

MMSE 관점에서 위상 정합 방향성 경계 강조 보간법

임 태 환, 김 재 호

부산대학교 전자공학과

전화 : 051-510-1699 / 핸드폰 : 016-259-5003

In-phase Statistical Edge Directed Interpolation
based on Windowed MMSE Estimation

Tac-Hwan Im, Jae-Ho Kim

Dept. of Electronics Engineering, Pusan University

E-mail : thim@home.pusan.ac.kr

Abstract

In this paper, we present an improved novel interpolator that performs high quality interpolation on both synthetic and real world images. Its structure, which is based on a four directional linear predictor with equiripple windowed samples and phase matching equalizer, provides edge-directional data interpolation so that sharp and artifacts-free images are obtained at a reasonable computational cost.

I. 서 론

오늘날 많은 수의 음성, 영상 등의 정보들이 디지털 형식으로 저장되고 복구된다. 이때 실제 현상의 아날로그 정보들이 샘플링과 양자화를 통해 디지털로 변환되므로, Nyquist 주파수 이상의 정보에 대한 손실과 양자화 잡음이 생기게 된다. 그래서 샘플링률을 높이고, 양자화 단계 간격을 좁히면 디지털 데이터는 아날로그와 비슷한 모양을 하게 되지만, 저장 정보량이 많아지게 된다. 그래서 적은 정보량으로 저장된 디지털 데이터를 샘플링률이 높은 고해상도로 복구 하고자 하는 연구가 많이 수행 되어왔다. 그러나 2차원 영상 데이터의 경우 경계 수직 방향의 샤프닝과 경계 방향의 평탄화를 동시에 성공하지는 못하여, 영상 확대를 했을 때 평탄화 현상과 대각선 방향으로 눈에 거슬림 현상이 발생하였다. 이에 경계의 방향을 먼저 추정하여 그 방향으로 저주파 통과 필터를 사용하고, 수직 방향으로 퍼지 추론 등 여러 가지 샤프닝 기법을 시도 하였지만, 주관적인 화질과 원영상을 축소한 후 확대 했을 때 원영상과의 제곱평균오차를 비교한 객관적인 화질 모두 다 향상시키지는 못했다.

따라서 본 논문에서는 영상 화소들의 통계적 특성으로 최소제곱평균오차(MMSE) 선형 예측법과 위상

정합 등화기를 사용하여 원영상과 근접한 화질을 얻는 방법을 제안하고자 한다.

저해상도의 경계방향과 고해상도의 경계 방향이 같다는 것과 각 방향별로 샘플들의 상관도는 경계 방향 정보를 가진다는 가정으로 본 이론을 전개 한다. 또한, 통계적 추정에서 공간적 거리에 따른 상관도가 달라서 그에 따라 저해상도의 표본들을 윈도우법(windowing)으로 취하게 된다. 그리고 선형 예측법으로 구한 계수를 고해상도에 그대로 적용하여 보간이 수행 되는데, 위상이 일치하지 않게 된다. 그래서 마지막으로 위상 이동 필터를 통과 시킨다.

2장에서는 보간 기법과 문제점을 다루고, 제안하는 기법인, 통계적 샘플을 취하는 방법과 예측 계수값을 효율적으로 구해서 고해상도 화소를 예측하는 방법 및 원영상과 위상을 맞추면서 경계를 보다 강조 하는 방법을 보인다. 3장에서는 기존의 회전 보간법과 경계강조 논문들과의 영상 화질을 주관적 및 객관적으로 비교 분석하고, 4장에서 본 논문의 결론을 맺을 것이다.

II. 영상 보간 기법

1. 기존의 보간법과 문제점

일반적으로 자연 영상의 디지털화나 저해상도화에서 양자화 오차 노이즈와 aliasing 그리고 주파수 왜곡을 발생시킨다. aliasing과 주파수 왜곡을 없애기 위해 이상적인 밴드 제한 필터를 사용해야 되는데, 이는 데이터 공간 영역에서 무한개의 표본들을 요구하므로 실제로는 구현 할 수가 없다. 그리고 보간법에서도 0 내삽(zero padding)에서 신호를 추출하기 위해 이상적인 이산 저주파 통과 필터를 사용해야 하지만, 이것도 유한 표본 문제를 가진다.

대표적인 보간법으로 인접 픽셀값 복사와 1차, 2차, 3차 회전법(convolution)[2]과 B-spline 방법이 있는데,

저해상도의 샘플을 많이 사용하는 고차수를 사용하여도 스무딩 현상의 증가를 가져왔다. 그래서 거슬림과 스무딩 현상이 절충된 cubic 보간법이 많이 사용된다.[1]

다른 보간법으로 LoG나 COSO등의 필터를 써서 먼저 하위 픽셀의 에지 위치를 찾은 다음 순환법으로 고해상도 픽셀값을 구하는 연구도 있었지만 하위 픽셀 에지 위치에 대한 신뢰성과 순환법의 문제로 여전히 경계 부분의 거슬림 현상이 존재하였다.[6][그림7]

이를 보완하고자 퍼지 추론법[1]이 도입되었으나 자연영상의 에지 부분의 지나친 강조로 오히려 linear 보간법 보다 객관적인 비교에서 열등한 결과 나타내기도 했다. 또 다른 최소 자승 오차 예측 계수를 사용하는 통계적 특성을 이용하는 방법들이 나오게 되었다.[3] 그 바탕은 wiener filter 이론에 정립되어있다. 이 최소 자승 적용 필터를 이용하여 노이즈에 강한 시스템을 얻은 연구 결과들이 많다.

2. MMSE 선형 방정식의 해

선형 방정식은 다음과 같은 행렬 형태로 나타낸다.

$$Yp = b ; p = Y^{-1}b \quad (1)$$

Y: N차 M개 샘플 행렬 p : N차 계수 벡터 b: M개 샘플 벡터이다. 일반적으로 Y가 N과M이 같지 않는 비정방 행렬이기 때문에 해를 구할 수 없다. 그래서 통계적 특성이 변하지 않는 가우시안 샘플 모델(stationary gaussian process)에서 최적의 MMSE 예측은 단지 2차 통계적 확률과 관계 있으므로 $\|Yp-b\|^2$ 이 최소가 되는 해를 구하면 (2) 와 (3)식으로 된다.

$$p = (Y^T Y)^{-1} Y^T b \quad (2)$$

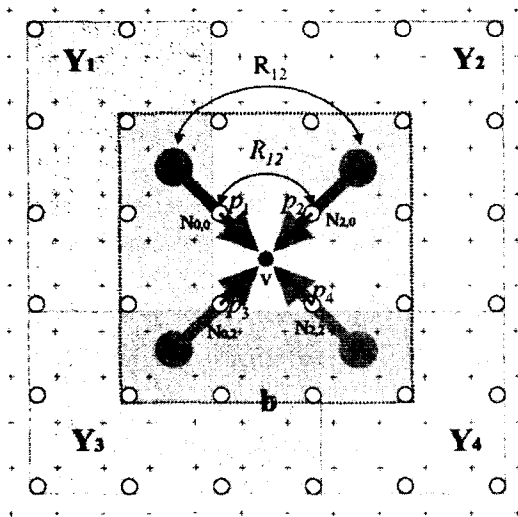


그림 2.1) 첫째 단계, 저해상도의 대각 방향 샘플들의 공분산과 중앙의 샘플들간의 예측 계수 P와 인접 픽셀들과 예측값과의 관계 계수 P 의 관계

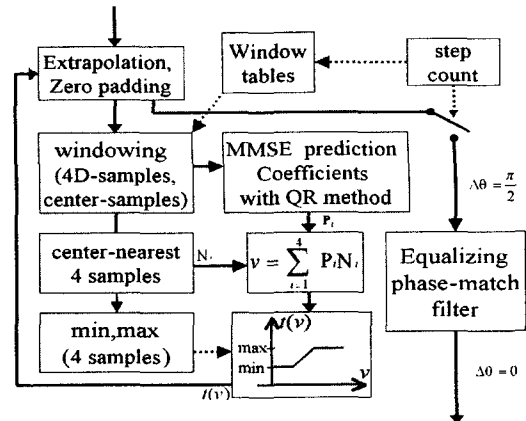


그림 1) 제안한 보간법의 블록도

$$R = \frac{1}{M^2} Y^T Y , r = \frac{1}{M^2} Y^T b , p = R^{-1}b \quad (3)$$

R, r은 각각 공분산 행렬과 벡터이고, 이를 이용한 선형 예측법을 공분산 해법(covariance method linear prediction)이라 불린다.

3. 제안된 통계적 경계 방향성 보간법

3.1 최소 평균 오차 자승 예측 이용

본 연구에서는 국부적으로 stationary라는 가정하에 위너 필터 이론을 적용했다. 식 (2)에 나타나는 p 값이 구하고자 하는 4차의 저해상도 선형 예측 계수 P1, P2, P3, P4가 된다. 하지만 이것은 공분산 행렬 full-rank가 아닐 경우가 있으므로 역행렬이 존재 하지 않을 때도 있다. 특히 합성 영상과 같이 한 방향으로 일정한 밝기 변화를 가지는 경우 많이 발생하게 된다. 그래서 본 연구에서는 안정성 향상을 위해 표본 행렬을 Householder 변환을 통해 유사한 3선 대각행렬로 바꾼 후, M*min(M,N) 직교행렬 Q 과 min(M,N)*N 상삼각행렬 R로의 분할법(QR decomposition method)을 사용한다. [4][5]

$$Y = QR ; p = R^{-1}(Q^T b) \quad (5)$$

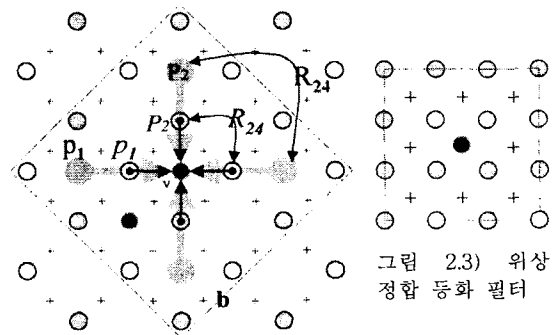


그림 2.2) 가로와 세로방향의 고해상도 픽셀 예측 계수의 관계

그림 2.3) 위상 정합 등화 필터

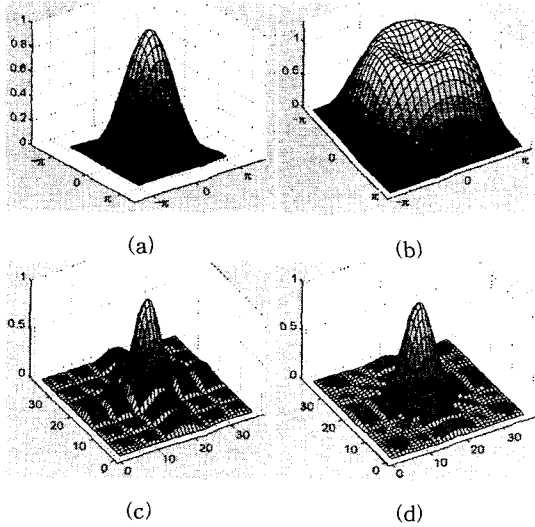


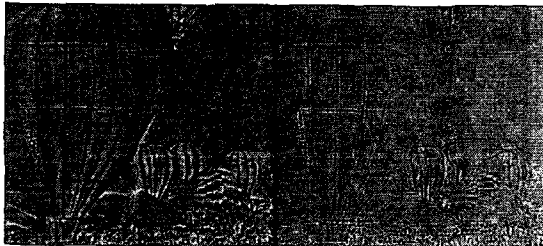
그림 3) (a) 2D anti-aliasing 1차 필터 주파수 특성 (b) 위상이동 등화필터의 주파수 (c) 2D 직사각형 6*6 샘플 원도의 주파수 특성 (d)제안한 6*6 샘플원도의 주파수 특성

3.2 제안한 전체 알고리즘

그림1 에서 알 수 있듯이, 대부분의 영상처리는 영상의 가장자리 부근의 연산을 위해 샘플들의 외삽(extrapolation)으로 시작한다. 그리고 보간을 위해 0값을 기존 픽셀 사이에 삽입한다(zero padding).

다음으로 구하고자 하는 픽셀을 중심으로 4 방향의 표본 값들과 중심의 표본 값을 동일한 가중치 함수(window function)를 주어 추출한다. 본 논문에서 나온 결과는 6*6 크기의 함수를 사용했고, 주엽의 폭을 최소화 해서 위너필터의 주파수 분해도를 높이고자 stopband에서 DC 이득의 1/10 equiripple 특성을 갖도록 정했다.[그림3.d] 이렇게 선정한 네 방향의 표본들과 중심부의 표본들 사이의 4차 선형 예측 계수 P1, P2, P3, P4를 앞절에서 설명한 QR방법으로 구한다.

이렇게 구한 해를 서론에서 다룬 가정으로 $p = p'$ 라 두고, (4)식으로 고해상도 픽셀값 v 를 구할 수 있다



(a) "new EDI"by Xin Li (b) 제안된 위상정합 그림 5) 2배 확대 이미지와 원본 이미지와의 차이. 왼쪽위 방향으로 90° 위상 이동과 제안된 정합 (히스토그램 늘림 : 40~215).

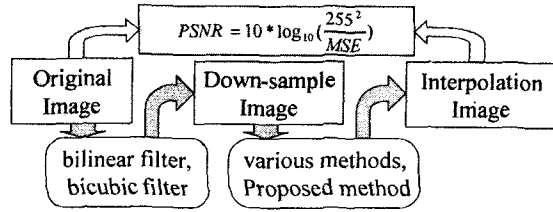


그림 4 객관적인 비교 방법도

$$v_{2i+1,2j+1} = \sum_{y=0}^1 \sum_{x=0}^1 p_{2y+x} N_{2(x+y),2(x+y)} \quad (4)$$

그런데 강한 에지 부근에서 저해상도 주위 픽셀값의 최대,최소값을 넘는 값이 구해질 수 있다. 이것은 울림 현상(ringing)으로 영상에 나타나기 때문에 그 한계값으로 예측된 값을 제한하는 비선형 기법을 사용한다.

그림 2에서 알 수 있듯이, 이렇게 구한 값은 해상도의 변화에 일치된 위상인 + 표시의 데이터 값들이 아니고 한쪽으로 치우쳐져 있다. 그래서 마지막 단계로 위상 이동 필터를 통과 시키게 된다. 그리고 1절에서 설명한 해상도 변환의 문제점인 천이 밴드(transition band)의 신호 감쇄를 보완할 수 있는 등화 필터를 요구하게 된다.

$$H_L(e^{jw})E(e^{jw}) = 1 (w \leq wc), 0 (w > wc) \quad (6)$$

H_L 은 저주파 필터, E 는 등화 필터, wc 는 입력 주파수이다. 실제로 등화 필터는 downsampling에서의 주파수 감쇄를 보상하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 축소된 영상의 축소필터를 알고 그 특성에 따라 위상 정합 등화 필터를 적용적으로 사용하였다.

3.3 영상 확대의 일반화

2의 제곱배 확대는 본 알고리즘을 반복 수행하고, 그 이외에는 제곱배 확대후 다시 축소해서 구하게 된다. 이때 축소 필터는 위상정합등화필터나 linear필터를 사용한다. 컬러 영상은 각 채널별로 독립적으로 수행한다.

III. 실험 및 고찰

표 3) bicubic 보간법과 제안된 방법 비교

Images	Down sample	Interpolation (PSNR)	
		Bicubic	Proposed
Pepper (488*488)	bilinear	33.92	34.72
	bicubic	33.91	34.26
Gold hill (232*232)	bilinear	29.17	29.51
	bicubic	29.23	29.32
Boat (232*232)	bilinear	29.79	30.57
	bicubic	29.91	30.27
Baboon (488*488)	bilinear	24.09	24.31
	bicubic	24.07	24.10
color balloon (266*196)	bilinear	27.15	27.89
	bicubic	27.02	27.39

Lena image	PSNR (size 232 ² /488 ²)	
	bicubic down sampling	bilinear down sampling
Nearest	27.85 / 31.82	28.08 / 31.74
BiLinear	29.06 / 33.58	28.87 / 32.97
BiCubic	30.46 / 35.14	30.51 / 35.14
Li-EDI	26.83 / -	27.04 / -
Inphase Li-EDI	30.98 / -	31.51 / -
Proposed SEDI	31.23 / 35.34	31.92 / 35.87

표1) lena 영상 PSNR 비교

그림4의 방법으로 PSNR을 비교해 보았을 때 널리 사용되는 bicubic 보간법보다 0.2dB에서 1.4dB까지 향상되었다. bicubic으로 축소된 영상은 bilinear 축소보다 좋지 않은 결과를 얻었다. 방향성을 알기 힘든 고주파 영상을 포함하고 있는 baboon영상 머리카락 부분이나 balloon 영상의 사람들이 모여있는 부분에서는 성능 향상이 저조했다. 그외 자연적인 영상은 상당한 효과가 있음을 알 수 있었다. 제안한 위상정합필터를 적용한 new EDI 방법도 bicubic보간법보다 향상이 있었으나 본 알고리즘의 실험 결과보다는 나빴다. 특정 영상의 해상도에 따른 확대 효율은 그 영상의 정보량이 비슷하기 때문에 큰 영상의 확대에서 더 좋은 결과를 보였다. 합성 영상인 digital character 영상에서 발생가능한 행렬 역수 문제가 해결되었고 좋은 결과를 얻었다. 컬러 영상에서 염려했던 각 채널간의 위상 불일치 문제가 나타나지 않기 때문에 제안한 기법이 정확한 고해상도의 경계정보를 추정해 냄을 짐작할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 이미 저장되어 있는 디지털 영상을 고성능화된 영상기기에 적합한 해상도로 인간의 시각 특성에 민감한 방향성 중간 주파수 영역(에지)을 최대한 복원해 줌으로써 데이터 재사용성을 높이는데 있다. 방법으로 저해상도 부분 영역 표본들을 주파수 특성을 기반으로 통계적인 선형 예측법을 이용하였다. 그 결



그림 6) 합성된 디지털 글자 이미지의 2배 확대 (좌) 0차 보간 (중)bicubic 보간법 (우) 제안된 보간법

과로 아날로그 영상과 최대한 가까워진다는 관점에서 객관적 영상 복원성 향상과 경계 방향성 복원으로 주관적 화질 향상 얻을 수 있었다. 제안한 보간 기법은 보간 압축법인 웨이브릿 부호화와 다차원 보간법에도 충분히 적용될 것이라 기대된다.

※ 실질적인 화질 비교는 다음 홈페이지를 참조한다. 비교의 공정성을 위해 bicubic 보간은 널리 사용하는 영상 편집 도구인 Photoshop을 이용했다.

<http://home.pusan.ac.kr/~thim/research/interp.htm>

Reference

[1] Mustafa sakalli, Hong Yan 외 , "A Fuzzy Bayesian approach to image expansion" IEEE 1999.
 [2] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp. 1153-1160, June 1981.
 [3] Xin Li and Michael T. Orchard "New Edge Directed Interpolation"
 [4] Golub, G. H., and C. F. Van Loan. "Matrix Computations." 3rd ed. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1996.
 [5] Rihard L. Burden, J. Douglas Faires, "Numerical Methods", International Thomson Publishing
 [6] J.Allebach, P.W.Wong, "Edge directed interpolation ", *ICIP'96*,pp.707-710



(a) 0차 보간법 (b) EDI (c) New EDI (d) 제안된 SEDI

그림 7) 꽃 그림 4배 확대 (a) 픽셀 단순복사로 블록이 심하다 (b)Allebach와 Wong의 경계 방향성 보간법. 선명하나 블록 현상 보임 (c)Xin Li의 방법. 방향성의 지나친 강조. 강한 에지 근처 ringing 발생(d) 제안된 통계적 에지 방향성 보간법. 위상 정합. 에지방향으로의 적절한 스무딩과 에지 수직방향으로의 적절한 샤프닝.