

개선된 Least Square Estimation을 이용한 영상 보간 방법

정희원 이 동 호*, 나 승 재**

An Image Interpolation Method using an Improved Least Square Estimation

Dong-Ho Lee*, Seung-Jae Na** *Regular Members*

요 약

기존의 LSE(Least Square Estimation)를 이용한 영상보간 방법은 다른 방법들 보다 고주파 성분인 에지 부분의 보간 성능이 뛰어나고 월등한 주관적 화질의 향상을 보인다 하지만 같은 고주파 성분인 잡음 성분의 증폭으로 인해 보간 된 일부 영상은 자연스럽지 못하는 문제점이 있다. 또한 연산량과 메모리 요구량이 상당히 높아 실시간이나 고속 구현에 어려움이 따른다. 본 논문에서 제안 하는 방법은 단순한 샘플윈도우와 Direction Detector를 사용하여 보간 연산에 사용되는 참조 화소의 개수를 화질의 열화 없이 줄임으로써 연산량과 메모리 요구량을 획기적으로 줄였다 또한 Bi-Linear 보간 방법을 선택적으로 적용함으로써 기존 방법에서 에러가 생기는 부분을 보완하였다. 컴퓨터 모의 실험 결과 기존의 LSE를 이용한 보간 방법 보다 주관적인 화질이나 객관적인 화질에서도 보다 나은 결과를 보여 주는 것을 확인하였다

ABSTRACT

Because of the high performance with the edge regions, the existing LSE(Least Square Estimation) method provides much better results than other methods. However, since it emphasizes not only edge components but also noise components, some part of interpolated images looks like unnatural. It also requires very high computational complexity and memory for implementation. We propose a new LSE interpolation method which requires much lower complexity and memory, but provides better performance than the existing method. To reduce the computational complexity, we propose and adopt a simple sample window and a direction detector to reduce the size of memory without blurring image. To prevent from emphasizing noise components, the bi-linear interpolation method is added in the LSE formula. The simulation results show that the proposed method provides better subjective and objective performance with lower complexity than the existing method.

Keyword Image, LSE, Interpolation

I 서 론

디지털 영상에서의 보간은 영상의 해상도를 늘리기 위해 주변의 상황에 알맞은 새로운 화소를 생성

해주는 것으로 멀티미디어 시대를 맞이하여 매우 중요한 요소기술 중의 하나라 하겠다. 만약 디지털 영상의 보간을 좋은 품질로 해낼 수 있다면 다양한 응용분야에 쓰일 수 있을 것 이다 응용 분야로는

* 경북대학교 공과대학 전자공학과 박사과정 (dhlee922@palgong.knu.ac.kr)
논문번호 KICS2004-05-020, 접수일자 2004년 5월 27일

크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 첫째로 해상도를 늘리는 보간은 여러 가지 다른 영상 간의 포맷 변환에 사용될 수 있다 특히 디지털 TV와 같이 다양한 영상 포맷을 지원하는 경우에 수상기에서는 하나의 포맷으로 변환하는 기능이 필요한데, 이때 영상 보간은 최종적으로 모니터에 디스플레이되는 영상의 화질을 결정하기 때문에 매우 중요하다 하겠다 둘째로 원 영상의 해상도를 줄였다가 다시 원 영상의 해상도로 늘리는 보간은 영상의 압축 분야에서 다양하게 활용될 수 있다 한 예로써 해상도를 줄여서 연산, 저장, 혹은 전송을 한 후 최종적으로 출력할 때는 원래 해상도로 복원하기 위해 사용될 수 있다 이렇게 다양하게 응용될 수 있는 영상 보간 알고리즘들은 이미 기존에 많은 방법들이 연구되어 왔다[1], 최근에는 일반 신호처리나 통신에서 많이 적용되어온 LSE(Least Square Estimation)이론을[2-7] 영상 보간에 적용하는 시도가 발표되었다[8-10] 또한 사람의 눈에 민감한 에지 부분을 강조하기 위한 보간 방법도 연구되었다[11-12] 기존의 LSE를 이용한 영상 보간 방법은 다른 보간 알고리즘들보다 매우 우수한 주관적인 화질을 제공하였다는 사람의 눈에 민감한 고주파 성분인 에지 부분에 대한 보간 성능이 뛰어나기 때문이다 그러나 같은 고주파 성분인 잡음 부분까지 증폭시키는 문제점이 있고 원 영상과 질감이나 색감이 달라 보여 결과적으로 보간된 영상이 원 영상과 다른 영상처럼 보이는 효과를 가져오는 문제점이 있다 또한 기존의 다른 방법들에 비해 계산량이 많고 메모리 요구량도 크다는 점도 현실적으로 적용하기에 어려움이 따른다

본 논문에서는 기존 알고리즘의 장점인 주관적인 화질은 최대한 살리면서 구현 시 요구되는 연산량과 메모리 요구량을 대폭 줄이는 새로운 보간 방법을 제안한다 본 논문에서 제안 하는 방법은 단순한 샘플 윈도우와 Direction Detector를 사용하여 보간 연산에 사용되는 참조 화소의 개수를 화질의 열화 없이 줄여 연산량과 메모리 요구량을 획기적으로 줄였다. 또한 Bi-Linear 보간 방법을 선택적으로 적용하여 기존 방법의 잡음 부분에서 에러가 생기는 것을 보완하였다 컴퓨터 모의 실험 결과 기존의 LSE를 이용한 보간 방법 보다 주관적인 화질이나 객관적인 화질에서도 더 나은 결과를 보여 주는 것을 확인하였다

II Least Square Estimation 알고리즘

디지털 신호에서 estimation이라 함은 전 시간의 신호들을 확률 통계적으로 분석한 후 다음 신호에 대한 예측 값을 결정하는 것을 말한다 본 연구에서 적용하는 LSE(Least Square Estimation)는 최소 자승 오차가 가장 작게 되는 계수들을 구하는 방법으로, LSE를 유도하기 위한 기본 관계식은 다음과 같다[3-7].

$$d(i) = \sum_{k=0}^{M-1} W * u(i-k) + e(i) \tag{1}$$

위의 식에서 d 는 원 신호 값, i 는 시간의 변수, u 는 estimation에 쓰이는 입력되는 값, e 는 에러 값, W는 구하여 진 가중치 계수 값이며 M 은 계수들의 개수 이다 식 (1)은 다음과 같은 관계식으로 바꾸어 표현될 수 있다

$$y(i) = \sum_{k=0}^{M-1} W * u(i-k) \tag{2}$$

$$e(i) = d(i) - y(i) \tag{3}$$

이때 식 (2)에서 y 는 estimation된 값이므로 e 는 식 (3)처럼 표현 할 수 있으며 e 의 자승오차 평균값을 최소로 하는 계수 W 를 구해야 한다. W 를 구하기 위해서 선형대수를 사용하는데 estimation의 입력 신호 개수를 N 이라고 놓고 다음과 같은 두개의 행렬을 사용할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} u(M) & u(M-1) & \dots & u(1) \\ u(M+1) & u(M) & \dots & u(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u(N) & u(N-1) & \dots & u(N-M+1) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} d(0) \\ d(1) \\ \vdots \\ d(N-M) \end{bmatrix} \tag{4}$$

위의 두개의 행렬을 이용하여 $B = A * W + E$ 로 표현 할 수 있으며 이는 식(1)의 d(i)와 같은 식이다. 여기서 최소 지승 오차를 만족 하는 W 는 행렬 벡터 스페이스의 projection을 구함으로써 얻을 수 있다[5-7].

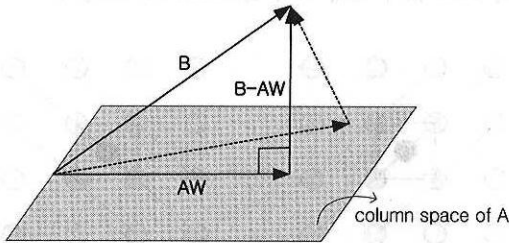


그림 1. 벡터 스페이스에서의 최소 지승 오차

그림 1에서와 같이 여러 값이 최소가 되는 것은 B 를 A 의 컬럼 스페이스에 projection 시켰을 때이며 projection 이 되는 계수 W 가 Least Square 계수가 된다. 그러므로 선형대수의 projection 구하는 방법으로 W 를 구하면 식 (5)와 같이 되고 이 식을 이용하여 만들어진 A, B 행렬로 W를 구하면 된다.

$$W = (A^T * A)^{-1} * (A^T * B) \quad (5)$$

III. 기존의 LSE 영상 보간 방법

영상 데이터는 엄청난 불규칙성과 2차원적인 상관도를 가진다는 특성을 고려하여 기존의 LSE 영상 보간 방법은 보간 할 화소 주변에 일정 크기의 윈도우를 씌워서 그 안의 규칙성을 조사하여 최적의 계수를 구한 후에 그 계수를 보간에 활용하였다 [8-10]. 기존의 방법에서는 계수의 개수를 M=4 로 두고 그림 2와 같은 모양의 샘플 윈도우를 정의한다.

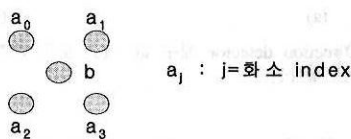


그림 2. 기존 방법의 샘플 윈도우

그림에서 a_0, a_1, a_2, a_3 화소 값은 입력 데이터 값이고 b는 보간하려는 값이라 생각하면 쉽게 LSE 알고리즘을 적용할 수 있다. 즉, $W=[w_0, w_1, w_2, w_3]$ 라 하면 $b \approx \sum_{i=0}^3 w_i * a_i$ 로 표현 할 수 있다.

최적의 계수 W 를 얻기 위하여 N개의 샘플 윈도우를 가지고 계수 W 를 얻기 위한 A, B행렬은 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n0} & a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

where a_{ij}, b_i 에서
 i = 샘플 윈도우 인덱스
 j = 화소 인덱스

한 화소를 보간 하기 위하여 보간 할 화소 주변에 사각형 모양의 전체 윈도우를 잡고 그 안의 규칙성을 조사하기 위하여 앞에서 정의한 샘플 윈도우를 여러 개 잡는다. 그림 3은 6*6 의 전체 윈도우 안에 16개의 샘플 윈도우를 잡은 그림이며 가운데 검정 화소가 보간 될 화소이다.

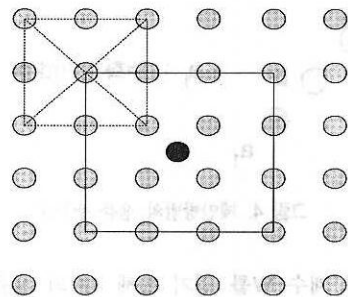


그림 3. 기존 방법의 전체 윈도우

점선은 16개의 샘플 윈도우 중 하나를 나타내고 실선은 b행렬 안에 들어갈 화소 들을 나타내었다. 예를 들기 위하여 6*6 전체 윈도우를 보였지만 전체 윈도우의 크기와 샘플 윈도우의 갯수는 그림 3 패턴으로 얼마든지 확장될 수 있으나 실험 결과 16 개 정도가 복잡도 면에서나 전체 윈도우 사이즈 면에서나 가장 나은 성능을 보인다. 그림 3 의 방법으

로 윈도우를 띄워서 식 (6)의 행렬을 얻어낸 다음 식 (5)를 이용하여 최적의 계수 W를 얻어낼 수 있고 이 값들을 이용하여 보간을 행한다.

IV. 제안하는 LSE 영상 보간 알고리즘

본 연구에서는 기존 방법보다 복잡도와 메모리량을 줄이기 위하여 우선 전체 윈도우 크기를 최소 6*6 이상 이었던 것을 4*4로 통일 하였고 구할 계수의 수 M을 4개에서 2개로 줄였다. 계수의 수가 4개 일 때는 거의 모든 방향의 상관성을 검출하여 보간에 이용하던 것을 2개로 줄임으로써 한 방향의 상관성 밖에 검출을 못하므로 최적의 상관성을 구하기 위하여 전체 윈도우 안의 방향성을 탐지 하는 알고리즘을 추가 하였다. 또 고주파 성분을 확대 시키는 기존의 LSE 알고리즘의 문제점을 보완하기 위하여 Bi-Linear 보간 방법을 보간 알고리즘에 포함 시켰다. 즉, 방향을 탐지 하여 그 방향의 상관성을 검출하고 Bi-Linear 방법을 보간에 활용함으로써 계수의 수와 전체 윈도우 크기를 줄임으로써 복잡도를 현저히 감소시키고 기존의 방법과 비슷하거나 우수한 성능을 보이도록 하였다.

1. 샘플 윈도우와 전체 윈도우

본 연구에서는 계수의 수가 M =2 일 때 샘플 윈도우를 그림 4와 같이 정의 한다.

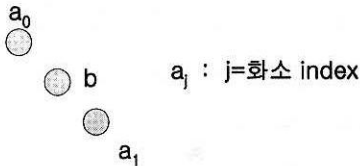


그림 4. 제안방법의 샘플 윈도우

최적의 계수 W를 얻기 위해 4개의 샘플 윈도우를 적용하는 A, B행렬은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \\ a_{20} & a_{21} \\ a_{30} & a_{31} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

where a_{ij} , b_i 에서 i = 샘플 윈도우 인덱스
 j = 화소 인덱스:

보간 할 화소 주변에 4*4 사이즈의 전체 윈도우를 잡은 다음 안에 4개의 샘플 윈도우를 잡는다. 이때 그림 5와 같이 오른 대각선 방향과 왼 대각선 방향의 두 가지의 경우가 생길 수 있다. 정확히 말하자면 가로 방향과 세로 방향도 생길 수 있으나 이 두 가지의 경우는 나중에 구하여진 계수와 곱하여지는 원 화소 값이 존재 하지 않으므로 제외하였다.

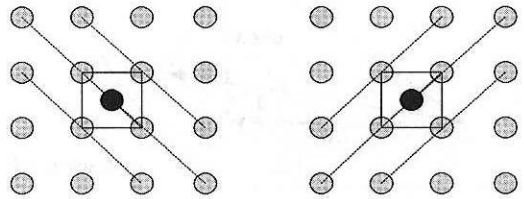


그림 5. 제안방법의 전체 윈도우

여기서 어느 방향을 선택할 것인가 하는 것은 다음의 Direction Detector의 결과에 따라서 결정하게 된다.

2. Direction Detector

그림 5에서 보듯이 한 화소를 보간 하는데 있어서 두 가지 방향이 생겨나므로 방향을 선택해주는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 Sobel Operator[2]중 대각선 방향의 에지를 검출 하는 Operator를 응용 하였다. Sobel Operator 는 단순히 그 대각선 방향으로의 에지 화소의 유무를 판단하는데 쓰이지만 본 논문의 Direction Detector는 그 대각 방향의 에지 유무도 판별 하고 LSE 알고리즘을 최적의 성능으로 발휘할 수 있게 해주는 방향도 검출해 준다. 그림 6은 Direction Detector의 계수 값을 나타내었다.

0	0	1	0
0	1	0	-1
1	0	-1	0
0	-1	0	0

0	1	0	0
-1	0	1	0
0	-1	0	1
0	0	-1	0

(a) (b)

그림 6. Direction detector 계수 값 : (a) 오른 대각선, (b) 왼 대각선

4*4의 전체 윈도우안의 화소 값들에 그림 6의 계수를 곱하여 더한 값이 특정 임계 값 보다 크면 에지 성분이 있으며 그 방향으로 방향성이 있다는 것을

의미하다. 또한 두 Direction Detector값의 크기로
오른 대각방향인지 왼 대각방향인지 결정할 수 있
다. 방향성의 검출뿐만 아니라 4*4 전체 윈도우 안
에서 A, B행렬 안에 들어가는 화소 값의 분포를 보
면 어떻게 그러한 계수 값을 갖는가를 알 수 있다.

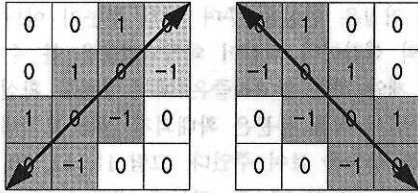


그림 7. Direction detectors 와 참조 화소 분포

그림 7에서 큰 화살표는 전체 윈도우 안의 방향
이고 회색 블록은 그 방향일 때 보간 알고리즘에
사용되는 화소 들이다. 잘 살펴보면 회색블록의 분
포가 에지 방향을 따라서 반반씩 나누어져 있는 것
을 볼 수 있다. LSE 알고리즘을 이용하여 규칙성을
조사 할 때 보간 성능을 좌우 하는 A, B 행렬들의
원소 즉, 참조하는 화소가 에지의 방향을 중심으로
고루 분포해 있음을 알 수 있다. 이는 전체 윈도우
사이즈를 줄여 참조하는 화소 수가 줄어도 영상의
품질을 좌우하는 화소 만 골라서 참조하게 된다. 따
라서, 전체 윈도우 사이즈와 계수 W의 개수가 줄어
도 화질의 열화를 최대한 방지 할 수 있게 된다.

3. 영상 보간

일단 방향이 결정되면 그 방향으로 참조하는 화
소를 선택하여 A, B 행렬을 만든다. 이때 보간 하
는 방향으로의 Bi-Linear 보간 값도 포함해서 넣어
준다. 이것은 고주파 성분인 잡음과 에지 성분이 너
무 강조되어 보이는 것을 막아주기 위함이다. 그림
8은 왼쪽 대각선 방향으로의 보간 하는 방법의 예
를 나타내었다.

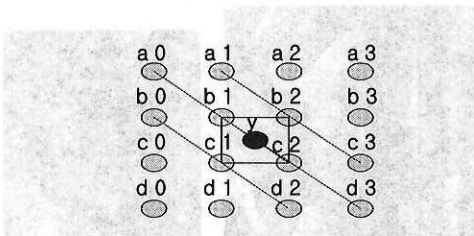


그림 8. 왼 대각 방향으로의 보간 방법의 예

$$A = \begin{bmatrix} a0 & c2 \\ b1 & d3 \\ a1 & c3 \\ b0 & d2 \\ b1 & c2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b1 \\ c2 \\ b2 \\ c1 \\ (b1 + c2)/2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)을 식 (5)에 대입하여 계수 값을 구한 후 보
간 할 화소를 구하면 된다. 오른쪽 대각선 방향도
위와 마친 가지 패턴으로 구하면 된다.

4. 제안 하는 방법의 전체 순서도

그림 9는 제안하는 보간 방법의 전체 흐름도를
나타내었다. 먼저 variance를 이용하여 에지 가능성
이 있을 경우에만 Direction Detector를 적용하도록
하였다. 그런 다음에 회색 블록의 비교 연산에서 보
듯이 Direction Detector의 두 값들은 크기가 비교
되어지고 그 중 큰 값이 임의의 임계 값보다 클 때
그 방향으로 A, B 행렬이 만들어 지고 LSE 보간이
행해지며 만약 큰 값이 임계 값보다 작으면 에지가
아니라고 판단하여 Bi-Linear로 보간 하게 된다.

V. 제안하는 방법의 성능 분석

먼저 기존 방법과의[8-10] 연산량을 비교하기 위
해 기본적인 사칙 연산인 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈
중에서 덧셈과 뺄셈 그리고 곱셈과 나눗셈은 기본
적으로 연산구조가 같으므로 두개씩 묶어서 비교를
하였다. 표 1은 한 개의 화소를 보간하기 위해 필요
한 연산량 및 메모리 요구량 이며 기존 알고리즘은
연산량과 메모리량이 가장 적은 16개의 샘플 윈도
우를 사용할 때를 기준으로 하였다. 표 1 에서 보듯
이 제안하는 방법의 연산량과 메모리량이 대폭 감
소 했음을 알 수 있다. 특히 기존의 방법은 16개의
샘플 윈도우를 기준시 A 행렬은 16*4 , B 행렬
은 16*1으로써 제안하는 방법 보다 약 3배 이상의 차
원을 가지고 있다. 또한 식 (5)로 연산 시 2*2 의
역 행렬만을 구하면 되므로 행렬끼리의 곱셈과 역
행렬 연산 시 상당한 이득을 얻게 되며, 결과적으로
곱셈, 나눗셈 연산이나 덧셈, 뺄셈 연산수의 차이도
크게 다르지 않기 때문에 기존 방법 보다 월등한
복잡도 감소를 보인다. 다음은 제안하는 보간 방법
의 화질을 비교하기 위하여 컴퓨터로 다양한 영상
에 대해 모의 실험을 한 결과를 제시한다. 원 영상

의 해상도를 가로 세로로 일정하게 늘렸을 때의 주관적인 비교를 위하여 다양한 특성을 갖는 영상을 사용하여 실험 하였다.

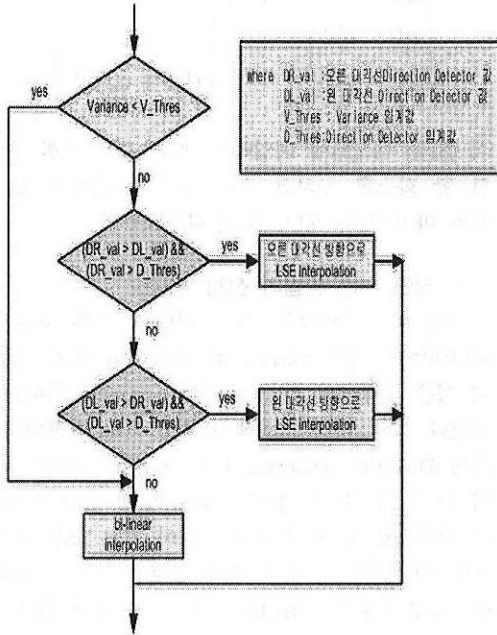


그림 9. 제안하는 보간 방법의 순서도

표 1. 한 화소를 보간 할 때 필요한 연산량 및 메모리 요구량

	기존방법 [8-10]	제안하는 방법	줄어든 비율
덧셈, 뺄셈	496	61	88%
곱셈, 나눗셈	745	66	91%
메모리 요구량	6*6	4*4	56%

일반적으로 Bi-Linear 보간 방법은 가장 간단한 방법이나 에지 부분에서는 심각한 열화를 보여준다. 반면에 기존의 방법은 고주파 성분에 잘 반응하는 LSE 알고리즘을 2차원 데이터인 영상에 효과적으로 적용함으로써 언뜻 보기에는 에지 부분의 상당한 주관적인 화질의 향상을 가져온다. 그러나 자세히 보면 역시 고주파 성분인 잡음 부분도 상당히 선명해 지는 단점이 있으며, 잡음 부분 이외에서 복잡한 고주파 영역들도 모두 에지로 간주 되어 지나치게 강조되어 왜곡되는 현상이 있다. 그러나 제안하는 방법은 보간 할 화소에 대해 보다 정확한 에지 유무 판별과 방향을 찾아 최적 최소의 A, B 행

렬을 만들고 또 그 행렬에 Bi-Linear 값을 포함시킴으로써 왜곡 현상을 방지하였다.

그림 10에는 Flower 영상을 16배로 확대하여 보간한 경우의 결과를 나타내었다. 기존의 LSE 방법은 [8-10] 에지 부분에 있어서 상당히 향상된 느낌을 가질 수 있으나 원 영상의 잡음 부분이 너무 확대되어 거칠은 인상을 주며 에지 부분이 아닌 꽃잎 부분의 색감이나 질감이 왜곡되었음을 볼 수 있다. 반면 제안 하는 알고리즘은 에지 부분도 확실히 살려 주면서 잡음 부분은 확대되지 않는 보기에 가장 우수한 성능을 보여 주었다. 그림 11, 12, 13, 14에는 다른 종류의 테스트 영상에 대해 4배로 확대하여 보간한 경우의 결과를 나타내었다. 그림 11의 경우에는 제안하는 방법과 기존의 방법 모두가 큰 차이 없는 우수한 결과를 보이고, 그림 12, 13, 14의 결과에서는 기존의 방법은 에지 부분이 지나치게 강조되어 자연스럽지 못하지만 제안하는 방법에서는 자연스러우면서 우수한 성능을 확인할 수 있다.

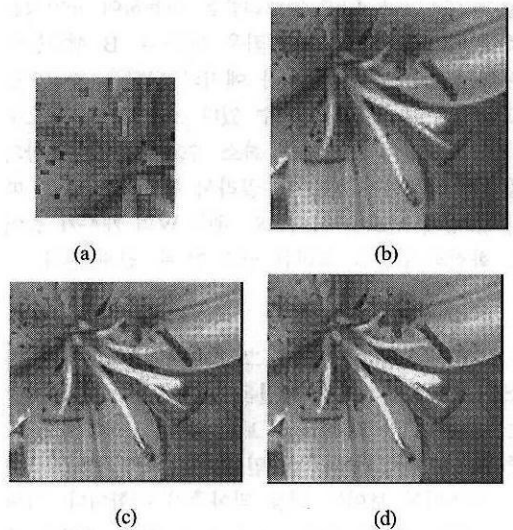
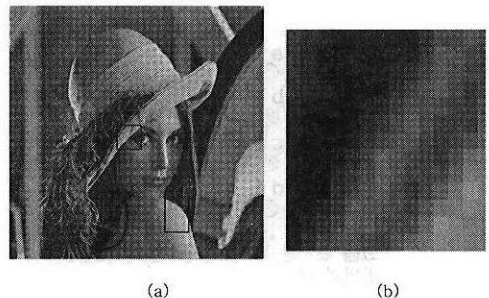


그림 10. 75x75 flower를 16배 확대한 영상: (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안하는 방법



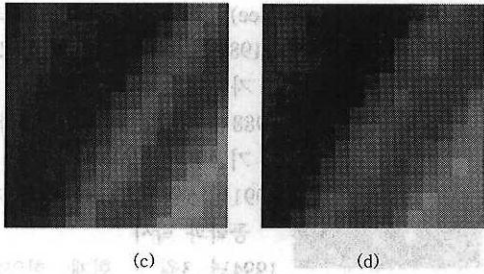


그림 11. 256*256 Lena를 4배 확대 한 영상 : (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안 방법

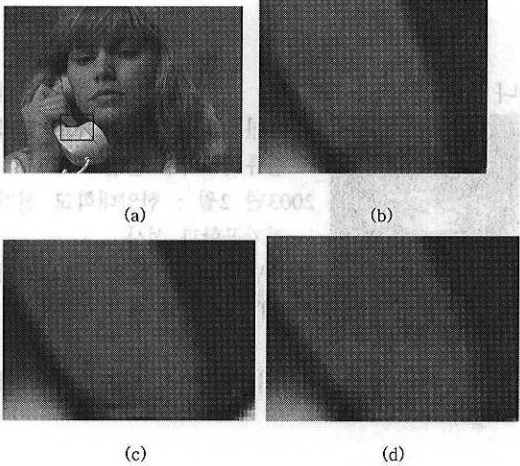


그림 12. 352*240 Susi 를 4배 확대 한 영상 : (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안 방법

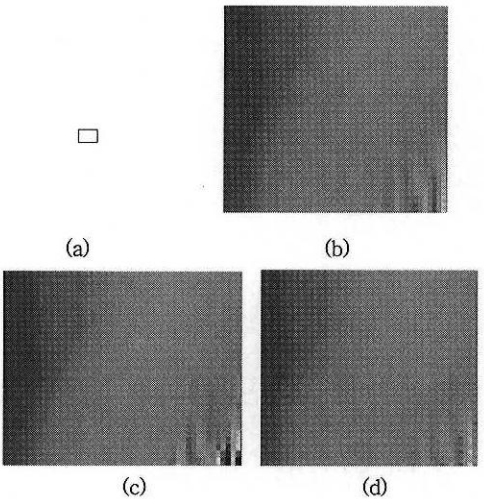


그림 13. 720*580 Barbara 를 4배 확대 한 영상 : (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안 방법

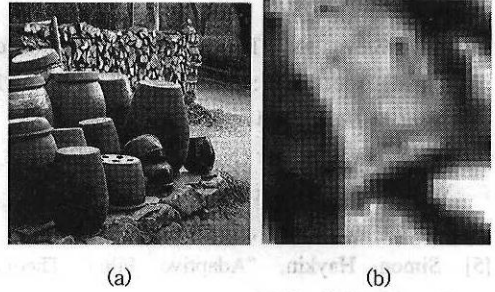


그림 14. 390*345 Pot 를 4배 확대 한 영상 : (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안 방법

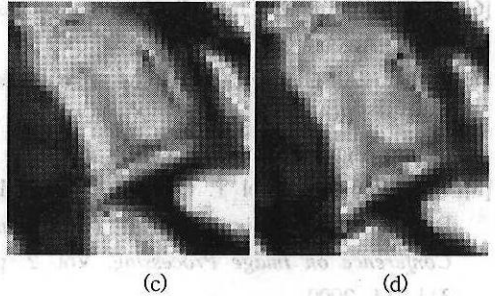


그림 14. 390*345 Pot 를 4배 확대 한 영상 : (a) 원영상, (b) Bi-Linear, (c) 기존 방법, (d) 제안 방법

VI. 결론

본 논문에서는 기존 LSE 알고리즘의 장점인 주관적인 화질은 최대한 살리면서 구현 시 요구되는 연산량과 메모리 요구량을 대폭 줄이는 새로운 보간 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안 하는 방법은 단순한 샘플 윈도우와 Direction Detector를 사용하여 보간 연산에 사용되는 참조 화소의 개수를 화질의 열화 없이 줄여 연산량과 메모리 요구량을 획기적으로 줄였다. 기존 방법 대비 약 90% 이상의 연산량 감소와 56% 이상의 메모리 요구량 감소를 보여 주었다. 또한 Bi-Linear 보간 방법을 선택적으로 적용하여 기존 방법의 잡음 부분에서 에러가 생기는 것을 보완하였다. 컴퓨터 모의 실험 결과 기존의 보간 방법 보다 주관적인 화질이나 객관적인 화질에서도 보다 나은 결과를 보여 주는 것을 확인하였다.

참고 문헌

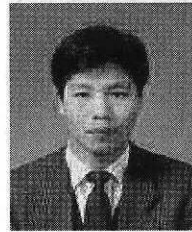
- [1] Rafael C Gonzalez and Richard E. woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1988
- [2] Giordano, Arthur A, "Least Square Estimation with Applications to Digital Signal

Processing", Wiley, 1996

- [3] Kay, Steven M "Fundamentals of Statistical Signal Processing : Estimation Theory", PTR Prentice-Hall, 1994
- [4] N. S. Jayant-Peter Noll, "Digital Coding of Waveforms Principles and Applications to Speech and Video", Prentice Hall, 1998
- [5] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice Hall, 1996
- [6] Howard Anton Chris Rorres, "Elementary Linear Algebra", Wiley, 1987
- [7] Arthura A. Giordano, Frank M. Hsu, "Least Square Estimation with Applications to Digital Signal Processing", Wiley, 1991
- [8] Xin Li and Michael T. Orchard , New Edge Directed Interpolation", *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 2, pp. 311-314, 2000
- [9] Xin Li and Michael T. Orchard , New Edge Directed Interpolation", *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, October 2001
- [10] Xin Li and Michael T. Orchard, " Edge Directed Prediction For Lossless Compression of Natural Images", *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 10, pp. 813-817, 1996
- [11] S. Carrato, G. Ramponi, and S. Marsi, "A Simple edge-sensitive image interpolation filter." *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 711-714, 1996
- [12] J. Allebach and P. W. Wong, "Edge-directed interpolation," *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 707-710, 1996

이 동 호 (Dong-Ho Lee)

정회원

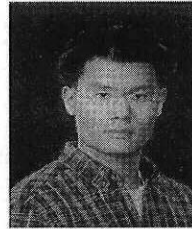


1986년 2월 : 한양대학교 전
자공학과 졸업
1988년 12월 : Texas 대학 전
기공학과 석사
1991년 5월 : Texas 대학 전기
공학과 박사
1994년 3월 ~ 현재: 한양대학
교 전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 디지털 영상처리, 디지털 TV, 영상 및 비디오 압축, VLSI 회로 설계

나 승 재 (Seung-Jae Na)

정회원



2001년 2월 : 한양대학교 전자
컴퓨터공학부 졸업
2003년 2월 : 한양대학교 전자
전기공학과 석사
2003년 3월 ~ 현재 : LG전자
DTV 연구소 재직

<관심분야> 영상처리, 디지털 TV, 디지털 시스템 설계