

2차원 DWT 부대역의 주파수 특성과 디지털 워터마킹 특성

*강이슬 **이용석 **서영호 **김동욱

광운대학교

*kls93@kw.ac.kr

Frequency characteristics of 2D-DWT subbands and Digital Watermarking Characteristics

*Kang, I-Seul **Lee, Yong-Seok **Seo, Young-Ho **Kim, Dong-Wook

Kwangwoon University

요약

인터넷 사용의 발달로 디지털 미디어 영상에 대한 불법 복제, 불법 배포 등의 문제가 완연해짐에 따라 영상의 제작자의 소유권과 저작권을 보호할 수 있는 워터마크 기법이 많이 연구되고 있다. 워터마크 시스템은 워터마크 삽입 후, 삽입정보를 알 수 없어야 하는 비가시성 특성과 여러 공격에도 훼손되지 않고 추출될 수 있는 강인함을 가지고 있어야 한다.

이에 본 논문은 이산 웨이블릿 변환(DWT)으로 생성되는 부대역의 점유 주파수대역 특성과 공격이 이 부대역들에 미치는 영향을 분석하고, 이를 사용하여 디지털 워터마킹을 수행하였을 때 추출률을 최고로 하기 위해서는 변환된 부대역이 특정 범위의 해상도를 가져야 한다는 것을 보인다. 본 연구는 실험적 방법으로 모든 부분연구는 실험에 의해서 결정된다.

1. 서론

인터넷 사용의 발달로 디지털 미디어 영상에 대한 접근이 용이해짐에 따라 영상의 불법 복제에 대한 문제가 커지고 있다. 이러한 문제 때문에 최근에는 영상물 저자의 저작권을 보호하기 위한 방법으로 워터마킹 방법이 많이 연구되고 또 사용되고 있다[1].

워터마킹 방법 중 영상에 가해지는 여러 악의적 또는 비악의적 공격에도 워터마크가 살아남아야 하는 강인성(Robustness), 워터마크 삽입 후에도 그 정보가 보이지 않아야 한다는 비가시성(Imperceptibility), 그리고 워터마크가 악의적으로 추출된다하더라도 그 정보를 판별할 수 없도록 하는 보안성(security) 특성을 갖는 방법이 가장 많이 연구되고 있다[1].

강인성과 비가시성을 위하여 공간 영역이 아닌 다양한 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 기법이 개발되어 왔다[2]. 그 중, 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)은 각 부대역을 주파수 영역으로 재편하나, 원 영상의 전역적 정보를 각 부대역이 그대로 갖고 있어서 최근 2차원 DWT(2D-DWT)를 사용한 영상 워터마킹 방법이 많이 연구되고 있다[3-7]. 2-레벨 2D-DWT 후 레벨 1과 레벨 2의 HH 부대역에 워터마킹을 수행하는 방법[3], 레벨 1의LL 부대역을 4x4 블록으로 나누고 이를 SVD(signal value decomposition)하여 가장 큰 대각선 매트릭스 값에 워터마킹하는 방법[4], [4]와 같은 방법의 2D-DWT를 사용하나, 특징점으로 워터마킹 위치를 찾는 방법[5], 3-레벨 2D-DWT 후 LH부대역을 사용하는 방법[6] 등이 제안되었다.

본 논문에서는 2D-DWT의 특성, 특히 변환레벨의 주파수 특성과

각 부대역이 갖는 공격에 대한 특성을 먼저 분석한다. 그 결과를 사용하여 모든 공격에 강인한 디지털 워터마킹 방법에 사용할 2D-DWT 부대역은 특정 범위내의 해상도를 가져야 한다는 것을 보인다.

2. 2차원 DWT의 주파수 특성

그림 1은 Mallat-tree 2D-DWT의 한 레벨 필터뱅크(a), 3-레벨 Mallat-tree 2D-DWT 결과 부대역의 구조, (c) 3-레벨 Mallat-tree 2D-DWT 결과 부대역이 점유하는 주파수 대역을 각각 나타내고 있다. Mallat-tree 2D-DWT는 각 레벨에서 가로방향과 세로방향으로 각각 필터링하고 1/2 다운샘플링하여, 원 영상의 1/4 크기의 네 개의 부대역으로 재편성한다. 레벨 2부터는 그 전 변환 결과 중 LL 부대역만을 대상으로 변환을 진행한다. 따라서 3-레벨 2D-DWT를 수행한 결과의 부대역 구조는 (b)와 같다. n -레벨 2D-DWT를 수행한 후 부대역의 개수는 $3n + 1$ 이며, 그 결과의 영상데이터의 양은 원 영상과 동일하다.

각 레벨의 2D-DWT 결과 발생하는 네 부대역은 가로 및 세로방향의 저주파 성분(LL), 가로방향의 저주파와 세로방향의 고주파 성분(LH), 가로방향의 고주파와 세로방향의 저주파 성분(HL), 그리고 가로방향과 세로방향 모두의 고주파 성분(HH)을 각각 갖고 있다. 이 부대역들이 실제로 점유하는 주파수 대역을 그림 1(c)에 나타내고 있다.

먼저 레벨 1 변환 결과 LL 부대역은 0에서 $f_n/2$ 의 주파수 대역을 점유하고, LH, HL, HH가 $f_n/2$ 에서 f_n 의 주파수대역을 점유한다. 여기서 f_n 은 영상이 가질 수 있는 최대 주파수, 즉 모든 화소들이 흰색과

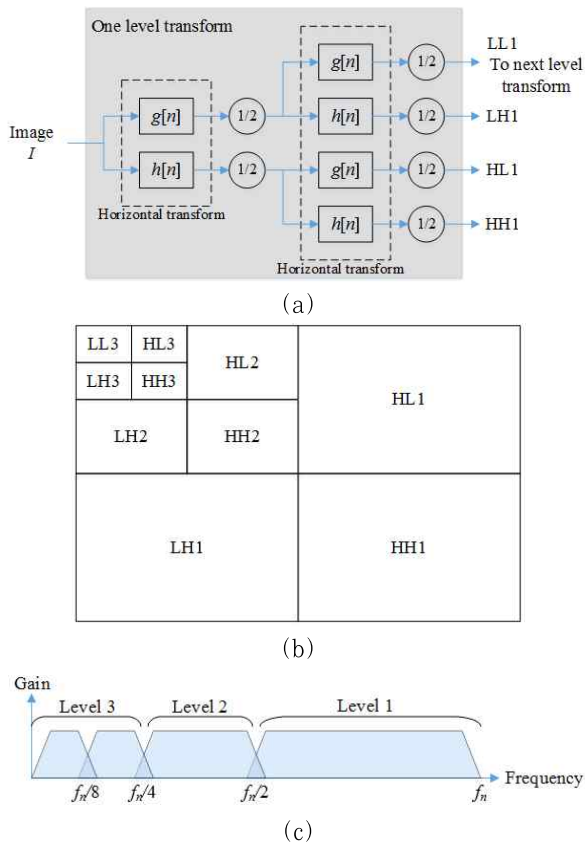


그림 1. 2D-DWT의 주파수 특성: (a) 1-레벨 2D-DWT 필터뱅크, (b) 3-레벨 Mallat-tree 2D-DWT 결과 부대역 구조, (c) 3-레벨 2D-DWT 부대역의 주파수 대역

검은색으로 교번하는 영상일 때의 주파수를 나타낸다. 레벨 2 변환은 레벨 1 변환 결과 부대역 중 LL 부대역만을 대상으로 하므로, 레벨 1의 LL1 부대역이 가진 주파수 대역 $(0, f_n/2)$ 주파수대역을 양분하여 LL2 부대역은 $(0, f_n/4)$, LH2, HL2, HH2는 $(f_n/4, f_n/2)$ 의 주파수대역을 점유한다. k -레벨 2D-DWT를 수행한 후 최고-레벨의 네 부대역은 LL k 이 $(0, f_n/2^k)$, LH k , HL k , HH k 는 $(f_n/2^k, f_n/2^{k-1})$ 주파수대역을 각각 점유하게 된다.

이제 특정 위치에서 두 개의 카메라로 같이 장면의 사진을 찍는다고 가정해보자. 두 카메라의 해상도는 $M \times N$ 과 $2M \times 2N$ 이며, 두 카메라의 초점거리와 시야각이 모두 동일하다고 가정하는데, 이것은 일반적인 경우에서 크게 벗어나지 않은 상황이다. 이 경우 두 번째 카메라의 해상도가 첫 번째 카메라의 가로세로 두 배씩이므로 첫 번째 카메라로 찍은 영상의 최대 주파수를 f_n 이라 하면 두 번째 카메라로 찍은 영상의 최대 주파수는 $2f_n$ 이 된다. 따라서 두 번째 카메라에 의한 영상을 $(k+1)$ -레벨 2D-DWT한 결과의 네 최고-레벨 부대역이 점유하는 주파수 대역은, LL이 $(0, 2f_n/2^{k+1}) = (0, f_n/2^k)$, LH, HL, HH가 점유하는 부대역은 $(2f_n/2^{k+1}, 2f_n/2^k) = (f_n/2^k, f_n/2^{k-1})$ 이므로 첫 번째 카메라에 의한 영상을 k -레벨 2D-DWT한 최고-레벨 부대역들과 동일한 주파수대역을 점유하게 된다. 그림 2에 1,024x1,024 영상을 4-레벨 2D-DWT하고, 원 영상을 가로와 세로로 1/2씩 다운샘플링한 영상을 3-레벨 2D-DWT한 결과 en 최고-레벨의 네 부대역을 비교한 것이다. 그림 2 (e)와 (f)에서 보는 바와 같이 네 부대역이 거의 동일함을 알 수 있다.

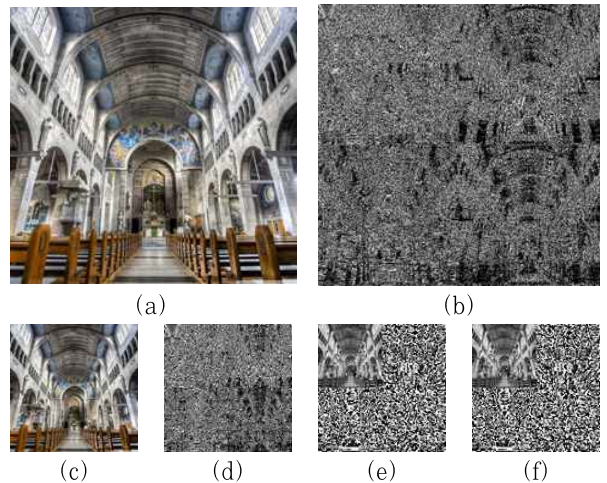


그림 2. 두 해상도의 2D-DWT 예: (a) 1,024x1,024 영상, (b) (a)를 4-레벨 2D-DWT한 결과, (c) (a)를 512x512로 다운샘플링한 결과, (d) (c)를 3-레벨 2D-DWT한 결과, (e) (b)의 레벨-4 네 부대역, (f) (d)의 레벨-3 네 부대역.

3. 2D-DWT 부대역의 공격 영향 및 워터마킹 특성

본 장에서는 악의적/비악의적 공격이 2D-DWT 결과의 부대역에 미치는 영향을 4개의 실험으로 알아본다. 이 실험에 사용되는 영상의 해상도는 5가지이며, 각 해상도에 4개의 영상을 사용한다. 이 실험들에서는 실제로 각 부대역에 디지털 워터마킹을 수행하고, 그 결과 영상에 대표적인 다양한 공격을 가하여 비가시성과 강인성을 확인하면서 진행한다. 실험에 사용하는 영상 해상도와 2D-DWT 레벨, 공격의 종류, 비가시성은 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험의 개요

해상도	워터마크 삽입 레벨	공격	비가시성 [dB]
512x512	2,3,4	JPEG quality: 40, 60, 80	45
640x480	2,3,4	Median filtering: 3x3, 5x5, 7x7	
1,024x1,024	2,3,4,5	Gaussian noise addition: 1%, 2%, 3%	
1,920x1,080	2,3,4,5	Sharpening: 2, 3, 4 pxls	
2,048x2,048	2,3,4,5,6	Rotation: 15°, 30°, 45°	

워터마크를 삽입하는 방법은 2D-DWT 최고-레벨 네 부대역의 각 계수에 한 개의 워터마크 비트를 삽입하며, 2D-DWT는 2 레벨부터 각 부대역의 크기가 $(32 \times 32 = 1,024) \leq R < (128 \times 128 = 16,384)$ 까지 각각 수행한다. 워터마크를 삽입하는 방법은 그림 3에 나타낸 것과 같은 QIM(quantization index modulation) 방법이다. 그림 3에서 α_{S_n} 은 양자화 스텝을 나타내고, 여기서 S는 부대역, n은 2D-DWT 레벨을 각각 나타낸다. 워터마크 데이터로는 32x32 이진 데이터를 사용한다.

3-1. 실험 1 : 다중 워터마크 삽입

첫 번째 실험은 네 부대역에 동일한 양자화 스텝을 적용하여 다중

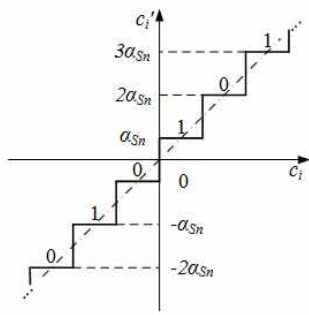


그림 3. 양자화기

위터마크 데이터를 삽입한 후 복원한 영상이 약 45[dB]가 되도록 하였다. 그 후 각 공격을 가하고 삽입한 위터마크 데이터를 모두 추출하여 전체 추출한 데이터의 원 위터마크 데이터에 대한 NCC값을 구하였다. 1,024x1,024 영상에 대한 결과를 그림 4에 공격별로 보였다.

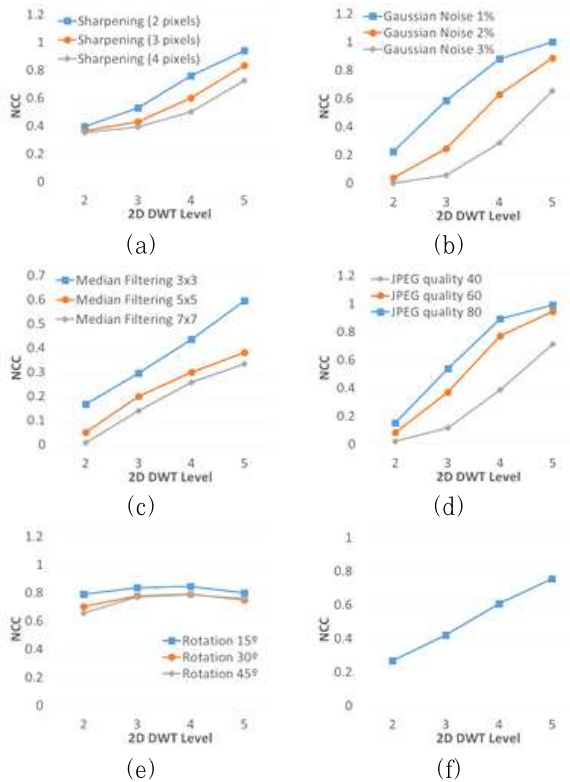


그림 4. 1,024x1,024영상에서의 공격들에 대한 실험1 결과(위터마크 추출율): (a) Sharpening, (b) 가우시안 노이즈 추가, (c) median 필터링, (d) JPEG 압축, (e) rotation, (f) 모든 공격에 대한 평균

그림에서 보는 바와 같이 rotation 공격을 제외한 모든 공격과 평균 추출률에서 2D-DWT 레벨이 증가할수록 추출률이 높아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 공격이 강해짐에 따라 추출률이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

3-2. 실험 2 : 추출된 위터마크의 비트별 결정

이 실험에서는 각 부대역에 동일한 양자화 스텝을 사용하나 다중 위터마크 데이터를 추출한 후 각 위터마크 비트를 추출한 여러 데이터 중 빈도수가 높은 것으로 결정한다. 1,024x1,024 영상에 대한 실험결과

를 그림 5에 나타내었다. 그림 4에 비해 전반적인 추출률이 매우 향상된 것을 볼 수 있다. 또한 공격의 종류와 강도에 따라 최고의 추출률을 보이는 레벨이 다르다는 것을 알 수 있다.

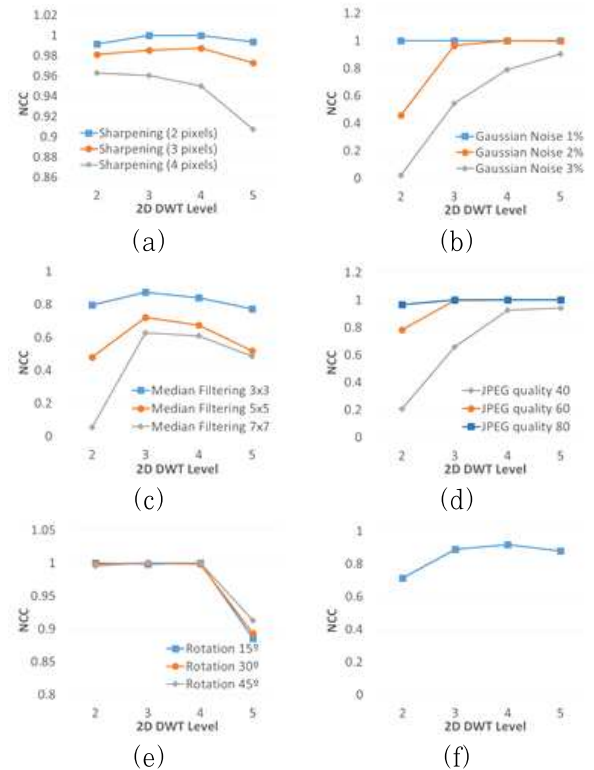


그림 5. 1,024x1,024영상에서의 공격들에 대한 실험1 결과(위터마크 추출율): (a) Sharpening, (b) 가우시안 노이즈 추가, (c) median 필터링, (d) JPEG 압축, (e) rotation, (f) 모든 공격에 대한 평균

3-3. 실험 3 : 공격이 부대역에 미치는 영향

이번 실험은 앞의 두 실험과는 다르게 각 공격이 각 부대역에 미치는 영향을 알아보려고 한다. 그 방법은 그림 5과 같이 공격을 가한 영상과 원영상의 차영상에 대한 에너지를 RMS(root-mean-square)로 계산하는 것이다. 단, LL 부대역의 경우 에너지 특성이 다른 부대역과 다르고 값이 너무 커서 LL 부대역은 에너지의 표준편차를 계산하였다.

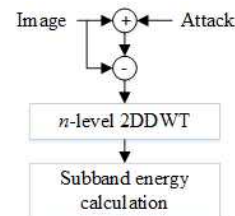


그림 5. 공격이 부대역에 미치는 실험 방법

1,024x1,024 영상에 대한 결과를 표 2에 실험 1의 추출률과 같이 나타내었다. 표에서 보듯이, 에너지의 크기에 따라 추출률에 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있으며, 이 추출률의 균형을 이루면 전체 추출률의 향상을 가져올 수 있다.

표 2. 실험 3의 결과 및 실험 1의 추출률

Attack	Effect of attack by RMS				WM extraction rate by NCC				
	LL	HL	LH	HH	LL	HL	LH	HH	
No attack (original image)	149.35 (71.62)	16.21	15.60	20.13	-	-	-	-	
Sharpening	1px	0.318	0.759	0.766	1.456	0.961	0.810	0.804	0.479
	2px	0.539	1.278	1.288	2.300	0.865	0.618	0.569	0.368
	3px	0.765	1.760	1.771	2.903	0.728	0.492	0.459	0.337
Gaussian noise addition	1%	0.256	0.456	0.470	0.913	0.994	0.971	0.983	0.581
	2%	0.508	0.859	0.885	1.674	0.855	0.767	0.735	0.177
	3%	0.843	1.292	1.264	2.556	0.524	0.338	0.288	0.009
Median filtering	3x3	1.045	1.841	1.751	3.336	0.541	0.469	0.447	0.283
	5x5	2.198	3.872	3.936	7.172	0.390	0.330	0.309	0.167
	7x7	3.185	5.739	5.804	10.527	0.343	0.277	0.269	0.139
JPEG comp. quality	80/100	0.686	1.180	1.216	2.373	0.712	0.413	0.376	0.056
	60/100	0.354	0.614	0.616	1.248	0.963	0.881	0.892	0.361
	40/100	0.237	0.409	0.439	0.901	0.996	0.989	0.980	0.605
Rotation	15°	54.176	12.292	12.839	6.721	0.834	0.855	0.840	0.857
	30°	67.896	11.921	12.995	15.248	0.776	0.796	0.780	0.802
	45°	72.336	10.162	11.317	26.927	0.787	0.797	0.775	0.788

3-4. 실험 4 : 공격이 부대역에 미치는 영향을 고려한 워터마킹

실험 3의 결과를 바탕으로 실험 2에 부대역의 에너지를 고려한 워터마킹을 수행하였다. 여기서는 공격 자체의 영향을 워터마크 삽입 시 알 수가 없기 때문에 원영상을 2D-DWT한 결과 부대역의 에너지를 고려하여 각 부대역의 양자화 스텝을 $\alpha_{S_i} = \gamma_{S_i} e_{S_i}$ 으로 결정한다. 여기서 γ_{S_i} 은 각 부대역 양자화 스텝의 가중치, e_{S_i} 은 각 부대역의 에너지를 각각 나타낸다. 이 실험의 결과를 실험 1, 2, 3과 같이 1,024x1,024 영상에 대해 수행한 예를 그림 6에 나타내었다. 그림 4의 실험 2의 결과에 비해 워터마크 추출률이 상승하였으며, 공격의 종류별 강도별 추출률 추이도 약간 다른 것을 볼 수 있다.

실험 4의 방법으로 모든 해상도의 영상을 실험한 결과를 그림 7에 나타내었다. 이 그림에서 한 가지 더 특이한 사항을 볼 수 있는데, 해상도별로 최고의 추출률을 보이는 2D-DWT 레벨은, 512x512와 640x480은 3-레벨, 1,024x1,024와 1,920x1,080은 4-레벨, 2,048x2,048 영상은 5-레벨이다. 이것은 2장에서 언급한 2D-DWT 부대역이 점유하는 주파수대역과도 부합한다. 결과적으로 2D-DWT로 워터마킹을 수행할 때 추출률이 가장 좋은 부대역은 그 부대역의 해상도가 $(64 \times 64 = 4,096) \leq R < (128 \times 128 = 16,384)$ 일때이다.

4. 결론

본 논문에서는 영상의 2차원 DWT 부대역이 차지하는 주파수대역 특성과 공격이 각 부대역에 미치는 정도를 실험적으로 확인하였다. 이 결과를 이용한 워터마킹에서 영상의 해상도에 무관하게 워터마크 추출률이 최고가 되기 위해서는 부대역이 일정한 범위의 해상도를 가져야 한다는 것을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

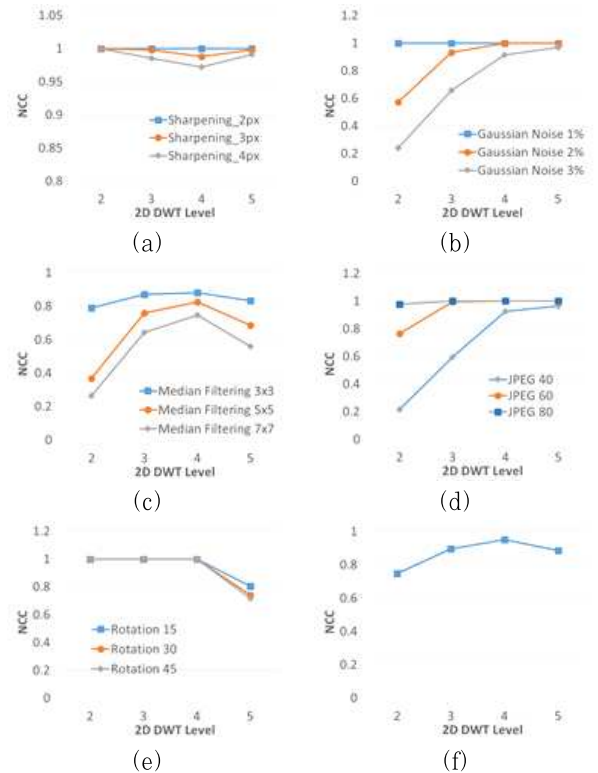


그림 6. 1,024x1,024영상에서의 공격들에 대한 실험1 결과(워터마크 추출률): (a) Sharpening, (b) 가우시안 노이즈 추가, (c) median 필터링, (d) JPEG 압축, (e) rotation, (f) 모든 공격에 대한 평균

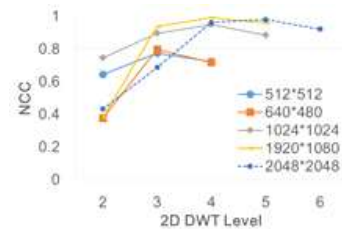


그림 7. 모든 해상도에서 모든 공격에 대한 워터마크 평균 추출률

참고문헌

- [1] I. J. Cox, et al., Digital watermarking and steganography, Morgan Kaufmann Publisher, 2008.
- [2] M. jiansheng et al., "A Digital Watermarking Algorithm Based On DCT and DWT," Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications. 2009.
- [3] R. Mehta, V. P. Vishwakarma and N. Rajpal, "Lagrangian support vector regression based image watermarking in wavelet domain," Signal Processing and Integrated Networks, pp.854-859, Feb. 2015.
- [4] H-T. Hu, Y-J. Chang, and S-H. Chen, "A progressive QIM to cope with SVD-based blind image watermarking in DWT domain," IEEE China SIP, pp. 421-425, Jul. 2014.
- [5] Y. Xueyi, et al. "A SIFT-based DWT-SVD blind watermark method against geometrical attacks," IEEE, Intl. Cong. CISP, pp. 323-329, Oct. 2014.
- [6] V. S. Verma, R. K. Jha, and A. Ojha, "Significant region based robust watermarking scheme in lifting wavelet transform domain," Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 21, pp. 8184-8197, Nov. 2015.