

DWTHE: 분할 기반의 히스토그램 평활화 (DWTHE: Decomposable Weighted and Thresholded Histogram Equalization)

김 매 리 [†] 정 민 교 ^{**}
(Mary Kim) (Min Gyo Chung)

요약 본 논문은 Wang-Ward의 WTHE(Weighted and Thresholded Histogram Equalization) 방법에 히스토그램 분할 개념을 적용한 새로운 영상 화질 개선 방법(DWTHE: Decomposable WTHE)을 제안한다. DWTHE는 먼저 영상의 평균 밝기 값 또는 명도 균등 분할점을 기준으로 입력 히스토그램의 영역을 분할하고, 분할된 각 영역의 확률밀도 값을 가중치로 사용하여 새로운 히스토그램을 만든 후, 히스토그램 평활화 과정을 수행하게 된다. 하나의 가중치를 사용하는 WTHE 방법과 다르게, 제안 방법은 히스토그램 분할로 인한 복수의 가중치 값을 사용하게 되며, 실험 결과 제안 방법은 기존 방법에 비해 우수한 화질 개선 효과를 보여주었다.

키워드 : WTHE, 히스토그램 평활화, 가중치, 히스토그램 분할.

Abstract Wang and Ward developed an image contrast enhancement method called WTHE (Weighted and Thresholded Histogram Equalization). In this paper, we propose an improved variant of WTHE called DWTHE(Decomposable WTHE) that enhances WTHE

· 본 연구는 2009학년도 서울여자대학교 교내학술특별연구비의 지원을 받았음

· 본 논문은 2008년 한국컴퓨터종합학술대회에서 발표한 "Mean separate를 이용한 영역별 WTHE" 논문을 확장하여 작성하였고, 2008년 IEEE Transactions on Consumer Electronics에 게재된 "Recursively separated and weighted histogram equalization for brightness preservation and contrast enhancement" 논문에 기반하고 있음

[†] 학생회원 : 서울여자대학교 컴퓨터학과
hub0506@swu.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 서울여자대학교 미디어학부 교수
mchung@swu.ac.kr

논문접수 : 2008년 8월 27일
심사완료 : 2009년 9월 26일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제11호(2009.11)

through the use of histogram decomposition. Specifically, DWTHE divides an input histogram by using image's mean brightness or equally-spaced brightness points, computes a probability value for each sub-histogram, modifies the sub-histograms by using those probability values as weights, and then performs histogram equalization on the modified input histogram. As opposed to WTHE that uses a single weight, DWTHE uses multiple weights derived from histogram decomposition. Experimental results show that the proposed method outperforms the previous histogram equalization based methods.

Key words : WTHE, Histogram Equalization, Weight, Histogram Decomposition

1. 서론

히스토그램 평활화는 히스토그램을 이용한 화질 향상 방법 중에서 가장 대표적인 방법이다. 그러나 이 방법은 변환 후 영상의 밝기 값이 과도하게 변하기 때문에, 특정 명암도의 발생 확률이 현저하게 높거나 낮은 영상에서는 오히려 화질이 떨어지는 결과를 초래하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 BBHE(Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization)[1], DSIHE(Dualistic Sub-Image Histogram Equalization) [2], RMSHE(Recursive Mean-Separate Histogram Equalization)[3], RSIHE(Recursive Sub-Image Histogram Equalization)[4], WTHE(Weighted and Thresholded Histogram Equalization)[5] 등과 같은 다양한 방법들이 연구되었다.

이중에서 WTHE는 Wang-Ward에 의하여 가장 최근에 제안된 방법으로서, 입력 영상의 히스토그램에 가중치와 임계값을 적용하여 영상의 화질을 개선하는 방법이다. WTHE 방법에서의 화질 개선 효과는 특히 가중치 인자에 의존하게 되는데, 하나의 가중치만을 사용하는 것 보다는 여러 개의 가중치를 이용하면 영상의 화질 개선 효과가 더 클 것이라는 발상에 착안하여, WTHE를 개선하는 새로운 방법을 생각하게 되었다. 본 논문에서는 복수 개의 가중치 값을 얻기 위하여, 입력 히스토그램을 여러 개의 작은 서브히스토그램으로 분할하였고, 그래서 제안하는 방법의 이름도 DWTHE(Decomposable WTHE)로 명명하였다. 히스토그램 분할은 다양한 방법으로 이루어 질 수 있으나, 본 논문에서는 2 가지 분할 방법, 즉 영상의 평균 밝기값에 의한 분할과 명도 균등 분할점에 의한 분할을 고려한다.

제안 방법은 먼저 영상의 평균밝기 값 또는 명도 균등 분할점을 기준으로 히스토그램의 영역을 분할하고, 분할된 각 영역의 확률밀도 값을 가중치로 사용하여 새

로운 히스토그램을 만든 후, 히스토그램 평활화 과정을 수행하게 된다. 실험 결과, 제안 방법은 분할 영역별로 적절한 가중치 값들을 제공함으로써 기존 방법들에 비해 화질 개선 효과가 우수한 것으로 나타났다.

2. WTHe

WTHe 방법은 입력 영상의 히스토그램을 가중치와 임계값을 적용하여 변형한 후, 히스토그램 평활화 방법을 수행하여 화질을 개선하는 방법이다. 그림 1은 WTHe 방법의 히스토그램 변형 과정을 나타내며, 여기서 $P(k)$ 는 입력영상의 히스토그램 또는 확률밀도함수(PDF)를 나타내며, $P_{wt}(k)$ 는 가중치와 임계값이 적용되어 변형된 히스토그램 또는 PDF를 나타낸다.

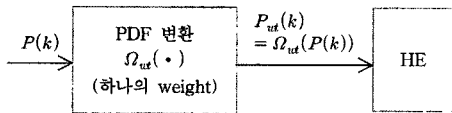


그림 1 WTHe의 수행 과정

$\Omega_{wt}(\cdot)$ 는 원본 히스토그램 $P(k)$ 를 $P_{wt}(k)$ 로 변환하는 변환함수이며, 식 (1), (2), (3)과 같이 정의한다.

$$P_{wt}(k) = \Omega_{wt}(P(k))$$

$$= \begin{cases} P_u, & \text{if } P(k) > P_u \\ \left(\frac{P(k) - P_l}{P_u - P_l}\right)^r * P_u, & \text{if } P_l \leq P(k) \leq P_u \\ 0, & \text{if } P(k) < P_l \end{cases}$$

위 식에서 P_u 와 P_l 는 모든 $P_{wt}(k)$ 값들을 0과 P_u 사이의 값으로 제한하는 임계값이며, P_u 와 P_l 사이의 $P(k)$ 값들은 r 에 의해 식 (2)와 같이 변환된다. 여기서 r 은 WTHe 방법의 파라메타 중의 하나인 가중치 값으로서, $r < 1$ 일 때 높은 확률값 보다 낮은 확률값에 큰 가중치를 주어 낮은 확률값을 갖는 화소들을 보호하는 역할을 한다. 일반적으로 P_l 은 아주 작은 임의의 값으로 설정하고, P_u 는 식 (4)와 같이 최대 확률값 P_{max} 와 v ($0 < v \leq 1$)를 사용하여 계산된다.

$$P_u = v * P_{max} \quad (0 < v \leq 1) \quad (4)$$

이렇게 변환 함수 $\Omega_{wt}(\cdot)$ 에 의하여 변형된 히스토그램 $P_{wt}(k)$ 에 히스토그램 평활화 과정을 수행하면 WTHe 방법에 의한 출력영상을 얻게 된다.

3. 분할기반 WTHe(DWTHe)

WTHe 방법은 영상 전체를 하나의 균일한 가중치 값을 사용하여 변환한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 DWTHe

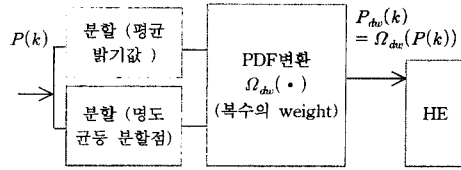


그림 2 제안 방법의 수행 과정

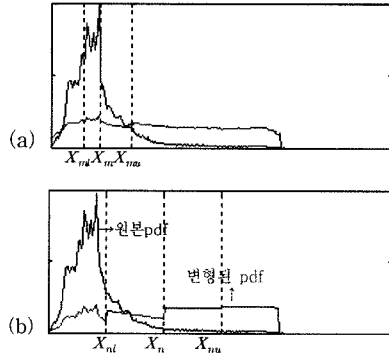


그림 3 히스토그램 분할로 변형된 히스토그램: (a) 평균 밝기값에 의한 4영역 분할, (b) 명도 균등 분할점에 의한 4영역 분할

방법은 히스토그램 분할을 통하여 얻어진 하나 이상의 가중치를 사용하여 영상의 화질을 개선한다. DWTHe 방법은 다시 히스토그램 분할 방식에 따라, DWTHe_m (평균 밝기값에 의한 분할) 방법과 DWTHe_n (명도 균등 분할점에 의한 분할) 방법으로 구분한다(그림 2 참조).

예를 들어 그림 3(a)와 같이 평균 밝기 값을 이용하여 4 영역으로 분할하는 경우, 먼저 $[0, L-1]$ 의 명암도를 가지는 영상 X의 평균 밝기값 X_m 을 구한 후, X_m 을 기준으로 두 구간으로 나누고, 다시 한 번 각 구간의 새로운 평균 밝기값 X_{ml} (좌측 구간 평균)과 X_{mu} (우측 구간 평균)으로 분할하여 총 4 영역으로 분할하게 된다. 분할 후, 분할 영역이 차지하는 확률밀도 값 (즉, 가중치) r_i ($i=1,2,3,4$)는 식 (5)와 같이 구한다.

$$\text{영역 } i \text{의 가중치: } r_i = \sum_{k \in \text{영역 } i} P(k) \quad (5)$$

그림 3(b)는 3개의 명도 균등 분할점 (X_{n1}, X_n, X_{nu})을 기준으로 4 영역으로 분할한 경우를 나타낸다. 이때 명도 균등 분할점에 의한 분할은 분할영역의 개수가 RSIHe 방법에 비해 반드시 2의 지수승일 필요는 없다는 장점이 있다. 즉, 분할 영역의 개수가 3, 5, 7등의 분할도 가능하다.

식 (6)은 제안하는 방법의 변환 함수를 나타내며 이때 P_{max} 와 P_{min} 은 입력 히스토그램의 최대 확률 값과 최소 확률 값을 의미한다. 이제 제안하는 방법은 위에서

구한 가중치 r_i 와 식 (6)을 사용하여 각 서브히스토그램을 새로운 히스토그램으로 변형하게 된다(그림 3 참조). 끝으로, 제안 방법은 새롭게 변형된 히스토그램에 히스토그램 평활화 연산을 수행하게 된다.

$$P_{dw}(k) = \Omega_{dw}(P(k)) = \left(\frac{P(k) - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right)^{r_i} * P_{max} \quad (6)$$

4. 실험 결과

실험에 사용한 영상들 중 “station”은 [5]에서 인용된 영상을 capture하였고, 나머지 영상들은 D. Menotti와 <http://sipi.usc.edu/database/index.html>로부터 제공받았다(그림 4 참조). 이 절에서는 본 논문에서 제안하는 DWTHE 방법의 성능을 기존의 WTHE, RMSHE, RSIHE 방법과 비교하여 정량적, 정성적으로 분석한다.

성능 비교 시 RMSHE, RSIHE, DWTHE 방법의 히스토그램 분할 개수는 4개로 동일한다. RMSHE 방법이 평균 밝기 값 분할 방식을 사용하기 때문에 DWTHE_m의 성능을 RMSHE 방법과 주로 비교하였고, 미디언(median) 분할 방식을 사용하는 RSIHE(2의 지수승으로만 분할 기능)의 성능은 명도 균등분할 방식을 사용하는 DWTHE_n(임의의 수로 분할 가능)과 비교하였다. 또한 제안방법과 WTHE 방법의 비교는 WTHE의 v 값을 1로 고정하여 가중치 값인 r 의 변화에 따른 화질의 변화만을 관찰하였다.



그림 4 실험 영상

4.1 정성적 분석

그림 5에서 알 수 있듯이, WTHE 방법은 r 값을 다르게 적용하여 출력 영상의 밝기 변화를 조절 할 수 있다. 그러나 이 방법은 화질 개선 효과가 가장 좋은 r 값

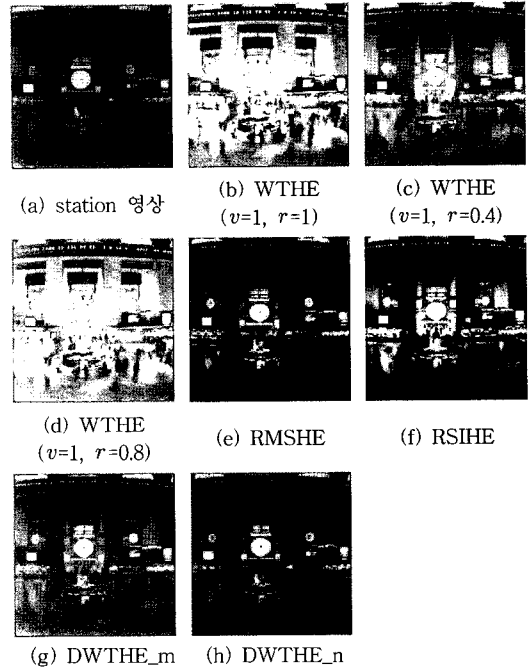


그림 5 station 영상의 r 값 변화에 따른 WTHE의 결과 영상과 RMSHE, RSIHE 및 제안 방법의 결과

을 찾기 위하여 직접 여러 가지 r 값으로 실험을 해야 하는 문제가 있다. 또한 RMSHE, RSIHE 방법의 시험 결과 영상은 전체적으로 영상이 밝아지면서 밝기 변화가 과도하여 시계부분의 세부정보를 잃어버린 것을 알 수 있다. 반면 제안하는 방법의 출력 영상을 보면, 과도한 밝기 변화가 나타나지 않으면서 시계 부분의 세부적인 영상 정보가 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

그림 6은 man 영상의 실험 결과이며, RMSHE, RSIHE 방법의 결과 영상은 얼굴에 원 영상에 존재하지 않는 artifacts가 나타나지만, DWTHE 방법 결과 영상에서는 과도한 밝기 변화가 나타나지 않으며, 전체적으로 화질이 크게 향상된 것을 알 수 있다. 또한 DWTHE_m는 영상의 평균 밝기를 유지 하는 데에 더 유리하고, DWTHE_n는 앞의 방법보다는 평균밝기 보존성은 조금 떨어지지만 영상의 콘트라스트를 높이는 데에는 상대적으로 우월함



그림 6 실험결과 비교: (a) RMSHE, (b) RSIHE, (c) DWTHE_m, (d) DWTHE_n

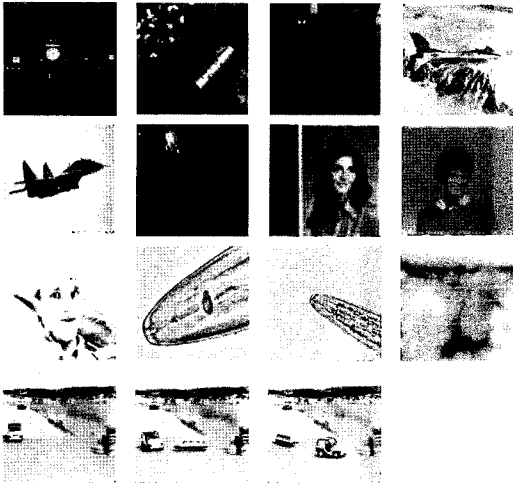


그림 7 DWTHE_m 결과 영상

을 보여주었다.

그림 4의 실험 영상들에 DWTHE_m 방법을 적용한 결과 영상은 그림 7에 표시하였다. 그림 7의 마지막 줄 3장의 이미지는 동영상에서 motion capture한 영상이다. 입력영상과 비교하여 출력영상의 평균 밝기가 잘 유지되면서 화질이 부드럽게 향상된 것을 관찰할 수 있다.

4.2 정량적 분석

표 1과 표 2는 PSNR과 엔트로피를 이용한 정량적 분석 결과를 나타낸다. 표 1은 입력 영상과 출력 영상 사이의 PSNR을 비교한 결과이다. PSNR은 영상의 품질을 비교하고 평가하는 표준 지표로써 일반적으로 30dB~40dB 정도의 값이면 입력 영상에 대하여 좋은 성능을

표 1 PSNR

영상	RMSHE	RSIHE	제안방법 (DWTHE_m/DWTHE_n)
station	21.10	14.83	26.50 / 23.63
bottle	29.68	23.67	42.66 / 38.08
couple	19.65	15.61	33.63 / 30.76
F16	22.73	22.14	27.72 / 28.67
jet	27.84	23.56	37.87 / 37.45
U2	22.12	15.07	29.19 / 25.52
woman	23.63	22.41	32.23 / 31.30
girl	28.00	19.26	34.50 / 29.52
man	15.28	13.51	21.24 / 18.29
Molec1	16.47	15.17	25.68 / 23.34
Molec2	18.62	14.73	26.28 / 24.02
Molec3	16.29	15.96	20.34 / 19.94
Seq1	16.53	15.56	20.97 / 19.07
Seq5	16.55	15.59	20.32 / 19.06
Seq9	16.51	15.56	19.98 / 18.36

표 2 Entropy

영상	RMSHE	RSIHE	제안방법 (DWTHE_m/DWTHE_n)
station	5.93	5.96	6.07 / 6.04
bottle	7.32	7.29	7.44 / 7.41
couple	6.25	6.20	6.36 / 6.33
F16	6.54	6.46	6.66 / 6.60
jet	6.43	6.40	6.58 / 6.55
U2	5.42	5.28	5.58 / 5.47
woman	7.05	7.03	7.19 / 7.19
girl	5.46	5.07	5.44 / 5.34
man	3.49	3.53	3.48 / 3.54
Molec1	5.13	5.15	5.25 / 5.25
Molec2	4.18	4.22	4.38 / 4.38
Molec3	6.07	6.03	6.21 / 6.21
Seq1	5.84	5.83	6.08 / 6.07
Seq5	6.01	6.03	6.22 / 6.23
Seq9	5.99	6.00	6.20 / 6.21

나타낸다고 볼 수 있는데, 제안하는 방법은 기존 방법들에 비하여 실험 영상 모두에서 가장 좋은 성능을 나타내었다(굵은 활자체는 성능이 가장 좋은 방법을 표시함).

표 2는 엔트로피를 사용한 분석 결과이다. 엔트로피는 영상의 확률 밀도 값을 이용하여 계산되며, 값이 클수록 좋은 결과를 나타낸다고 볼 수 있다. 이 실험에서 제안 방법은 15개의 실험 영상 중 14개의 영상에서 가장 좋은 결과를 나타내었다.

표 3은 연속하는 10개의 motion capture 장면의 평균 밝기 값 변화를 나타낸다(괄호안의 숫자는 원영상의 평균 밝기값을 표시함). 이 경우, 연속되는 장면 사이의 평균 명도가 보존되어야 하기 때문에 변환 후 영상의 명도 변화가 가장 적은 DWTHE_m 방법이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

마지막으로 표 4는 명도구간 분할 방식을 사용하는 RSIHE(2의 지수승 회수로 분할)과 DWTHE_n(임의의

표 3 연속하는 motion capture 장면의 평균 값 변화

영상	RMSHE	RSIHE	제안방법 (DWTHE_m/DWTHE_n)
Seq1(197)	184.34	181.18	189.57 / 185.67
Seq2(197)	182.38	180.33	190.71 / 187.93
Seq3(197)	183.4	181.02	189.26 / 185.28
Seq4(196)	183.66	180.69	187.59 / 185.24
Seq5(196)	183.64	180.60	187.67 / 185.30
Seq6(196)	183.15	180.15	187.92 / 184.52
Seq7(196)	182.87	179.96	189.88 / 187.33
Seq8(196)	181.92	180.11	186.94 / 184.02
Seq9(196)	182.59	179.51	186.98 / 183.42
Seq10(196)	184.03	180.14	189.23 / 185.11

표 4 RSIHE와 DWTHE_n 결과(original mean=36.02)

영상 분할회수	DWTHE_n			RSIHE		
	Mean	PSNR	Entropy	Mean	PSNR	Entropy
2	60.613	15.48	6.1101	80.95	10.75	5.98
3	48.112	19.88	6.0715	-	-	-
4	42.793	23.63	6.0467	56.78	14.83	5.96
5	42.28	23.56	6.01	-	-	-
6	41.115	24.54	5.9709	-	-	-
7	40.488	25.17	5.936	-	-	-
8	40.018	25.67	5.902	45.236	19.38	5.8296
9	39.708	25.99	5.8397	-	-	-

회수로 분할) 방법의 성능을 그림 8의 결과에 기반하여 정량적으로 분석한 것이다. 제안 방법인 DWTHE_n 방법은 분할 영역의 개수가 반드시 2의 지수승일 필요가 없으므로 RSIHE 방법에 비해 세부적인 영역 분할이 가능하며, 분할 된 영역의 개수가 같을 때에도 평균명도 값, PSNR, 엔트로피 실험값에서 RSIHE 방법보다 좋은 결과를 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 영상의 평균 밝기 값 또는 명도 균등 분할점을 기준으로 히스토그램의 영역을 분할하고, 분할 된 각 영역의 확률밀도 값을 이용하여 영상의 화질을 개선하는 새로운 화질개선 방법을 제안하였다. 기존의

WTHE 방법에 비해 제안하는 방법은 하나의 균일한 가중치 값이 아닌 히스토그램 영역별로 상이한 가중치 값을 사용함으로써, 영상의 미세하지만 중요한 정보를 누락시키지 않으면서 영상의 화질을 개선할 수 있었다.

참고 문헌

[1] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.43, no. 1, pp.1-8, February 1997.

[2] Y. Wang, Q. Chen and B. M. Zhang, "Image Enhancement based on Equal Area Dualistic sub-Image Histogram Equalization Method," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.45, no.1, pp. 68-75, February 1999.

[3] S. Chen and A. R. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.49, no.4, pp.1301-1309, November 2003.

[4] K. S. Sim, C. P. Tso, and Y. Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images," *Pattern Recognition Letters*, vol.28, no.10, pp.1209-1221, 2007.

[5] Qing Wang, Rabab Ward, "Fast Image/Video Contrast Enhancement Based on WTHE," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.53, no.2, pp.757-764, May 2007.

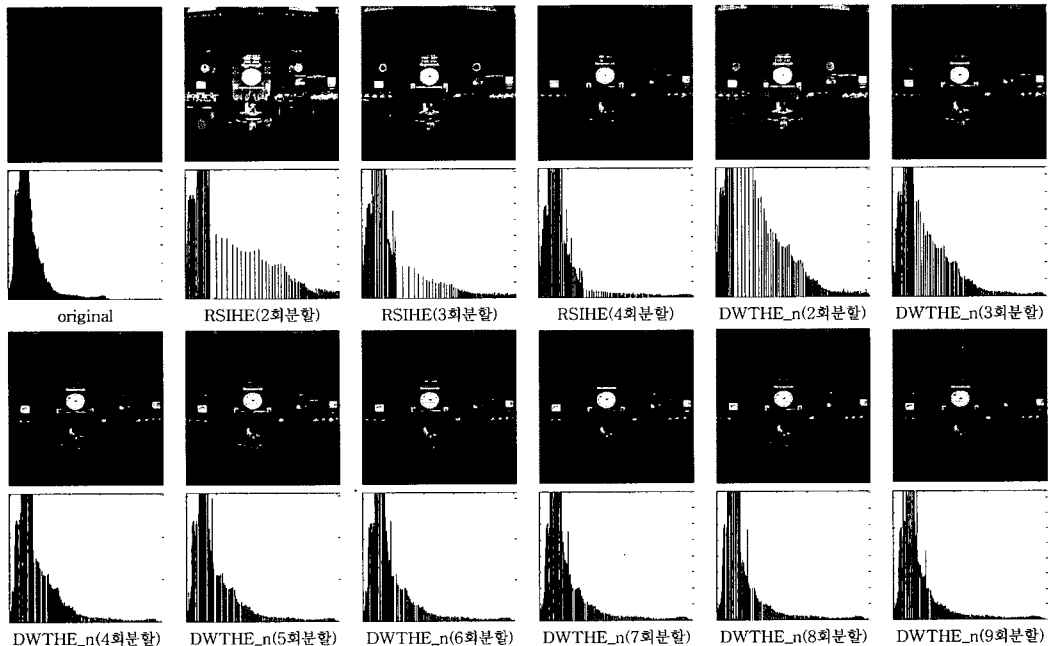


그림 8 RSIHE와 DWTHE_n 결과 영상 비교