

# 웨이브렛변환을 이용한 영상으로의 서명데이터 삽입

도재수\*

요약

본 논문에서는 영상을 다중 해상도로 표현하는 직교 웨이브렛변환에서, 비밀스럽게 서명데이터를 영상에 삽입하는 방법을 제안한다. 그 원리는, 영상의 다중해상도표현에 있어서 차분출력에 편중(집중)이 있음에 주목하여, 그 특징을 이용하여 서명비트계열을 화상에 삽입한다. 이 때,  $256 \times 256$  화소로 되는 농담화상으로 대략 6K바이트 정도의 문자정보를 합성할 수 있다. 이 방법은 영상의 저작권을 표시하는 서명데이터뿐만 아니라, 영상의 저자나 사용조건, 또는 영상 그 자체의 속성정보를 포함할 수 있어, 영상데이터베이스의 검색 등에 있어서도 유사영상의 식별을 용이하게 할 수 있는 등의 응용을 고려할 수 있다.

## Embedding a Signature to Pictures under Wavelet Transformation

Jae Su Do\*

### ABSTRACT

This paper is to suggest the method of embedding a signature to pictures secretly under the orthogonal wavelet transform which represents pictures as multi-resolution representations. As it is focused upon the differential output under the multi-resolution representation of pictures, this method can embed bit series to pictures. In doing so, it can compound approximately 6K byte of information with gray-level image  $256 \times 256$ . The method can include not only the database which designates copyright of pictures but also the author and usage of pictures, and the information of the picture itself. Therefore, this method can easily discriminate the inspection of picture database.

Key words : Multi-resolution Representation, Database, Wavelet Transformation

---

\* 동국대학교 컴퓨터·멀티미디어학과 교수

## 1. 서 론

최근, 인터넷 등을 이용하여 많은 영상이 복사 배포되고 있다. 이러한 영상의 대부분은 판권 등의 정보를 포함하지 않고, 복사 및 배포에 대하여 이용자의 양식에 맡겨진다. 자연영상에서는 촬영 장소와 일시, 조건, 촬영자 등의 속성이 중요하며, 더욱이, 인공영상에서는 그 저작자가 주목받는다. 이와 같이 영상에 관련된 속성정보는, 이미지파일과는 성질이 다른 영상으로 별도로 관리되는 경우가 많고, 더욱이 제 3자에 의하여 조작되지 않도록 보호하는 것도 필요하다.

그리하여, 만약 작성한 디지털 영상에, 그 관련 정보, 특히 저작권 보호를 위하여 필요한 서명 등의 자료를 비밀스럽게 삽입하여, 영상파일만으로 속성정보도 동시에 관리할 수 있는 방법이 있으면, 그 운용은 간단하고도 확실하게 된다[1]. 이와 같은 관점으로부터 종래의 연구를 조사하면, 이미 2, 3의 성과가 보고되어 있다[2].

예를 들면, 예측부호화법을 이용한 방법은, 자연영상의 디지털처리로 발생하는 양자화오차에 주목하여, 그 오차성분을 속성정보의 비트열로 제어하는 것으로, 비밀(concealed) 영상이라 불린다[3]. 이 방법에서는, 영상의 지정위치로부터 속성정보를 주사선에 따라 순차 삽입하기 때문에, 제 3자가 서명 데이터 등의 삽입위치를 쉽게 특정할 수 있는 약점이 있다. 또, 적응형 이산코사인변환(ADCT) 부호화 방식을 이용한 방법은 해상도가 거친 영상으로부터 정밀한 영상으로 계층적으로 전송하는 과정에 있어서, 변환계수의 양자화를 속성정보로 제어하고 있다[4]. 따라서 서명데이터를 삽입하는 계층수는 복잡하게 되지만, 그 계층에서는 역시 처음부터 삽입하지 않으면 안되는 제약이 있다.

이 논문에서는, 상기의 단점을 보완하고, 동시에 서명 등의 삽입장소의 특징을 피하기 위하여, 웨이브렛변환을 이용하는 하나의 방법을 제안한다. 먼저, 직교 웨이브렛변환으로 생성되는 영상의

3종류의 다중해상도표현(이것을 LH성분, HH성분, HL성분이라 부름)을 벡터(LH, HH, HL)로 나타내고, 변환출력을 분류한다. 그 분류특성을 이용하여 속성정보의 삽입위치를 가변형으로 확장하는 것을 시도한다. 또한 이 다중해상도표현은 계층성을 가지므로, ADCT부호화방식과 마찬가지로, 다계층에 걸쳐 삽입할 수가 있어, 그 위치에 다양성을 갖게 할 수 있다.

먼저, 제 2장에서는 이하의 기술에 필요한 웨이브렛변환의 개요와 그 특징을 논한다. 제 3장에서는 다치영상에 속성정보, 특히 서명 정보를 삽입하는 방법과, 그 복호법에 대하여 논한다. 제 4장에서는 표준영상에 대하여 실험결과를 보이고 삽입 가능한 데이터량과 화질열화에 대하여 검토한다.

## 2. 웨이브렛변환과 그 특성

이 논문을 기술하는데 필요한 범위에서 1차원 신호열에 대하여 웨이브렛변환의 개요를 논한다[5, 6].

먼저, 실축  $R$ 상에 정의된 가측함수로

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)|^2 dx < \infty \quad (1)$$

를 만족하는 전체  $L^2(R)$ 를 생각한다.  $L^2(R)$ 를 생성하는 파장은  $\pm\infty$ 에서 0으로 감쇠하는 것으로, 동시에 실용상 감쇠속도는 빠른 것이 좋다. 이 의미로  $L^2(R)$ 를 생성하는 작은 파를 웨이브렛(wavelet)이라 부른다. 기호  $Z$ 로 정수전체의 집합을 나타낸다. 웨이브렛  $\psi$ 로  $R$ 을 모두 커버하기 위해서는,  $\psi$ 에 대한 정수시프트  $\psi(x-k)$ ,  $k \in Z$ 를 생각한다. 더욱이 계산의 편의상, 이것을  $\psi(2^j x - k)$ ,  $j, k \in Z$ 형의 파라한다. 이것은 하나의 웨이브렛  $\psi(x)$ 를  $2^j$ 배의 확장과  $k/2$ 만큼만 2진 이동한 것이다.

그러면, 다중해상도표현을 정식화해보자. 먼저,  $\bigcup_i V_i = L^2(R)$ 에서 조밀하고, 동시에  $\bigcap_i V_i = \emptyset$ (공

집합)인 함수공간

$$\dots V_{-2} \supset V_{-1} \supset V_0 \supset V_1 \supset V_2 \dots \quad (2)$$

이 있어서, 만약  $g(x) \in V_i$ 이면,  $g(2^{-n}x) \in V_{i+n}$ 으로 된다고 한다. 이 공간열  $\{V_i\}$ 를 영상으로 선택하면  $i$ 가 증가하는 것에 따라,  $V_i$ 의 해상도는 반감되어 가므로, 다중해상도근사(multi-resolution approximation : MRA)라 부른다. 지금,  $V_0$ 상에서  $\psi(x) \in L^2(R)$ 의 놈(norm)이 1이면 함수

$$\psi_{n,m} = 2^{-n/2} \psi(x-m), \quad m \in Z \quad (3)$$

는,  $V_n$ 상에서 역시 직교기저를 이루는 웨이브렛함수이다.

다음으로,  $\{V_i\}$ 를 보완하는 공간열  $\{W_i\}$ 를 생각해보자. 즉  $W_i$ 는  $V_i \perp W_i$ 이고 그 직교합이

$$V_i \oplus W_i = V_{i-1} \quad i \in Z \quad (4)$$

로 되는 것으로 한다. 이 때  $g(x) \in W_i$ 이면,  $g(2^{-n}x) \in W_{i+n}$ 이 성립한다. 이와 같은  $\{W_i\}$ 를  $V_i$ 의 다중해상도표현(multi-resolution representation : MRR)이라 부른다. 이것은 영상의 라플라시안 피라미드에 대응한다. 식 (3)과 마찬가지로  $\{W_i\}$ 상에서

$$\varphi_{n,m} = 2^{-n/2} \varphi(x-m), \quad m \in Z \quad (5)$$

을 직교기저로 하는 웨이브렛함수를 선택할 수 있다.

이 논문에서는, 교환을 비교적 간단한 계산으로 행하는 직교웨이브렛으로서,

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{그 외} \end{cases} \quad (6)$$

및

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq x < 1 \\ 0 & \text{그 외} \end{cases} \quad (7)$$

을 선택한다. 이것을 Haar기저라 한다[6]. 이 때,

2차원 영상에 웨이브렛변환을 적용하면, (그림 1)과 같이 된다.  $4 \times 4$ 화소로 되는 원영상( $V_0$ )의 화소치를  $x_i (i=1, 2, \dots, 16)$ 로 (그림 1)(a)와 같이 표현한다. 먼저 횡방향에 오퍼레이터를 작용시키고, 다음에 종방향에 오퍼레이터를 작용시키면 같은 (그림 1)(b)로 된다. 16개의 화소치가 서로 조합되어, 다중해상도근사와 다중해상도표현을 나타내는 것을 알 수 있다. 특히, (그림 1)(b)의 결과를 LL, LH, HL, HH의 각 성분으로 구분하여, (그림 2)와 같이 보인다. LL1의 다중해상도근사의 부분은, 같은 수순으로 LL2, LH2, HH2로 분할된다. 그 조작은 LL부가  $1 \times 1$ 요소로 될 때까지 반복할 수 있다.

$$1 \times$$

x1	x2	x3	x4
x5	x6	x7	x8
x9	x10	x11	x12
x13	x14	x15	x16

(a) 원영상( $V_0$ )

$$\frac{1}{4} \times$$

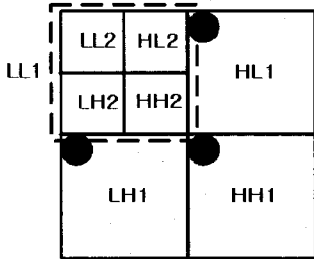
$x1+x2$ $+x3+x4$	$x5+x6$ $+x7+x8$	$x1-x2$ $+x3-x4$	$x5-x6$ $+x7-x8$
$x9+x10$ $+x11+x12$	$x13+x14$ $+x15+x16$	$x9-x10$ $+x11-x12$	$x13-x14$ $+x15-x16$
$x1+x2$ $-x3-x4$	$x5+x6$ $-x7-x8$	$x1-x2$ $-x3+x4$	$x5-x6$ $-x7+x8$
$x9+x10$ $-x11-x12$	$x13+x14$ $-x15-x16$	$x9-x10$ $-x11+x12$	$x13-x14$ $-x15+x16$

(b) 웨이브렛변환 결과

(그림 1) 2차원 웨이브렛변환

다중해상도표현(LH, HH, HL)에 대하여 살펴보면, (그림1)(a)의 원화소(1, 2, 3, 4)로부터 도출되는 LH1, HH1, HL1의 각 성분은 함께 각 영역의 같은 위치의 요소((그림 2)의 ●표)로 출력되는 것을 (그림 1)(b)로 명확하게 알 수 있다. 만약  $x1 =$

$x_2 = x_3 = x_4$ 가 성립한다면, 대응하는 {LH1, HH1, HL1}의 각 출력값은 모두 0이 된다. 이것은 원영상(a)의 좌상귀  $2 \times 2$ 화소에 휘도의 변화가 없고(즉 고주파성분이 없고), 직류성분만 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 웨이블렛변환출력의 각 성분은 원화소의 정보를 표현하고 있고, 서로 깊은 관련이 있으므로, 이것을 하나로 묶어 다중해상도표현(MRR)벡터라 부르고, (LH, HH, HL)으로 나타낸다. 이것은, 1회의 웨이블렛변환으로  $2 \times 2$ 화소로부터 추출한 중첩의 변화성분의 구성을 나타내고 있다. 따라서, 영상의 국소적 정보라고도 할 수 있다. 이 고찰은 벡터 (LH2, HH2, HL2)에 대해서도 마찬가지이고, 보다 광역( $4 \times 4$ 화소)의 영상신호의 변화성분을 표현하는 것이 된다.



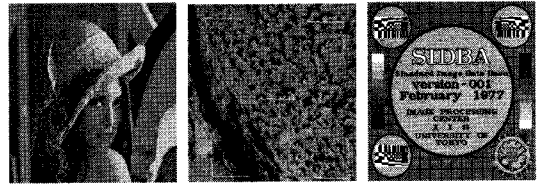
(그림 2) 웨이블렛계수의 계층표현

<표 1> MRR벡터의 분류

class	(LH	HH	HL)
0	(0	0	0)
1	(0	0	N)
2	(0	N	0)
3	(0	N	N)
4	(N	0	0)
5	(N	0	N)
6	(N	N	0)
7	(N	N	N)

이 논문에서는 변환계수를 보다 간단하게 취급하기 위하여, 정수화 처리를 행한다. 변환계수를 정수화하면 출력되는 계수값은 -511~+511의 범

위 내에 포함되는 정수가 된다. 그러므로 MRR벡터의 성분 내에서, 변환계수를 0과 0이 아닌 것으로 분류하면, MRR벡터는 <표 1>의 8종류의 형태로 분류된다. 이것을 클래스 0에서 클래스 7로 부른다. 단, 표중의 N은 0이 아님을 나타낸다.



(a) lena (b) cloud (c) title

(그림 3) 테스트영상

(그림 3)에 보이는 표준영상 데이터베이스 SIDBA의 제 3장의 그레이스케일영상( $256 \times 256$ 화소 256계조)에 전술한 웨이블렛변환을 적용하면, 벡터(LH1, HH1, HL1)의 출현빈도수는 <표 2>와 같이 된다. 이 결과와 (그림 3)의 원영상을 비교하면, lena에서는 자연영상에 가깝게 각 클래스모두 균형 있게 출현하지만, cloud에서는 클래스 7이 단연 많다. 이것은 영상에 복잡한 변화가 있음을 나타낸다. 이것에 대하여, title에서는 클래스 0이 돌출하고, 클래스 3, 5, 6이 0인 특이한 출현빈도수를 보인다. 이 결과로부터도 부자연스런 인공영상인 것을 이해할 수 있다.

<표 2> 각 클래스의 출현빈도수

class	lena	cloud	title
0	1284	189	11952
1	1419	537	1287
2	790	134	214
3	1448	858	0
4	1354	254	1305
5	2818	1217	0
6	1366	674	0
7	5905	12521	1626
total	16384	16384	16384

### 3. 기술정보의 합성법

다계조의 그레이스케일영상을 웨이브렛변환하면 MRA성분과 MRR성분으로 나눌 수 있다. 그리고 후자를  $2 \times 2$ 화소를 투영한 MRR벡터로서 표시했을 때, 벡터요소에 0의 존재 유무에 따라 8종류로 분류되어, 각각 영상의 변화성분에 대응하고 있는 것이 명백하게 되었다.

본 논문의 목적은, 영상 데이터에 비밀리에 서명정보 등을 삽입하는 것이다. 영상을 재현했을 때에, 서명이 노이즈로 되어서는 바람직하지 않으므로, 영상에 대한 인간의 시각특성을 교묘하게 이용하는 것이 필요하다. 일반적으로, 인간의 눈은 주파수성분이 높은 잡음에 대한 감도는 낮고, 평탄부분에서의 노이즈는 인지하기 쉽다. 특히 예지부에서의 잡음은 방해물이 되기가 어려운 특성이 있다. 그러므로 이 특성을 이용한 방법을 다음에 논한다.

이미 검토한 것과 같이 웨이브렛변환에 의한 출력중, MRR성분은 영상의 고주파성분에 상당하고, MRR벡터의 클래스로부터 대응하는 원영상의 휘도의 변화를 추정할 수 있다. 그 부분 화소의 나열에 의해 에지를 이루고 있는 경우가 많고, 그 변화는 인간의 눈에 인지되기 어려운 특징이 있다. 즉, MRR부분의 웨이브렛 변환계수에 있어서, 0이 아닌 계수치는 원영상에서는 에지 또는 어떠한 노이즈를 표현하는 것이 된다. 따라서 이 계수치가 조금 변화하였다고 하더라도, 재구성된 영상에서는 인간의 눈으로 알 수 있는 범위내의 화질 열화는 없다고 할 수 있다. 그러므로 이 영상변환의 기본적 성질을 이용하여, MRR벡터에 속성정보를 삽입하는 방법을 보인다.

전술의 고찰로부터, MRR벡터의 요소에 문자정보를 삽입하는 것은 좋은 방법은 아니다. 그러므로 0이 아닌 요소에 주목한다. 게다가, 0이 아닌 요소의 하위 비트로 한정하지 않으면, 허용오차의 범위를 넘어 화소간의 모순을 일으킨다. 그와 같은 과

대한 데이터치환은 복호시에 화질열화라는 희생을 가져온다. 따라서 영상데이터에 문자정보를 삽입하기 위해서는, MRR벡터의 0이 아닌(N)요소만을 대상으로 하여, 삽입비트수도 될 수 있는 한 최하위 비트(LSB)에 한정하는 것이 바람직하다.

먼저, 사용하는 MRR벡터의 클래스(c)와 하나의 성분당 삽입비트수(k)를 결정한다. 단, 클래스0은 제외한다. 또, 삽입비트수 k를 결정할 때에, 클래스에 의존하여, 그 출현빈도수가 다르므로 총 삽입가능 비트수의 상한에 주의한다. 다음으로, 삽입용의 서명 데이터를 비트열  $B = \{b_r | r=1, 2, \dots\}$ 로 준비한다. 이 데이터는 필요하면 암호화하여 두어도 좋다. 이러한 준비를 바탕으로 다음의 수순으로 합성한다.

#### [합성수순]

단계 1 : 웨이브렛변화 결과로부터 MRR벡터  $W = (w_1, w_2, w_3)$ 를 순차입력한다.

단계 2 :  $W$ 가 지정 클래스  $c$ 에 속하는지 여부를 조사한다. 속한다면 단계 3으로, 그렇지 않으면 단계 4로

단계 3 :  $i=1, 2, 3$ 에 대하여 다음의 조작을 한다.

(a) 만약  $w_i=0$ 이면 (e)로

(b)  $w_i$ 의 하위 k비트를 데이터  $b_r$ 의 k비트로 대체하여  $w_i'$ 로 한다.

(c) 만약  $w_i'=0$ 이면,  $w_i'$ 의 하위 (k+1)번째 비트를 1로 한다.

(d)  $w_i \leftarrow w_i'$

(e)  $i \leftarrow i+1$ 로 하여 (a)로

단계 4 : 벡터  $W$ 를 출력한다.

단계 5 : 상기의 단계 1~단계 4를 모든 MRR벡터에 적용한다.

이상의 수순으로 얻어진 웨이브렛변환 출력에는, 서명 등의 속성정보가 비트 분해된 형태로 삽입되어 있다. 게다가, 그러한 데이터는 특정의 클래스에 속하는 MRR벡터의 0이 아닌 요소에 한하여 분산

배치된다. 특히 단계 3의 (b)에 있어서,  $w_i \neq 0$ 임에도 불구하고 문자정보 k비트분의 교체에 의해 우연  $b_r=0$ 이기 때문에  $w'_i=0$ 으로 되는 경우가 있다. 그 경우에는, 벡터  $W$ 의 소속클래스가 변하고 만다. 그러면 복호시에 지정 클래스와 다르므로 삽입된  $b_r$  정보를 복원할 수 없는 경우가 있다. 그 경우, 삽입된 비트를 보존한 채로, 원래의 클래스로 돌아갈 필요가 있으므로, (c)와 같은 처리가 필요하다. 다음으로 복호수순을 정리하여 둔다.

[복호수순]

- 단계 1 : 웨이브렛변환 결과로부터 MRR벡터  $W = (w_1, w_2, w_3)$ 을 순차입력한다.
- 단계 2 :  $W$ 가 지정 클래스  $c$ 에 속하는지 여부를 조사한다. 만약 그 클래스에 속하면 단계 3으로, 속하지 않으면 단계 4로
- 단계 3 :  $i=1, 2, 3$ 에 대하여 다음의 조작을 한다.
  - (a)  $w_i=0$ 이면 (c)로
  - (b)  $w_i$ 의 하위 비트를  $b_r$  ( $r=1, 2, 3, \dots, k$ )에 복사한다.
  - (c)  $i \leftarrow i+1$ 로 하여 (a)로
- 단계 4 : 벡터  $W$ 를 출력한다.  $b_r$ 를 재편집하여  $B$ 에 격납한다.
- 단계 5 : 상기의 단계 1~4를 모든 MRR벡터에 적용한다.

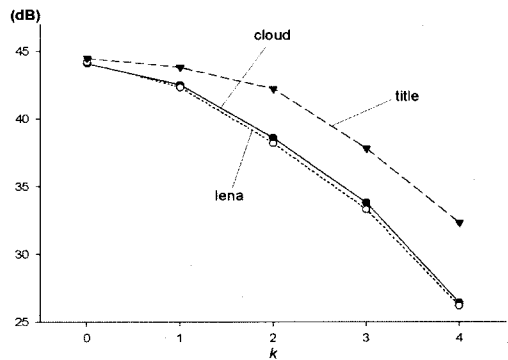
이 수순으로  $B$ 에 모인 비트열을 편집 출력한다. 만약  $B$ 의 데이터가 암호화되었다면, 키를 이용하여 복호하여 평문화하여 출력하면 된다.

4. 실험결과

Haar기저를 이용한 웨이브렛변환에 이 수순을 삽입하여, 각 종의 특성을 조사하였다. 고찰의 대상으로 영상데이터베이스(SIDBA)의 표준영상 lena, cloud, title을 이용하였다. 그 결과를 다음에

보인다.

먼저, MRR벡터의 요소당 삽입비트  $k$ 와 화질과의 관계를 (그림 5)에 보인다. <표 1>의 8종류의 클래스 중, 클래스 0을 제외하고 각 클래스의 0이 아닌 요소에 모두 균등하게 텍스트정보를 삽입한 결과이다. 이 그림으로부터 1비트 삽입하는 것으로 약 3~5dB의 화질열화가 생기는 것을 알 수 있다. 이 때, 모든 가능한 클래스에 텍스트정보를 삽입하기 위해, 각 영상은 최대 삽입 가능한 정보를 포함하고 있다. 그러나 통상 화질의 열화가 현저하므로 그와 같은 방법은 이용되지 않는다. 특히 서명정보 등은 비밀리에 기입하는 것이 관례이다. 그러므로 lena에 대하여 특정의 클래스에만 텍스트정보를 삽입한 결과에 대하여 그 화질을 조사하면 <표 3>과 같이 된다.



(그림 5) 삽입데이터와 화질의 관계

<표 3> 각 클래스의 화질평가

k	c=1	c=2	c=3	c=4	c=5	c=6	c=7
1	44.12	44.08	43.944	43.96	43.93	43.78	43.46
2	43.97	43.84	3.65	43.63	43.54	42.89	41.08
3	43.08	42.97	41.54	42.37	41.35	39.67	35.76
4	41.66	40.64	37.76	39.24	37.58	35.88	30.87

한편, 영상통신 등에 있어서는, 영상은 압축되어 전송된다. 웨이브렛변환을 이용한 압축방법은 표준화되어 있지 않지만, 변환계수가 0부근에 집

중하는 특성으로부터 계수치를 어느 정도 거칠게 양자화하여 효율이 좋은 압축부호화를 생각할 수도 있다. 그리하여 어떤 양자화폭으로 데이터를 압축하는 것을 생각해보자. 즉, 식 (8)에 의하여 변환계수를 4종류의 계수로 양자화한 후에 이 수법을 이용하여 정보를 삽입하여 보았다.

$$w_i \leftarrow \text{int}(w_i/q) \quad (8)$$

단, 식 (8)에서  $\text{int}(\cdot)$ 은 정수화 처리,  $q$ 는 양자화 스텝사이즈를 나타낸다.

이 결과를 <표 4> 및 <표 5>에 보인다. 이러한 결과로부터 판단하여 특정의 2, 3의 클래스에 문자정보를 삽입한 정도로는 복원영상에 두드러진 영향을 미치지 않는다는 것이 확인되었다. 또, 이 경우는 삽입가능한 문자의 최대량은  $q=1$ 에 있어서 약 6K바이트 정도이다.

<표 4> 삽입된 문자의 정보량( $k = 1$ )

$q$	lena	cloud	title
1	32242	43986	7684
2	20092	37890	7684
3	12465	32063	7684
4	8589	26042	7684

<표 5> 양자화가 화질에 미치는 영향

$k$	$q=1$	$q=2$	$q=3$	$q=4$
0	45.65	40.43	37.38	35.63
1	44.15	39.13	36.74	35.04
2	40.32	35.12	33.39	32.23
3	34.38	28.36	27.06	26.98

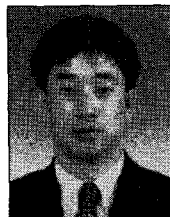
## 5. 결 론

본 논문에서는, 웨이브렛에 의한 다치영상을 변환할 때, 그 영상에 관련된 속성정보를 영상데이터에 삽입하는 방법을 제안하였다. 그 방법은 영상데이터와 문서데이터의 단순한 비트의 치환에

불과하지만 웨이브렛의 다중해상도표현에 있어서 국소적 특성을 교묘하게 사용하여 출력정보를 분류하여, 복호시의 혼란을 피하는 방안에 집중하였다. 본 방식은 이미 제안된 방법과 비교하여, 삽입데이터의 분산성, 비익성이 향상되고, 화질에도 큰 영향을 미치지 않는 특징을 갖고 있다. 이후, 보다 안정성의 강도를 높여, 인증기능을 부여하는 등 그 응용에 대하여 검토할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 坂内正夫, 大澤 裕, “畫像データベース”, 第1章, 昭莖堂, 1987.
- [2] 松井甲子雄, “畫像深層暗號”, 第 5章, 森北出版, 1993.
- [3] 小松尙久, 富永英義, “文書畫像通信におけるデジタル透かしの提案と署名への應用”, 信學論(B-I), Vol. J72-B-I, No. 3, pp. 208-218, March 1989.
- [4] 片岡利幸, 田中 清, 中村康弘, 松井甲子雄, “適應型離散コサイン變換符號化におけるカラー畫像への記述情報埋め込み”, 信學論(B-I), Vol. J72-B-I, No. 12, pp. 1210-1216, Dec. 1989.
- [5] C. K. CHui(櫻井, 新井 譯), “ウェーブレット入門”, 東京轉機大學出版局, 1993.
- [6] 太田 睦, “畫像符號化における直交ウェーブレット”, 數理科學, No. 354, pp. 24-30, Dec. 1992.



### 도 재 수

1991년 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 북해도대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1997년 북해도대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1997년~현재 동국대학교 컴퓨터·멀티미디어 학과 부교수

관심분야: 영상신호처리, 영상압축, 웨이브렛변환