

디지털 영상 확대를 위한 적응형 Pseudomedian 필터의 설계 및 성능 분석

곽 노 윤[†] · 황 병 원^{††}

요 약

디지털 영상 확대는 원영상 김보의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문에 영상의 크기는 증가시킬 수 있으나 실질적인 해상도 향상에 대한 기여는 미미한 것으로 알려지고 있다 이와 같은 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 확장 영상을 기준할 때, 수평 및 수직 방향의 인 화소점은 1차 보간 성분과 영상 확대용 Pseudomedian 필터의 출력 성분을 윤곽 정보의 방향성에 가중치를 부여하여 보간하고 대각선 방향의 인 화소점은 부원도우 설정 방법을 수평 및 수직 방향의 유사도에 미리 가변적으로 전치하여 보간하는 영상 확대용 적응형 Pseudomedian 필터를 제안하였다. 제안된 방법에 따르면, 영상 확대용 Pseudomedian 필터가 갖고 있는 윤곽 김보에 대한 고유인 재현 특성을 최대한 유지하면서 텍스춰 정보를 재현할 시에 1차 보간이 갖는 장점을 반영할 수 있음에 따라 시각적인 거부감의 초래를 효과적으로 억제할 수 있을 뿐만 아니라 원영상의 특성과 형상을 최대한 재현할 수 있는 이점이 있다.

Design and Performance Analysis of Adaptive Pseudomedian Filter for Digital Image Enlargement

No-Yoon Kwak[†] · Byong-Won Hwang^{††}

ABSTRACT

It is known that a digital image enlargement technique can increase the size of the image but the practical enhancement of resolution is trifle because the frequency bandwidth of the original image is basically limited. To solve this problem, this paper proposes the digital image enlargement technique which interpolates the interpolation points of horizontal and vertical direction by weighting according to the direction of edge information with the component of FOI(First Order Interpolation) and output of the pseudomedian filter for image enlargement and interpolates the interpolation points of diagonal direction by selectively transposing the direction of the subwindows of the pseudomedian filter according to the distribution of neighbored pixels thereto in the extended image. According to the proposed methods, the digital image enlargement which preserves the characteristic of the pseudomedian filter capable of keeping the reconstruction of edge information and reflects the advantage of FOI can be performed. Therefore, visual artifacts could be effectively suppressed, and most characteristics and shapes of the original image can be reconstructed as well.

† 정 회 원 · 천안대학교 정보통신학부 교수
†† 정 회 원 · 한국항공대학교 항공전자공학과 교수
논문접수 · 1999년 5월 12일, 심사완료 · 2000년 1월 5일

1. 서 론

디지털 영상 확대 과정은 크게 영상 확장(image extension)과 영상 보간(image interpolation)의 두 단계로 나누어 설명할 수 있다. 우선, 원영상의 화소를 확대하고자 하는 간격만큼 띄어 놓는 영상 확장 과정을 수행한 후, 확장 영상의 격자에 존재하지 않는 격자점들의 화소값을 적절한 값으로 채우는 영상 보간 과정을 단계적으로 수행한다. 이와 같이 영상 확장과 영상 보간의 과정을 거친 영상은 원영상에 비해 공간적으로 증가된 수의 화소들로 표현되며, 이는 바로 영상이 확대되었음을 의미한다. 그러나 하나의 정지 영상 내에서 공간적으로 인접한 화소들의 정보만을 사용한 확대 기법은 정보량의 보전이라는 측면에서 볼 때, 영상의 크기는 증가시킬 수 있으나 실질적인 해상도 향상에 대한 기여는 미비한 것으로 알려져 있다. 왜냐하면 원영상에는 영상 확대에 이용할 수 있는 정보량, 즉, 원영상 정보의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문이다[1, 2].

영상 확대를 수행하는 필터의 설계 방식 측면에서 디지털 영상 확대 기술을 살펴보면, 보간 함수에 대한 수학적 분석을 통해 푸리에 연산자(Fourier operator)나 컨벌루션 연산자(convolution operator)와 같은 보간 연산자를 정의하고 이를 통해 영상을 확대하는 방법이 있으며, 수학적 보간 연산자를 이용한 방법의 한계를 극복하기 위해 비선형 필터 또는 적응형 필터의 특성을 효과적으로 이용하는 방법이 있다. 진자에 따른 범형으로는 ZOI(Zero Order Interpolation, 0차 보간) 방법, FOI(First Order Interpolation, 1차 보간) 방법, Cubic Convolution 방법, Cubic B-Spline 방법[3], Cubic Hermite 방법[4] 등이 대표적이다. 후자에 따른 방법으로는 SWAI(Spatio-Weighted Adaptive Interpolation, 시공간 적응 보간) 방법[5], 미디안 필터(MED, Median Filter) 방법[6], 형태학적 필터 방법[7] 등이 대표적이며, 이들은 전자에 따른 방법에 비해 노이즈에 강하며 비교적 우수한 성능을 제공하는 반면에 대개적으로 과도한 연산량을 요구할 뿐만 아니라 분석이 난해하다는 단점이 있다.

앞서 언급한 바와 같은 영상 확대 기술과 관련된 문제에 효과적으로 대응하고자 보간 화소점에 인접한 화소들의 분포 특성에 따라 대각선 방향의 빈화소점에 대한 보간용 Pseudomedian 필터[8]의 부원도우 설정 방향을 기본적으로 전치(transpose)함으로써 화소의 재현

성을 개선시킨 Pseudomedian 필터 기반 디지털 영상 확대 방법(PMED 방법)[9]이 이미 제안된 바 있다. 기존 제안된 PMED 방법[9]은 저배율 확대 영상에서는 윤곽 정보 및 텍스춰 정보에 대한 재현성이 탁월하지만, 영상이 고배율로 확대될수록 윤곽 정보에 비해 텍스춰 정보의 재현성이 급격하게 떨어지는 문제가 있을 뿐만 아니라, 비록 저배율 확대 영상에서일지라도 텍스춰 정보의 재현성은 윤곽 정보의 재현성에 비해 상대적으로 지조한 특성을 제공하는 단점을 갖고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 확장 영상에서 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에 1차 보간(FOI) 성분과 영상 확대용 Pseudomedian 필터의 출력 성분을 화소 분포 특성과 윤곽의 방향성에 따라 적응적으로 반영할 수 있는 영상 확대용 적응형 Pseudomedian 필터를 설계하고, 이를 통해 확대 영상의 윤곽 정보와 텍스춰 정보에 대한 재현성을 향상시킴으로써 개선된 화질의 확대 영상을 제공할 수 있도록 한 적응형 Pseudomedian 필터 기반 디지털 영상 확대 방법을 제안하고자 한다.

2. 기존의 Pseudomedian 필터 기반 영상 확대 방법

기본적으로, H-shaped PMED에 기초하고 있는 기존의 Pseudomedian 필터에 의한 디지털 영상 확대 방법(PMED 방법)의 확대 과정은 다음과 같다[9].

우선, (그림 1(b))에서와 같이, 빈 화소점을 무시한 상태에서 수평 방향에 대해 보간된 빈 화소점 ①의 상하 라인에서 평행하게 각각 3개의 샘플 화소를 포함하는 2개의 부원도우 A, B와 이 2개의 부원도우와 직교하면서 2개의 화소를 포함하는 부원도우 C를 설정하여 식 (1)과 같이 각 부원도우의 최대값들 중에서 최솟값과 최솟값들 중에서 최대치를 평균함으로써 수평 방향의 빈 화소점 ①을 보간한다.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} &= H_shaped\ PMED_H(A, B, C) \\ &= 0.5 \times \max\{\min\{A\}, \min\{B\}, \min\{C\}\} \\ &\quad + 0.5 \times \min\{\max\{A\}, \max\{B\}, \max\{C\}\} \quad (1) \end{aligned}$$

다음으로, (그림 1(c))을 참조할 때, 빈 화소점과 보간된 화소점 ①을 무시한 상태에서 수직 방향에 대해 보간된 빈 화소점 ②의 좌우 라인에서 평행하게 각각 3개의 샘플 화소를 포함하는 2개의 부원도우 A', B'와 이

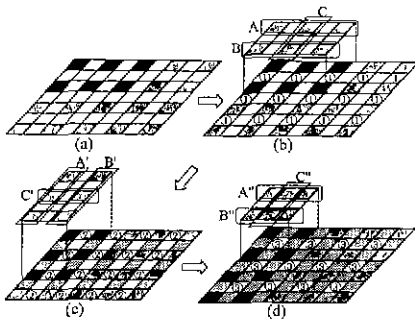
2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 화소를 포함하는 부윈도우 C'를 설정하여 식 (2)와 같이 각 부윈도우의 최대값들 중에서 최소치와 최소값들 중에서 최대치를 평균함으로써 수직 방향의 빈 화소점 ②를 보간한다

$$\begin{aligned} \textcircled{2} &= H_shaped PMED_V\{A',B',C'\} \\ &= 0.5 \times \max\{\min\{A'\},\min\{B'\},\min\{C'\}\} \\ &\quad + 0.5 \times \min\{\max\{A'\},\max\{B'\},\max\{C'\}\} \quad (2) \end{aligned}$$

이때, 보간된 화소점 ①을 보간 정보로 사용하지 않는 이유는 보간된 화소점 ①은 주변 화소를 이용하여 보간한 화소이기 때문에 원화소에 비해 그 신뢰도가 떨어짐에 기인한 것이다.

최종적으로, (그림 1(d))에서와 같이, 원화소와 보간된 화소점 ①을 포함한 상태에서 수평 방향에 대해 보간될 빈 화소점 ③의 상하 라인에서 평행하게 각각 2개의 원화소 샘플과 1개의 보간된 화소 샘플을 포함하는 2개의 부윈도우 A'', B''와 이 2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 보간된 화소를 포함하는 부윈도우 C''를 설정하여 식 (3)과 같이 각 부윈도우의 최대값들 중에서 최소치와 최소값들 중에서 최대치를 평균함으로써 대각선 방향의 빈 화소점 ③을 보간한다.

$$\begin{aligned} \textcircled{3} &= H_shaped PMED_D\{A'',B'',C''\} \\ &= 0.5 \times \max\{\min\{A''\},\min\{B''\},\min\{C''\}\} \\ &\quad + 0.5 \times \min\{\max\{A''\},\max\{B''\},\max\{C''\}\} \quad (3) \end{aligned}$$



(그림 1) H_shaped PMED에 의한 디지털 영상 확대 과정

3. 제안한 Pseudomedian 필터 기반 영상 확대 방법

3.1 수평 및 수직 방향의 빈 화소점 보간

전술한 PMED 방법[9]은 저배율 확대 영상에서는 윤

곽 정보 및 텍스춰 정보에 대한 재현성이 탁월하지만, 고배율로 확대될수록 윤곽 정보는 거의 완벽하게 재현되는 것에 반해 텍스춰 정보에 대한 재현성은 상대적으로 열악하고, 비록 저배율 확대 영상에서일지라도 텍스춰 정보에 대한 재현성은 윤곽 정보에 비해 상대적으로 저조한 성능을 제공하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점의 주원인 중의 하나는 확장 영상을 기준할 때, 보간된 화소의 상하 또는 좌우에 인접한 유클리디언 거리 (euclidean distance)가 1인 2개의 주변 화소와 대각선 방향에 인접한 유클리디언 거리가 $\sqrt{5}$ 인 4개의 주변 화소를 유클리디언 거리에 상관없이 Pseudomedian 필터링을 취하는 것에 그 원인이 있다. 주사선 보간의 경우에는 보간된 화소의 대각선 방향에 인접한 4개의 주변 화소의 유클리디언 거리가 $\sqrt{2}$ 임에 따라 보간된 화소의 상하에 인접한 주변 화소와의 유클리디언 거리 차이가 상대적으로 작기 때문에 유클리디언 거리 차에 따른 성능 저하 폭이 비교적 작은 편이다. 그러나, 영상 확대용 Pseudomedian 필터의 경우에는 유클리디언 거리 차이가 비교적 크기 때문에 텍스춰 영역에서 화소의 불연속성이 상대적으로 심하게 나타나는 데, 특히, 다소 복잡한 화소 변화를 갖는 텍스춰 영역에서는 이러한 시각적 거부감이 큰 폭으로 증폭되게 된다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 본 논문에서는 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에 H_shaped PMED 성분과 더불어 텍스춰 정보에 대한 재현성이 상대적으로 우수한 1차 보간(FOI) 성분을 적절한 비율의 가중치를 부여하여 가산하는 방법을 이용하고자 한다. 이를 위해 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에 화소의 분포 특성과 윤곽의 방향성을 고려하는 적응적인 방법과 연산량의 절감을 위해 주변 화소의 분포 특성과 윤곽의 방향성을 고려하지 않는 비적응적인 방법의 두 가지 방안을 제안한다.

우선, 비적응적인 방법은 (그림 2) 및 (그림 3)을 참조할 때, 주변 화소의 분포 특성과 윤곽의 방향성을 고려하지 않고 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 각각 식 (4) 및 식 (5)와 같이 H_shaped PMED 성분과 FOI 성분을 평균한 값으로 보간하는 것이다.

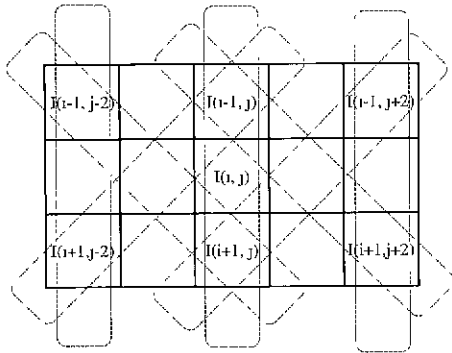
$$\begin{aligned} I(i, j) &= 0.5 \times |I(i-1, j) + I(i+1, j)|/2 \\ &\quad + 0.5 \times H_shaped PMED_H(A, B, C) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(i, j) &= 0.5 \times |I(i, j-1) + I(i, j+1)|/2 \\ &\quad + 0.5 \times H_shaped PMED_V\{A',B',C'\} \quad (5) \end{aligned}$$

그러나, 이에 따르면 주변 화소의 분포 특성과 윤곽의 방향성을 고려하지 않기 때문에 대각선 윤곽 영역에서 화소의 분포 특성에 상관없이 0.5의 가중치로 반영되는 FOI 성분에 의해 스텝 현상이 발생함에 따라 주관적인 화질의 개선 정도에 한계가 있을 것으로 예상된다.

이에 따라 다음으로는, FOI 성분과 H_shaped PMED 성분을 보간 화소값에 반영할 시에 윤곽 정보의 방향성에 따라 적응적으로 가중치를 부여하는 방법을 이용함으로써 H_shaped PMED가 갖고 있는 윤곽 정보에 대한 고유의 재현 특성을 최대한 유지하면서 동시에 텍스춰 정보를 재현할 시에 FOI가 갖는 장점을 효과적으로 반영할 수 있는 다음과 같은 영상 확대용 적응형 Pseudomedian 필터를 제안한다.

먼저, 수평 방향의 빈 화소점을 보간하는 과정을 (그림 2)를 참조하여 설명하면 다음과 같다.



(그림 2) 수평 방향의 빈 화소점 보간

H_shaped PMED_H(A,B,C)를 이용함에 따른 주변 화소의 분포 특성을 정량적으로 파악하기 위해 H_shaped PMED_H(A,B,C)의 각 부인도우에 의해 마스크되는 화소값들의 상하 방향의 변화량 D_{Hv} 과 대각선 방향의 변화량 D_{Hd} 을 각각 식 (6)과 식 (7)을 통해 산출한다.

$$D_{Hv} = \{ |I(i-1, j-2) - I(i+1, j-2)| + |I(i-1, j) - I(i+1, j)| + |I(i-1, j+2) - I(i+1, j+2)| \} / 3 \quad (6)$$

$$D_{Hd} = \{ |I(i-1, j-2) - I(i+1, j)| + |I(i-1, j) - I(i+1, j+2)| + |I(i-1, j) - I(i+1, j-2)| + |I(i-1, j+2) - I(i+1, j)| \} / 4 \quad (7)$$

이렇게 산출한 상하 방향의 변화량과 대각선 방향의

변화량을 합산한 값 ($D_{Hv} + D_{Hd}$)은 각 방향에 대한 화소의 차분값들의 총량으로 이로부터 화소 분포의 평탄성 정도를 효과적으로 파악할 수 있다.

만일, 수평 방향의 임의의 빈 화소점에서 ($D_{Hv} + D_{Hd}$) $\geq \alpha$ 이고, $D_{Hv} \leq \beta$ 와 같은 조건을 만족한다면, 이 빈 화소점은 비교적 비평탄 영역에 포함된 화소임에도 불구하고 상하 방향으로 강한 유사성이 존재하는 것으로 판단하여 식 (8)과 같은 처리를 수행한다.

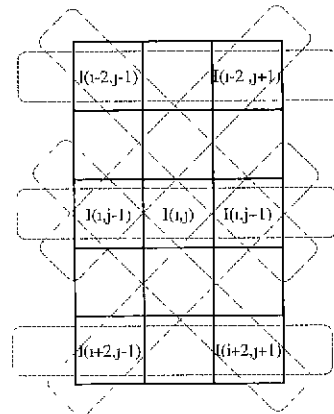
$$I(i, j) = K_1 \times |I(i-1, j) + I(i+1, j)| / 2 + K_2 \times \text{H_shaped PMED}_H(A, B, C) \quad (8)$$

$$K_1 = \frac{1/D_{Hv}}{1/D_{Hv} + 1/D_{Hd}} = \frac{D_{Hd}}{D_{Hv} + D_{Hd}}$$

$$K_2 = \frac{1/D_{Hd}}{1/D_{Hv} + 1/D_{Hd}} = \frac{D_{Hv}}{D_{Hv} + D_{Hd}}$$

한편, ($D_{Hv} + D_{Hd}$) $< \alpha$ 일 경우, 이때는 주변 화소들이 갖는 상하 방향과 대각선 방향에 대한 변화가 상대적으로 작은 것으로 판단할 수 있음에 따라 식 (1)의 H_shaped PMED_H(A,B,C)의 보간 결과값을 그대로 이용하고, 또한, $D_{Hv} > \beta$ 인 경우에도 상하 방향에 대한 상관성이 작은 것으로 판단할 수 있음에 따라 H_shaped PMED_H(A,B,C)의 보간 결과값을 그대로 이용한다.

다음으로, 수직 방향의 빈 화소점을 보간하는 과정을 (그림 3)을 참조하여 설명하면 다음과 같다



(그림 3) 수평 방향의 빈 화소점 보간

수평 방향의 빈 화소점을 보간하는 과정에서와 마찬가지로, H_shaped PMED_V(A',B',C')를 이용함에 따른

주변 화소의 분포 특성을 정량적으로 파악하기 위해 H_shaped PMED_v{A',B',C'}의 각 부원도우에 의해 마스크되는 화소값들의 좌우 방향의 변화량 D_{vh} 과 대각선 방향의 변화량 D_{vd} 을 각각 식 (9)와 식 (10)을 통해 산출한다.

$$D_{vh} = \{ |I(i-2, j-1) - I(i-2, j+1)| + |I(i, j-1) - I(i, j+1)| + |I(i+2, j-1) - I(i+2, j+1)| \} / 3 \quad (9)$$

$$D_{vd} = \{ |I(i-2, j-1) - I(i, j+1)| + |I(i, j-1) - I(i+2, j+1)| + |I(i, j+1) - I(i-2, j+1)| + |I(i+2, j-1) - I(i, j+1)| \} / 4 \quad (10)$$

이렇게 산출한 좌우 방향의 변화량과 대각선 방향의 변화량을 합산한 값 ($D_{vh} + D_{vd}$)은 각 방향에 대한 화소의 차분값들의 총량으로 이로부터 화소 분포의 평탄성 정도를 효과적으로 파악할 수 있다

만일, 수평 방향의 임의의 빈 화소점에서 ($D_{vh} + D_{vd}$) $\geq \alpha$ 이고, $D_{vh} \leq \beta$ 과 같은 조건을 만족한다면, 이 빈 화소점은 비교적 비평탄 영역에 포함된 화소임에도 불구하고 좌우 방향으로 강한 유사성이 존재하는 것으로 판단하여 식 (11)과 같은 처리를 수행한다.

$$I(i, j) = K_3 \times |I(i, j-1) + I(i, j+1)| / 2 + K_4 \times \text{H_shaped PMED}_v\{A', B', C'\} \quad (11)$$

$$K_3 = \frac{1/D_{vh}}{1/D_{vh} + 1/D_{vd}} = \frac{D_{vd}}{D_{vh} + D_{vd}}$$

$$K_4 = \frac{1/D_{vd}}{1/D_{vh} + 1/D_{vd}} = \frac{D_{vh}}{D_{vh} + D_{vd}}$$

한편, ($D_{vh} + D_{vd}$) $< \alpha$ 일 경우, 이때는 주변 화소들이 갖는 좌우 방향과 대각선 방향에 대한 변화가 상대적으로 작은 것으로 판단할 수 있음에 따라 식 (2)의 H_shaped PMED_v{A',B',C'}의 보간 결과값을 그대로 이용하고, 또한, $D_{vh} > \beta$ 인 경우에도 좌우 방향에 대한 상관성이 작은 것으로 판단할 수 있음에 따라 H_shaped PMED_v{A',B',C'}의 보간 결과값을 그대로 이용한다.

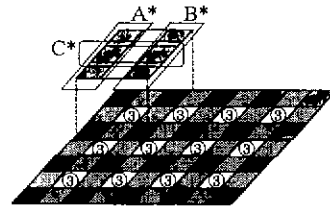
3.2 대각선 방향의 빈 화소점 보간

(그림 1)을 참조할 때, 수직 방향의 빈 화소점 ①과 수직 방향의 빈 화소점 ②를 보간하기 위한 부원도우의 설정 방향은 최적인 것이 유일하게 결정되지만, 대각선 방향의 빈 화소점 ③의 경우에는 수평 방향과 수직 방향에 걸쳐 동일한 최적 가능성이 제공됨에 따라 어느

방향을 선택하더라도 무방하다

(그림 4)와 같이, 부원도우의 설정 방향을 수직 방향으로 설정할 경우, 원화소와 보간된 화소점 ②를 포함한 상태에서 수직 방향에 대해 보간될 빈 화소점 ③의 좌우 라인에서 평행하게 각각 2개의 원화소 샘플과 1개의 보간된 화소 샘플을 포함하는 2개의 부원도우 A', B와 이 2개의 부원도우와 직교하면서 2개의 보간된 화소를 포함하는 부원도우 C'를 설정하여 식 (12)와 같이 각 부원도우의 최대값들 중에서 최소치와 최소값들 중에서 최대치를 평균함으로써 대각선 방향의 빈 화소점 ③을 보간할 수도 있는 것이다. 이 경우, 확률적으로 기대할 수 있는 보간 성능은 식 (3)의 경우와 동일하다.

$$\textcircled{3} = \text{H_shaped PMED}_D\{A', B', C'\} = 0.5 \times \max[\min\{A'\}, \min\{B'\}, \min\{C'\}] + 0.5 \times \min[\max\{A'\}, \max\{B'\}, \max\{C'\}] \quad (12)$$



(그림 4) 수직 방향 부원도우를 갖는 H_shaped PMED에 의한 대각선 방향의 빈 화소점의 보간

특상, H_shaped PMED은 보간될 화소점에 평행한 2개의 부원도우에 의해 마스크되는 화소값들이 서로 유사하고, 이 2개의 부원도우와 직교하는 나머지 하나의 부원도우에 의해 마스크되는 화소값들이 유사할수록 윤곽 정보의 재현성이 우수해지는 특성을 갖고 있다[9]. 이에 따라 (그림 1)을 참조할 때 식 (3)의 수평 방향의 부원도우에 포함되는 화소값들의 유사성 정도를 정량적으로 파악하기 위해 식 (13)로부터 S_H 를 구하여 S_H 의 역수를 수평 방향의 유사도로 정의하고, 마찬가지로, 식 (14)로부터 S_V 를 구하여 S_V 의 역수를 수직 방향의 유사도로 정의함으로써 식 (12)의 수직 방향의 부원도우에 포함되는 화소값들의 유사성 정도를 정량적으로 파악한다.

$$S_H = \frac{|I(i-1, j-1) - I(i-1, j+1)| + \mu \times |I(i-1, j) - I(i+1, j)| + |I(i+1, j-1) - I(i+1, j+1)|}{\quad} \quad (13)$$

$$S_V = \frac{|I(i-1, j-1) - I(i+1, j-1)| + \mu \times |I(i, j-1) - I(i, j+1)|}{|I(i-1, j+1) - I(i+1, j+1)|} \quad (14)$$

이때, 식 (3)과 식 (12)에서 부원도우 C"와 부원도우 C에 의해 마스크된 화소 샘플들은 모두 보간된 화소들이고 부원도우 A", B"와 부원도우 A', B'에 의해 마스크된 화소 샘플들은 모두 원화소이기 때문에 전자로부터 획득한 유사도 정보는 후자로부터 획득한 유사도 정보에 비해 상대적으로 그 신뢰성이 떨어진다 따라서, 식 (13)과 식 (14)와 같이, 전자의 유사도 성분에 0보다 크고 1보다 작은 구간에서 적절하게 선정된 가중치 μ ($0 < \mu < 1$)를 곱하여 일부가 반영되도록 하는 반면에 후자의 유사도 성분은 그대로 이용함으로써 전자와 후자간에 존재하는 신뢰성의 불균형을 해소하도록 한다. μ 는 주변 화소들의 분포 특성을 파악하여 불균형을 최소화시키는 값으로 결정할 수도 있지만 성능 개선에 비해 불필요하게 연산량이 증가함에 따라 실험적으로 구간 0.5를 사용하는 것이 바람직하다.

다음으로, $1/S_H$ 와 $1/S_V$ 를 비교하여 $1/S_H \geq 1/S_V$ 일 경우, 즉, $S_H \leq S_V$ 인 경우에는 수평 방향에 대한 유사도가 큰 것으로 판단됨에 따라 식 (3)과 같이 부원도우의 설정 방향을 수평 방향으로 선정하고, 그렇지 않을 경우에는 역으로 수직 방향에 대한 유사도가 클 가능성이 높기 때문에 식 (12)와 같이, 부원도우의 설정 방향을 수직 방향으로 선정한다. 이상의 유사도 비교 과정을 통해 H-shaped PMED의 부원도우 설정 방향을 가변적으로 전치함으로써 화소의 재현성을 개선할 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안된 방법의 성능과 적용의 보편성을 평가하기 위해 각기 서로 다른 분포 특성을 갖는 정지 영상과 동영상을 대상으로 기존의 영상 확대 방법과 제안된 영상 확대 방법에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시험 영상으로, 정지 영상은 512×512화소의 PEPPER, PLANE, LENA, PENTAGON과 256×256화소의 CAMERA, TV, HOUSE를 사용하였고, 동영상 시퀀스로는 360×288의 CLAIRE(#50~#80)와 MISSA-MERICA(#1~#30)를 이용하였다. 설명의 편의상, 제안된 방법은 주변 화소의 분포 특성과 윤곽의 방향성을 고려하지 않고 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 H-shaped PMED 성분과 FOI 성분을 평균한 값으로 보간하는 방

법(방법 I, APMED I)과 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에 FOI 성분과 H-shaped PMED 성분을 윤곽 경보의 방향성에 가중치를 부여하여 적응적으로 보간하는 방법(방법 II, APMED II)으로 구분하였다. 한편, 비교 대상 방법 중의 하나인 PMED 방법은 수평 및 수직 방향의 빈 화소점은 H-shaped PMED 성분만을 이용하여 보간한다. 이때, 제안된 방법 I (APMED I)과 제안된 방법 II (APMED II) 및 기존의 PMED 방법의 대각선 방향의 빈 화소점은 모두 부원도우 설정 방향을 수평 및 수직 방향의 유사도에 따라 가변적으로 전치하여 보간한다.

실제 확대할 시험 영상을 생성하기 위해 각 시험 영상의 격행과 격간을 하나씩 제거하여 1/2배의 축소 영상을 생성한 후, 이 축소 영상을 대상으로 각 방법들을 적용한 영상 확대 처리를 수행하였다. 시뮬레이션 결과에 대한 객관적인 성능 비교를 위해 이 축소 영상을 2배 확대한 영상과 격행과 격간을 제거하기 전의 원시 영상간의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 비교·평가하였다.

4.1 PSNR에 의한 성능 평가

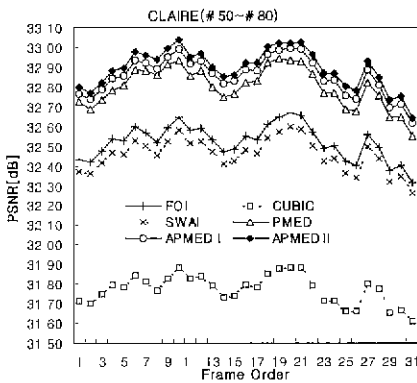
<표 1>에서 나타난 바와 같이, 정지 영상의 경우, PSNR 측면에서 APMED II는 ZOI 방법, FOI 방법, Cubic B-Spline 방법(CUBIC), SWAI 방법, PMED 방법, APMED I에 비해 각각 약 4.67dB, 0.28dB, 1.18dB, 0.46dB, 0.34dB, 0.02dB만큼 평균적으로 우수함을 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

<표 1> 정지영상들에 대한 각 방법의 PSNR비교

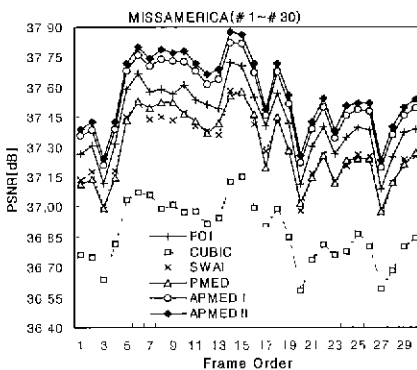
| Methods Images | [dB] | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|
| | ZOI | FOI | CUBIC | SWAI | PMED | APMED I | APMED II |
| PEPPER | 28.41 | 32.66 | 31.98 | 32.63 | 33.01 | 33.12 | 33.15 |
| PLANE | 27.30 | 32.73 | 31.42 | 32.44 | 31.82 | 32.61 | 32.63 |
| LENA | 26.91 | 31.79 | 30.82 | 31.52 | 31.78 | 32.08 | 32.11 |
| PENTAGON | 26.84 | 31.40 | 30.33 | 31.14 | 31.20 | 31.63 | 31.67 |
| CAMERA | 22.35 | 25.46 | 24.88 | 25.32 | 25.51 | 25.72 | 25.73 |
| TV | 32.40 | 37.11 | 36.05 | 36.87 | 37.13 | 37.43 | 37.41 |
| HOUSE | 26.04 | 29.83 | 29.20 | 29.83 | 30.11 | 30.19 | 30.22 |
| 평균 | 27.18 | 31.57 | 30.67 | 31.39 | 31.51 | 31.83 | 31.85 |

(그림 5)는 동영상 시퀀스에 각 방법을 적용하여 산출한 PSNR을 프레임 순으로 도시한 그래프로, PSNR 측면에서 객관적인 성능 향상이 있음을 확인할 수 있다.

(그림 6)은 LENA 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 확대 영상을 예시한 것으로, 프린터의 인쇄 해상도가 제한되어 있음을 감안하여 대비가 가능하도록 하기 위해 국부 영역을 ZOI 방법으로 또 다시 3배 확대한 영상을 예시한 것이다.



(a) CLAIRE



(b) MISSAMERICA

(그림 5) 각 방법의 PSNR 비교

ZOI 방법과 FOI 방법은 구현이 간단하고 처리 속도가 빠르다는 장점 때문에 디지털 영상 확대를 위한 영상 보간 기술로 보편화되어 있지만, 배율의 증가에 따라 영상의 불연속성이 강조되어 화질 열화가 누적되는 단점이 있다. 이로 인해 상대적으로 저급한 화소 재현성을 제공하고 있는 데, 특히, 평균적으로 높은 PSNR을 제공하는 FOI 방법은 필터 선계의 특성상, 텍스처 영역에서는 비교적 좋은 재현성을 제공하는 반면에 대각선

윤곽 심보에 재현성에 대한 고려가 미진하여 (그림 6(b))에서 살펴볼 수 있듯이, 대각선 윤곽 영역에서 심한 스텝 에지 현상을 발생시키고 있다. 또한, ZOI 방법은 (그림 6(a))에서와 같이 저주파 비평탄 영역을 제외하고는 전체적으로 심한 블록화 현상을 초래하고 있음을 발견할 수 있다. Cubic B-Spline 방법(CUBIC)은 고차 보간 방법임에 따라 ZOI 방법과 FOI 방법의 단점인 블록화 현상이나 스텝 현상을 현저하게 억제시킬 수 있기 때문에 기존의 방법들 중에서 상대적으로 우수한 주관적 화질을 제공하는 것을 알리져 있다. 그러나, Cubic B-Spline 방법(CUBIC)은 PSNR 결과와 (그림 6(c))를 통해 분석해 볼 때, 영상 전반에 걸쳐 고주파 정보를 너무 많이 손실당함으로 인해 심한 뭉툭화 현상을 초래하고 있으며, 비교적 많은 연산량을 소요하면서도 대각선 윤곽 정보의 재현성에 한계가 있음을 알 수 있다. 이에 반해, APMED I, APMED II 및 PMED 방법은 PSNR 측면에서는 기존의 방법들에 대해 미비한 성능 향상이 있을지라도 (그림 6(c), 6(f), 6(g))에서 살펴볼 수 있듯이, 대각선 윤곽 심보에 대한 주관적인 화질이 탁월함을 알 수 있다. 특히, APMED II는 PMED 방법이 갖고 있는 윤곽 정보에 대한 고유의 재현 특성을 최대한 유지함과 동시에 (그림 7)에서와 같이, 텍스처 영역에서는 FOI 방법이 갖는 장점을 효과적으로 반영하는 적응성을 갖고 있기 때문에 PMED 방법의 결점을 효과적으로 보완하는 타, 전체적으로 자연스러운 화질을 제공하고 있음을 알 수 있다.



(a) ZOI



(b) FOI



(e) PMED



(c) CUBIC



(f) APMED I



(d) SWAI



(g) APMED II



(h) ORIGINAL

(그림 6) LENA 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 국부 결과 영상



(a) PMED



(b) APMED I



(c) APMED II



(d) ORIGINAL

(그림 7) 각 방법의 MISSAMERICA #17 국부 결과 영상에 나타난 블록킹 현상

여기서, (그림 7)은 MISSAMERICA #17 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 확대 영상의 텍스처 영역에서 나타나는 블록킹 현상을 예시한 것으로, 프린티의 인쇄 해상도가 제한되어 있음을 감안하여 대비가 가능하도록 하기 위해 국부 영역을 ZOI 방법으로 또 다시 각각 3배 및 4배 확대한 영상을 예시한 것이다 (그림 7(a))를 통해 PMED 방법은 상대적으로 심한 화소의 불연속성을 야기시키고 있음을 발견할 수 있다. 이에 반해 APMED I, APMED II는 과도한 고주파 정보의 손실을 억제하면서 PMED 방법의 결점을 적절하게 보완하여 비교적 만족스러운 결과를 제공하고 있는 것으로 평가할 수 있다. 이따, APMED II는 APMED I에 비해 평균적으로 다소 우수한 주관적/객관적 성능을 제공한다.

그러나, (그림 7(d))의 원영상과 각 방식을 비교해 볼 때, 영상 보간에 기반한 디지털 확대 방법은 다소 복잡한 화소 변화가 발생하는 텍스춰 영역에서는 윤곽 영역에 비해 그 성능 향상 폭이 매우 저조함을 알 수 있는데, 앞에서 지적한 바와 같이, 이것은 격행과 격간이 제거된 축소 영상의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문이다.

4.2 연산량 비교

<표 2>는 각 방법을 적용하여 하나의 화소를 확대 보간할 시에 요구되는 연산량을 비교한 것이다.

<표 2> 각 방법의 연산량 비교

| 보간 방법 | | 연산종류 | | | | 비교 연산 | 절대 연산 |
|----------|-----------------------|------|----|-----|----|-------|-------|
| | | 가산 | 감산 | 승산 | 제산 | | |
| FOI | | 1 | | 1 | | | |
| CUBIC | | 24 | | 25 | 1 | | |
| SWAI | | 11 | 7 | 6 | 2 | | 7 |
| PMED | Horizontal & Vertical | 1 | | 1 | | 9 | |
| | Diagonal | 5 | 6 | 2 | | 10 | 7 |
| APMED I | Horizontal & Vertical | 1+1 | | 1-1 | | 9 | |
| | Diagonal | 5 | 6 | 2 | | 10 | 7 |
| APMED II | Horizontal & Vertical | 1+7 | -7 | 1+4 | +3 | 9+2 | +7 |
| | Diagonal | 5 | 6 | 2 | | 10 | 7 |

구성 및 처리 방법 간에 다소 차이가 있기 때문에 동일한 연산으로 각 방법을 비교할 수는 없지만, <표 2>를 통해 사칙 연산량과 비교 연산량 및 절대값 연산량을 비교해 볼으로써 통상적인 하드웨어 설계 시, 시스템의 복잡성과 실시간 구현성 정도를 대략적으로 살펴 볼 수 있다.

이때, 연산을 수행할 시에 요구되는 임시 저장 수단인 버퍼의 수(또는, 레지스터수)는 비교 대상에서 제외하기로 한다. 제안된 방법 I은 대각선 방향의 빈 화소점을 보간할 시에는 PMED와 동일한 연산량이 소요되고, 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에는 H_shaped PMED 성분과 FOI 성분을 평균내기 위해 1회의 가산, 1회의 승산이 추가로 소요된다. 제안된 방법 II는 대각선 방향의 빈 화소점을 보간할 시에는 PMED와 동일한 연산량이 소요되고, 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에는 FOI 성분과 H_shaped PMED 성분을 윤곽 정보의 방향성에 가중치를 부여하기 위해

7회의 가산, 7회의 감산, 4회의 승산, 3회의 제산, 2회의 비교 연산 및 7회의 절대 연산이 추가로 소요된다. 각 경우의 연산량에 대한 산출 방식의 기준을 변경하면 다소 다른 결과가 나올 수 있으며, 각 경우의 발생 빈도는 각 시험 영상에 따라 다를 수 있지만, 각 경우에 대한 전체 연산량의 변동 폭이 적음에 따라 평균적인 연산량을 통해 제안된 방법에 대한 연산량 평가를 수행하더라도 무리가 없을 것이다

5. 결 론

본 논문에서는 확장 영상을 기준할 때, 수평 및 수직 방향의 빈 화소점을 보간할 시에 FOI 성분과 영상 확대용 Pseudomedian 필터의 출력 성분을 윤곽 강도의 방향성에 가중치를 부여하여 보간하고 대각선 방향의 빈 화소점은 부윈도우 설정 방향을 수평 및 수직 방향의 유사도에 따라 가변적으로 전치하여 보간함으로써 영상 확대용 Pseudomedian 필터가 갖고 있는 윤곽 정보에 대한 고유의 재현 특성을 최대한 유지하면서 텍스춰 정보를 재현할 시에 FOI가 갖는 장점을 효과적으로 반영될 수 있는 영상 확대용 적응형 Pseudomedian 필터를 제안하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방법과 기존의 방법들의 주관적/객관적인 성능을 비교·분석함으로써 제안된 방법의 우수성을 입증하였다. 이 과정에서 본 알고리즘의 보편성을 위해 주파수의 포함 정도 및 공간 분포도가 서로 다른 정지 영상과 동영상을 실험 대상으로 삼았다. 이 시뮬레이션 결과로 제안된 방법은 제한된 화소 샘플을 이용함에 따른 시간적인 거부감의 초래를 효과적으로 억제할 수 있을 뿐만 아니라 원영상의 특성과 형상을 최대한 보존할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 기 제안된 Pseudomedian 필터 기반 영상 확대 방법의 결점을 효과적으로 보완하여 전체적으로 자연스러운 화질을 제공하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 제안된 방법 II는 과도한 추가 연산량을 필요로 하는 단점이 있으며, 제안된 방법 I은 비교적 적은 추가 연산량을 발생시키지만 대각선 윤곽 정보에 대한 재현성이 상대적으로 저조한 단점을 갖고 있다. 또한, 다소 개선되었지만 여전히 기존의 Pseudomedian 필터 기반 영상 확대 방법과 마찬가지로 인상이 고개울로 확대가 될수록 윤곽 정보는 거의 완벽하게 재현되는 반면에 텍스춰 정보에 대한 재현성이 상대적으로 저조한 단점을 갖고 있다.

제안된 방법은 프레임내 확대 방법을 채택함으로써 시스템 구성 시에 필드 메모리나 프레임 메모리를 사용할 경우에 초래되는 비용상의 부담을 최소화함과 동시에 그 구성면에서 MIN, MAX 회로와 2개의 라인 메모리, 시직 연산을 위한 소정의 선형 회로만으로 하드웨어 구성이 가능하므로 성능향상에 비해 하드웨어 복잡도가 소폭 증가하는 바, 가격적인 면에서도 유리함에 따라 그 실용성에 의의가 있다. 특히, 연산량 측면에서 볼 때, 제안된 방법 I 은 제안된 방법 II 에 비해 비교적 적은 추가 연산량을 발생시키면서도 대부분의 영상에서 제안된 방법 II 와 거의 대등한 주관적/객관적 화질을 제공함에 따라 연산량의 감축이 현안이 되는 응용 분야에서는 제안된 방법 I 을 채택하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

[1] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, pp.253-255, 1989.
 [2] 백중호, 백준기, "영상 워핑을 이용한 확대 영상의 해상도 향상", 제9회 신호처리합동학술대회 논문집 Vol.9, part 2, pp.1147-1150, Oct. 1996
 [3] M. A. Sid-Ahmed, *Image Processing-Theory, Algorithms, and Architectures*, McGraw-Hill, pp 167-177, 1995.
 [4] 김희상, 이상호, 고한식, "A Image Interpolation Using Cubic Hermite Method", 제11회 신호처리합동학술대회 논문집, Vol.11, No.1, pp.33-36, Oct. 1998.
 [5] D. Nguyen, E Dubois, "Spatio-Temporal Adaptive Interlaced to Progressive Conversion," *International Workshop on HDTV'92 Proceeding*, Vol.2, No.11, pp.18-20, 1992.
 [6] H. Rabtanan, "Color Video Signal Processing with Median Filters," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*. Vol.38, No.3, pp.157-161, Aug. 1992.
 [7] A. Albiol, "Morphological Image Enlargements," *Journal of Visual Communication and Image Re*

presentation, Vol.8, No.4, pp.367-383, Dec. 1997.

[8] 광노윤, 권병헌, 황병원, "적응형 Pseudomedian 필터를 이용한 De-Interlacing Scan Conversion". 한국통신학회 논문지, Vol.23, No.3B, pp.516-526, Mar. 1999.
 [9] 광노윤, 권병헌, 황병원, "디지털 영상 확대를 위한 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방법", 대한전자공학회 논문지, pp.91-102, Sep. 1999.



광 노 윤

e-mail : nykwak@mfocon.chonan.ac.kr
 1994년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사)
 1996년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사)
 2000년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1998년~2000년 유한대학 정보통신과 겸임교수
 2000년~현재 친안대학교 정보통신학부 전임강사
 관심분야 : 정지영상 및 동영상 압축, 질라 영상 처리 및 검색, D-TV 데이터 방송, 영상 디스플레이, 컴퓨터비전 등



황 병 원

e-mail : bwhwang@mail.hankong.ac.kr
 1972년 한국항공대학 항공전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 동경대학 대학원 전기공학과(공학석사)
 1984년 동경대학 대학원 전기공학과(공학박사)

1984년~1985년 국방과학연구소 선임연구원
 1993년~1994년 동경대학 전기공학과 교환교수
 1985년~현재 한국항공대학교 항공전자공학과 교수
 관심분야 : 영상처리 및 영상인식, 동영상 신호처리, 교통류 제어 등