

MPEG-2 Codec에 대한 디지털 워터마크 삽입 및 검출 시스템 개발

논 문
59P-4-8

Development of Digital Watermark Inserting and Detecting System for MPEG-2 Codec

황 선 철[†]
(Seon-Cheol Hwang)

Abstract - This paper describes a study on developing an insert and detect system of digital watermark to the MPEG-2 coder and decoder. Digital watermark inserting system substitutes a coefficient among the DCT coefficients for new one. This replacement performs in MPEG-2 PS format. Watermark detecting system analyzes the input data stream of MPEG-2 and detect the probability of occurrence of a specific code or watermarking code. Our inserting system had very high invisibility and the PSNR of the results was 130 dB around. And our detection rate of watermark was over 99% in digital format and over 85% in analog captured format according to the quality of contents.

Key Words : MPEG-2, DCT, AC Coefficients, Invisible, PSNR

1. 서 론

앞으로 2012년 12월이면 아날로그 TV는 역사 속으로 사라진다. 현재 우리나라에서 표준으로 삼아 서비스 중인 디지털 방송 방식은 1920×1080 해상도를 갖는 HDTV 방송이다. HDTV 방송은 동영상으로 보려면 1.4Gbps 이상의 데이터가 발생하고 있는데 현재 방송채널이 갖고 있는 용량을 초과하는 데이터양이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 ISO-IEC에서는 MPEG-2 표준을 정해서 동영상 압축 알고리즘 제정하여 사용하고 있다. 그러므로 HDTV 방송을 위해서는 MPEG-2가 표준방식으로 동영상을 압축/복원한다[1],[2],[3].

HDTV 방식은 화질이 매우 선명하고 해상도가 높기 때문에 사실감을 높여줄 뿐만 아니라 색감도 뛰어나므로 세계 각국에서는 HD 방송을 위한 콘텐츠의 제작이 활발히 이루어지고 있는 가운데 HD 영상의 뛰어난 화질로 인해 불법 복제와 재가공하려는 시도가 끊임없이 일어나고 있다. 따라서 콘텐츠 제작자나 프로그램 서비스 업체들은 이러한 콘텐츠에 대한 저작권을 강화하고 보호하는데 총력을 기울이고 있다. 하지만 여기에는 치명적인 맹점이 존재하는데 바로 HDTV는 디지털 방식이라는 점이다. 디지털 방식은 아날로그 방식과 다르게 몇 번을 복사해도 원본 그대로의 화질을 가지고 있다는 점이다. 기존의 아날로그 방식에서는 콘텐츠가 불법 복제되어 유통되더라도 여러 번 복제를 하면 화질이 떨어져서 콘텐츠로서의 가치를 상실하게 되었다. 그러나 현재의 디지털 방식은 불법복제를 하더라도 또 다른 원본이 만들어진다는 특성을 지니고 있다[4]. 그러므로 콘텐츠 제작

자들은 자신들의 콘텐츠에 대한 불법 복제를 근본적으로 막거나 불법 유통자에 대한 추적을 할 수 있는 방법의 개발에 많은 노력을 경주하여 왔다.

본 연구에서는 이러한 디지털 동영상의 불법복제를 차단하기 위한 노력으로 HDTV set-top에 탑재할 수 있는 디지털 워터마크 주입장치를 개발하고자 한다. 디지털 워터마크란 디지털 콘텐츠에 사용자 또는 불법 복제를 시도하는 사람이 모르게 콘텐츠의 소유권을 영상에 삽입하거나 복제를 시도하는 사람의 정보를 삽입하는 방법을 말한다[5]~[7]. 이렇게 되면 불법으로 유통되는 콘텐츠를 손쉽게 적발할 수 있고 이 콘텐츠의 원래 저작권자가 누구인지 또는 최초로 불법복제를 시도한 사람이 누구인지 알 수 있게 된다.

디지털 워터마크에 대한 연구는 최근에 각광을 받기 시작하였다. I. Cox 등에 의해 본격적으로 시작된 워터마크에 대한 연구는 초기에 비트맵을 이용한 가시적인 워터마크에서 시작하여 DCT 계수에 대한 마킹, Wavelet 알고리즘을 이용한 압축에 대한 마킹과 Fractal 알고리즘에 의한 마킹에 이르기 까지 매우 다양한 시도가 있어왔다[5]~[9]. 하지만 현재 우리가 디지털 방송에서 사용되는 압축 방식은 DCT이므로 본 연구에서는 현재 사용하고 있는 MPEG-2의 핵심 압축 방식인 DCT 방식에서의 워터마크 알고리즘을 이용하여 TV Settopbox에 구현하는 방안과 검출하는 방안에 대한 연구를 진행하고자 한다.

2. MPEG-2 Codec 기술 개발

2.1 MPEG-2 Codec 개발

본 연구에서는 HDTV용 워터마크 주입장치를 개발하기 위해 그림과 같이 MPEG-2 Codec을 개발하였다[3]. MPEG-2 Codec은 방송용 Stream인 TS를 디멀티플렉싱(DeMUX)하여 MPEG-2 영상 File인 XXX.m2v 형태의 파일

[†] 교신저자, 정회원 : 인덕대학 방송영상미디어과 부교수 · 공박
E-mail : sthwang@induk.ac.kr

접수일자 : 2010년 10월 6일

최종완료 : 2010년 11월 10일

로 변형하여 실험하였다. 위의 Codec 과정 중 ⑦~⑨번 루틴 내에 Watermark Embedder를 탑재하였다. 이것은 워터마크의 삽입과 검출이 모두 이루어질 수 있는 부분이며 동영상의 아날로그 캡처 공격이 존재할 경우에는 ⑫번 이후의 Bitmap 레벨에서 검출하는 부분을 구현하였다.

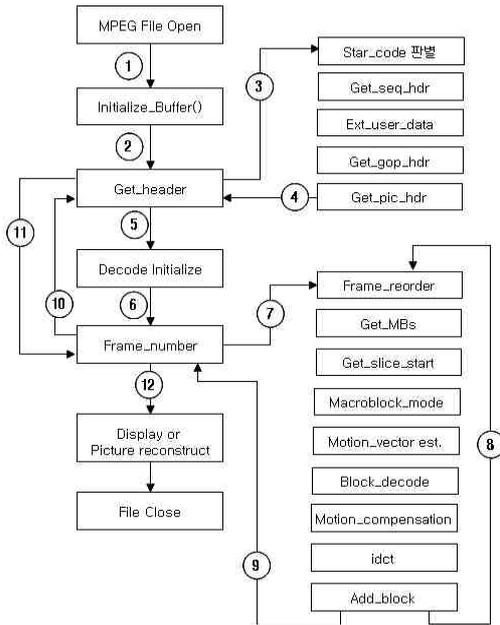


그림 1 MPEG-2 Codec 개발도
Fig. 1 MPEG-2 Codec Diagram

2.2 MPEG-2 Codec의 계층적 구조 및 워터마킹 대상

MPEG-2를 이용하여 동영상을 부호화하기 위해서 코덱은 계층적으로 영상을 부호화한다. 이는 MPEG 계열이 가변길이 부호화를 사용하기 때문에 영상의 장면별로 구별할 수가 없고 데이터구조가 일정 길이를 가지지 않고 비트별로 이루어져있기 때문이다. 이에 근거하여 Codec의 최하위 계층인 블록계층이 식별되면 이 부분에서 원하는 위치에 원하는 코드를 치환하는 방식을 구현하였다.

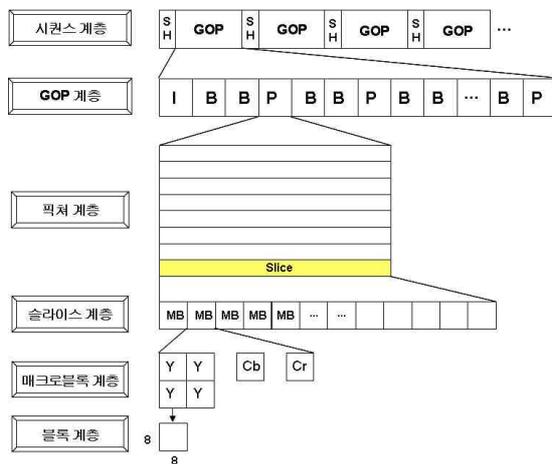


그림 2 MPEG-2의 계층적 구조
Fig. 2 Hierarchical structure of MPEG-2

MPEG-2의 구조는 그림 2와 같다[1].

1) 시퀀스 계층(Sequence Layer)

MPEG-2로 압축되고 Formatting된 데이터는 시퀀스 구조를 이루고 있다. 이 구조는 가변길이부호화로 압축된 MPEG의 특성상 데이터를 인식하기 용이하게 하기 위한 이유와 저장 미디어에서 읽어낼 때 Random Access가 가능하게 하기 위해서 이런 구조를 갖게 되었다. MPEG은 약 0.5 초 (15장면) 단위로 독립적인 플레이가 가능하도록 하는 구조를 갖는다. 그러므로 각 시퀀스마다 시퀀스헤더를 뒤서 각 시퀀스에 대한 정보를 제공한다.

2) GOP 계층(Group of Picture Layer)

독립된 15장면의 영상으로 이루어지는 계층이다. GOP 계층에는 기준이 되는 I(Intra)프레임이 반드시 1개 이상 존재하고 3장면 마다 하나씩 P(Predictive) 프레임이 존재하며 I, P 프레임 사이에는 양방향예측에 의한 B(Bipredictive) 프레임이 존재한다.

3) 픽처 계층(Picture Layer)

15장면 중 한 장의 영상에 대한 데이터를 가지고 있다. I 프레임은 장면 전체 데이터를 가지고 있는 반면 P 프레임이나 B 프레임은 장면의 일부를 가지고 있기 때문에 대부분의 워터마킹 알고리즘에서는 I 프레임에 대한 워터마킹이 수행된다.

4) 슬라이스 계층(Slice Layer)

MPEG-2에서는 한 장을 여러 개의 슬라이스로 분리하여 처리한다. 슬라이스는 일반적으로 16×16 매크로블록의 연속으로 이루어져있으며 그 크기는 영상의 가로 길이와 일치한다. 그러므로 HDTV에서는 1920의 크기를 갖는 한 줄의 슬라이스로 이루어져있다.

5) 매크로블록 계층(Macroblock Layer)

매크로블록은 4개의 휘도영상 데이터블록과 2개의 색차 데이터 블록으로 이루어져있다. RGB 컬러시스템을 휘도 Y, 색차 Cb, Cr로 변환시키는데 이때 시각적으로 민감한 Y신호는 그대로 유지되며, 4개의 Cb 데이터를 1개의 대표 데이터로 삭감하고 다시 4개의 Cr 데이터를 마찬가지로 1개의 대표 데이터로 삭감한다.

6) 블록 계층(Block Layer)

영상을 구성하는 가장 최소단위가 8×8 크기의 화소블록이다. 이 블록은 DCT를 수행하여 얻은 계수로 이루어져있으며 양자화 과정을 거쳐 고주파 영역이 0으로 제거된 부분이다. MPEG-2에서는 이 부분이 디코딩되기 전에는 비트 단위로 가변길이 코딩되어있는데 워터마킹은 이 부분에서 원하는 위치를 찾아내어 워터마크를 위한 계수를 치환함으로써 이루어진다. 본 연구에서는 I. Cox 등[5]과 E. Koch 등[6]이 제안한 방식과 유사한 AC 영역에 대한 WM 삽입을 수행하였다. 그러나 본 연구에서는 기존의 단순 마크를 개선하여 슬라이스를 코딩하여 워터마크를 삽입하였다. 이는 슬라이스의 정해진 위치에 마크를 넣거나 하지 않음을 구별하여 디지털 0/1의 마크 효과를 내어 2진수를 마크하는 원리이며 최대한 32비트의 데이터를 삽입할 수 있고 동영상의 특성을 이용하면 구간

별로 나누어 삽입함으로써 매우 많은 코드를 삽입할 수 있게 된다.

2.3 비트스트림에서 데이터 치환 방안

MPEG-2에서 DCT coefficients의 저장은 가변길이 부호화에 의해 저장된다. 그러므로 데이터의 위치와 사이즈 및 종류를 구분하기 어렵고 다만 Huffman Decoding에 의해 구분되어진다. 이런 이유로 데이터의 치환은 데이터의 전체 변경이 아니라 사이즈와 위치를 그대로 유지한 채 비트를 몇 개 다른 비트로 치환하기 때문에 공격자들은 데이터변경을 인지하기 쉽지 않아 Watermark의 본질인 Invisible 기능을 유지할 수 있게 해준다. 본 연구에서는 DCT coefficients Table 0와 Table 1 중에서 다음에 표로 표시한 부분들을 대상으로 marking 을 수행하였다. 이 부분은 (run, level) 형식으로 표현되는 DCT coefficients 체제에서 (0, 12) ~ (0, 15)에 해당되는 부분이며 표는 다음과 같다.

표 1 워터마킹 대상 비트스트림 (Intra-block DCT Table I)

Table 1 Bitstream for watermarking (Intra-block DCT Table I)

Table No.	Variable length code	run	level
0
	0000 0000 1101 0s	0	12
	0000 0000 1100 1s	0	13
	0000 0000 1100 0s	0	14
	0000 0000 1011 1s	0	15
1
	1111 1010 s	0	12
	1111 1011 s	0	13
	1111 1110 s	0	14
	1111 1111 s	0	15

이 대상 비트열을 치환하는 방법은 다음과 같다.

- ① 데이터는 버퍼의 형태로 저장되며 bit 단위로 차례로 사용되다가 사용한 데이터가 버퍼의 끝부분에 이르면 4byte 단위로 새로 채워 넣어진다.
- ② 사용할 새 데이터의 첫 번째 순서를 가리키는 위치 base.InCnt 및 데이터의 크기 size를 저장한다.
- ③ watermark데이터를 32bit buffer(4 Byte)에 저장한다.
- ④ 이를 base.InCnt - base 만큼 shift left한다.
- ⑤ mask (size 만큼 1로 채운 데이터)를 ④와 같은 방법으로 shift left 한 후 inverse 시킨다.
- ⑥ 원래 버퍼와 inverse 된 mask를 AND 시킨다.
- ⑦ ⑥의 버퍼와 shift 시킨 워터마크를 OR 시킨다.

이 방법을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

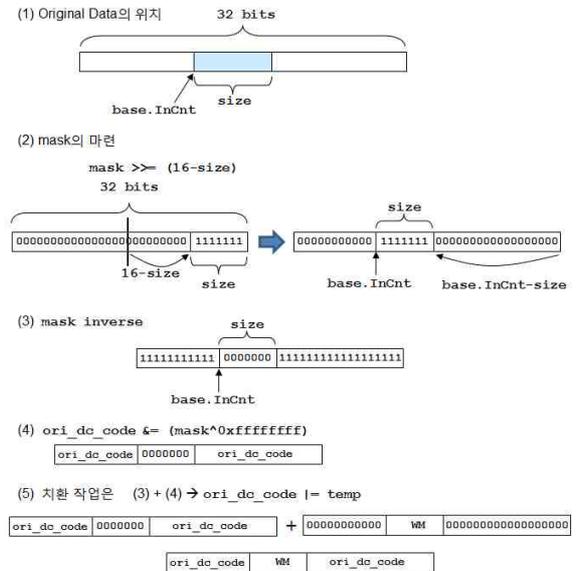


그림 3 Watermark 치환 방법

Fig. 3 Method of substitution for watermark

2.4 Watermark Embedder 설계

본 연구에서 개발된 HDTV Set-top 용 Watermark Embedder 는 다음 그림과 같다. 영상콘텐츠가 DRM 등을 통해서 사용자에게 안전하게 전달된 다음 사용자는 이를 Set-top Box (STB)를 통해 재현하게 된다. 이때 STB에서는 사용자의 정보를 MPEG-2 데이터에 삽입하게 된다.

MPEG-2에서 워터마킹이 삽입되는 부분은 I-type의 프레임에서만 가능하다. 이유는 P-type이나 B-type은 두 장면 혹은 세 장면 사이의 차이나는 부분만을 압축하는 반면 I-type의 영상은 화면 전체를 압축하는 알고리즘을 사용하기 때문이다.

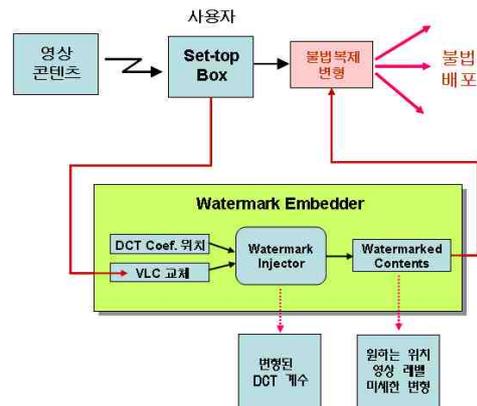


그림 4 워터마크 삽입기

Fig. 4 Watermark Embedder

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

3.1.1 HDTV 동영상에 대한 워터마킹 결과

본 연구에서는 Set-top Box에서 저장한 동영상 데이터에

대해 워터마킹을 실시하지 않은 영상과 워터마킹을 실시한 영상을 한 장면씩 캡처하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Original Image와 Watermarked Image는 육안으로 구별이 불가능 할 정도로 동일한 수준으로 나타났다.



그림 5 원본 영상 캡처
Fig. 5 Captured image of original video



그림 6 워터마크 삽입 영상 캡처
Fig. 6 Captured image of watermarked video

3.1.2 PSNR 결과 분석

본 연구에서는 삽입한 워터마크 동영상을 원영상과 수치적으로 비교한 결과를 보기 위해서 영상 변형 검출 수식인 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 이용하여 변형 수치를 구했다. PSNR은 통상 dB 수치로 나타나며 수식은 다음과 같다. 앞의 그림 6은 'test05.m2v' 동영상 파일의 일부분을 캡처한 영상이다.

표 2 실험 영상과 PSNR 결과
Table 2 Results of PSNR for experimental images

캡처 파일 명	평균 PSNR	표준편차
test05.m2v	132.269[dB]	±0.921[dB]
test07.m2v	136.173[dB]	±1.018[dB]

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{ori}^2}{(I_{ori} - I_{wm})^2} \right) \quad (1)$$

MPEG-2 영상은 KBS 제 2 TV에서 방영한 HDTV 방송 데이터를 캡처 받아서 사용하였다.

3.1.3 HDTV 동영상 디지털 데이터에 대한 워터마크 검출 결과

본 연구에서는 삽입한 워터마크를 디지털 데이터에서 검출한 결과 워터마크를 넣지 않은 부분과 넣은 부분의 검출은 데이터 발생 빈도를 검출하여 결정된다. 즉 특정 데이터의 검출 빈도가 80% 이상이면 WM이 삽입된 것으로 판단한다. 이 기능은 Slice 단위로 수행되며 이를 토대로 향후 원하는 정보를 다양하게 삽입할 수 있게 되는 토대가 될 수 있다.

3.1.4 원본 대 워터마크영상의 정지영상에 대한 차분 결과

본 실험에서는 원본 영상과 워터마크된 영상간의 차분 영상을 구해보았다. 이 결과는 영상이 크기변환(resizing) 또는 비트율 저하(bit rate down) 공격 등을 받는 것에 대비하기 위한 결과이며 이 경우 결과 차분 영상을 여러 장 겹쳤을 때 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 다음 그림은 단일 영상에 대한 차분과 이들 영상을 여러 장 겹쳤을 때의 차분 영상 결과이다.



그림 7 원본 영상에 대한 WM 영상의 차분 영상
Fig. 7 Differential image between original and WM video



그림 8 차분 영상 여러 장을 겹쳐서 출력한 영상
Fig. 8 Accumulated image of differential images

위의 결과에서 볼 수 있듯이 차분 영상을 여러 장을 겹쳐서 출력하면 원하는 부분에 삽입되어 차이 나는 부분을 눈으로 확인할 수 있고 이를 이용하여 correlation을 구하면 원하는 부분에 마크가 되었는지에 대한 여부를 확인할 수 있게 된다. 이때 차분 영상의 차분 값은 +1 ~ -1 정도에 지나지 않는다. 본 결과는 이를 여러 장 더한 값에 일정한 수를 곱하여 과장시킨 것으로서 눈으로는 구별되지 않는다.

3.2 결과 분석

본 연구에서는 동영상에 워터마크를 삽입하고 검출하는 시스템의 개발에 대한 내용을 기술하였다. 동영상의 대상은 현재 방송 중인 HDTV의 국제표준인 MPEG-2 Codec에 대

해서 DCT coefficients 중 AC coefficients 의 특정 위치 데이터를 일정한 범위에 드는 후보군을 정해 이 범위에 드는 계수를 특정한 계수로 치환함으로써 워터마킹을 수행하였다. 이들 삽입 데이터에 대한 검출 결과는 두 가지 모드로 나타내었는데 가장 많이 사용하게 될 원본 디지털 영상에 대한 검출은 특정 위치의 slice에 대해 특정 범위의 계수 중 발생 빈도가 월등히 높은 slice를 검출하는 것으로 검출 빈도가 80% 이상이면 검출 된 것으로 판단한다. 이 실험에 대해 검출율은 약 99% 이상의 결과를 얻을 수 있었다.

또한 캡처에 의한 크기변환(resizing)이나 비트율을 낮추어 저장하는 공격 등에 대해서는 WM 영상을 원본 영상과 비교하여 차분을 구한 후 여러 장을 겹쳐서 검출하는 방식을 사용하여 공격 상황에 따라 다르지만 평균 85% ~ 99%의 검출율을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 MPEG이나 JPEG 등에서 사용하는 기본 기술인 DCT 계수를 이용하여 이들 계수의 일정 위치의 데이터의 일정 범위의 데이터를 임의의 계수로 치환시키는 방법으로 워터마크를 수행하여 삽입하고 검출하는 실험을 실시하였다. 디지털 원본 영상을 유통시켰을 경우 검출율은 99% 이상의 검출 결과를 얻을 수 있었으며 영상의 크기변화 공격이나 비트율 저하 공격 등에 대해서는 여러 장의 차분 영상을 겹치는 작업을 통해 최소 약 85%에서 최고 99%의 검출율을 얻을 수 있었다.

본 연구의 결과물은 동영상 콘텐츠의 보호 및 불법유통의 추적 장치의 개발로 확대 개발될 수 있으며 이를 위해 향후 더 많은 연구를 수행할 예정에 있다. 이를 토대로 기존의 DRM 장치나 기존 방송사들의 콘텐츠 보호 장치를 보완하거나 보강할 수 있는 장치의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

또한 본 연구 결과의 검출률을 향상시키거나 각종 공격에 대비한 강인성 보완 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 정재창 역, 최신 MPEG, 교보문고, 2004
 [2] 유시룡 외, MPEG 시스템, 브레인코리아, 2004
 [3] 이호석 외, 알기쉬운 MPEG-2, 홍릉과학출판사, 2003
 [4] Chun-Shien Lu, Multimedia Security: Steganography and Digital Watermarking Techniques for Protection of Intellectual Property, Idea Group Publishing, 2005
 [5] I.J. Cox, Joe Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Trans. Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec., 1997.
 [6] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling," Nonlinear Signal Processing Workshop, pp.460-463, 199[2] Clark, R. (2000). An introduction to JPEG 2000 and watermarking. IEE Seminar on Secure Images & Image Authentication, 3/1-3/6.

[7] 김현승 역, Ingermar J. Cox, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, 디지털 워터마킹, 도서출판 그린, 2005
 [8] 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.
 [9] 하인성, HVS 및 DWT 기반 고신뢰 디지털 영상 워터마킹, 경북대학교 대학원 박사학위논문, 2001년 6월.
 [10] William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell, JPEG: Still Image Data Compression Standard, 1993.

저 자 소 개



황 선 철 (黃 善 哲)

1965년 2월 15일생. 1999년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사). 1991년 ~ 1998년 LG전자. 1999년 ~ 현재 인덕대학 방송영상미디어과 부교수
 Tel : (02) 950-7444
 Fax: (02) 950-7459
 E-mail : sthwang@induk.ac.kr