

# JPEG 압축 환경의 정보은닉에서 영상 질 저하 예측방법

## The Method to Estimate Quality Degradation from Information Hiding in JPEG Compression Environment.

최용수\*, 김형중, 이달호  
(Yong-Soo Choi, Hyoung-Joong Kim and Dal-Ho Lee)

**Abstract :** In these days, compressed file is useful in internet environment and has many advantages. So a lot of data hiding algorithms works on JPEG compressed file. Of course they know basic rules of transformation and quantization and they utilize those rules to implement their programming. But most of them evaluate the affection of data hiding after data modification. We propose how to predict the affection of data modification in course of data hiding process. Through some kind of experiments, several valuable facts are revealed which used in data hiding in compressed domain such as JPEG. These facts will improve existing data hiding algorithms (F3, F4 and F5 which including Matrix Encoding)[1],[5],[6].

**Keywords:** Steganography, Data hiding, JPEG, Compressed file, PSNR, degradation

### I. 서론

최근 정보은닉(Data Hiding) 분야에서 많은 알고리즘이 개발 되어지고 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 사용 되어지고 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 사용 되어진다. 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 화질

에의 영향에 대해 기술하였다.

많은 알고리즘에서 데이터 변경에 의한 영상의 질 저하 등의 영향을 모든 처리(Encoding Process)가 끝난 후에 측정 하지만 이것은 적용된 알고리즘의 효율성을 체크하는 부가적인 처리시간을 소요하게 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 아이디어의에 대해 2장에서 다루었고, 3장에서는 간단한 실험을 통하여 아이디어의 유용성을 제시하였다. 마지막으로 결론과 결과에 대한 토론을 4장에서 기술하였다.

### II. 압축 데이터 변경 후 좋은 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 유지하기 위한 방법

#### 1. JPEG 압축과 양자화(Quantization)

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

아래는 압축의 주요 과정들이며

- DCT (Discrete Cosine Transform) : 주파수 영역으로의 변환 방법이다.
- Quantization : 양자화(간략화) 과정이며 JPEG 압축률을 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.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문집수 : 2008. 08. 12., 채택확정 : 200x. x. xx.

최용수, 김형중 : 고려대학교 정보경영전문대학원

(ciechoi@korea.ac.kr, khj-@korea.ac.kr)

이달호 : 경원대학교 전자정보통신공학부

(dhlee@kyungwon.ac.kr)

※ 본 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 '3단계 BK21 사업'의 지원비를 받았다.

※ "본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-(C1090-0801-0025))

- Entropy coding : 마지막 저장 과정이며 Huffman 또는 Arithmetic Coding과 같은 방법을 이용하여 압축효율을 높인다.

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

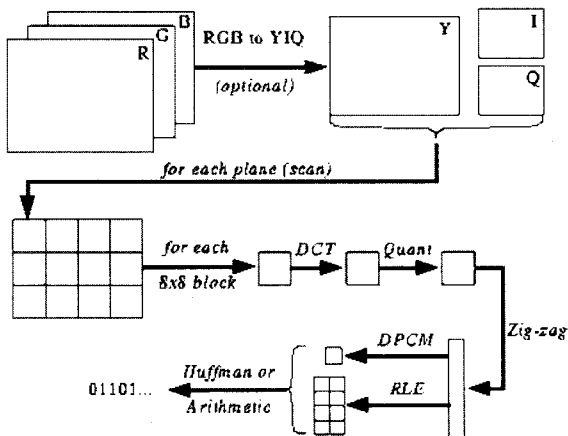


그림 1. JPEG 압축 과정.  
Fig. 1. JPEG Compression Process

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)는 기본 양자화 테이블의 비례값을 구함으로서 얻는다.

그러므로 우리가 JPEG 과정에서 영상에 변경을 가하고자 할 때, 대부분의 경우 영상의 질 저하에 덜 영향을 미치는 고 주파영역을 변경한다. 이 논문에 앞선 우리의 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.

양자화 과정은 효율적으로 Entropy Coding을 위해 원래의 DCT 계수의 크기를 줄이는 과정이며 JPEG 압축 파일에서 데이터 변경을 하는 대부분의 알고리즘은 Zigzag scan 후에 계수들을 변경한다.

### III. Simple Experiments

#### 1. AC 계수의 수정을 통한 양자화 테이블의 영향력 측정

Zigzag scan된 계수들의 변경에 따른 효과를 측정하기 위하여 아래 그림 2.와 같은 가상의 8X8 크기의 계수 블록(Block A)을 만들어 보았다. 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.

3장에서 실험은 그림 3.과 같이 진행되어 진다. 그리고 이 과정은 계수값의 변화에 따라 영상변화(MSE: Mean Square Error)가 어떻게 변하는지 보여준다.

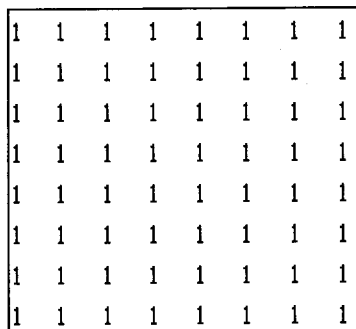


그림 2. 샘플 블록 A  
Fig. 2. Sample Block A

위에서 설명한 것과 같이 블록 A의 변경으로 블록 B와 C를 생성하였으며 역-양자화 과정에서는 휘도(Luminance) 양자화에 사용되는 그림 4.의 표준 양자화 테이블을 사용하였다.

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

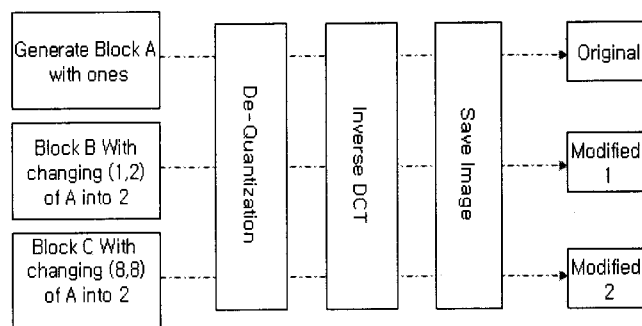


그림 3. 표본 실험 과정  
Fig. 3. Sample Experiment Process

각 블록 A, B 그리고 C는 역-양자화 과정을 거쳐 역 2차원 DCT(Inverse 2-D DCT)변환 과정을 거친다. 이 과정을 거침으로서 블록 A, B 그리고 C는 공간 영역의 영상 값(Value)가 되었다. 그리고 마지막 영상을 저장하는 과정에서는 실수의 정수화에 의한 에러(Rounding Error)가 발생하지만 이 실험에서는 크게 다루지 않는다. Original과 Modi-

Fig. 1 그리고 Original과 Modified 2에 대한 예러의 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 크기와 비례함을 알 수 있다. 여기서 특정 계수를 변화했을 때의 PE(Powered Error)와 계수에 대응하는 양자화 값은 일정한 관계를 가지는 것을 알 수 있다.  $121=11^2$ ,  $9801=99^2$ . 결국 아래와 같은 식 (1)이 유도된다.

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

여기서 I는 원본 영상이고 K는 변경된 영상이다. x는 변경된 DCT계수의 위치이며  $Q_x$ 는 x 번째 계수에 대응하는 양자화 계수 값이다. 위의 공식 (1)은 계수 변화의 양이 1일 경우를 가정한 것이다. 예를 들어 위의 실험에서 (1,2)와 (8,8)의 계수를 모두 +1 만큼 변경하였다면  $PE=9921=11^2+99^2$  일 것이다.

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 4. 표준 양자화 테이블(휘도)  
Fig. 4. Standard Quantization Table(Luminance)

## 2. 실제 영상에서 AC 계수의 수정을 통한 양자화 테이블의 영향력 측정

이번 실험에서는 앞 절에서와 비슷한 과정을 거치며 가상 블록 대신 실제 영상의 블록을 원본 계수블록으로 사용하였다. 그림 5.는 Lena 영상의 샘플 영상 블록이다.

73	78	97	118	122	123	120	112
68	95	118	125	124	120	119	116
88	117	125	122	120	121	117	119
112	116	122	119	121	114	116	113
121	123	123	120	120	117	113	117
126	123	120	117	117	118	114	111
118	124	120	113	115	110	114	108
106	115	117	116	113	109	111	115

그림 5. 샘플 이미지 블록

Fig. 5. Sample Image Block

아래 그림 6.은 실제 영상블록을 입력으로 하여 계수 변경, 그에 따른 에러 및 PSNR의 변화를 측정하기 위한 시스템의 개략도이다.

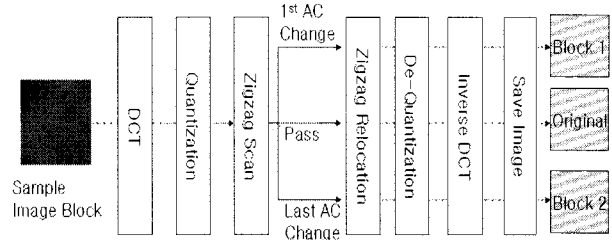


그림 6. 실제영상 실험 시스템

Fig. 6. Experimental System for Real Image

샘플 이미지 블록은 DCT, 양자화, Zigzag scan의 과정을 거쳐 1차원 계수의 배열로 얻어진다. 그 중에서 DC계수부터 마지막 유효 계수(Non-zero)까지를 얻으면 다음과 같이 얻어진다.

```
57 2 -2 -2 -4 -3 -1 -2 -2 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
```

다음으로 첫 번째 유효 AC계수인 -2에 1을 더하였고 또 다른 경우를 위해 마지막 유효 AC계수인 1에 1을 더하였다. 이렇게 변경된 값들에 대해 복원 과정을 거쳐 두 개의 복원 이미지 블록 그림 7.과 그림 8.을 구했다. AC 계수 -2, 1에 대응하는 양자화 값은 각각 11과 29이다

77	79	90	111	129	132	119	104
76	91	110	120	120	117	116	118
84	107	129	129	113	104	114	129
106	119	129	126	114	108	115	124
128	122	117	118	122	122	117	110
133	120	110	113	123	126	116	104
118	118	118	117	116	114	112	111
101	117	130	124	107	99	108	122

그림 7. 복원된 영상블록 1  
Fig. 7. Recovered Image Block 1

원본 영상 블록에 대한 블록 1과 블록 2의 PSNR은 각각 45.35 dB과 36.94 dB이다. 그림 9.는 원본 블록, 블록1 그리고 블록 2의 영상을 보인 것이다. 3개의 블록 영상을 비교하면 계산적인 통계치에 의존하지 않고도 블록 1이 블록2보다는 원본에 가까운 것을 쉽게 인식할 수 있다.

74	82	97	114	126	125	116	107
79	93	110	120	121	117	115	115
92	107	123	125	116	110	114	121
111	119	127	125	116	111	114	119
126	124	122	120	119	117	114	112
129	123	118	117	119	118	113	108
119	120	120	118	115	112	110	110
108	118	125	121	110	104	108	115

그림 8. 복원된 영상블록 2  
Fig. 8. Recovered Image Block 2

결국 주파수 영역의 계수를 변경하고자 할 때 실제 영상에 더 작은 변화를 생성케 하는 계수를 선택하는 것은 상응하는 양자화 값만을 비교함으로써 쉽게 가능해지고 에러를 측정하거나 PSNR을 구하는 등의 부가적인 연산시간을 줄이는 효과를 가지게 된다.

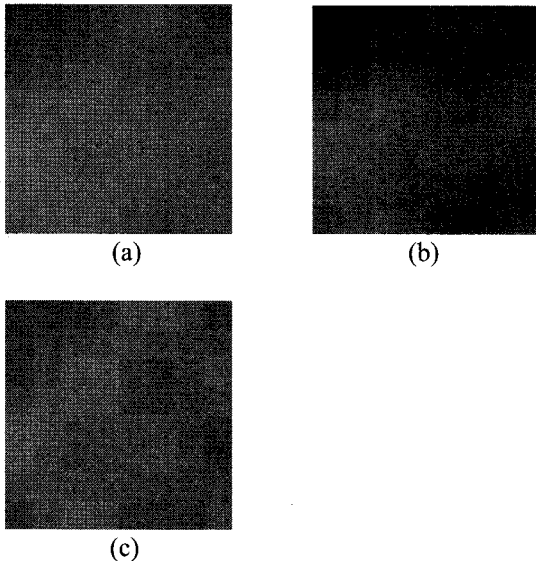


그림 9. (a) 원본 블록의 영상 (b) 복원된 블록1의 영상  
(c) 복원된 블록2의 영상  
Fig. 9. (a) Original Block Image (b) Recovered Block 1 Image  
(c) Recovered Block 2 Image

### 3. 계수 변환의 크기 및 부호변화에 따른 양자화 테이블의 영향력 측정

이번 실험에서는 2장 1절의 실험환경에서 두 가지 경우의 실험을 추가하였다. 한가지는 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.

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

여기서  $\alpha$ 는 계수 수정 시 사용된 배수이다. 이 실험에서는 2이다. 그리고 계수 변환의 부호를 달리했을 경우에도 식(2)가 적용되어 음(-)의 경우 제곱은 양(+)가 되어 결과가 동일함을 볼 수 있었다.

### 4. 제안된 아이디어의 검증

앞의 연속된 절에서는 특정 계수에 대해서만 실험을 하였다. 이번 절에서는 AC 계수를 순서(2<sup>nd</sup>부터 64<sup>th</sup>까지)대로 +씩 변경하며 각각의 계수 변경 시 기인하는 영상의 변화를 PSNR로 측정하여 그래프로 보였다. 그림 10.과 그림 11.에서 볼 수 있듯이 계수의 변화 시 발생하는 PSNR 값은 양자화 계수에 비례하여 계산되는 것을 알 수 있다.

그림 10.에서 X축은 지그재그 스캔 된 계수의 Index이고 Y축은 PSNR 값이다. 그림 11.에서도 X축은 지그재그 스캔 된 계수의 Index이고 Y축은 각 Index에 대응하는 양자화 값이다. 그림에서 Index 1은 제외되었으며 그 이유는 DC 계수이므로 비교대상에서 제외하였다.

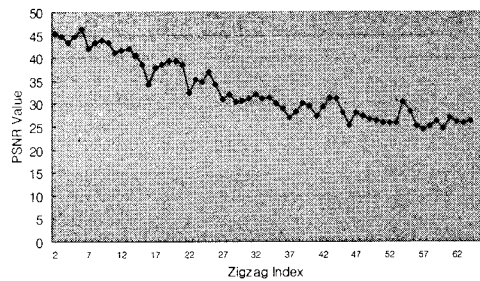


그림 10. 지그재그 스캔 순서에 따른 PSNR 값  
Fig. 10. PSNR Value with Zigzag Scan Order

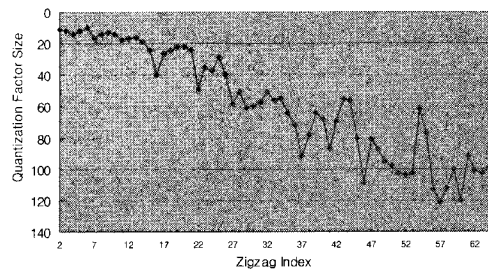


그림 11. 지그재그 스캔순서에 따른 양자화 값의 크기  
Fig. 11. Quantization Factor Size with Zigzag Scan Order

위의 그림 10.과 그림 11.은 양자화 값의 크기에 따라 영상의 에러 즉, PSNR에 미치는 영향이 비례함을 보여준다. 큰 양자화 값을 가진 계수의 변화는 PSNR 변화를 크게 하고 작은 양자화 값을 가진 계수의 변화는 PSNR 변화를 작게 만든다.

**VI. 결론**

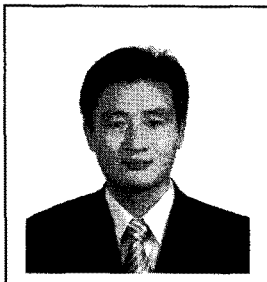
본 논문을 통하여 JPEG 압축 과정 중 수행되는 DCT 계수 변경에 대한 몇 가지 사실들을 찾아내었다.

- 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.
- 하나의 계수를 변경할 때, 동일한 양의 증가 및 감소는 동일한 제곱 에러를 보여준다.

위의 사실들은 엄연히 존재하는 사실이었으나 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. 논문에서 제시한 사실들을 기초로 JPEG과 같은 주파수 영역 계수의 변경에 의한 영상의 질 저하를 개선할 수 있을 것이다. 더욱이 인터넷 환경에서는 대부분의 영상이 압축된 형태로 전송 되어지고 있고 주파수 영역에서의 데이터 변경이 공간 영역에서 보다 더 강건하기 때문에 많은 워터마킹 및 스테가노그래피 기술들이 그들의 알고리즘을 압축된 영상에 적용하고 있으므로 다양한 알고리즘에서 제안된 아이디어를 채용함으로써 개선된 처리시간 및 효율적인 데이터 변경을 수행할 수 있을 것이다. 특히 Matrix Encoding, Modified Matrix Encoding 기법을 데이터 삽입 시 채용하는 알고리즘에서 유용하게 이용될 수 있다.

**참고문헌**

- [1] Andreas Westfeld, "F5-A Steganographic Algorithm: High Capacity Despite Better Steganalysis," 4<sup>th</sup> *Information 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. Vol 1*, 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.



**최 용 수(Yong-Soo Choi)**

1998년 강원대학교 제어계측공학과(공학사). 2000년 강원대학교 제어계측공학과(공학석사). 2006년 강원대학교 제어계측공학과(공학박사). 2007년~현재 고려대학교 정보경영전문대학원 연구교수. 관심

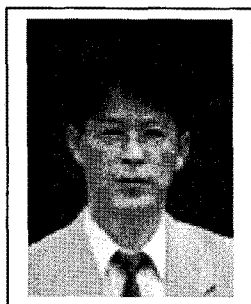
분야는 IPMP, DRM, 영상 데이터 은닉, 영상/비디오/오디오 워터마킹 등임.



**김 형 중(Hyoung-Joong Kim)**

1978년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사). 1989년 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사). 1990~2006 강원대학교 교수. 2006~현재 고려대학교 정보경영전문대학원 교수. 관심분야

는 Parallel Computing, Image Hashing, Data Compression, Steganography 등임.



**이 달 호(Dal-Ho Lee)**

1983년 서울대학교 제어계측공학과(공학사) 제1985년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1992년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사). 2006년 강원대학교 제어계측공학과(공학박사). 1992~현재 경원대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수. 관심분야

는 비선형 시스템, 이산시스템, 오디오 워터마킹, 시스템 성능 분석 등임.