論文99-36S-9-10

# 디지털 영상 확대를 위한 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방법

# (A Method for Selecting the Subwindows of Pseudomedian Filter for Digital Image Enlargement)

郭 魯 尹 *, 權 炳 憲 **, 黃 秉 元 *

(No-Yoon Kwak, Byong-Heon Kwon, and Byong-Won Hwang)

## 요 약

하나의 정지 영상 내에서 공간적으로 인접한 화소들의 정보만을 사용하여 디지털 영상을 확대하는 방법은 원영상 정보의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문에 영상의 크기는 증가시킬 수 있으나 실질적인 해상도 향상에 대한 기여는 미비한 것으로 알려지고 있다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 보간 화소점에 인접한 화소들의 분포 특성에 따라 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방향을 가변적으로 전치하여 윤곽 정보의 재현성을 개선한 디지털 영상 확대 방법을 제안하고 있다. 보간용 Pseudomedian 필터는 보간 화소점에 평행한 2개의 부윈도우에 의해 마스킹되는 화소값들이 서로 유사하고, 이 2개의 부윈도우와 직교하는 나머지 하나의 부윈도우에 의해 마스킹되는 화소값들이 유사할수록 윤곽 정보의 재현성이 우수해지는 특성을 갖고 있다. 따라서, 본 논문에서는 Pseudomedian 필터의 부윈도우를 설정할 시에 이와 같은 특징을 고려하여 디지털 영상 확대를 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 후, 이 시뮬레이션 결과를 토대로 제안된 방법의 성능을 분석하고 그 타당성과 유용성을 평가하였다. 제안된 방법에 따르면, 제한된 화소 샘플을 이용함에 따른 시각적인 거부감의 초래를 효과적으로 억제할 수 있을 뿐만 아니라 원영상의 특성과 형상을 최대한 보존할 수 있다.

## Abstract

It is known that the digital image enlargement technique which only uses spatially neighbored pixels information in a still image can increase the size of the image but the practical enhancement of resolution is small because the frequency bandwidth of the image is basically limited. To solve this problem, this paper proposes the digital image enlargement technique that improves the reconstruction of the edge components by selectively transposing the direction of the subwindows of pseudomedian filter according to the distribution of neighbored pixels to the interpolation point. The pseudomedian filter has the better performance in aspect of the reconstruction of edge information when the pixel values masked by two subwindows parallel to the interpolation point are very similar and the pixel values masked by another subwindow that is orthogonal to the above two subwindows are similar to each other. In this paper, the computer simulation for digital image enlargement was performed with consideration of these characteristics when selecting the subwindows of pseudomedian filter. Based on this simulation result, the performance of the proposed method was analysed and its effectiveness was assessed. According to the proposed method, visual artifacts that result from using the limited samples can be effectively suppressed, and most characteristics and shapes of the original image can be preserved as well.

* 正會員, 韓國航空大學校 航空電子工學科
(Hankuk Aviation University Dept. of Avionics)

** 正會員, 柳韓大學 情報通信科
(Yuhan College Dept. of Information and Telecommunication)

接受日字:1999年4月9日, 수정완료일:1999年7月26日

# I. 서 론

영상 확대 기술은 크게 광학적 영상 확대와 디지털 영상 확대로 구분할 수 있다. 광학적 영상 확대와 디지털 영상 확대는 모두 원영상의 특성과 형상을 최대한 유지하면서 영상을 확대하고자 하는 것으로, 각각 광학 렌즈와 컴퓨터의 연산을 이용하는 것이 가장 큰 차이점이다. 광학적 확대 기술은 원하는 배율을 제공하기 위해 다수의 렌즈 조합을 사용해야 하기 때문에 그 실용성이 상대적으로 떨어지지만 고배율에서도 우수한 화질을 제공하는 반면에 디지털 영상 확대 기술은 디지털 신호 처리 기법을 이용함에 따라 구현이 용이하고 실용성이 뛰어난 장점을 가지고 있지만 고배율에서는 상대적으로 저급한 화질을 제공한다. 통상, 디지털 영상 확대는 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 알려지고 있다. 왜냐하면 원영상에는 영상 확대에 이용할 수 있는 정보량, 즉, 원 영상 정보의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문이다[1][2].

이에 따라 본 논문에서는 영상 확대 기술과 관련된 문제에 효과적으로 대응하고자 기 제안한 주사선 보간용 Pseudomedian 필터[11]를 디지털 영상을 확대하기 위한 구조로 변형함과 동시에 Pseudomedian 필터의 화소 재현성을 극대화하기 위해 대각선 방향의 보간 화소점에 인접한 화소들의 분포 특성에 따라 보간용 Pseudomedian 필터[11]의 부윈도우 설정 방향을 가변적으로 전치(transpose)하여 윤곽 정보의 재현성을 개선한 디지털 영상 확대 방법을 제안하고 있다.

일반적으로, 주사선 보간용 Pseudomedian 필터[11]의 보간 처리는 수직 방향으로 2:1 upsampling하는 과정으로 이해할 수 있고, 영상 확대용 Pseudomedian 필터의 보간 처리는 주사선 보간용 Pseudomedian 필터에서와 같이 수직 방향으로 2:1 upsampling을 수행한 후, 수평 방향에 대해 2:1 upsampling하는 과정을 반복적으로 적용함으로써 결과적으로 영상을 확대하는 것으로 이해할 수 있다.

그러나, 주사선 보간용 Pseudomedian 필터[11]의 경우, 부윈도우의 설정 방향이 모든 보간 화소점에서 유일하게 결정되지만, 영상 확대용 Pseudomedian 필터는 그렇지 않다. 다시 말해서, 수평 방향의 빈 화소점과 수직 방향의 빈 화소점를 보간하기 위한 부윈도우의 설정 방향은 최적인 것이 유일하게 결정되는 반면, 대각선 방향의 빈 화소점의 경우에는 수평 방향과 수직 방향에 걸쳐 동일한 최적 가능성이 제공된다. 이에 따라 제안된 방법은 이 두 방향 중에서 좀 더 우수한 결과를 제공할 것으로 예측되는 방향으로 부윈도우의 방향을 전치하여 설정함으로써 윤곽 정보의 재현성을 개선함에 그 목적이 있다.

이하, 본 논문의 구성은 다음과 같다. I장 서론에 이어서 II장 및 III장에서는 각각 기존의 영상 확대 방법과 Pseudomedian 필터에 대해 소개했고, 제안된 영상 확대 방법은 IV장에 구체적으로 설명하였으며, V장에는 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 고찰하였으며, VI장은 이에 대한 결론을 기술하였다.

# II. 기존의 영상 확대 방법

디지털 영상 확대 기술은 프레임 메모리의 사용여부에 따라 크게 프레임간 확대 방법과 프레임내 확대 방법으로 구분된다. 프레임간 확대 방법은 영상내 피사체의 공간적인 움직임 주파수 특성이 시간적인 프레임 주파수 특성에 비해 현저히 낮아야만 하는 제한 사항이 있으며, 실제의 성능 향상에 비해 그 알고리즘의 복잡성과 과도한 연산량 및 하드웨어 비용의 부담으로 인해 그 실용성에 대한 의문이 제기되고 있다. 한편, 프레임내 확대 방법은 알고리즘이 간단할 뿐만 아니라 한정된 정보량만을 이용하기 때문에 구조가 간단하고 장치화가 용이한 반면에 원영상 정보의 주파수 대역이 제한되어 있기 때문에 프레임내 확대 방법에 비해서는 대체적으로 저급한 성능을 제공하는 것으로 알려지고

있다[2][3].

그리고, 영상 확대를 수행하는 필터의 설계 방식 측면에서 살펴볼 때, 보간 함수에 대한 수학적인 분석을 통해 퓨리에 연산자(Fourier operator)나 컨벌루션 연산자(convolution operator)와 같은 보간 연산자를 정의하고 이를 통해 영상을 확대하는 방법이 있으며, 수학적인 보간 연산자를 이용한 방법의 한계를 극복하기 위해 비선형 필터 또는 적응형 필터의 특성을 효과적으로 이용하는 방법이 다수 제안되어 있다.

전자에 따른 방법으로는 ZOI(Zero Order Interpolation, 0차 보간) 방법, FOI(First Order Interpolation, 1차 보간) 방법, Cubic Convolution 방법[5], Cubic B-Spline 방법[5], Cubic Hermite 방법[6] 등이 대표적이다. 후자에 따른 방법으로는 SWAI(Spatio-Weighted Adaptive Interpolation, 시공간 적응 보간) 방법[7][11], 미디안 필터(MED; Median Filter) 방법[8], 형태학적 필터 방법[9] 등이 대표적이며, 이들은 전자에 따른 방법에 비해 노이즈에 강하며 비교적 우수한 성능을 제공하는 반면에 대체적으로 과도한 연산량을 요구할 뿐만 아니라 분석이 난해하다는 단점이 있다.

전자에 따른 방법들 중에서 현재 널리 이용되고 있는 ZOI 방법과 FOI 방법 및 Cubic B-Spline 방법에 대해 간략하게 살펴보면, 확대전 원영상의 격간과 격행에 0을 삽입하여 확장한 영상에 각각 식(1)과 식(2)의 컨벌루션 연산자를 적용하여 컨벌루션 연산을 수행하는 ZOI 방법과 FOI 방법은 구현이 간단하고 처리 속도가 빠르다는 장점 때문에 디지털 영상 확대를 위한 영상 보간 기술로 보편화되어 있다.

하지만, 배율의 증가에 따라 영상의 불연속성이 강조되어 화질 열화가 누적됨으로 인해 상대적으로 저급한 화소 재현성을 제공하는 것으로 알려져 있다[3].

$$H=\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$H=\frac{1}{4}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

특히, FOI 방법은 필터 설계의 특성상, 대각선 윤곽 정보에 재현성에 대한 고려가 미진함에 기인하여 대각선 윤곽 영역에서 심한 스텝 에지 현상을 발생시키며, ZOI 방법은 저주파 비평탄 영역을 제외하고는 전체적으로 심한 블록화 현상을 초래하는 단점이 있다.

고차 보간 방법 중의 하나인 Cubic B-Spline 방법은 ZOI 방법과 FOI 방법에서와 같이, 격간과 격행에 0을 삽입하여 확장한 영상에 식(3)의 컨벌루션 연산자를 적용하여 컨벌루션 연산을 수행하는 방법이다.

$$H=\frac{1}{64}\begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

결과적으로, 식(2)를 통해 두 번의 컨벌루션 연산을 수행하는 것과 동일한 결과를 제공하는 저주파 필터링적인 영상 확대 방법임에 따라 ZOI 방법과 FOI 방법의 단점인 블록화 현상이나 스텝 현상을 현저하게 억제시킬 수 있는 반면에 심한 몽롱화 현상을 수반하고 상대적으로 많은 고주파 정보를 잃어버리며 비교적 많은 연산량이 요구되는 단점이 있다. 그러나, ZOI 방법과 FOI 방법에 비해 보간 영상의 불연속성을 효과적으로 억제할 수 있으며 비교적 우수한 주관적인 화질을 제공함에 따라 매우 바람직한 영상 확대 방법인 것으로 널리 평가받고 있다[5].

비록 최적의 수학적 보간 연산자라 할지라도 성능 향상 폭에는 한계가 있음에 따라 본질적으로 개선된 성능을 제공하기 위해서는 비선형 필터의 특별한 특성을 요구되는 데, 이러한 취지에서 제안된 후자의 방법들 중에서 SWAI 방법과 미디안 필터 방법에 대해 간략하게 살펴보면, SWAI 방법은 필드내에서 보간하고자 하는 화소의 상, 하의 화소를 평균한 필터와 4방향의 대각선에 위치하는 화소의 평균을 취한 필터에서 수직, 대각선방향의 차를 구하고, 이를 근거로 인접 화소의 방향성을 파악한 후, 이에 비례하는 가중치를 곱하여 보간 화소값을 산출하는 방법이다[7]. SWAI 방법은 기본적으로 FOI 방법에 기초하여 인접 화소의 분포 특성에 따른 가중치를 이용하는 것임에 따라 FOI 방법의 단점을 근본적으로 극복하는 데에는 한계가 있을 뿐만 아니라 성능 향상에 비해 비교적 많은 연산량이 요구되는 단점이 있다. 미디안 방법[9]은 인접하는 상, 하 라인의 화소와 이전 필드의 화소에서의 중간값이 미디안 필터의 출력이 되는 일종의 프레임간 영상 확대 방법이다. 이를 변형할 경우 프레임내 영상 확대 방법으로 용이하게 변형할 수 있다. 미디안 필터링은 신호 처리에 사용되는 가장 보편적인 비선형 기법 중의 하나로, 개념적으로는 복잡하지는 않지만 실제로는 많은 연산량을 요구하는 단점이 있다.

## Ⅲ. Pseudomedian 필터

### 1. Pseudomedian 필터의 정의

Pseudomedian 필터는 적은 연산량으로 미디안 필터와 유사한 특성을 제공하기 위해 Pratt, Cooper, Kabir에 의해 제안된 바 있다. 미디안 필터는 불연속 신호상에서 동작하고, 처리하고자 하는 신호를 중심으로 해서 2N+1 샘플폭의 윈도우를 갖으며, 이 윈도우에 포함된 2N+1 샘플들의 중간값이 필터의 출력이 된다. Pseudomedian 필터도 역시 이산 신호상에서 동작하고 2N+1의 샘플폭을 갖지만 미디안 필터와 달리 2N+1 샘플들을 N+1 크기의 부윈도우로 마스킹하여 최대치들 중의 최소치와 최소치들 중의 최대치를 평균함으로써 Pseudomedian 필터의 출력값을 산출하게 된다. 예컨대, Pseudomedian 필터는 N=1, N=2에 대해 각각 식(4) 및 식(5)와 같이 나타낼 수 있다[10].

$$PMED_3\{a,b,c\} = 0.5\times\max\{\min\{a,b\},\min\{b,c\}\} + 0.5\times\min\{\max\{a,b\},\max\{b,c\}\} \quad (4)$$

여기서, 샘플들의 수와 부윈도우의 크기는 각각 3과 2가 되고, $PMED_3\{a,b,c\}$은 3점 샘플폭의 Pseudomedian 필터의 출력값을 의미한다.

$$PMED_5\{a,b,c,d,e\} = 0.5\times\max[\min\{a,b,c\},\min\{b,c,d\},\min\{c,d,e\}] + 0.5\times\min[\max\{a,b,c\},\max\{b,c,d\},\max\{c,d,e\}] \quad (5)$$

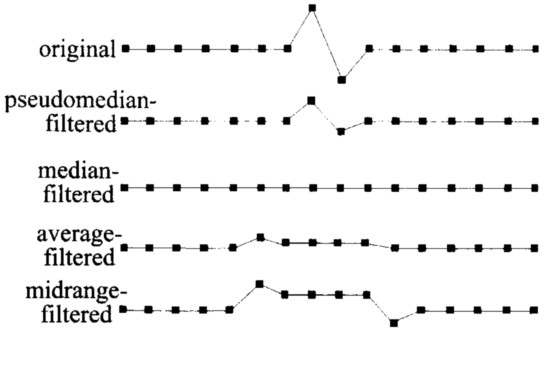



그림 1. 5점 샘플폭에 의해 필터링된 2점 임펄스 응답 특성

Fig. 1. Two-point impulse filtered by 5 samples.

여기서, 샘플들의 수와 부윈도우의 크기는 각각 5와 3이 되고, $PMED_5\{a,b,c,d,e\}$는 5점 샘플폭의 Pseudomedian 필터의 출력값을 의미한다. 그림 1은 5점 샘플폭에 의해 처리된 2점 임펄스 응답 특성을 나타낸 것이다. Pseudomedian 필터는 미디안 필터와는 달리 윈도우에서 N+1의 부윈도우만을 사용하기 때문에 그림 1에서와 같이 미디안 필터에 비해 중심점에 더욱 강한 가중치를 부여할 수 있고 연산량을 효과적으로 감축할 수 있는 것이 특징이다.

### 2. 주사선 보간을 위한 Pseudomedian 필터

윈도우 형태와 크기는 2차원 Pseudomedian의 특성에 큰 영향을 준다. Pratt는 Square, Pulse-shaped, Circular 윈도우에 대해 2 차원 Pseudomedian 필터를 정의했다[10]. 이러한 2차원 Pseudomedian 필터에 착안하여 주사선 보간용 Pseudomedian 필터[11][12]를 제안한 바 있는 데, 이는 비월주사를 순차주사로 변환하는 TV 주사선 보간 분야에 Pseudomedian 필터의 개념을 적용한 것으로, 필드 메모리를 사용하지 않는 필드내 보간 방법이다. 그림 2의 3 × 3 윈도우에서 Pseudomedian 필터링을 위한 부윈도우를 설정하는 방법에 따라 H-shaped PMED와 Asterisk-shaped PMED의 두 가지의 유사 방법을 제안하였으며 이들은 각각 식(6) 및 식(7)과 같다. 통상, 이 두 방법 중에서 H-shaped PMED이 더욱 더 우수한 결과를 제공한다[11][12].

$$g = \text{H-shaped PMED}\{a,b,c,d,e,f\} = 0.5\times\max[\min\{a,b,c\},\min\{d,e,f\},\min\{b,e\}] + 0.5\times\min[\max\{a,b,c\},\max\{d,e,f\},\max\{b,e\}] \quad (6)$$

$$g = \text{Asterisk-shaped PMED}\{a,b,c,d,e,f\} = 0.5\times\max[\min\{a,f\},\min\{c,d\},\min\{b,e\}] + 0.5\times\min[\max\{a,f\},\max\{c,d\},\max\{b,e\}] \quad (7)$$

그림 2에서 a,b,c는 (n-1) 번째 주사선에 위치하는 화소들이며, d,e,f는 (n+1) 번째에 위치하는 화소들이다. 여기서, g는 보간될 화소를 나타내는 것으로, g가 위치하는 라인이 보간되어지는 주사선이다.

H-shaped PMED는 식(6)을 통해 알 수 있듯이, 보간될 화소 g의 상하 라인에서 평행하게 각각 3개의 샘플 화소를 포함하는 2개의 부윈도우 {a,b,c}, {d,e,f}와 이 2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 화소를 포함하는 1개의 부윈도우 {b,e}를 이용하여 각 부윈도우의 최

| | | | |
|---|---|---|---|
| I(i-1, j-1) = a | I(i-1, j) = b | I(i-1, j+1) = c | (n-1)th line |
| I(i, j-1) | I(i, j) = g | I(i, j+1) | Interpolated line (n+1)the line |
| I(i+1,j-1) = d | I(i+1, j) = e | I(i+1,j+1) = f | (n+1)the line |

그림 2. PMED 연산에 사용된 화소군
Fig. 2. Pixels used for PMED.

대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 Pseudomedian 필터의 출력값을 산출하게 된다.

## Ⅳ. 제안된 영상 확대 방법

### 1. Pseudomedian 필터에 의한 영상 확대

H-shaped PMED에 의한 디지털 영상 확대 과정은 주사선 보간과 매우 유사하지만, 그림 2(a)에서와 같이, 원영상의 화소를 확대하고자 하는 간격만큼 띄어 놓는 영상 확장 과정을 수행함으로 인해 2배의 확대 영상을 기준할 때, 임의의 원화소를 중심으로 수평, 수직, 대각선 방향에 화소가 존재하지 않는 격자점이 출현하게 된다. 이런 이유로 주사선 보간에 비해 영상 확대 과정에서 이용할 수 있는 인접 화소에 대한 정보는 매우 제한적이다. 따라서, 주사선 보간 과정에서는 Pseudomedian 필터링을 수행하기 위한 부윈도우의 설정 방법이 고정적인 것에 반해 영상 확대 과정에서는 다양한 부윈도우 설정 방법이 있을 수 있고, 이 부윈도우 설정 방법에 따라 보간 성능의 격차가 크게 나타남 따라 이를 결정할 시에는 Pseudomedina 필터의 특성에 대한 정확한 이해가 필요하다. 예컨대, 단순하게, 그림 2(a)에서 수평 방향에 대해 FOI 방법을 적용하여 빈 화소점을 보간한 후, 이렇게 보간된 화소와 원화소를 대상으로 H-shaped PMED를 적용하여 주사선 보간 과정과 동일한 방법으로 수직 및 대각선 방향의 빈 화소점의 화소들을 보간하는 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방법이 제안되어 있지만[13], 앞에서 지적했듯이, FOI 방법의 필터 특성상, 선형 보간된 화소가 대각선 윤곽 영역에서 심한 스텝 에지 현상을 야기시킴에 따라 영상의 불연속성이 누적되기 때문에 이렇게 보간된 화소를 기본적으로 이용하는 그 이후의 보간 과정에서는 열악한 보간 성능을 제공할 수밖에 없다. 이러한 문제를 회피하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 Pseudomedina 필터의 부윈도우 설정 방법을 제안한다.

우선, 그림 3(b)에서와 같이, 빈 화소점을 무시한 상태에서 수평 방향에 대해 보간될 빈 화소점 ①의 상하 라인에서 평행하게 각각 3개의 샘플 화소를 포함하는 2개의 부윈도우 A, B와 이 2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 화소를 포함하는 부윈도우 C를 설정하여 식(8)과 같이 각 부윈도우의 최대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 수평 방향의 빈 화소점 ①을 보간한다.

$$
\begin{aligned}
① &= \text{H-shaped PMED}\{A,B,C\} \\
&= 0.5\times \max[\min\{A\},\min\{B\},\min\{C\}] \\
&\quad +0.5\times \min[\max\{A\},\max\{B\},\max\{C\}] \qquad (8)
\end{aligned}
$$

다음으로, 그림 3(c)을 참조할 때, 빈 화소점과 보간된 화소점 ①을 무시한 상태에서 수직 방향에 대해 보간될 빈 화소점 ②의 좌우 라인에서 평행하게 각각 3개의 샘플 화소를 포함하는 2개의 부윈도우 A′, B′와 이 2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 화소를 포함하는 부윈도우 C′를 설정하여 식(9)와 같이 각 부윈도우의 최대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 수직 방향의 빈 화소점 ②를 보간한다.

$$
\begin{aligned}
② &= \text{H-shaped PMED}\{A',B',C'\} \\
&= 0.5\times \max[\min\{A'\},\min\{B'\},\min\{C'\}] \\
&\quad +0.5\times \min[\max\{A'\},\max\{B'\},\max\{C'\}] \qquad (9)
\end{aligned}
$$

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 3(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(10)와 같이 각 부윈도우의 최대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 대

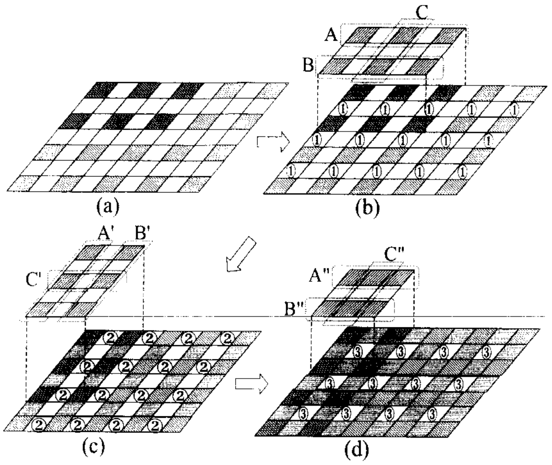



그림 3. H-shaped PMED에 의한 디지털 영상 확대 과정

Fig. 3. Process for enlarging the digital image using H-shaped PMED.

각선 방향의 빈 화소점 ③을 보간한다.

$$③ = \text{H-shaped PMED}\{A'', B'', C''\} = 0.5\times\max[\min\{A''\},\min\{B''\},\min\{C''\}] + 0.5\times\min[\max\{A''\},\max\{B''\},\max\{C''\}] \quad (10)$$

2. 부윈도우의 설정 방향 결정

그림 3을 참조할 때, 수직 방향의 빈 화소점 ①과 수직 방향의 빈 화소점 ②를 보간하기 위한 부윈도우의 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. 다시 말해서, 전술한 식(10)의 경우는 부윈도우의 설정 방향을 두 방향 중에서 임의로 수평 방향으로 택일한 것일 뿐이다. 그림 4와 같이, 부윈도우의 설정 방향을 수직 방향으로 선정할 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 부윈도우 $A^*$, $B^*$ 와 이 2개의 부윈도우와 직교하면서 2개의 보간된 화소를 포함하는 부윈도우 $C^*$를 설정하여 식(11)과 같이 각 부윈도우의 최대치들 중에서 최소치와 최소치들 중에서 최대치를 평균함으로써 대각선 방향의 빈 화소점 ③을 보간할 수도 있는 것이다.

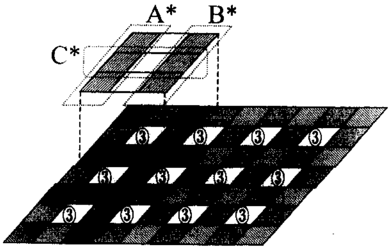



그림 4. 수직 방향 부윈도우를 갖는 H-shaped PMED에 의한 대각선 방향의 빈 화소점의 보간

Fig. 4. Interpolation of diagonal point using H-shaped PMED with vertical direction-subwindows.

이 경우, 확률적으로 기대할 수 있는 보간 성능은 식(10)의 경우와 동일하다.

$$③ = \text{H-shaped PMED}\{A^*, B^*, C^*\} = 0.5\times\max[\min\{A^*\},\min\{B^*\},\min\{C^*\}] + 0.5\times\min[\max\{A^*\},\max\{B^*\},\max\{C^*\}] \quad (11)$$

통상, H-shaped PMED은 대각선 방향과 수직 방향에 대한 윤곽 정보의 재현성이 매우 우수한 것으로 평가되고 있다[12]. 그림 5는 H-shaped PMED에 의한 각 방향 윤곽의 재현성 정도를 예시한 것이다. 예컨대, 그림 5(a)와 같이, 45°, 90°, 135° 방향의 윤곽을 포함하는 이진 원영상에서 그림 5(b)처럼 격행을 제거한 후, H-shaped PMED를 적용하여 빈 화소점 g를 보간할 경우, 그림 5(c)와 같이, 원래의 화소값을 그대로 재현해낸다.

이러한 윤곽 정보의 재현성은 256 계조 영상에서도 유사하게 나타남에 따라 이러한 결과를 토대로 H-shaped PMED의 특징을 면밀하게 분석해보면, H-shaped PMED은 보간될 화소점에 평행한 2개의 부윈도우에 의해 마스킹되는 화소값들이 서로 유사하고, 이 2개의 부윈도우와 직교하는 나머지 하나의 부윈도우에 의해 마스킹되는 화소값들이 유사할수록 윤곽 정보의 재현성이 우수해지는 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

이에 따라 그림 1을 참조할 때 식(10)의 수평 방향의 부윈도우에 포함되는 화소값들의 유사성 정도를 정량적으로 파악하기 위해 식(12)로부터 $S_H$를 구하여 $S_H$의 역수를 수평 방향의 유사도로 정의하고, 마찬가지로,

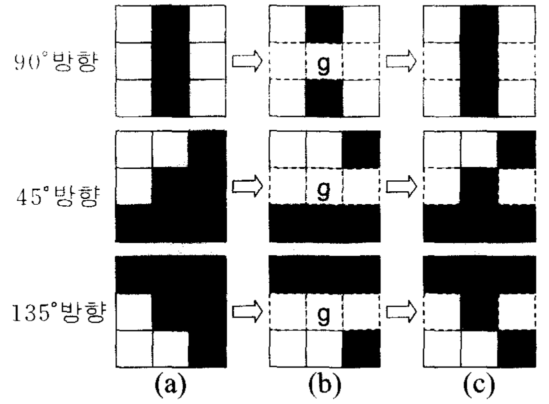



그림 5. H-shaped PMED에 의한 각 방향 윤곽의 재현성

Fig. 5. Characteristic of reconstruction of H_shaped PMED for each direction

식(11)의 수직 방향의 부원도우에 포함되는 화소값들의 유사성 정도를 정량적으로 파악하기 위해 식(13)로부터 $S_V$ 를 구하여 $S_V$ 의 역수를 수직 방향의 유사도로 정의한다.

$$S_H = |I(i-1,j-1)-I(i-1,j+1)| + |I(i-1,j)-I(i+1,j)| + |I(i+1,j-1)-I(i+1,j+1)| \quad (12)$$

$$S_V = |I(i-1,j-1)-I(i+1,j-1)| + |I(i,j-1)-I(i,j+1)| + |I(i-1,j+1)-I(i+1,j+1)| \quad (13)$$

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(10)과 같이 부원도우의 설정 방향을 수평 방향으로 선정하고, 그렇지 않을 경우에는 역으로 수직 방향에 대한 유사도가 클 가능성이 높기 때문에 식(11)과 같이, 부원도우의 설정 방향을 수직 방향으로 선정한다. 이상의 유사도 비교 과정을 통해 H-shaped PMED의 부원도우 설정 방향을 가변적으로 전치(transpose)함으로써 윤곽 정보의 재현성을 용이하게 개선할 수 있다.

## V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 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 512×512 화소의 PEPPER, PLANE, LENA, PENTAGON과 256×256화소의 CAMERA, TV, HOUSE, GIRL을, 동영상은 360×288 크기의 CLAIRE(#50~#80), 352×240 크기의 TABLETENNIS(#0~#30), 360×288 크기의 MISSAMERICA(#1~#30), SALESMAN(#101~#130)를 이용하였다. 설명의 편의상, 제안된 방법은 대각선 방향의 빈 화소점에 대해 부원도우 설정 방향 고정시킨 방법(방법 I, PMED I)과 수직 및 수평 방향에 대한 화소값의 유사도에 따라 부원도우 설정 방향을 전치시키는 방법(방법 II, PMED II)으로 구분하였다. 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 원시험 영상 간의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 비교・평가하였다.

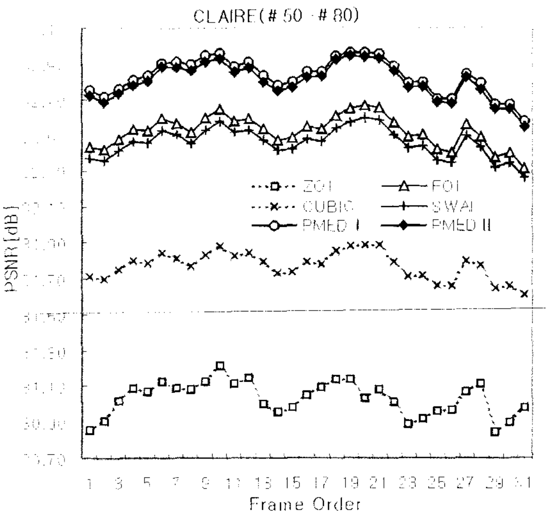
### 1. PSNR에 의한 성능 평가

표 1. 정지영상들에 대한 각 방법의 PSNR비교[dB]

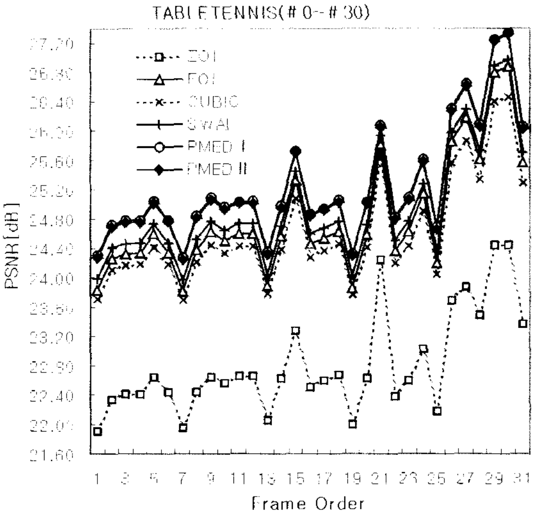
Table 1. Comparison of each methods by PSNR for still images [dB]

| Methods / Images | ZOI | FOI | CUBIC | SWAI | PMED I | PMED II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PEPPER | 28.41 | 32.66 | 31.98 | 32.63 | 33.01 | 33.01 |
| PLANE | 27.30 | 32.73 | 31.42 | 32.44 | 31.64 | 31.82 |
| LENA | 26.91 | 31.79 | 30.82 | 31.52 | 31.73 | 31.78 |
| PENTAGON | 26.84 | 31.40 | 30.33 | 31.14 | 31.13 | 31.20 |
| CAMERA | 22.35 | 25.46 | 24.88 | 25.32 | 25.54 | 25.51 |
| TV | 32.40 | 37.11 | 36.05 | 36.87 | 37.04 | 37.13 |
| HOUSE | 26.04 | 29.83 | 29.20 | 29.83 | 30.08 | 30.11 |
| GIRL | 27.69 | 32.16 | 31.27 | 32.04 | 31.81 | 31.91 |
| 평균 | 27.24 | 31.64 | 30.74 | 31.47 | 31.50 | 31.56 |

표 1에서 나타낸 바와 같이, 정지 영상의 경우, PSNR 측면에서 제안된 방법II(PMEDII)는 ZOI 방법, Cubic B-Spline 방법(CUBIC), SWAI 방법, 제안된 방법 I(PMED I)에 비해 각각 약 4.32dB, 0.82dB, 0.09dB, 0.06dB 만큼 평균적으로 우수하며, FOI 방법에 비해 약 0.08dB 정도 떨어지는 것을 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.



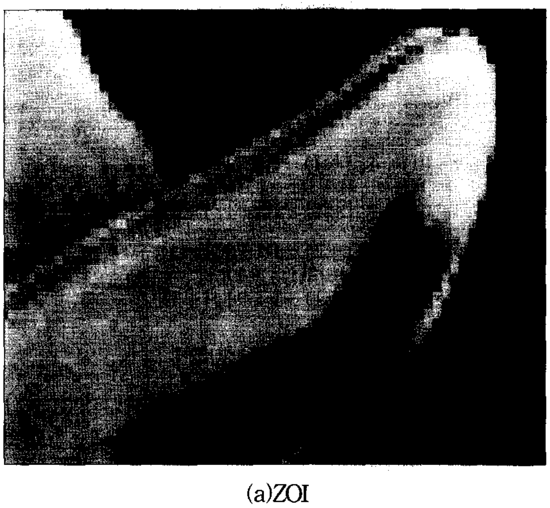

(a)CLAIRE



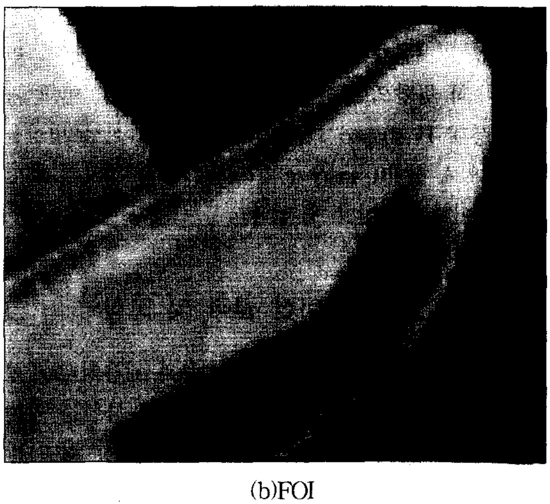

(b)TABLETENNIS

그림 6. 각 방법의 PSNR 비교
Fig. 6. Comparison of each m+ethod by PSNR

그림 6은 동영상 시퀀스에 각 방법을 적용하여 산출한 PSNR을 프레임 순으로 도시한 그래프이고, 그림 7 및 그림 8은 각각 LENA와 CLAIRE #73 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. PSNR에 의한 성능 평가 측면에서는 기존의 방법들에 대해 미비한 성능 향상의 결과를 제공할지라도 윤곽선 정보의 재현 특성을 직관적인 관능 평가를 통해 고찰할 때, 그림 7 및 그림 8에서 확인할 수 있듯이 주관적인 화질 면에서는 제안된 방법이 매우 우수한 결과를 제공함을 확인할 수 있었다. 특히, 대각선 방향의 윤곽 정보뿐만 아니라 상하 수직 방향에 대한 윤곽 정보의 재현성 또한 매우 우수하게 평가되고 있다. 상대적으로 우수한 성능을 제공하는 것을 알려진 Cubic B-Spline 방법(CUBIC)은 그림 7 및 그림 8에서 확인할 수 있듯이, 영상 전체에 걸쳐 고주파 정보를 너무 많이 잃어버리고 있고, 대각선 윤곽 정보의 재현성에 한계가 있음을 알 수 있다. 또한, 평균적으로 높은 PSNR을 제공하는 FOI 방법은 대각선 윤곽 영역에서 극심한 스텝 현상이 발생하기 때문에 주관적인 성능이 상대적으로 열악함을 알 수 있다. 그림 7(g) 및 그림 8(g)는 시뮬레이션에서 이용한 원영상의 국부 영상을 예시한 것이다.



(a)ZOI



(b)FOI

(c)CUBIC

(d)SWAI

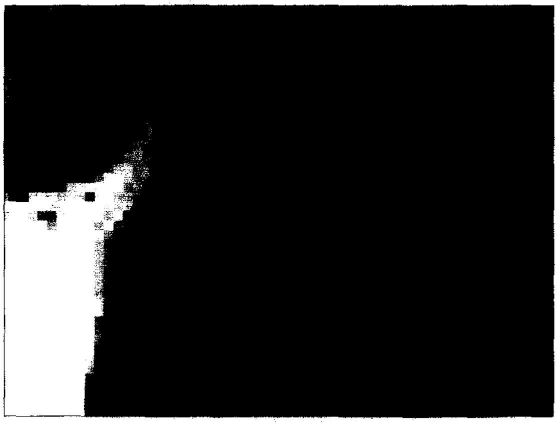
(e)PMED I

(f)PMED II

(g)ORIGINAL

그림 7. LENA 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 국부 결과 영상

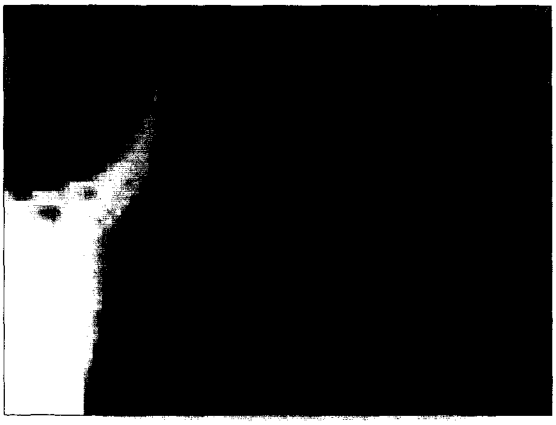
Fig. 7. Result images locally enlarged by each methods for LENA



(a)ZOI

(b)FOI

(c)CUBIC



(d)SWAI

(e)PMED I

(f)PMED II

(g)ORIGINAL

그림 8. CLAIRE #73 영상을 대상으로 각 방법을 적용한 국부 결과 영상

Fig. 8. Result images locally enlarged by each methods for CLAIRE #73

2. 연산량 비교

표 2는 각 방법을 적용하여 하나의 화소를 확대 보간할 시에 요구되는 연산량을 비교한 것이다. 구성 및 처리 방법 간에 다소 차이가 있기 때문에 동일한 연산으로 각 방법을 비교할 수는 없지만, 표 2를 통해 사칙 연산량과 비교 연산량 및 절대값 연산량을 비교해 봄으로써 통상적인 하드웨어 설계 시, 시스템의 복잡성과 실시간 구현성 정도를 대략적으로 살펴볼 수 있다.

표 2. 각 방법의 연산량 비교
Table 2. Comparison of each method by computation.

| 보간 방법 \ 연산종류 | | 가산 | 감산 | 승산 | 제산 | 비교연산 | 절대연산 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZOI | | | | | | | |
| FOI | | 1 | | 1 | | | |
| CUBIC | | 24 | | 25 | 1 | | |
| SWAI | | 11 | 7 | 6 | 2 | | 7 |
| PMED I | | 1 | | 1 | | 9 | |
| PMED II | Horizontal | 1 | | 1 | | 9 | |
| | Vertical | 1 | | 1 | | 9 | |
| | Diagonal | 1+4 | +6 | 1 | | 9+1 | 7 |

이때, 연산을 수행할 시에 요구되는 임시 저장 수단인 버퍼의 수(또는, 레지스터수)는 비교 대상에서 제외하기로 한다. 제안된 PMEDⅡ는 수직 및 수평 방향의 빈 화소점에 보간할 시에는 PMEDⅠ와 동일한 연산량이 소요되며, 대각 방향의 빈 화소점을 보간할 시에는 부윈도우의 설정 방향을 선정하기 위해 4회의 가산, 6회의 감산, 1회의 절대값 연산, 7회의 비교 연산이 추가로 소요된다.

각 경우의 연산량에 대한 산출 방식의 기준을 변경하면 다소 다른 결과가 나올 수 있으며, 각 경우의 발생 빈도는 각각의 시험 영상에 따라 다를 수 있지만, 각 경우에 대한 전체 연산량의 변동폭이 적음에 따라 평균적인 연산량을 통해 제안된 방법에 대한 연산량 평가를 수행하더라도 무리가 없을 것이다.

## Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 주사선 보간용 Pseudomedian 필터를 디지털 영상을 확대하기 위한 구조로 변형함과 동시에 보간 화소점에 인접한 화소들의 분포 특성에 따라 Pseudomedian 필터의 부윈도우 설정 방향을 가변적으로 전치하여 윤곽 정보의 재현성을 개선한 디지털 영상 확대 방법을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방법과 기존의 방법들을 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 시각적인 거부감의 초래를 효과적으로 억제할 수 있을 뿐만 아니라 원영상의 특성과 형상을 최대한 보존할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 영상의 수평, 수직 및 대각선 정보에 대한 우수한 재현성에 기초한 전역적인 화질의 향상과 아울러 미세 윤곽 부분에서 더욱 매끄러운 재현 특성을 제공함을 알 수 있었다. 그러나, 제안된 방법Ⅰ 및 방법Ⅱ는 윤곽 정보의 재현성이 비교적 우수하지만, 영상이 고배율로 확대가 될수록 윤곽 정보는 거의 완벽하게 재현되는 반면에 텍스춰 정보에 대한 재현성이 상대적으로 저조한 단점을 갖고 있다. 이에 따라 에니메이션 영상과 같이 비교적 텍스춰(texture)가 복잡하지 않으면서도 윤곽 정보가 중요시되는 영상들에 적용할 경우에 더욱 더 만족스런 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

제안된 방법은 필드내 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, 사칙 연산을 위한 소정의 선형 회로만으로 하드웨어 구성이 가능하므로 성능향상에 비해 하드웨어 복잡도가 소폭 증가하는 바, 가격적인 면에서도 유리함에 따라 그 실용성에 의의가 있다.

## 참 고 문 헌


[1] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, pp.253-255, 1989.

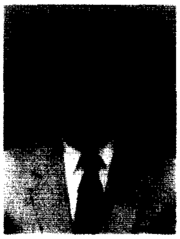
[2] 백종호, 백준기, "영상 워핑을 이용한 확대 영상의 해상도 향상", 제 9 회 신호처리합동학술대회 논문집" vol. 9, part 2, pp. 1147-1150, Oct. 1996.

[3] 백종호, 백준기, 황정현, "다채널 영상의 해상도 향상에 관한 연구", 제8회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 8, no. 1, pp.211-215, Sep. 1995.

[4] 김호주, 이철호, 홍관표, 백준기, "디지털 캠코더용 고화질 영상 확대 알고리즘 개발", 제9회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 9, part 2, pp.887-890, Oct. 1996.
[5] M. A. Sid-Ahmed, *Image Processing-Theory, Algorithms, and Architectures*, McGraw-Hilll , pp.167-177, 1995.
[6] 김희상, 이상호, 고한석, "A Image Interpolation Using Cubic Hermite Method", 제11회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 11, no. 1, pp.33-36, Oct. 1998.
[7] D. Nguyen, E. Dubois, "Spatio-Temporal Adaptive Interlaced to Progressive Conversion", International Workshop on HDTV'92 Proceeding vol.2, 11. pp.18-20, 1992.
[8] H. Rabtanen , "Color Video Signal Processing with Median Filters",IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.38, No.3, pp.157-161, Aug. 1992.
[9] A. Albiol, "Morphological Image Enlargements", Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 8, no. 4, pp.367-383, Dec. 1997.
[10] W. K. Pratt, T. J. Cooper, and I. Kabir, "Pseudomedian filter", Proc. SPIE, vol. 534, pp.34-43, 1985.
[11] 권병헌, 장광수, 황병원, "De-Interlacing Scan Conversion을 위한 Pseudomedian Filter의 특성", 한국 통신 학회 논문지, vol. 21, no.1, pp. 1151-1171, 1996.
[12] 곽노윤, 강태하, 권병헌, 박동영, 황병원, "적응형 Pseudomedian 필터를 이용한 De-Interlacing Scan Conversion", 1997년도 추계종합학술대회 논문집, vol. 16, no. 2, pp.621-625, Nov. 1997.
[13] 나태경, 곽노윤, 권병헌, 이봉호, 황병원, "Image Enlargement를 위한 적응형 Pseudomedian 필터의 설계 및 성능 분석", 제11회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 11, no. 1, pp.969-972, Oct. 1998.

## 저 자 소 개

郭 魯 尹(學生會員)
1969년 7월 20일생. 1994년 2월:한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사). 1996년 2월:한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사). 1996년 3월~현재:한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 동영상 신호 처리, 칼라 영상 부호화, 영상 디스플레이



黃 秉 元(正會員)
1947년 2월 2일생. 1972년 2월:한국항공대학 항공전자공학과 졸업(학사). 1981년 3월:동경대학 대학원 전기공학과(공학석사). 1984년 3월:동경대학 대학원 전기공학과(공학박사). 1984년 5월~1985년 3월:국방과학연구소 선임연구원. 1993년 8월~1994년 8월:동경대학 전기공학과 교환교수. 1985년 8월~현재:한국항공대학교 항공전자공학과 교수. 주관심 분야는 영상처리 및 영상인식, 동영상 신호처리, 교통류 제어

權 炳 憲(正會員)
1964년 8월 28일생. 1987년 2월:한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사). 1989년 2월:한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사). 1995년 8월:한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사). 1995년 1월~1997년 2월:LG 전자(주) 영상미디어 연구소 선임연구원. 1997년 3월~현재:유한 대학 정보 통신과 교수. 주관심 분야는 디지털 영상 처리, ASIC 설계