

영상의 압축영역 계수 변경에 따른 질저하 예측의 연구

*최용수 **김형중

고려대학교 정보경영전문대학원

*ciechoi, **khj-@naver.com

Research for Predicting Image Degradation followed by Modification of The Compressed Image's Coefficient

*Choi Yong-Soo **Kim Hyoung-Joong

Graduate School of Information Management & Security, Korea University

요약

최근에는 인터넷 환경에서 여러 형태의 압축된 파일이 이용되고 있으며 통신량의 감소, 통신시간의 절약 등 많은 장점을 가지고 있다. 그래서 많은 압축 기법 그리고 압축 기법에서 동작하는 영상처리기법들이 개발되어 지고 있다. 정보 은닉에서도 JPEG과 같은 압축파일에서 동작하는 알고리즘이 개발되어 지고 있다. 이와 같은 알고리즘들은 주파수변환이나 양자화의 기본적인 룰을 이해하고 있으며 그들의 프로그램에 그러한 룰들을 적용하여 개발에 이용하고 있다. 하지만 정보은닉 알고리즘에 있어, 많은 경우에 데이터 변경 후에 정보은닉의 영향을 평가하였다. 우리는 이 논문에서 정보은닉 처리과정에서 생겨나는 데이터 변경의 영향을 예측하기 위한 방법을 제안하였다. JPEG과 같은 압축 환경에서 정보 은닉 시 적용 가능한 몇 가지 중요한 사실을 여러 경우의 실험을 통하여 얻어냈다. 이러한 사실들은 현재 존재하는(Matrix Encoding, Modified Matrix Encoding 등을 포함한 F3, F4 and F5 알고리즘 등 [1],[5],[6]) 정보은닉 프로그램의 성능향상, 알고리즘 처리시간의 감소와 같은 긍정적인 효과를 거둘 수 있다.

I. 서론

최근 정보은닉(Data Hiding) 분야에서 많은 알고리즘이 개발되어 지고 있다. 대표적인 기술들로는 디지털 워터마킹(Digital Watermarking), 스테가노그래피(Steganography)등이 있다. 스테가노그래피는 메시지의 존재에 대해서 논의하지만 암호화(Encryption)은 메시지의 내용물의 가독성(Readability) 여부에 대해 논의하는 차이를 가지고 있다. 암호화는 암호화 후에 제 3자에 의한 메시지의 해독을 어렵게 하는 것을 기본으로 정확한 키를 가진 수신자만이 메시지를 복원하는 것이 가능하고 반면에 스테가노그래피는 모든 사람이 비밀(Secret) 메시지를 포함한 내용물(Content)에 접근하는 것이 가능하지만 대부분의 구독자(Subscriber)는 비밀 메시지의 존재를 인식하지 못하고 일반적인 내용물로 간주할 것이다. 이러한 기본 개념에 따라 각각의 기술들이 목적에 맞게 사용되어 지고 있다.

이 논문에서는 특히 영상에 의한 정보 은닉(Information Hiding)분야에 대해 다룰 것이며 매개체가 되는 콘텐츠로 압축 영역의 계수들을 사용하게 될 것이다. 압축파일은 파일의 크기가 작고 원격 전송에 적합하다는 장점들이 있어 인터넷환경에서 주로 사용되어 진다. 그리고 스테가노그래피 기술 중에서도 압축된 영역에 대해 동작하는 것들이 존재한다[5]. 기존의 많은 논문 및 기술들은 압축 영역의 데이터를 변경(Modification)하는 스테가노그래피 기술[3]-[5]을 제안하였으며 이 논문에서는 JPEG(Joint Picture Experts Group) 압축 과정에서 데이터 변경에 따른 영상 화질에의 영향에 대해 기술하였다.

많은 알고리즘에서 데이터 변경에 의한 영상의 질 저하 등의 영향을 모든 처리(Encoding Process)가 끝난 후에 측정하지만 이것은 적

용된 알고리즘의 효율성을 체크하는 부가적인 처리시간을 소모하게 한다. 이 논문에서 제안되는 결과는 스테가노그래피 그리고 워터마킹 알고리즘 등에서 효과적으로 사용될 수 있다. 더욱이 제안된 아이디어를 채용하면 상당한 처리시간 절감의 효과를 볼 수 있다. 일반적인 JPEG 압축 과정과 제안한 아이디어에 대해 2장에서 다루었고, 3장에서는 몇가지 실험을 통하여 아이디어에 대한 검증을 제시하였다. 마지막으로 결론과 결과에 대한 토론을 4장에서 기술하였다.

II. JPEG 압축과 화질보존을 위한 요구사항

1. JPEG 압축과 양자화

워터마킹이나 스테가노그래피에서 다수의 기술들은 주파수 영역의 계수(Coefficient in Frequency Domain)를 변경 함으로써 사용자의 메시지(User Data)를 삽입(Embedding)한다. JPEG 압축 과정의 주파수 계수들을 변경하는 것도 그 중의 한 방법이다. 다음 그림 1.에서는 JPEG압축의 기본 처리과정에 대해 간략히 설명한다.

아래는 JPEG 압축의 주요 과정이다.

- DCT (Discrete Cosine Transform) : 주파수 영역으로의 변환 방법이다.
- Quantization : 양자화(간략화) 과정이며 JPEG압축률을 결정하는 과정이다.
- Zigzag scan : 2차원의 계수를 1차원으로 재구성한다.
- DPCM on DC Component : 공간 영역의 값의 평균을 나타내는

DC계수들을 저장하는 방법이다.

- RLE on AC Component : DC계수를 제외한 나머지 계수를 압축하는 과정이다.
- Entropy coding : 마지막 저장 과정이며 Huffman 또는 Arithmetic Coding과 같은 방법을 이용하여 압축효율을 높인다.

복원과정은 위 과정의 역순으로 이루어진다. 이러한 JPEG압축은 기본적으로 손실(Lossy) 압축에 사용되어 지며 JPEG 2000과 같은 표준에서는 무손실 압축도 지원한다.

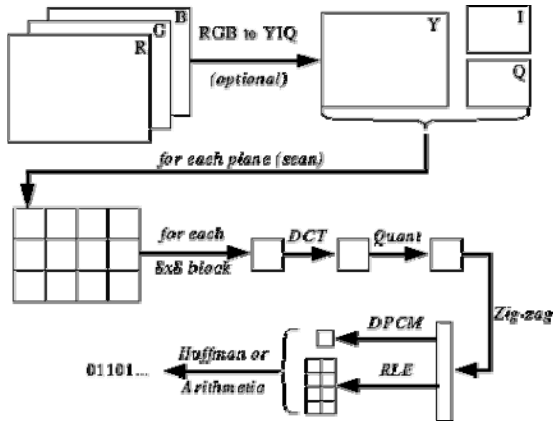


그림 1. JPEG 압축 과정.

양자화(Quantization) 테이블을 JPEG과 같은 압축과 같은 주파수 영역의 영상처리에 적용할 때 주의해야 할 몇 가지 사항은 다음과 같다.

- 사람의 시각은 저주파 영역(upper left corner)에 가장 민감하고 고주파 영역(lower right corner)에 덜 민감하다.
- JPEG 표준에서는 2개의 기본 양자화 테이블을 정의한다. 하나는 휘도(Luminance)값 그리고 다른 하나는 색차(Chrominance) 값을 위한 것이다.
- 대부분의 알고리즘 구현에서 압축률(Quality Factor)은 기본 양자화 테이블의 비례값을 구함으로써 얻는다.

그러므로 우리가 JPEG 압축 영상에 변경을 가하고자 할 때, 대부분의 경우 영상의 질 저하에 덜 영향을 미치는 고 주파영역을 변경한다. 이 논문에 앞선 몇가지 알고리즘에서도 고주파 영역에서 주로 변경작업을 수행하였다. 이 논문에서 양자화 테이블의 잠재적 영향력을 고려해본 결과 이러한 주파수 계수의 변경 작업에 있어서 몇 가지 개선점을 찾을 수 있었다.

III. 양자화 계수 크기에 따른 영향력 측정을 위한 간략화 실험

1. AC 계수의 수정을 통한 양자화 테이블의 영향력 측정

Zigzag scan된 계수들의 변경에 따른 효과를 측정하기 위하여 가장 8X8 크기의 계수 블록(A)을 만들고 모든 계수는 1이라고 가정한다.

다. 그리고 블록 B는 블록 A의 (1,2)계수를 2로 변경하였고 블록 C는 블록 A의 (8,8)계수를 2로 변경하였다. 가상으로 생성한 3개의 블록을 통해 양자화 테이블의 영향을 측정할 것이다.

실험은 그림 3.와 같이 진행되며 계수값의 변화에 따라 영상변화(MSE: Mean Square Error)가 어떻게 변하는지 측정하기 위한 과정이다. 위에서 설명한 것과 같이 블록 A의 변경으로 블록 B와 C를 생성하였으며 역-양자화 과정에서는 휘도(Luminance)양자화에 사용되는 그림 2.의 표준 양자화 테이블을 사용하였다.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

그림 2. 표준 양자화 테이블(휘도)

대부분의 알고리즘에서 DC 계수 값을 변경하지 않으므로 본 실험에서도 DC계수(양자화 값 16)는 그대로 보존한 채로 나머지 계수들을 변경하며 MSE의 변화를 측정하였다. 그림 3.에서 보이듯 블록 B와 블록 C에서 변화한 계수들은 각각 양자화 계수 11과 99에 대응한다.

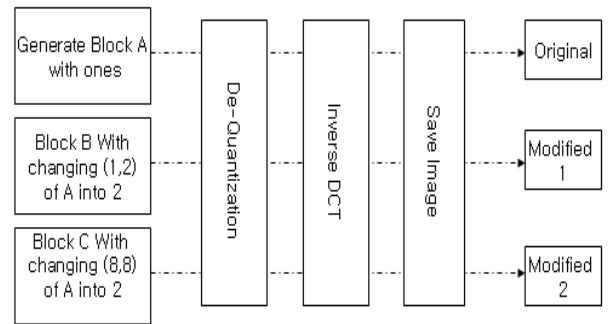


그림 3. 간략화 실험 과정

각 블록 A, B 그리고 C는 역-양자화 과정을 거쳐 역 2차원 DCT(Inverse 2-D DCT)변환 과정을 거친다. 이 과정을 거침으로써 블록 A, B 그리고 C는 공간 영역의 영상 값(Value)이 된다. Original과 Modified 1 그리고 Original과 Modified 2에 대한 에러의 제곱(powered error)을 구했을 때 121과 9801을 각각 구할 수 있다. 이 실험에서 주파수 영역의 계수에서 똑 같은 크기로 서로 다른 계수들에 변화를 주었을 때 기인하는 제곱 에러는 동일한 위치에 대응하는 양자화 테이블 값의 크기의 제곱과 같음을 알 수 있다. 여기서 특정 계수를 변화했을 때의 PE(Powered Error)와 계수에 대응하는 양자화 값은 일정한 관계를 가진다. $121=11^2, 9801=99^2$. 결국 아래와 같은 식 (1).이 유도된다.

$$PE = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \| I(i,j) - K(i,j) \|^2 = \sum Q_x^2 \quad \text{식 (1)}$$

여기서 I는 원본 영상이고 K는 변경된 영상이다. x 는 변경된 AC계수의 위치이며 Q_x 는 x 번째 계수에 대응하는 양자화 계수 값이다. 위의 공식 (1)은 계수 변화의 양이 1일 경우를 가정한 것이다.

가하였다. 한 가지는 계수의 변화폭을 증가 시키는 것이고 다른 한가지는 계수 변환의 부호를 다르게 즉 +1, -1에 대해 실험을 하였다. 두 가지 실험에서 이전의 실험과 일치하는 결과를 보여주었다. 변환계수의 변화폭을 2배로 증가 시켰을 때는 대응하는 양자화 값의 2배의 제곱 값이 복원에서 측정된 제곱 에러의 합과 같았다.

$$PE = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \| I(i,j) - K(i,j) \|^2 = \sum (\alpha \cdot Q_x)^2$$

여기서 α 는 계수 수정 시 사용된 배수이다. 그리고 계수 변환의 부호를 달리했을 경우에도 식(2)가 적용되어 음(-)의 경우 계수는 양(+)
가 되어 결과가 동일함을 볼 수 있었다.

4. 실수의 정수화에 따른 양자화 테이블의 영향력 변화 측정

실제 영상을 컴퓨터에 저장할 때에는 실수(Real Number)의 정수(Fixed Number)화에 의한 에러(Rounding Error)가 발생한다. 앞의 간략화 실험에서는 이상적인 정수화에 의한 에러를 고려하지 않은 이상적인 경우에 대해서만 고려하였고 이 절에서는 정수화에 의한 실험 결과를 변화를 측정하고자 한다.

먼저 실험환경은 그림 5.와 같으며 Inverse DCT후에 저장되는 영상의 정수화 과정에서 발생하는 에러에 대해 측정하고자 한다. 이 경우 PE(Powered Error)나 MSE의 값은 예측 불가하게 변화가 생긴다. 그 이유는 주파수 영역에서 시간영역으로 변환될 때 서로 다른 주파수에 의한 계수가 합쳐져 하나의 시간영역 값이 만들어 지기 때문이며 현실적으로 매번 그 변화량을 정확히 계산하기는 어렵다. 하지만 아래의 그래프에서 볼 수 있듯 블록내의 계수들을 순서적으로 변화시켜 보았을 때의 MSE값의 순서는 양자화 테이블의 대응하는 Q Factor 크기와 비례함을 알 수 있다.

아래 그림은 영상 샘플 블록의 주파수 계수에 순차적으로 +1의 변화를 주고 복원된 시간영역의 영상에 대한 MSE를 측정하고 그 크기에 따라 정렬한 것이 X축이며 Y축은 해당 MSE가 측정된 Q Factor의 크기를 보여준다.

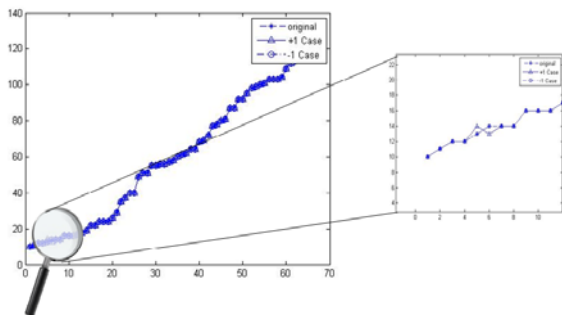


그림 9. 정수화 에러를 고려한 MSE 측정

하지만 그림 9.에서 왼쪽 그래프의 확대인 왼쪽 그래프에서 원본의 정렬 순서와 다르게 나타난 부분을 볼 수 있다. 변화된 계수에 대응하는 Q Factor가 13일때의 MSE가 14일때의 MSE보다 크게 나타나는 것을 볼 수가 있다. 바로 이점이 Rounding Error가 계수변환의 영향에 어떤 추가적인 변화를 주는지를 보여준다. 실험과 같이 발생한 정수화 에러를 회피하거나 에러를 수정할 수 있는 방안은 향후의 논문에서 다루게 될 것이다.

IV. 결론

여러 가지 실험을 통하여 JPEG 압축 환경에서 DCT 계수 변경에 따른 영향력에 대한 몇 가지 사실들을 찾아내었다.

- DCT계수를 변경 할 때 대응하는 양자화 요소의 크기를 고려해야 한다.
- 동일한 양자화 테이블을 가지고 있다면, 계수의 절대값의 크기가 달라도 계수의 변화량(수정값)에 비례하는 PSNR의 변화가 발생한다. 단 Rounding Error 후에 그 순서는 조금 틀리거나 양자화 계수의 크기가 인접할 때 발생한다.
- 하나의 계수를 변경할 때, 동일한 양의 증가 및 감소는 동일한 제곱 에러를 보여준다.
- 두 개 이상의 계수를 동시에 변화할 경우에도 대부분의 경우 Q Factor의 크기와 MSE의 변화는 비례함을 알 수 있다.

기존의 실험들에서는 2장에서 언급한 주파수 영역의 특성에만 의존해왔다. 더 정확히 표현하면, 양자화 요소의 크기에 따른 잠재적 영향력을 고려하지 않고 저주파 또는 고주파 영역의 계수인가를 주로 고려하였다. 인터넷 환경에서는 대부분의 영상이 압축된 형태로 전송되고 있고 주파수 영역에서의 데이터 변경이 공간 영역에서보다 더 강건하기 때문에 많은 워터마킹 및 스테가노그래피 기술들이 그들의 알고리즘을 압축된 영상에 적용하고 있으므로 다양한 알고리즘에서 제안된 아이디어를 채용 함으로서 개선된 처리시간 및 효율적인 데이터 변경을 수행할 수 있을 것이다. 특히 Matrix Encoding, Modified Matrix Encoding 과 같은 정보은닉 기술에서 이러한 결과를 채용하며 알고리즘의 성능향상에 유용하게 이용될 수 있다.

참고문헌

- [1] Andreas Westfeld, "F5-A Steganographic Algorithm: High Capacity Despite Better Steganalysis," 4th International Hiding International Workshop, Pittsburgh, USA, April 2001
- [2] J. Fridrich, M. Goljan and D. Hoge, "New Methodology for Breaking Steganographic Techniques for JPEGs," Proc. SPIE Electronic Imaging, Santa Clara, CA, USA, Jan 2003, pp.143-155
- [3] J. Fridrich, M. Goljan and D. Hoge, "Attacking the OutGuess," Proc. Of the ACM Workshop on Multimedia and Security 2002, Juan-les-Pins, France, December 6, 2002.
- [4] J. Fridrich and D. Soukal, "Matrix Embedding for Large Payload," IEEE Tran. on Information Forensics and Security. Vol1, pp.390-295, September, 2006.
- [5] M. Chen, R. Zhang, X. Niu and Y. Yang, "Analysis of Current Steganography Tools: Classification & Features," Proc. of the 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Pasadena, CA, USA, December 2006.
- [6] Bret Dunber, "A detailed look at Steganographic Techniques and their use in an Open-Systems Environment.," SANS Institute, January 2002.