pp. 122-127, 2000.
- [14] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A stochastic approach to content adaptive digital image watermarking," *Third Information Hiding Workshop*, 1999.
- [15] H. Z. Hel-Or, Y. Yitzhaki, and Y. Hel-Or, "Geometric hashing techniques for watermarking," *International Conference on Image Processing*, 2001.
- [16] J. C. Yen, "Watermark embedded in the permuted image," *International Conference on Image Processing*, 2001.
- [17] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Robust data hiding for images," *Proc. of the IEEE Digital Signal Processing Workshop*, pp. 37-40, 1996.
- [18] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Transparent robust image watermarking," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 211-214, 1996.

- [19] M. D. Swanson, M. Kobayashi, and A. H. Tewfik, "Multimedia data embedding and watermarking technologies," *Proc. of the IEEE*, vol. 86, no. 6, pp. 1064-1087, Jun. 1998.
- [20] I. Pitas and T. Kaskalis, "Applying signatures on digital images," *Proc. of the IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, pp. 460-463, 1995.
- [21] I. Pitas, "A method for signature casting on digital images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 215-218, 1996.
- [22] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Copyright protection of images using robust digital signatures," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 4, pp. 2168-2171, 1996.
- [23] I. Pitas, "A method for watermark casting on digital images," *IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 775-780, Oct. 1998.
- [24] R. Wolfgang and E. Delp, "A watermark for digital images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 219-222, 1996.
- [25] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A watermark for digital images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 219-222, 1996.
- [26] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation," *Proc. of the SPIE Conf. on Electronic Storage and Retrieval for Image and Video Database*, vol. 3022, pp. 518-526, 1997.
- [27] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Attacks on copyright marking systems," *Information Hiding, Second International Workshop, IH'98*, Portland, pp. 219-239, April 1998.

- [28] S. Craver, N. Memon, B. Yeo, and Minerva M. Yeung, "Resolving rightful ownerships with invisible watermarking techniques: imitations, attacks, and implications," *IEEE, Jour. on Selected Areas in Comm.*, vol. 16, no. 4, pp. 573-586, May 1998.
- [29] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using the wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, 1992.
- [30] Ingermar J. Cox, Matthew L. Miller, and Jeffrey A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kauffmann, 2001.
- [31] F. T. Alturki and R. M. Mersereau, "Secure image transform domain technique for steganographic applications," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4314, pp. 300-308, Jan. 2001.
- [32] K. R. Kwon and A. H. Tewfik, "Adaptive Watermarking using successive subband quantization and perceptual model based on multiwavelet transform," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4675, pp. 334-348, 2002.
- [33] K. R. Kwon, S. G. Kwon, J. H. Nam, and A. H. Tewfik, "Content adaptive watermark embedding in the multiwavelet transform using a stochastic image model," in *IWDW2002*, pp. 293-304, Nov. 2002.
- [34] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden signatures in images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 223-226, 1996.
- [35] W. Zhu, Z. Xiong, and Y. Q. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 545-550, Jun. 1999.
- [36] Y. Hu and S. Kwong, "Wavelet domain adaptive visible watermarking," *Electronic Letters*, vol. 37, no. 20, pp. 1219-1220, Sept. 2001.

- [37] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "Phase watermarking of digital images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 239-242, 1996.
- [38] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Watermarking to translation, rotation, and scaling," in *Proc. SPIE, Multimedia Systems and Application*, Boston, vol. 3528, pp. 423-431, Nov. 1998.
- [39] J. J. K. Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale, and translation invariant spread spectrum digital watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, pp. 303-317, 1998.
- [40] D. Delannay and B. Marq, "A method for hiding synchronization marks in scale and rotation resilient watermarking schemes," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4675, pp. 548-554, 2002.
- [41] H. J. Shim and B. W. Jeon, "Rotation, scaling, and translation robust image watermarking using Gabor kernels," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4675, pp. 563-571, 2002.
- [42] I. W. Agung and P. Sweeney, "Method for combating random geometric attack on image watermarking," *Electronic Letters*, vol. 37, no. 7, pp. 420-421, Mar. 2001.
- [43] J. Picard and A. Robert, "On the public key watermarking issue," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4314, pp. 290-299, Jan. 2001.
- [44] M. S. Fu and O. C. Au, "A robust public key watermark for halftone images," *ICASSP 2002*, vol. 3, pp. 639-641, 2002.
- [45] S. H. Wang and Y. P. Lin, "Blind watermarking using wavelet tree quantization," *ICASSP 2002*, vol. 3, pp. 589-592, 2002.

- [46] F. Wolfgang, "Image watermarking in the Fourier domain based on global features of concentric ring areas," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4675, pp. 596-599, 2001.
- [47] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 10, no. 11, pp. 1741-1753, Nov. 2001.
- [48] A. G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 231-234, 1996.
- [49] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 520-527, 1997.
- [50] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 357-372, May 1998.
- [51] A. Piva M. Barni F. Bartolini, and V. Cappellini, "Threshold selection for correlation-based watermark detection," *Proc. of the COST254 Workshop*, 1998.
- [52] J. R. Hernandez, M. Amado, and Perez-Gonzalez, "DCT-domain watermarking techniques for still images: Detector performance analysis and a new structure," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 1, pp. 55-68, Jan. 2000.
- [53] Y. J. Zhang, T. Chen, and J. Li, "Embedding watermarks into both DC and AC components of DCT," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4314, pp. 424-435, 2001.

- [54] A. Nikolaidis and I. Pitas, "Optimal detector structure for DCT and subband domain watermarking," *ICIP2002*, vol. 3, pp. 465-468, 2002.
- [55] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking scheme using wavelet-based fusion," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 544-547, 1997.
- [56] X. G. Xia, C. G. Boncelet, and G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 548-551, 1997.
- [57] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 419-423, 1998.
- [58] W. Zhu, Z. Xiong, and Y. -Q. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video: A uniform approach," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 465-468, 1998.
- [59] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 5, pp. 2969-2972, 1998.
- [60] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi, and A. Piva, "A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 3657, pp. 31-39, 1999.
- [61] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for wavelet quantization error," in *Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 2657, pp. 381-392, 1996.
- [62] M. F. Mansour and A. H. Tewfik, "Techniques for data embedding in images using wavelet extrema," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4314, pp.

329-335, 2001.

- [63] P. C. Chang, T. T. Lu, and L. L. Lee, "Blockwise image watermarking system with selective data embedding in wavelet transform domain," *Proceeding of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content*, vol. 4675, pp. 368-377, 2002.
- [64] Q. Yuan, H. Yao, and W. Gao, "Blind watermarking method based on DWT middle frequency pair," *ICASSP2002*, pp. 473-476, 2002.
- [65] H. Guo and N. D. Georganas, "Multi-resolution image watermarking scheme in the spectrum domain," *Proceeding of 2002 Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering*, pp. 873-878, 2002.
- [66] H. A. Peterson, A. J. Ahumada, and A. B. Watson, "Improved detection model for DCT coefficient quantization," in *Proc. SPIE Conf. Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, vol. 1913, pp. 191-201. Feb. 1993.
- [67] I. H. J. Karam and R. J. Safranek, "A perceptually tuned embedded zero tree image coder," *International Conference on Image Processing*, 1997.
- [68] F. Goffin, J. F. Delaigle, C. D. Vleeschouwer, B. Macq, and J. J. Quisquater, "Low-cost perceptive digital picture watermarking method," *Proc. of the SPIE Conf. on Electronic Storage and Retrieval for Image and Video Database*, vol. 3022, pp. 264-277, 1997.
- [69] I. J. Cox and M. L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling," *Proc. of the SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 3016, pp. 92-99, 1997.
- [70] S. L. Khamy, M. A. Lotfy, and R. A. Sadek, "A new technique for perceptual wavelet based image watermarking," *9th National Radio Science Conference*, pp. 336-343, Mar. 2002.

- [71] B. T. Hannigan, A. Reed, and B. Bradley, "Digital watermarking using improved human visual system model," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4314, pp. 468-482, 2001.
- [72] A. D. Rosa, M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Watermark capacity measure incorporating a model of the human visual system," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4314, pp. 483-494, 2001.
- [73] N. Jayant, J. Johnston, and R. Safranek, "Signal compression based on models of human perception," *Proc. of the IEEE*, vol. 81, no. 10, pp. 1385-1422. 2001.
- [74] J. F. Delaigle, C. De Vleeschouwer, and B. Macq, "Watermaking algorithm based on a human visual model," *Signal Processing*, vol. 66, pp. 319-335, 1998.
- [75] L. Scharf, *Statistical Signal Processing: Detection, Estimation, and Time Series Analysis*, Addison-Wesley, 1991.
- [76] H. C. Kim, K. R. Kwon, S. G. Kwon, and J. J. Kim, "Content adaptive watermarking using a stochastic image modeling based on wavelet transform domain," *EALPIIT2002*, pp. 511-515, Jan. 2002.
- [77] H. C. Kim, K. R. Kwon, and J. J. Kim, "Adaptive image watermark embedding using a stationary GG modeling in multiresolution," *ITC-CSCC-2003*, pp. 172-175, July 2003.
- [78] 김현천, 권기룡, 김종진, "웨이브릿 변환 영역에서 스토캐스틱 영상 모델을 이용한 적응 디지털 워터마킹," *한국멀티미디어학회논문지*, 제6권 제3호, pp. 508-517, 2003년 6월.
- [79] 김현천, 장봉주, 서용수, 김종진, "웨이브릿 변환영역에서 지각적 동조특성을 갖는 적응적 디지털 워터마킹," *멀티미디어학회논문지*, 제6권 제5호,

pp. 1008-1014, 2003년 10월.

- [80] 강근호, 권기룡, 권성근, 김현천, 문광석, “웨이브릿 변환 영역에서 NVF 함수를 이용한 적응 워터마크 은닉 기술,” *한국정보보호학회 영남지부 학술발표대회*, 제1권 1호, pp. 49-52, 2002년 2월.
- [81] 김현천, 권기룡, 김종진, “다해상도를 갖는 정상상태 GG 모델을 이용한 적응 워터마크 은닉 기술,” *한국멀티미디어학회 춘계학술대회*, 제5권 제1호, pp. 886-889, 2002년 5월.
- [82] 김현천, 강근호, 권기룡, 김종진, “웨이브릿 변환 영역에서 스토케스틱 영상 모델을 이용한 내용기반 적응 워터마킹,” *한국멀티미디어학회 추계학술대회*, 제 5권 2호, pp. 283-286, 2002년 11월.
- [83] 황의창, 김희정, 김현천, 김종진, 권기룡, “영상특성에 기반한 통계적 판정법을 이용한 적응 워터마크 검출 알고리즘,” *한국멀티미디어학회 추계학술대회*, 제 6권 2호, pp. 104-107, 2003년 11월.
- [84] L. Boney, A. H. Tewfik, and K. N. Hamdy, “Digital watermarks for audio signals,” *IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems*, pp. 473-480, 1996.
- [85] M. D. Swanson, B. Zhu, A. H. Tewfik, and L. Boney, “Robust audio watermarking using perceptual masking,” *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, May 1998.
- [86] L. Boney, A. H. Tewfik, and K. N. Hamdy, “Digital watermarks for audio signals,” *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Hiroshima, Japan; pp. 473-480, June 1996.
- [87] M. Steinebach, A. Lang, and J. Dittmann, “StirMark Benchmark: audio watermarking attacks based on lossy compression,” *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4675, pp. 79-90, 2002.

- [88] M. Arnold and K. Schilz, "Quality of evaluation of watermarked audio tracks," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4675, pp. 91-101, 2002.
- [89] N. J. Hurley and G. C. M. Silverste, "Nth-order audio watermarking," *Proc. of the SPIE/IS&T Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, vol. 4675, pp. 102-109, 2002.
- [90] K. Matsui and K. Tanaka, "Video-steganography: How to embed a signature in a picture," *Proc. of the IMA Intellectual Property*, vol. 1, no. 1, pp. 187-206, Jan. 1994.
- [91] F. Hartung and B. Girod, "Digital watermarking of raw and compressed video," *Proc. of the SPIE Series*, vol. 2952, pp. 205-213, Oct. 1996.
- [92] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of MPEG-2 encoded video without decoding and reencoding," *Proc. of the SPIE Conf. on Multimedia Computing and Networking*, vol. 3020, pp. 264-274, 1997.
- [93] F. Hartung and B. Girod, "Multiresolution video watermarking using perceptual models and scene segmentation," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 558-561, 1997.
- [94] M. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Data hiding for video in video," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 676-679, 1997.
- [95] M. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Object-based transparent video watermarking," *Proc. of IEEE Multimedia Signal Processing Workshop*, pp. 369-374, 1997.
- [96] F. Hartung and B. Girod, "Copyright protection in video delivery networks by watermarking of pre-compressed video," *Proc. European Conference on Multimedia Applications, Systems and Technologies*

(*ECMAST97*), Milano, Italy, May 1997.

- [97] F. Hartung and B. Girod, "Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain," *Proc. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Munich, Germany, April 1997.
- [98] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 283-301, May 1998.