

시각특성을 고려한 영상의 전처리 필터링

正會員 권 효 섭*, 조 남 익*

Pre-filtering of Images Considering Human Visual Perception

Hyo-Seop Kwon*, Nam-Ik Cho* *Regular Members*

※이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 기존의 잡음 제거 방법인 저대역 필터링(LPF)의 잔상 현상을 줄여 PSNR면에서나 시각적으로 더 좋은 결과를 보이는 대역 차단 필터(BSF)에 대하여 실험하고, 이를 기반으로 한 블록별 적응 필터와 움직임을 이용한 적응 필터링방법을 제안한다. 대역 차단 필터링 방법은 움직임이 큰 부분인 고주파 대역을 통과시키도록 하여 저대역 필터링의 단점인 잔상 현상을 개선하였다. 제안된 적응 필터링 방법은 기존의 알고리즘을 수정하고 이를 블록 별로 적용함으로써 기존의 적응 필터링을 개선시킨 방법이다. 시뮬레이션 결과, 제시된 대역 차단 필터링이 많은 경우에 기존의 방법보다 PSNR 및 주관적인 평가에서 우수한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 그리고, 블록별 적응 필터의 경우 블록 크기가 작아짐에 따라 필터링의 기능이 향상됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a band stop filter(BSF) for reducing drag-like effect of the low pass filter(LPF), a block by block adaptive filtering method, and a motion adaptive filtering method, which show better results in terms of PSNR or human visual perception compared to the conventional method using LPF. The BSF improves the drag-like effects of the low pass filter by passing temporal high frequency components of video sequences which correspond to objects with large motion. The proposed adaptive methods also improve the conventional adaptive filtering by modifying the conventional algorithm and applying the algorithms for small blocks. The simulation results show that the proposed filtering methods show better results in terms of PSNR and subjective tests in most cases. Also in case of block by block adaptive filtering, it is verified that the application of the algorithm for smaller block gives better results.

*서울시립대학교 전자전기공학부

論文番號:96384-1213

接受日字:1996年 12月 13日

I. 서 론

영상 전처리 필터링은 영상에 내재된 잡음을 제거하여 부호화 효율을 향상하거나 영상 정보량이 지나치게 많아 주어진 전송율로 부호화하기 어려울 때 미리 주파수 영역에서 어느 정도의 정보를 감축시키기 위하여 사용한다. 즉, 채널 대역이 지나치게 좁아 영상 신호를 크게 압축해야 한다면, 양자화 오차가 매우 커져서 복원영상의 화질 손상이 심각해질 것이다. 따라서, 입력영상을 부호화하기 앞서 LPF나 BSF를 통하여 대역을 제한하거나, subsampling을 하여 부호화 하고자 하는 신호의 정보량을 미리 적절히 제한한 다음 부호화를 수행한다면, 복원영상의 화질이 어느 정도 유지될 수가 있다. 또한, 부호화기 이전에 발생하는 잡음을 적절한 필터링으로 처리함으로써 더 높은 부호화 효율을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 잡음 제거 또는 대역 제한 필터링 방법을 연구하고 이를 개선할 수 있는 필터구조와 적용적인 방법을 제시하고자 한다.

영상 통신 시스템에서 발생하는 잡음으로 볼 수 있는 것은 캡코더의 경우 손 떨림에 의한 잡음, TV 카메라의 경우 photodetector noise, thermal noise 등이 있고, 영상 카메라의 경우 film grain noise가 있으며, 물체의 간섭적인 영상 때문에 생기는 speckle noise가 있다[1-4]. 또한 카메라로부터 받은 전기 신호를 전달하는 회로와 기록 매체에서도 여러 형태의 잡음이 발생하여, 영상원으로부터 A/D변환 과정까지 상당한 잡음이 발생할 가능성이 있다. 이러한 잡음은 화질의 저하를 가져올 뿐만 아니라 부호화의 효율에도 영향을 미친다[3, 4]. 즉, 시각으로 느낄 수 없는 정도의 잡음이라도 잡음이 없는 경우와 비교하여, 압축/복원 후에는 화질에 영향을 미치거나 부호화의 효율을 저하시킨다[4]. 이러한 잡음을 제거하고 영상의 상관도를 증가시켜 부호화의 효율을 향상시킬 수 있는 방법으로는 공간영역에서의 필터링과 시간방향에서의 필터링, 그리고 이들을 결합한 시공간상의 필터링을 고려할 수 있다. 공간상의 경우에는 저대역 필터링, 미디안 필터링 등을 이용하여 잡음을 제거하는 방법이 있다[5, 6]. 그러나 동영상의 경우 이와 같이 미디안 필터링, 저대역 필터링 등을 공간 영역에서, 즉 한 프레임 안에서 수행하는 방법보다는 시간 방향의 정

보를 이용하는 것이 더 효율적인 것으로 알려져 있다. 따라서 잡음을 제거하기 위하여 시간축을 포함한 3차원 미디안 필터링 또는 칼만 필터링으로 확장시키기도 하며[7-11], 간단한 방법으로는 시간 방향으로 몇 개의 프레임을 화소별로 FIR 필터링을 하거나 한 개 이상의 프레임 메모리를 이용하여 1차 순환 필터링을 하는 경우도 있다[4]. 그러나, FIR 필터링의 경우 시간 지연이 많이 발생할 수 있으므로 한 개의 과거 프레임 메모리만을 이용한 순환 필터링 방법이 가장 많이 사용된다. 이와 같은 3차원 필터링 또는 시간 방향의 순환 잡음 필터링 방법에서 가장 핵심이 되는 부분은 움직임을 추정하여 과거의 데이터와 현재의 데이터에 적절한 중량값을 조절하는 알고리즘이다. 즉, 위에서 나열한 대부분의 3차원 필터링 알고리즘은 움직임을 추정하여 이에 따라 필터링 방법을 조절하는 것을 기본으로 한다.

본 논문에서는 잡음제거 기법으로 구현 상의 장점 및 성능을 고려하여 3차원 움직임 적응 필터(3-D motion adaptive filter)를 이용한 기법에 대하여 고찰한다. 기존의 3차원 적응 필터가 LPF를 사용하기 때문에 움직임 영역에서 많은 잔상이 발생하는 점을 고려하여 본 논문의 방법에서는 BSF(band stop filter)를 기반으로 하여 움직임 정보를 어느 정도 보존할 수 있는 기법을 제안한다. 즉, LPF의 단점을 보완할 수 있는 BSF를 제시하고 이의 적용 알고리즘도 기존의 방법보다 더 좋은 결과를 나타낼 수 있도록 수정하고, 시뮬레이션을 통하여 제시된 잡음 제거 필터링 방법이 PSNR면이나 잔상에 민감한 시각 특성을 고려한 주관적인 테스트에서 더 좋은 결과를 보인다는 것을 확인한다. II장에서는 기존의 LPF와 제시된 BSF를 비교하고, III장에서는 기존의 적응 알고리즘과 개선된 알고리즘, 그리고 움직임 적응 필터링 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 각 방법을 비교하고 V장에서 결론을 내린다.

II. 순차 IIR LPF와 BSF를 이용한 잡음 제거

1. 순차 IIR LPF

상용화된 기존의 잡음제거기에서 사용된 1차 IIR LPF의 구조를 보면 그림 1과 같으므로 전달 함수는 다음과 같다[3, 5].

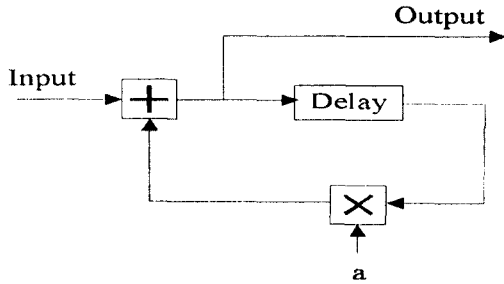


그림 1. 잡음 제거를 위한 1차 순환 필터

$$H(z) = \frac{1}{1 - az^{-1}} \quad (1)$$

영상을 위한 필터는 DC이득이 1이어야 하므로 [3]에서는 전달함수를 다음과 같이 나타내었다.

$$H(z) = \frac{\frac{1}{K}}{1 - (1 - \frac{1}{K})z^{-1}} \quad (2)$$

위의 식을 구현하는 그림 2와 같은 필터를 사용하게 되면, DC이득이 1임을 확인할 수 있다. 또한 K 값이 커질수록 과거 데이터의 중량값이 커진다는 것도 위의 식으로부터 알 수 있다. 이를 더 쉽게 이해할 수 있도록 위의 식을 일반적인 디지털 필터의 식으로 나타내면

$$H(z) = \frac{1-a}{1-az^{-1}} \quad (3)$$

와 같고 $a=(1-1/K)$ 에 따른 주파수 응답을 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 a 가 1에 가까울수록, 즉 K가 클수록 차단 주파수가 작은 저대역 필터가 된다는 것을 알 수 있고, 이 필터링의 결과로 시간 방향으로 상관 관계가 높아지며 잡음제거 능력이 좋아진다.

2. 대역 제한 필터(BSF)

위와 같은 필터링은 잡음제거 능력이 좋은 반면에 움직임이 많은 영상에 대하여 마치 반응이 느린 모니터에서 영상을 보는 것과 같이 잔상이 나타나게 된다[3].

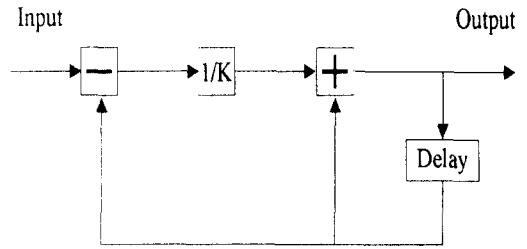


그림 2. DC이득이 1인 순차 IIR 필터

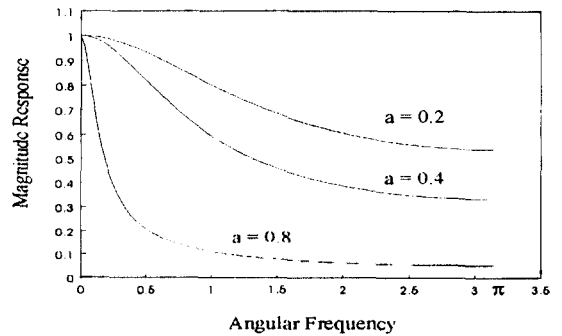


그림 3. a 값에 따른 1차 IIR 필터의 주파수 응답

사람의 시각 특성은 동영상에서 이러한 잔상 현상에 매우 거부감을 느끼므로[3], 본 논문은 고주파성분을 통과시킴으로써 동영상에서 움직임을 보존할 수 있는 대역 제한 필터를 사용하여 LPF의 단점을 보완하였다.

식 (1)은 극점이 $z=a$ 에 있고 $0 < a < 1.0$ 이므로 $H(z)$ 가 LPF역할을 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 BSF를 만들기 위해 LPF의 극점과 반대되는 곳인 $z=-a$ 에 극점이 놓이게 하고 $\omega=\pi$ 인 곳에서 이득이 1.0이 되도록 하였다. 따라서 원하는 BSF의 식은

$$H(z) = \frac{(a-1)(1+a)}{(1-az^{-1})(1+az^{-1})} \quad (4)$$

$$= \frac{1-a^2}{1-a^2z^{-2}} \quad (5)$$

이 된다. 이 필터의 주파수 응답은 그림 4와 같다. 이 필터를 이용한 결과는 IV장에서 다른 알고리즘의 결과 비교와 함께 나타낸다.

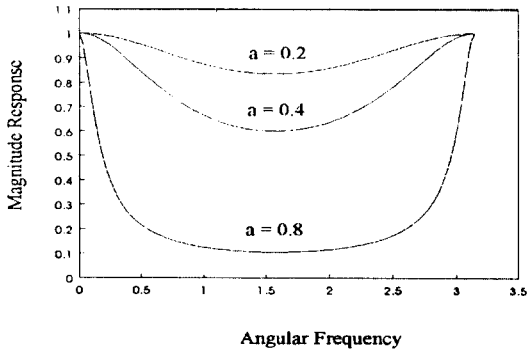


그림 4. 계수 a 에 따른 BSF의 주파수 응답

III. 적응 필터링을 이용한 잡음 제거

1. LPF를 이용한 적응 필터링.

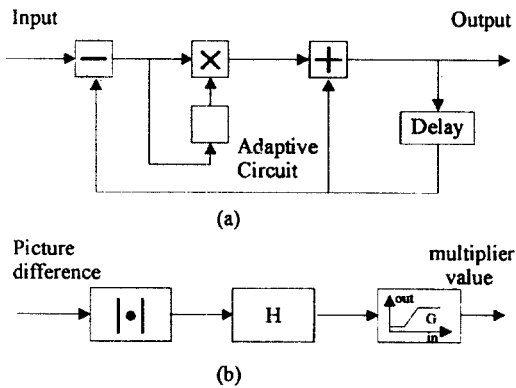


그림 5. 적응 IIR의 구조 (a)전체적인 필터의 구조 (b)계수 적응 구조

위에서 언급한 LPF를 보면, 과거의 데이터에 부과되는 중량값이 큰 값으로 고정되어 있다면 이는 시간 방향의 저대역 통과 필터에 해당하므로 이의 잡음 제거 능력이 좋다는 것은 당연하다. 그러나 움직임이 많은 영상에 대하여 이러한 필터는 잔상이 남는다는 단점을 가지고 있다. 반대로 과거 데이터에 부과되는 중량값이 작으면 이러한 현상은 작아지지만 잡음 제거 능력이 떨어진다. 따라서, 움직임이 많은 영상의 경우 이 중량값을 작아지게 하여 잔상이 생기는 것을 막고, 움직임이 적은 영상의 경우에는 중량값을 커지

게 하여 잡음 제거 능력을 높이는 적응 필터링 방법이 필요하다. 즉, 그림 2에서 K 의 값을 영상 움직임의 양에 따라 움직임이 많을 때에는 작은 값이 되도록, 그리고 움직임이 적으면 큰 값이 되도록 조절해야 한다. 결국 이와 같은 적응 필터링의 기본 구조는 그림 5와 같이 구성할 수 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이 단순히 정해진 K 의 값을 곱하는 것이 아니라 그림 5(b)에서처럼 움직임의 양에 따른 적절한 K 의 값을 찾아 이를 곱하는 것이다. 그림 5(b)의 구조를 살펴보면 정류기와 공간상의 필터 그리고 비선형함수로 이루어져 있음을 알 수 있다. 정류기는 영상 신호 차이의 평균값을 취하는 역할을 하고, H 는 그 결과값을 공간상의 필터링 처리를 해 줌으로써 뒤에 따라오는 비선형함수가 더 쉽게 움직임을 감지할 수 있도록 한다.

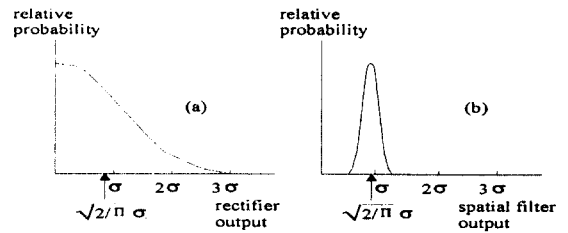


그림 6. (a)after rectification (b)after rectification and spatial filtering

그림 6(a)는 정류기를 거친 후 영상 차이 신호의 확률 분포도를 나타내고 있으며, 그림 6(a)에서 보는 바와 같이 영상 신호 차이의 절대값 평균을 알 수가 있다. 그림 6(b)는 정류기와 공간상의 필터를 거친 후의 확률분포를 나타내고 있으며, 그림 5(b)의 비선형 함수 G 의 문턱값을 지정하는데 있어 중요한 역할을 한다. 즉, G 의 문턱치는 그림 7에서 보는 바와 같이 공간 필터링 축의 영상 차이 절대값의 확률 분포에 의하여 결정한다.

따라서 움직임의 양이 많으면 이 시스템의 입력인 영상 차이의 크기가 커져서 H 의 출력이 커지고 반대의 경우에는 작아지게 되어 있다. 그리고 움직임의 양이 많으면 곱셈기의 값이 커져서 K 의 값이 작아진 것과 같고, 그 반대의 경우 K 가 커진 것과 같다. 여기에서 가장 문제가 되는 것은 움직임의 양이 얼마나

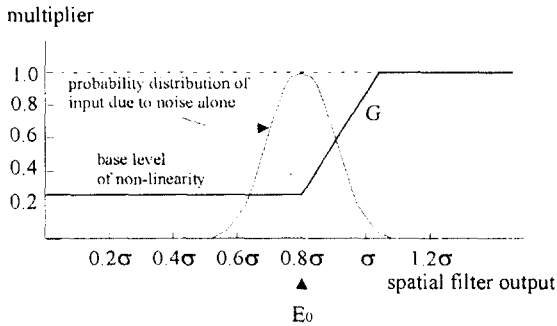


그림 7. 공간상 필터링의 확률 분포와 비선형 함수와의 관계

정확하게 반영이 되는 것이므로 H의 설계가 매우 중요하다. 또한 결과가 지나치게 커지거나 작아지지 않게 하여 일정한 값을 유지하도록 하는 비선형함수 G의 설계 또한 매우 중요하다. 이에 대한 실험적으로 많이 연구가 되어 디지털 TV를 위한 잡음 제거 시스템이 상품으로도 개발된 바 있으나 이러한 순차 필터링의 핵심인 움직임 측정 방법과 비선형 함수 결정 방법은 주로 경험에 의존한 것이며 수학적 계산이 어려운 형편이다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 H를 공간적인 저대역 필터로 사용하였고, G는 a가 0.2, 0.5 사이의 값으로 선택적으로 사용하였다.

2. Block 별 적응 필터링.

위에서 언급한 적응 필터링은 한 프레임 내의 모든 화소에 대하여 똑같은 필터링을 적용한다. 하지만 실제 영상을 보면 한 프레임 내에서도 움직임이 많은 부분과 적은 부분이 있다는 것을 알 수가 있다. 따라서 위와 같은 필터링의 경우 한 프레임 내에서 일부분의 움직임이 크고, 전체적으로 움직임이 작을 때, 움직임이 큰 부분도 필터링을 많이 하기 때문에 잔상이 생길 것을 알 수가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결해 주기 위하여 한 화면 내에서도 움직임이 많은 곳에서는 a를 1에 가깝게, 움직임이 작은 곳에서는 a를 0에 가깝게 적용시키는 방법이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 그림 5의 H함수와 G의 함수를 블록의 크기에 적합하게 선택하여 위에서 설명된 적응 알고리즘을 각 블록에 적용시킨다. 이러한 적응 알고리즘을 사용하는 필터링을 본 논문에서는 편의상 block별 적응 필터링이라 부르도록 한다.

3. 움직임 추정을 이용한 필터링

전처리 필터링 후 얻어진 영상들을 이용하여 영상의 압축을 할 때 사용되는 MPEG이나 H.263은 움직임 추정을 이용한다. 기존의 적응 필터링이나 블록별 적응 필터링은 같은 위치에서 전 영상과 현 영상의 차이를 이용하였지만, 움직임을 이용한 필터링 방법은 그림 8에서와 같이 움직임 추정을 이용하여 현 블록과 가장 비슷한 이전 영상 블록과 현 블록을 이용하여 적응 필터링을 적용시킨 것이다. 따라서 움직임을 더욱 많이 보상해 줄 수 있다. 하지만 움직임 추정시 수행되는 계산량이 너무 많다는 단점을 가지고 있다[12].

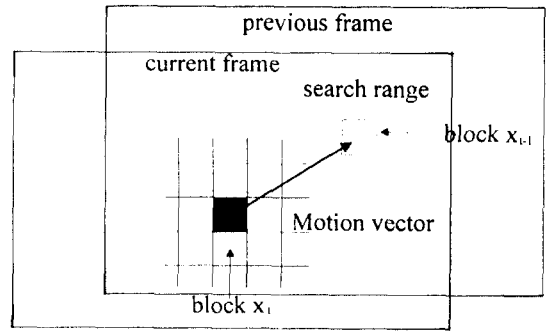


그림 8. Motion estimation의 방법

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

모든 시뮬레이션은 CIF 크기의 claire 영상 30장을 2M bit-rate의 MPEG2를 통해 처리한 후의 결과 영상과의 평균 PSNR을 나타내고 있다. 그리고 시각 특성을 반영하기 위한 주관 평가도 수행한다.

먼저, II장에서 언급한 LPF(Low pass filter)와 BSF(Band stop filter)에 대한 비교를 해 보도록 한다. 표 1은 잡음이 없는 경우, 백색 가우시안 잡음이 들어간 경우 그리고 스펙클 잡음(Speckle noise)을 첨가한 경우에 대한 각 방법의 PSNR값을 나타내고 있다. 잡음이 없는 경우와 백색 가우시안 잡음이 첨가된 경우, LPF보다는 움직임을 보존하는 BSF가 더 나은 결과를 얻었다. 하지만 스펙클 잡음이 들어간 경우를 보면, 이는 높은 고주파 잡음에 해당하므로 LPF의 결

과가 수치적으로 우수하게 나왔다. 그러나 주관적인 평가를 해 본 결과 BSF의 영상의 질이 더 우수하였다. 즉, 동영상의 경우 잔상이 눈에 매우 거슬린다는 시각적인 특성을 고려할 때 LPF보다는 BSF를 사용함이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

표 1. LPF와 BSF의 실험 결과(PSNR값)

영 상	a	LPF	BSF
잡음이 없는 영상	0.2	45.21	46.16
	0.5	41.13	43.29
white gaussian noise ($\sigma^2 = 1$)	0.2	42.80	43.34
	0.5	40.18	41.58
speckle noise	0.2	35.61	34.51
	0.5	36.61	35.59

그림 9는 잡음의 분산에 따른 LPF와 BSF의 관계를 나타내고 있다. 잡음의 분산이 커짐에 따라, 즉 고주파 성분 잡음이 들어감에 따라 LPF와 BSF의 차이가 적어짐을 알 수 있다. 이는 BSF가 움직임 성분 뿐만 아니라 잡음의 고주파 성분까지 통과시킴으로써 생기는 현상이다.

표 2에는 각종 적응 필터링의 결과가 나타나 있다. 모든 적응 필터링에서 계수의 선정은 0.2와 0.5 사이에서 적응적으로 변화도록 하였다. 기존의 LPF를 이용한 적응 필터링의 경우와 기존의 방법을 발전시킨 block별 적응 필터링의 결과를 비교해 보면 block이 작아짐에 따라 더 높은 PSNR을 얻을 수가 있었다. 이는 작은 영역의 움직임에 의해 일어나는 변화를 감지할 수가 있기 때문이다. 그리고 마지막으로 움직임

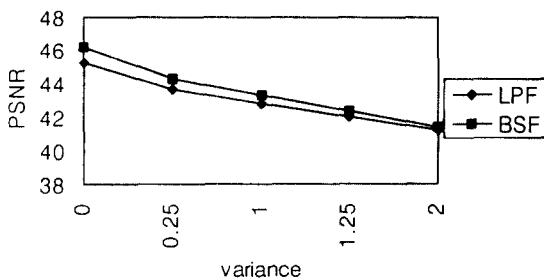


그림 9. 잡음의 분산에 따른 LPF와 BSF의 관계

표 2. 적응 필터링의 실험 결과(단위: PSNR)

방 법	단 위	no noise	white noise ($\sigma^2 = 1$)
LPF를 이용한 기존의 방법	Frame	40.67	41.54
block별 적응 필터링	16×16 block	45.06	43.12
	8×8 block	45.11	43.15
	4×4 block	45.14	43.15
	pixel	45.13	42.79
motion을 이용한 적응 필터링	16×16	44.11	42.28

을 이용한 적응 필터링의 결과를 보면 같은 블록(16×16)의 결과보다는 나쁘지만 기존의 방법보다는 조금 개선된 결과를 얻었다.

마지막으로, 주관적인 평가를 위하여 기존의 방법과 제시된 방법에 의한 결과 영상을 그림 10에서 비교하였다. 기존의 LPF를 통과시킨 그림 10(a)는 움직임 많이 나타나는 얼굴, 특히 입술 부분에 잔상이 나타나 있다. 그림 10(b)와 (c)는 각각 BSF, 적응 필터링의 결과로서 움직임이 많은 부분이 (a)에 비하여 선명함을 알 수 있다. 이와 같은 잔상에 의한 차이는 특히 동영상으로 모니터에 디스플레이 되었을 때 더욱 뚜렷이 비교된다. 참고로, 본 논문에서 실험한 “claire”와 같은 영상 회의 영상보다 움직임이 큰 “football”, “flowergarden” 같은 영상의 경우에는 PSNR의 차이는 작아지고 잔상에 의한 거슬림은 더 심해진다.

V. 결 론

본 논문에서는 시각 특성을 고려한 새로운 잡음 제거 기법에 관하여 연구하였다. 기존의 상용화된 영상 잡음 제거기는 순차 IIR 저대역 필터를 기반으로 하고 있다. 그러나 동영상에서 움직임이 심한 부분은 저대역 필터링에 의하여 시각적으로 매우 거슬리는 잔상이 생기는 단점이 있으므로 이를 개선하기 위하여 저대역 신호와 동시에 움직임이 큰 부분에 해당하는 고주파 신호를 통과시키는 BSF 방법을 제시하였다. BSF 방법은 고주파 성분이 많은 스펙클 잡음의 제거 능력 면에서는 순차 IIR LPF보다는 못하지만, 잡음이 별로 없는 경우나 가우시안 잡음이 있는 경우 PSNR면에서 더 좋은 결과를 보인다. 그리고 거의 모



(a) LPF 를 통과한 영상



(b) BSF 를 통과한 영상



(c) block 별 적응 필터링을 통과한 영상

그림 10. 필터링 결과 영상

든 경우에 시각적으로 매우 거슬리는 잔상을 일으키는 LPF의 결과보다는 제시된 BSF의 결과가 주관적인 평가에서 더 좋게 나타났다.

또한, 본 논문에서는 기존의 방법을 보완한 적응 필터링 알고리즘을 제안하였다. 기존의 LPF를 이용한 적응 필터링 방법은 필터 계수를 두 영상의 차를 이용하여 적응적으로 선정하여 잔상이 나타나는 단점을 보완한 방법이다. 하지만 한 영상 내에 움직임이 많은 부분과 움직임이 적은 부분이 공존할 수 있으므로 본 논문에는 영상을 블록별로 구분한 블록별 적응 필터링을 구현하였다. 제시된 방법은 한 영상을 작은 블록 단위로 나누고 움직임이 많은 블록에서는 필터링을 적게 해주고, 움직임이 적은 블록에서는 필터링을 많이 해주므로 보다 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 제시된 적응 필터링 방법은 블록의 크기가 작을수록 더 좋은 결과를 보였으나 4×4 이하로 작아지면 계수를 조절하기 위한 정보가 작아져서 결과가 4×4 의 경우보다 약간 나빠진다.

참 고 문 헌

1. Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1989.
2. R. C. Gonzalez & R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993.
3. C. P. Sandbank, Eds, *Digital Television*, John Wiley & Sons, 1990.
4. E. Dubios and S. Sabri, "Noise reduction in image sequences using motion compensated temporal filtering," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 7, pp. 826-831, July 1984.
5. K. Kobayashi, Y. Suzuki, and M. Abe, "New configuration of adaptive rank order filters for impulse noise elimination," *IEICE Trans.*, vol. 74, no. 12, pp. 3939-3942, Dec. 1991.
6. E. Ataman, V. K. Aatre, and K. M. Wong, "Some statistical properties of median filters," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, no. 5, pp. 1073-1075, Oct., 1981.
7. T. Vireo and Y. Neuvo, "3-D median structures for image sequence filtering and coding," in *Motion An-*

alysis and Image Sequence Processing, M. I. Sezan and R. L. Lagendijk(ed), pp. 411-445, Kluwer Academic Publishers, 1993.

8. E. J. Coyle, J. H. Lin, and M. Gabbouj, "Optimal slack filtering and the estimation and structural approaches to image processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, no. 12, pp. 2037-2066, Dec. 1989.

J. W. Woods and J. Kim, "Motion compensated spatiotemporal Kalman filter," in *Motion Analysis and Image Sequence Processing*, M. I. Sezan and R. L. Lagendijk(ed.), pp. 349-373, Kluwer Academic Publishers, 1993.

J. W. Woods and V. K. Ingle, "Kalman filtering in two dimensions: Further results," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. 29, pp. 88-197, 1981.

11. M. K. Ozkan, I. Sezan, A. T. Erdem, and A. M. Tekalp, "Motion compensated multiframe Wiener restoration and blurred and noisy image sequences," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Processing*, San Francisco, California, March 1992.

12. Motion Picture Expert Group, "Coded representation of picture and audio information, MPEG video test model 2," May 1992.



권 효 섭(Hyo-Seop Kwon) 정회원
1996년 2월: 서울시립대학교 제어
계측공학과(학사)
1996년 3월~현재: 서울시립대학교
제어계측공학과 석사과정