

양방향 가중치를 이용한 x선 영상 잡음 제거 알고리즘

신수연 · 서재원*

X-ray Image Denoising Algorithm Using Bilateral Weight

Soo-Yeon Shin · Jae-Won Suh*

Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Korea

요 약

x선 영상은 각종 의료 검진 분야와 보안검사에 널리 이용되고 있다. 하지만 대부분의 x선 영상은 잡음을 포함하고 있으며 이러한 잡음은 x선 영상분석에 방해가 되기 때문에 x선 영상의 잡음을 제거할 필요가 있다. 본 논문은 화소값 가중치와 화소 거리 가중치를 이용하여 x선 영상의 잡음을 제거하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 먼저 양방향 필터를 이용하여 x선 영상의 노이즈를 1차적으로 제거하고 원본 x선 영상의 경계 영역을 추정한다. 그 후 현재 화소가 경계 영역에 속한다면 해당화소를 포함하는 3×3 영역의 화소들에 대한 원본화소와 노이즈제거 화소를 이용하여 가중치를 구하고 경계 화소값 결정을 위한 비용계산을 수행한다. 그 후 가장 작은 경계 화소값 결정 비용을 가지는 화소 값을 결과영상의 화소값으로 정한다. 제안하는 알고리즘은 PSNR 및 주관적 화질 비교에서 우수한 성능을 보였다.

ABSTRACT

X-ray image is a widely used to medical examination, airport security and cargo inspection. However, X-ray images contain many visual noise, which interrupt image analysis. Consequently, it is primary importance to reduce noises of X-ray image. In this paper, we present a improved denoise technique for x-ray image using pixel value and range weights. First, we denoise a x-ray image using bilateral filter. Next, we detect a edge region of the original x-ray image. If a denoised pixel belongs to the edge region, we calculate weighting values of original x-ray image and denoised x-ray image in 3×3 neighboring pixels and compute the cost value to determine the boundary pixel value. Finally, the pixel value having minimum cost is determined as the pixel value of the denoised x-ray image. Simulation results show that the proposed algorithm achieves good performance in terms of PSNR comparison and subjective visual quality.

키워드 : x선 영상, 노이즈 제거, 양방향 필터, 경계선 보존

Key word : x-ray image, noise removal, bilateral filter, edge preserve

Received 10 August 2016, Revised 11 August 2016, Accepted 18 August 2016

* Corresponding Author Jae-Won Suh(E-mail:sjwon@cbnu.ac.kr, Tel:+82-043-236-3268)

Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.1.137>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

x선 영상 촬영기술은 의료영상에서 수하물 검사까지 광범위하게 응용되고 있다. 하지만 x선 영상은 광양자(photon)를 이용하여 신호를 측정하고 영상신호를 재구성하는 과정에서 복합적인 이유로 잡음을 형성할 수 있다. 대표적인 잡음은 검출기가 방사선을 검출하는 과정에서 생기는 신호잡음이며 이외에도 검출된 신호를 영상으로 재구성하는 과정에서도 잡음이 발생할 수 있다. 이러한 복합 잡음은 x선 영상 관측 및 분석에 영향을 미칠 수 있기 때문에 잡음을 제거하고 화질을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 X-ray 잡음 제거 방법으로는 웨이블릿 계수 수축(Wavelet Threshold)[1-3]을 이용한 방법과 미디안 필터(Median filter), 가우시안 필터(Gaussian filter), 양방향 필터(Bilateral filter)[4]등의 스무딩 필터를 이용한 방법이 있다.

Donoho와 Johnstone[1, 2]은 이산 웨이블릿 공간에서 실제 신호와 노이즈를 이분하는 임의의 임계값을 정하고 임계값 보다 작은 계수들을 0으로 할당하여 노이즈를 제거하는 웨이블릿 계수 임계 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 간결하면서도 실용적이기 때문에 폭넓게 연구되어 왔지만 잡음의 강도가 높을수록 수축 범위를 올려야하기 때문에 영상의 잡음과 함께 객체 경계가 흐려지게 된다는 단점이 있다. 때문에 이외에도 객체 경계를 유지하면서 잡음을 제거할 수 있는 방법이 연구되어 왔다. 경계를 보존하는 가장 보편적인 잡음 제거 방법 중 하나는 양방향 필터[5] 알고리즘이다. 양방향 필터는 픽셀 범위 내에서 이웃한 화소들의 가중치를 이용하는 방법으로 화소값의 변화가 큰 경계영역에서 강한 특성을 가진다. 하지만 경계 영역에서도 화소값의 변화가 심하지 않은 영상에 대해서는 경계영역 보존에 한계가 있기 때문에 기존의 화소값 가중치 이외의 다른 요소를 고려해야할 필요가 있다. Petschnigg[5]와 He[6]는 서로 다른 조건하에 촬영되거나 후처리된 참조 영상을 통해 화소값 가중치를 계산하는 결합형 양방향 필터를 제안하였다. 결합형 양방향 필터는 경계가 뚜렷한 참조영상을 이용하여 화소값 가중치를 구하기 때문에 기존의 필터링 알고리즘들에 비해 높은 뛰어난 경계성능을 보인다. 하지만 이와 같이 직접적으로 화소값을 계산하는 방법은 잡음제거에는 효과적이나 원본화소가

변질되어 블록현상이 발생하거나 경계영역이 흐려질 수 있다는 단점이 있다.

제안하는 알고리즘은 양방향 필터를 이용하여 영상 잡음을 제거하고 영상의 경계 영역에 화소값 선택을 수행하여 기존 잡음제거 방법들에서 나타나는 경계손실 문제를 개선한다. 양방향필터를 이용한 기존의 노이즈 제거방법은 화소값을 직접적으로 계산하기 때문에 경계영역에 손실이 발생하지만 제안하는 알고리즘은 화소 비용 계산을 통해 주변 화소들 중 최적의 픽셀값을 갖는 화소를 찾아 복사함으로써 필터링으로 인한 경계 손실을 방지한다.

II. 제안하는 업샘플링 알고리즘

제안하는 알고리즘은 그림 1과 같은 흐름도로 나타낼 수 있다. 먼저 원본 영상에 양방향 필터를 적용하여 잡음을 제거한 M_n 를 생성한다. 이후, 원본영상 X_n 의 경계영역 E 를 추정한다. 만일 양방향 필터가 적용된 영상의 화소 M_n 가 경계영역에 속한다면 해당 화소 주변 3×3 영역의 x선 영상 정보를 이용하여 비용함수 $Cost_{n,m}$ 를 계산한 후, 최소값을 갖는 위치의 화소값이 최종 x선 영상의 화소값으로 결정된다.

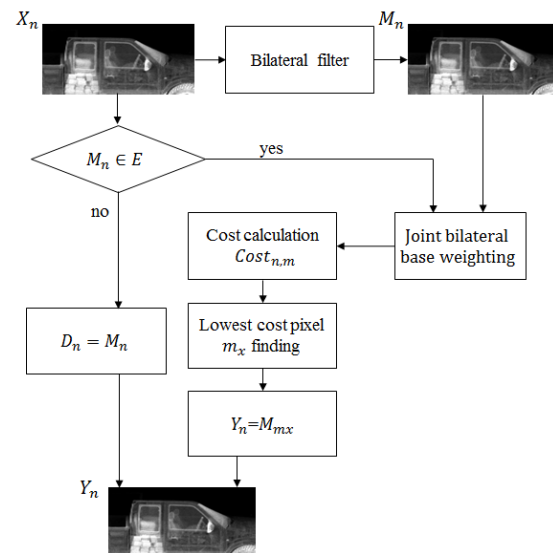


Fig. 1 framework of proposed algorithm

반면에 현재 화소 위치가 경계영역이 아니라면 I_n 의 값이 최종 화소값으로 사용된다.

2.1. 경계영역 추정

그림 2는 제안하는 경계영역 추정의 전체 과정을 보여준다. 제안하는 알고리즘은 노이즈 제거를 위한 필터링으로 인해 손실되는 물체의 경계정보를 보정하기 위해 우선 경계영역을 추정한다. 이 과정에서 윤곽선을 검출하기 위해 캐니 윤곽선 검출기[7]를 사용하였다. 이 때 경계영역에 포함되는 화소는 1로 경계영역에 포함되지 않는 화소는 0으로 저장한다. 그 다음으로 경계 주변의 픽셀을 경계영역에 포함시키기 위해 각 경계영상에 대한 팽창(Dilate)연산을 수행하여 보정할 경계영역의 범위를 확장한다. 마지막으로 확장된 각각의 경계영역의 화소 위치를 경계영역 E에 속한다고 추정한다.

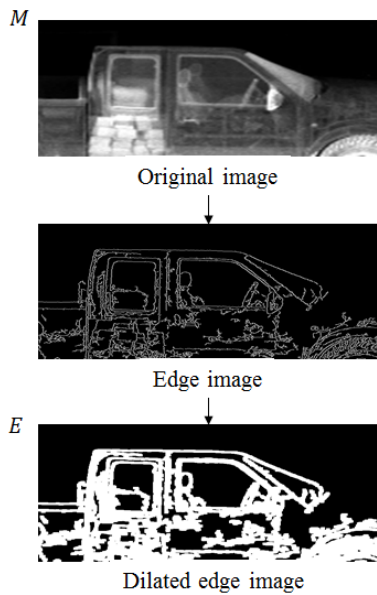


Fig. 2 proposed Edge prediction

2.2. 경계화소값 결정을 이용한 경계보정

경계영역 추정을 통해 경계영역의 화소라고 판단되면 주변의 화소들을 이용하여 정확한 경계 화소값 선택을 수행하기 위한 거리 가중치 R_{mx} , 노이즈 제거 가중치 D_{mx} , 원본 화소 가중치 O_{mx} 를 계산한다. 가중치

계산 과정에서는 현재위치의 화소 포함하는 주변 3×3 영역의 9개 화소들에 대한 가중치를 계산한다. 그림 3은 현재 화소 위치 n 에 대한 후보화소의 영역을 나타낸다.

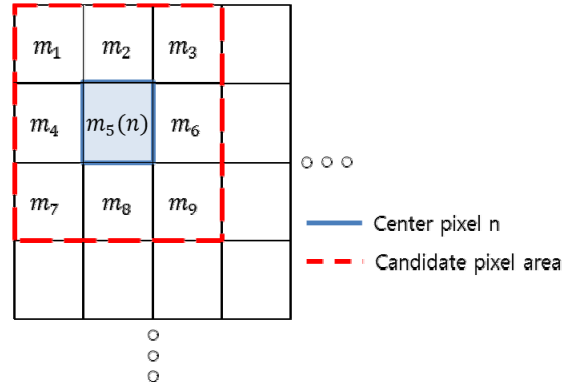


Fig. 3 candidate pixel of n

거리 가중치 R_{mx} 는 현재 화소 n 과 후보화소 m_x 사이의 유클리디안 거리를 가우시안 함수에 적용시켜 구한다.

$$R_{mx} = \exp\left(\frac{-(n - m_x)^2}{\delta_R}\right) \quad (1)$$

원본 화소 가중치 O_{mx} 는 현재 화소 n 에 대응하는 원본영상의 화소 X_n 와 후보화소 X_{mx} 의 화소값의 차를 가우시안 함수에 적용시킨다.

$$O_{mx} = \exp\left(\frac{-(|X_n - X_{mx}|)^2}{\delta_O}\right) \quad (2)$$

노이즈 제거 화소 가중치 D_{mx} 는 양방향 필터를 통해 생성된 잡음 제거 영상의 화소값을 이용한다. 따라서 원본 화소 가중치와 마찬가지로 현재 화소 위치 n 에 대응하는 M_n 와 후보화소 M_{mx} 의 화소값의 차를 가우시안 함수에 적용시킨다.

$$D_{mx} = \exp\left(\frac{-(|M_n - M_{mx}|)^2}{\delta_D}\right) \quad (3)$$

각 식에서 $\delta_R, \delta_O, \delta_D$ 는 거리에 따른 가중치의 비율을 결정하는 가우시안 가중치 파라미터이다.

다음으로 현재화소를 포함하는 이웃 화소들에 대한 각각의 경계결정 비용값을 계산한다. 비용값을 계산하기 위해 앞서 계산한 각각의 후보화소에 대한 거리 가중치 R_{mx} , 원본 화소 가중치 O_{mx} , 노이즈 제거 화소 가중치 D_{mx} 를 이용한다. 경계결정비용함수는 다음과 같이 정의한다.

$$Cost_{n,mx} = \sum_{x \in 3 \times 3} R_{mx} \cdot O_{mx} \cdot D_{mx} \quad (4)$$

경계결정비용값은 거리 가중치를 이용하여 가까운 화소들 간의 상관성을 높이면서도 원본 화소 가중치와 노이즈 제거 가중치를 이용하여 x선 영상의 객체 경계를 반영한다.

9개의 후보 화소에 대한 경계결정비용 계산이 끝나면 그 중 가장 작은 비용을 가지는 최소비용을 결정한다.

$$Cost_{n(mmin)} = \min(C_{n(m1)}, C_{n(m2)} \dots C_{n(m9)}) \quad (5)$$

마지막으로 가장 작은 값을 가지는 최소비용값 $Cost_{n(mmin)}$ 에 해당되는 위치의 화소값 $M_{n(mmin)}$ 을 현재 화소위치 Y_n 으로 복사한다.

$$Y_n = M_{n(mmin)} \quad \text{if } M_n \in E, \quad (6)$$

만일 해당 화소 M_n 이 경계영역 E 에 해당하지 않으면 양방향 필터를 통해 잡음이 제거된 화소값 M_n 을 결과화소 Y_n 으로 결정한다.

$$Y_n = M_n, \quad \text{if } M_n \notin E \quad (7)$$

최종적으로 경계영역에 해당하지 않는 화소는 양선형 보간으로 보간된 화소값으로 결정되며 경계영역에 해당하는 화소값은 화소간의 거리관계, 원본영상과 노이즈 제거 영상의 화소간 상관관계를 고려하여 결정한 최소비용을 갖는 위치의 화소값으로 결정된다.

III. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위해 원본영상에 가우시안 노이즈를 첨가한 x선 영상을 이용하여 실험하였다. 알고리즘의 우수성을 확인하기 위해 소프트 임계(Soft Threshold) 웨이블릿 수축[2]과 하드임계(Hard Threshold) 웨이블릿 수축[2], 양방향 필터(BF)[4], 참조 영상 필터(Guided image filter) [6]의 알고리즘과 비교하였다. 각 결과영상과 원본영상 사이의 PSNR수치를 통해 객관적인 화질 성능 비교를 하였고 각각의 가시적으로 확인할 수 있는 가우시안 노이즈를 제거하여 주관적 화질 향상 정도를 비교하였다. 경계탐색과정에서 이용한 캐니 경계 검출기의 문턱치로 최소값은 10으로 최대값은 100으로 설정하였고, 경계 영상의 확장을 위해 수행한 팽창연산의 두께는 3으로 설정하였다. 또한 경계픽셀값 결정을 위한 가중치 파라미터는 실험적으로 가장 좋은 결과가 나온 수치인 $\delta_R=2, \delta_O=0.1, \delta_D=0.1$ 로 설정하였다.

표 1은 가우시안 노이즈를 제거한 영상의 PSNR 결과를 보여준다.

Table. 1 Comparise of PSNR(dB)

	ST[2]	HT[2]	BF[5]	GIF[6]	Proposed
test image1	30.04	33.07	29.25	30.02	36.48
test image2	27.18	27.18	34.65	25.77	27.28
test image3	22.88	28.17	21.28	20.96	23.91
test image4	31.07	31.47	22.66	31.47	33.92
test image5	27.76	28.27	24.06	30.10	31.09
Avg.PSNR	27.78	29.63	26.38	27.66	30.53

시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘이 ST[2], HT[2], BF[4], GIF[6]에 비해 각각 평균 2.75dB, 0.9dB, 4.15dB, 2.87dB 정도 성능이 높았다. 업샘플링 후 객체 경계를 뚜렷하게 유지하였기 대부분의 실험영상에 대하여 높은 PSNR 성능을 보였다. 경계 영역을 추정하여 가중치 계산을 수행할 화소 위치를 효율적으로 선택함으로써 정확한 객체 경계를 유지하였기 때문에 좋은 성능을 보였다.

그림 4는 과일과 금속 바늘을 촬영한 x선 영상에 대한 노이즈제거 결과이며 그림 5는 컨테이너 x선 영상의

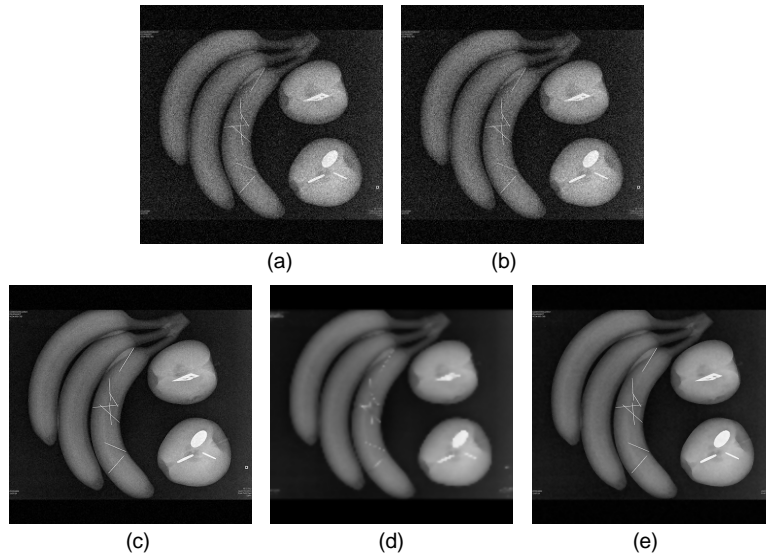


Fig. 4 Simulation result of test image1 (a) noised test image (b) ST wavelet [2] (c) HT wavelet [2] (d) bilateral filter [5] (e) proposed algorithm

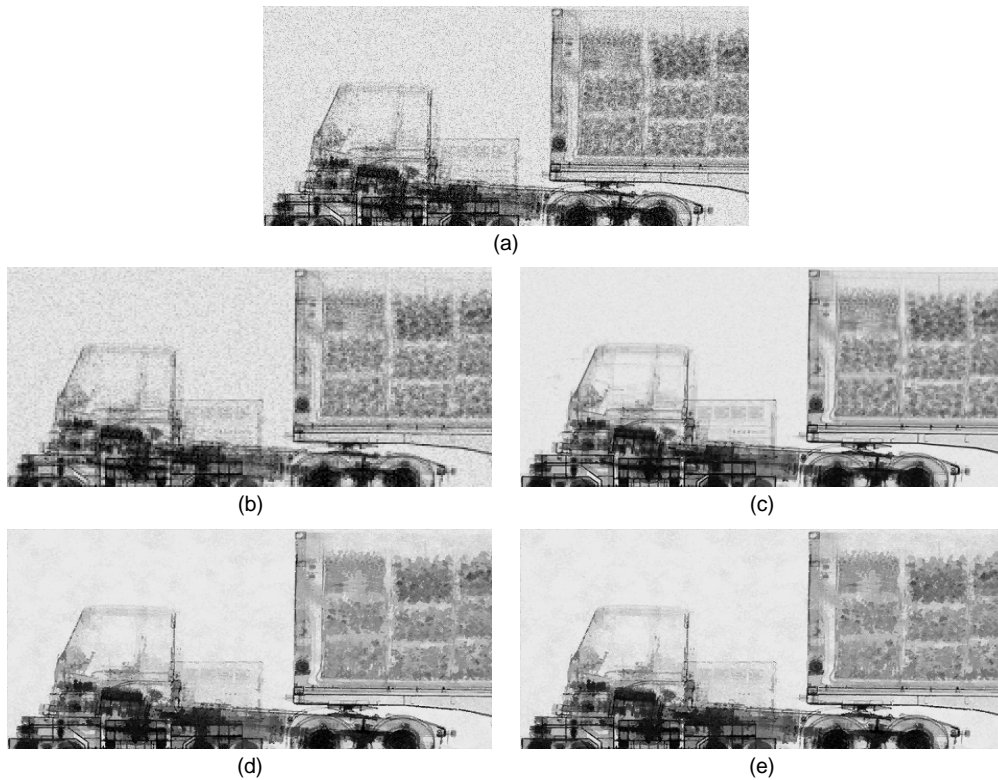


Fig. 5 Simulation result of test image3 (a) noised test image (b) ST wavelet [2] (c) HT wavelet [2] (d) bilateral filter [5] (e) proposed algorithm

노이즈 제거 결과다. 비교 결과 (b)웨이블릿[2]과 (c)양방향 필터[5]의 경우 경계영역이 흐려지는 현상을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 양방향 가중치를 이용하여 x선 영상의 잡음을 제거하는 방법을 제안하였다. 제안하는 노이즈 제거 방법은 x선 영상의 각 화소 위치에 대해서 경계영역을 추정하고 원본영상과 1차적으로 잡음이 제거된 참조영상을 이용한 가중치 기반의 경계결정 최소 비용 함수를 정의하여 잡음 제거 결과 경계영역이 흐려지는 현상을 개선하였다. 실험결과 다른 알고리즘과 비교하였을 때 강도가 높은 노이즈를 영상정보의 손실을 최소화하여 효율적으로 제거하였고 특히 복잡한 경계패턴을 가지는 x선 영상에 대해 가시적으로 좋은 성능을 보였다. 또한 기존의 알고리즘들에 비해 높은 PSNR 결과를 보였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2014R1A1A2057662) and research projects of "The Development of Security and Safety Systems based on Ubiquitous Technology for Shipping and Logistics".



신수연(Soo-Yeon Shin)

2011년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사
2013년 2월 충북대학교 전자공학과 공학석사
2013년 3월~현재 충북대학교 전자전공 박사과정
※관심분야 : 워터마킹, 3D, 실감미디어, 영상처리

REFERENCES

- [1] D. L. Donoho, I. M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage," *Biometrika*, vol. 81, no. 3, pp. 425-455, Aug. 1994.
- [2] D. L. Donoho, I. M. Johnstone, "Adapting to Unknown Smoothness via Wavelet Shrinkage," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 90, pp. 1200-1224, Jul. 1995.
- [3] H. Chipman, E. Kolaczyk and R. McCulloch, "Adaptive Bayesian wavelet shrinkage," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 92, pp. 1413-1421, Dec. 1997.
- [4] C. Tomasi, R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," *IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 839-846, Jan. 1998.
- [5] G. Petschnigg, M. Agrawala and H Hoppe, "Digital Photography with Flash and No-Flash Image Pairs," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 664-672, Aug. 2004.
- [6] K. He, J. Sun, X. Tang, "Guided Image Filtering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, Jun. 2013.
- [7] J. F. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *EEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, no. 6, pp. 679-698, Jan. 1986.



서재원(Jae-Won Suh)

1995년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사
1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 공학석사
2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 공학박사
2003년 4월~2004년 8월 LG전자기술원 MM연구 선임 연구원
2004년 9월~현재 충북대학교 전자공학부 교수
※관심분야 : 디지털 영상신호처리, 동영상표준화, H.264/AVC, SVC, HEVC, 영상처리