

# 웨이블릿 계수차분의 히스토그램을 이용한 무손실 정보은닉

## Reversible Data Hiding Using Histogram of Wavelet Coefficients' difference

정철호\* · 엄일규\*\* · 김유신\*  
Cheol Ho Jeong, Il Kyu Eom and Yoo Shin Kim

\* 부산대학교 전자공학과  
\*\* 밀양대학교 정보통신공학부

### 요 약

무손실 정보은닉은 추출과정에서 원본 영상으로의 완벽한 복원이 가능하도록 정보를 삽입하는 기술이다. 본 논문에서는 영상에서의 회복적인 무손실 정보은닉 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 히스토그램 수정을 Haar 웨이블릿 계수차분에 적용한 방법으로, 두 단계 삽입과정으로 나누어진다. 1차 삽입과정에서 웨이블릿 계수차분 히스토그램의 수정으로 인해 발생하는 왜곡은 2차 삽입과정을 통해 보상된다. 이러한 회복적인 특성은 실험을 통해 영상의 왜곡을 줄여주는 동시에 높은 삽입용량으로 나타난다.

**Key Words** : 무손실 정보은닉, 웨이블릿, 히스토그램 수정, 워터마킹

### 1. 서 론

정보은닉은 디지털 콘텐츠에 정보를 삽입하는 기술이다. 정보은닉 분야 중 의료영상, 군사영상, 법적영상과 같이 삽입 왜곡은 허용이 되지만 삽입된 정보를 제거한 후, 원본 콘텐츠의 왜곡은 허용되지 않는 분야가 있다. 이런 경우들은 원본 콘텐츠로의 완벽한 회복이 가능해야 하는 데 이때 사용하는 기술이 무손실 정보은닉 알고리즘이다. 무손실 정보은닉 알고리즘은 삽입 후 왜곡을 최소화하는 동시에 삽입할 수 있는 정보량을 극대화하는 것을 목표로 한다.

최근 무손실 정보은닉을 위한 여러 방법들이 제안되었다. 영상영역의 그룹화를 이용한 방법[1], LSB 정보은닉을 일반화 시킨 Lossless G-LSB 정보은닉 알고리즘[2], 화소간의 차분을 확대시킨 Difference Expansion 방법[3] 등이 대표적인 알고리즘들로 비교적 높은 삽입용량과 PSNR을 얻을 수 있다.

Ni는 히스토그램의 수정을 통해서 정보삽입을 위한 공간을 만들고 빈 공간에 정보삽입을 하는 방법[4]을 제안 했는데 비교적 우수한 성능을 보여주었다. 후에 이 방법을 차분영상에서 적용하여 더욱 높은 성능을 가진 알고리즘[5]이 제안되었다. 이 방법은 정보삽입량 대 왜곡의 측면에서 좋은 특성을 보이지만, 정보삽입량이 유연하지 못하고 낮은 정보삽입량에 대해서는 다소 많은 왜곡을 일으키는 단점이 있다.

본 논문에서는 히스토그램의 수정을 통한 정보삽입 알고리즘을 Haar 웨이블릿 영역에서 적용하였다. 제안 방법은 삽입용량 조절이 유연하고 다양한 정보 삽입량에 대해 우수한 성능을 보인다. 제안 알고리즘은 기존 알고리즘과는 달리 1, 2차 삽입과정으로 나누어 정보를 삽입한다. 2차 삽입과정은 1차 삽입과정에서 생긴 왜곡을 보상하도록 정보를 삽입하기 때문에 정보삽입량은 높아지지만 PSNR은 오히려 높아지는 회복적 특성을 보인다.

2장에서는 Haar 웨이블릿 변환을 살펴보고, 3장에서는

제안한 두 단계 정보삽입 알고리즘에 대해서 살펴본다. 4장에서는 제안 알고리즘에 대한 실험 방법과 결과를 기술하고, 5장에서 그 결과에 대한 해석이 이루어진다.

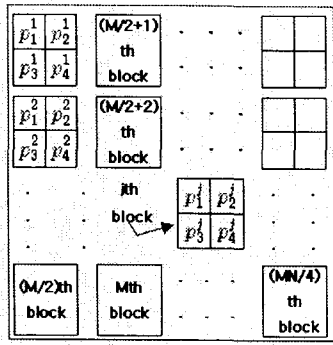
### 2. Haar 웨이블릿 변환과 계수차분

Haar 웨이블릿 계수와 화소값간의 관계를 알아보자.  $M \times N$  크기의 그레이스케일 영상은  $I(i, j)$ 로 표현되고, 화소들은  $2 \times 2$  크기의 block으로 나뉘인다. 따라서 영상은 그림 1처럼  $(M \times N / 4)$  개의 block으로 구성되고, 이때 화소값과 웨이블릿 계수값과의 관계는 다음과 같다.

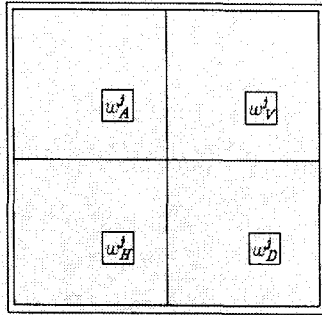
$$\begin{aligned}
 w_A^j &= \frac{1}{2}(p_1^j + p_2^j + p_3^j + p_4^j) & w_H^j &= \frac{1}{2}(p_1^j + p_2^j - p_3^j - p_4^j) \\
 w_V^j &= \frac{1}{2}(p_1^j - p_2^j + p_3^j - p_4^j) & w_D^j &= \frac{1}{2}(p_1^j - p_2^j - p_3^j + p_4^j) \\
 p_1^j &= \frac{1}{2}(w_A^j + w_V^j + w_H^j + w_D^j) & p_3^j &= \frac{1}{2}(w_A^j + w_V^j - w_H^j - w_D^j) \\
 p_2^j &= \frac{1}{2}(w_A^j - w_V^j + w_H^j - w_D^j) & p_4^j &= \frac{1}{2}(w_A^j - w_V^j - w_H^j + w_D^j)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

각 밴드에서의 계수차분은 행 또는 열 방향에 대한 이웃한 계수값과의 차이로 정의되어진다. 열 방향의 계수차분을 기준으로 볼 때, 그림 1에서 두 block 단위로 계수차분이 하나 만들어지고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 D_A^j &= w_A^{j-1} - w_A^j \\
 D_V^j &= w_V^{j-1} - w_V^j \\
 D_H^j &= w_H^{j-1} - w_H^j \\
 D_D^j &= w_D^{j-1} - w_D^j
 \end{aligned}
 \tag{2}$$



(a) 공간영역에서의 영상



(b) 웨이블릿 변환된 영상

그림 1. 공간영역과 웨이블릿영역에서의 영상

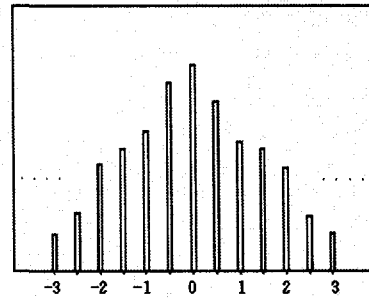
을  $w_D^j$  라 두고,  $K$  크기의 삽입될 랜덤 bit 열을  $B(k)$  로 표현하면, 식 (3)와 같이 삽입과정이 표현된다.

$$(w_H^{(2j-1)'}, w_D^{(2j-1)'}) = \begin{cases} (w_H^{2j-1}-1, w_D^{2j-1}-1) & , \text{ if } D_H^j \in S_{--} \\ (w_H^{2j-1}-B(k), w_D^{2j-1}-B(k)) & , \text{ if } D_H^j \in S_- \\ (w_H^{2j-1}, w_D^{2j-1}) & , \text{ if } D_H^j \in S_0 \\ (w_H^{2j-1}+B(k), w_D^{2j-1}+B(k)) & , \text{ if } D_H^j \in S_+ \\ (w_H^{2j-1}+1, w_D^{2j-1}+1) & , \text{ if } D_H^j \in S_{++} \end{cases} \quad (4)$$

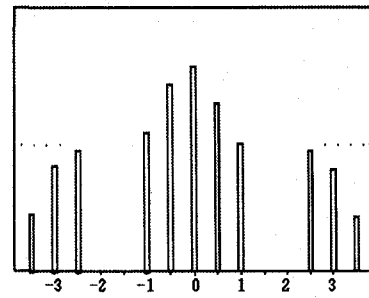
두 block마다 하나씩 나오는  $D_H^j$ 을 열 방향 스캔해 나가면서 식 (4)의 과정을 거치게 되고, 그 결과의 히스토그램 변형은 그림 2와 같다.

### 2. 2차 정보삽입과정

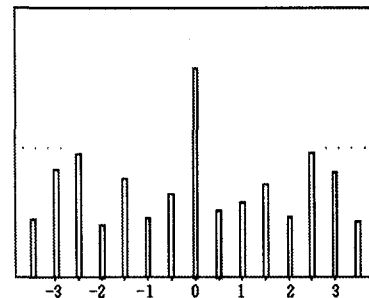
1차 삽입과정이 끝난 영상을 공간영역에서 살펴보면, 그 변화는 규칙을 띤다. 8화소 마다 2개의 화소값이 변화가 되었고, 다음 식 (5)와 같이 변화된 것을 알 수 있다.



(a) 원 영상의 웨이블릿 계수 히스토그램



(b) 이동된 웨이블릿 계수 히스토그램



(c) 결과 영상의 웨이블릿 계수 히스토그램

그림 2. 히스토그램 변형과정

## 3. 제안방법

### 3.1 1차 정보삽입과정

기존의 히스토그램 수정을 이용한 삽입방법과는 달리 Haar 웨이블릿 계수차분의 히스토그램을 이용한 방법에서는 두 밴드를 한 쌍으로 계수 수정을 하고, 히스토그램의 이동 또한 2칸씩 이동한다. 그 이유는 식 (1)에서 나타나듯이 역변환에서의 화소값 변화가 정수단위가 되게 하기 위해서이다.  $N_{min}$ 과  $N_{max}$ 를 각각 웨이블릿 계수차분의 최소값과 최대값이라 하면  $j$ 번째 block의 A, V, H, D 밴드 계수차분  $D_A^j, D_V^j, D_H^j, D_D^j$ 가 가질 수 있는 값들은 다음과 같은 범위  $S_{--}, S_-, S_0, S_+, S_{++}$ 로 나눌 수 있다.

$$\begin{aligned} w^j &\in \left\{ \frac{2N_{min}}{2}, \frac{2N_{min}+1}{2}, \dots, \frac{2N_{max}-1}{2}, \frac{2N_{max}}{2} \right\} \\ S_{--} &= \left\{ \frac{2N_{min}}{2}, \frac{2N_{min}+1}{2}, \dots, -\frac{4}{2}, -\frac{3}{2} \right\} \\ S_- &= \left\{ -\frac{2}{2}, -\frac{1}{2} \right\} \\ S_0 &= \{0\} \\ S_+ &= \left\{ \frac{1}{2}, \frac{2}{2} \right\} \\ S_{++} &= \left\{ \frac{3}{2}, \frac{4}{2}, \dots, \frac{2N_{max}-1}{2}, \frac{2N_{max}}{2} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

H밴드에서의 열 방향 1차 삽입 알고리즘에서 정보삽입에 이용하는 계수값은  $S_-, S_+$ 에 속한 값이고, H밴드에서의 계수 수정은 D밴드의 계수와 쌍으로 계수 수정이 이루어진다. 삽입된 영상의 H밴드 계수값을  $w_H^j$ , D밴드 계수값

$$\begin{aligned}
 & (p_1^{(2j-1)'}, p_3^{(2j-1)'}) \\
 & = \begin{cases} (p_1^{2j-1}-1, p_3^{2j-1}-1) \\ \quad , \text{if } D_H^j \in S_{--}, \text{or } (D_H^j \in S_{-} \text{ and } B(k) = 1) \\ (p_1^{2j-1}, p_3^{2j-1}) \\ \quad , \text{if } D_H^j \in S_0, \text{or } (D_H^j \in S_{-}, S_{+} \text{ and } B(k) = 0) \\ (p_1^{2j-1}+1, p_3^{2j-1}+1) \\ \quad , \text{if } D_H^j \in S_{++}, \text{or } (D_H^j \in S_{+} \text{ and } B(k) = 1) \end{cases} \quad (5) \\
 & (p_2^{(2j-1)'}, p_4^{(2j-1)'}, p_1^{(2j)'}, p_2^{(2j)'}, p_3^{(2j)'}, p_4^{(2j)'}) \\
 & = (p_2^{2j-1}, p_4^{2j-1}, p_1^{2j}, p_2^{2j}, p_3^{2j}, p_4^{2j})
 \end{aligned}$$

이 관계를 이용해서 2차 정보삽입을 한다. 먼저, 1차 삽입결과의 영상에서 홀수번째 block의  $p_1$ 과  $p_3$ 의 값을 바꾼 영상  $p_1^{j''}, p_2^{j''}, p_3^{j''}, p_4^{j''}$ 을 생성하고, 그에 따른 웨이블릿 계수값을  $w_A^{j''}, w_V^{j''}, w_H^{j''}, w_D^{j''}$ 로 두면 웨이블릿 계수차분  $D_A^{j''}, D_V^{j''}, D_H^{j''}, D_D^{j''}$ 이 앞에서와 같은 방법으로 생성된다. 이 상태의 영상에서 1차 삽입방법과 같은 방법으로 H밴드를 기준으로 D밴드를 쌍으로 계수수정하며 2차 삽입을 하되 H밴드의 계수가 D밴드의 계수와 부호가 반대인 경우에만 삽입 알고리즘을 적용시키면 1차 삽입 결과의 왜곡을 줄일 수 있다. 2차 삽입후의 화소값을  $p_1^{j'''}, p_2^{j'''}, p_3^{j'''}, p_4^{j'''}$ 로 두고, 그에 따른 웨이블릿 계수값을  $w_A^{j'''}, w_V^{j'''}, w_H^{j'''}, w_D^{j'''}$ 로 두면 2차 삽입과정은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 & (w_H^{(2j-1)'''}, w_D^{(2j-1)'''}) = \\
 & \begin{cases} (w_H^{(2j-1)''}-1, w_D^{(2j-1)''}-1), \text{if } D_H^{j''} \in S_{--} \text{ and } D_H^{j''} \in S_{++} \\ (w_H^{(2j-1)''}-B(k), w_D^{(2j-1)''}-B(k)), \text{if } D_H^{j''} \in S_{-} \text{ and } D_H^{j''} \in S_{++} \\ (w_H^{(2j-1)''}, w_D^{(2j-1)''}), \text{otherwise} \\ (w_H^{(2j-1)''}+B(k), w_D^{(2j-1)''}+B(k)), \text{if } D_H^{j''} \in S_{+} \text{ and } D_H^{j''} \in S_{--} \\ (w_H^{(2j-1)''}+1, w_D^{(2j-1)''}+1), \text{if } D_H^{j''} \in S_{++} \text{ and } D_H^{j''} \in S_{-} \end{cases} \quad (6)
 \end{aligned}$$

두 block마다 하나씩 나오는  $D_H^{j''}$ 을 스캔해 나가면서 식 (6)의 과정을 거치게 된다. 그 결과로  $(w_H^{j'''}, w_D^{j'''}) \neq (w_H^{j''}, w_D^{j''})$ 인 위치에서  $(p_1^{j'''}, p_3^{j'''}) = (p_3^{j''}, p_1^{j''})$ 이 되어, 다시  $p_1$ 과  $p_3$ 의 값을 바꾼 영상을 생성하면 원본영상의 화소값과 같아지는, 회복적인 삽입 알고리즘이라고 할 수 있다.

최종결과영상의 화소값을  $p_1^{j''''}, p_2^{j''''}, p_3^{j''''}, p_4^{j''''}$ 로 두고, 그에 따른 웨이블릿 계수값을  $w_A^{j''''}, w_V^{j''''}, w_H^{j''''}, w_D^{j''''}$ 로 두면, 그에 따른  $D_H^{j''''}$ 가 최종결과영상의 계수차분이 된다.

여기서 완벽한 추출을 위해  $D_H^{j''''}$ 에서 값이 수정되어 중첩되는 부분에 대한 정보가 필요하다. 중첩이 되는 부분은 히스토그램 이동과정에서 다음의 영역이다.

$$\begin{aligned}
 & D_H^{j''''} \geq 2.5 \text{ and } D_H^{j''''} = -0.5, -1.0 \quad (7) \\
 & D_H^{j''''} \leq -2.5 \text{ and } D_H^{j''''} = 0.5, 1.0
 \end{aligned}$$

그리고 히스토그램 수정과정에서 다음의 영역에서도 중첩이 일어난다.

$$\begin{aligned}
 & D_H^{j''''} = 1.5, 2.0 \text{ and } D_H^{j''''} = -0.5, -1.0 \quad (8) \\
 & D_H^{j''''} = -1.5, -2.0 \text{ and } D_H^{j''''} = 0.5, 1.0
 \end{aligned}$$

$D_H^{j''''}$ 가 집합  $S_{-}$  혹은  $S_{+}$ 에 속할 경우  $D_H^{j''}$ 가 같은



(a) 원본 lena 영상 (b) 결과 lena 영상  
 그림 3. 원본영상과 삽입결과영상의 비교

집합에 속해 있었으면 0을 할당하고, 아닌 경우는 1을 할당하는 방식으로 비트열을 만들어 삽입될 정보에 부가정보로 붙이면 추출과정에서 완벽한 추출이 가능하다.

4. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘은 정보삽입량이 각 단계별로 다양하고, 삽입되는 정보의 내용에 따라 PSNR 값이 차이가 있을 수 있으므로, 각 단계마다 삽입할 수 있는 최대의 수용량을 삽입하였고 삽입되는 정보는 랜덤 이진 비트열을 삽입했다.

제안된 무손실 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위해 512X512X8 크기의 영상을 사용하였다. 3장에서 설명한 1,2차 삽입 알고리즘이 H, V, D 세 밴드마다 4(행 혹은 열)을 바꿔가며 적용 가능하므로 총 24단계의 삽입 과정을 실행할 수 있다.

표 1은 실험에 사용된 512X512X8 Lena 영상에 대한 정보삽입 결과이다. D 밴드를 기준으로 H밴드와 쌍으로 정보를 삽입을 하였고, 네 열에 대해 모두 제안방법을 적용하였다. 표 1에서 평균적인 결과를 나타내는 lena 영상에 대해 살펴보면 27558비트(0.105 bpp)를 삽입한 경우에 52.20dB의 높은 PSNR을 가진다. 이는 RS, DE, GLSB 삽입방법이 같은 bpp에 대해 결과치가 45dB를 넘지 못하는 것과 비교해보면 상당히 높은 결과이다.

원본 Lena 영상과 D밴드까지의 삽입과정을 마친 영상을 그림 3에 나타내었다. 27558비트가 삽입이 되었지만 원본 영상과 비교해 PSNR수치가 52dB이상으로 주관적 화질이 전혀 차이가 없음을 볼 수 있다.

그리고 삽입과정 중에 2차 삽입과정을 보면, 정보가 삽입

표 1. Lena 영상에 대한 D밴드로의 삽입결과

D밴드삽입방향		PSNR(dB)	누적삽입량(bits)
1열	1차	54.96	6726
	2차	57.67	7935
2열	1차	53.07	14344
	2차	54.90	15393
3열	1차	51.82	20601
	2차	53.37	21666
4열	1차	50.99	25959
	2차	52.20	27558

이 되되, 오히려 PSNR이 높아지는 회복적 알고리즘의 특성이 나타난다. 표 2에 7가지 512 X 512 크기의 영상에 대한 2차 삽입과정을 통해 회복되는 화소값의 회복률을 구해놓았다. 평균 56.58%의 화소값 회복률을 얻을 수 있고, 이것이 2차 삽입과정에서의 PSNR회복으로 나타난다.

그림 4에서 제안된 방법과 GLSB방법, Tian의 방법의 성능을 비교해 놓았다. 제안 알고리즘은 D, H, V밴드 순서대로 삽입을 하였고, D밴드는 열 방향, V밴드는 행 방향으로 계수차분을 적용하여 24단계삽입을 한 결과이다. 그림에서 보듯이 낮은 bpp에서부터 높은 bpp 전반에서 기존의 방법보다 높은 삽입용량 대 PSNR 성능을 보이고 있다.

### 5. 결론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 영상의 웨이블릿 계수차분 히스토그램의 특성을 이용한 무손실 정보 은닉 알고리즘으로 많은 정보량을 단계적으로 수용 가능하여 넓은 삽입용량대역에 대해 적용이 가능하다.

또한 각각의 단계에서 일정 수준의 PSNR값을 보장하는 신뢰성 있는 정보삽입 알고리즘이다. 특히 낮은 삽입용량대역에서 우수한 성능을 보여준다.

왜곡된 화소값의 회복이 가능한 알고리즘으로 이러한 회복특성으로 인해 이전의 방법들과 비교하여 볼 때, 삽입용량 대 PSNR 측면에서 뛰어난 성능을 가지고 있다.

본 논문에서 제안한 회복적 삽입 단계의 개념은 다른 대수적 관계에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다. Haar 웨이블릿 계수는 간단한 대수적 관계를 가지므로 계수간의 차분 관계뿐만 아니라 계수 그룹간의 다른 관계에 대한 연구가 이루어질 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Fridrich, J., Goljan, M., and Du, R, "Lossless data embedding - New paradigm in digital watermarking," EURASIP J. Appl. Signal Processing (Special Issue on Emerging Applications of Multimedia Data Hiding), 2 (2002), 185~196.

[2] Celik, M. U., Sharma, G., Tekalp, A. M., and Saber, E, "Lossless generalized-LSB data embedding," submitted to IEEE Trans. Image Proc., 2003.

[3] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology 13, 8 (August 2003), 890-896.

[4] Z. Ni, YQ Shi, N. Ansari and W. Su, "Reversible Data Hiding," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Bangkok, Thailand, May 2003.

[5] Sang-Kwang Lee, Young-Ho Suh, Yo-Sung Ho, "Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images," PCM (3) 2004: 340-347

[6] L. Kamstra, H.J.A.M. Heijmans, "Wavelet Techniques for Reversible Data Embedding into Images," 2004, PNA-R0402, ISSN 1386-3711

[7] M. Awrangjeb and M. S. Kankanhalli, "Lossless Watermarking Considering the Human Visual System," IWDW 2003, LNCS2939, pp. 581-592, 2004

[8] C. W. Honsinger, P. Jones, M. Rabbani, and J. C. Stoffel, "Lossless recovery of an original image containing embedded data," US Patent application, Docket No: 77102E-D (1999).

[9] X. Wu, "Lossless compression of continuous-tone images via context selection, quantization, and modelling," IEEE Trans. on Image Proc., vol. 6, no. 5, pp. 656-664, May 1997.

[10] Y. Q. Shi, Z. Ni, D. Zou, C. Liang and G. Xuan, "Lossless data hiding: Fundamentals, algorithms and applications," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS04), vol. II, pp. 33-36, Vancouver, Canada, May 2004.

표 2. 화소값 회복률

	변화된 화소쌍	회복된 화소쌍	회복률
Lena	24803	13621	54.92%
Airplane	20340	9974	49.04%
Peppers	24529	14931	60.87%
Tiffany	22772	12259	53.83%
Barbara	25897	16273	62.88%
Couple	25049	13570	54.17%
Zelda	22151	13361	60.32%

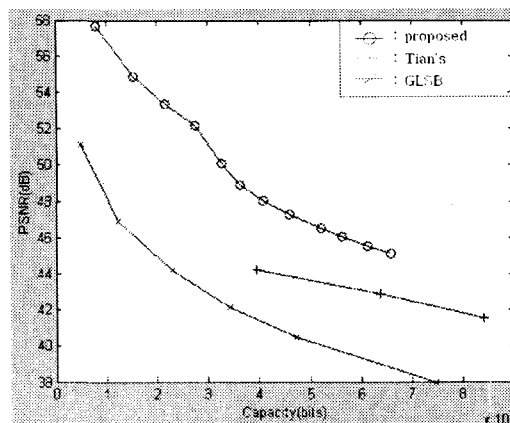


그림 4. GLSB, Tian의 방법과 성능비교