

웨이브릿 및 경계형태 분석에 기반한 고속 방향성 영상 보간 기법

한 규 필[†]

A High-Speed Directional Image Interpolation Algorithm Based-on the Analysis of Wavelet and Edge Patterns

Kyu-Phil Han[†]

ABSTRACT

A high-speed directional interpolation algorithm based on the pattern of a 2×2 pixel block is proposed in this paper. The basic concept of the proposed algorithm is started from UDWT(un-decimated discrete wavelet transform), but there are no transform operations. In order to detect the direction of the edge, 4-pixel differences of two pairs in the 2×2 block are compared. The 2×2 block patterns are grouped into total 8 classes, and thereafter the directional interpolation is executed according to the type of the pattern. Since the calculation of the proposed algorithm is very simple and needs a few additions on integer data type, the computation time is almost same as that of bilinear interpolation algorithm. However, experimental results show that the output quality of the proposed one is better than those of the conventional interpolation ones in the objective quality and the computation time.

Key words: Image Interpolation, UDWT, Haar Wavelet, Directional Interpolation

1. 서 론

지금까지 대부분의 영상 디스플레이 장치 해상도는 2백만 화소의 full HD(high definition)급이 보편화되었지만, 현재 디스플레이 제조사들은 4K급의 UHD(ultra HD) 영상장비를 주력품목으로 생산하여 보급하고 있는 실정이다. 또한, 방송표준도 UHD급으로 변경하여 시험방송 중에 있으며, 몇 년 내에 상용화를 목표로 하고 있다[1]. 그러나 더 높은 해상도로의 콘텐츠제작과 방송표준이 실시된다고 하더라도, 인간은 항상 현재 상태보다 높은 해상도의 디스플레이를 요구하기 때문[2]에 미래에서도 낮은 해상도의 콘텐츠를 높은 해상도 장치에 맞게 고속 및 고

품질로 보간하는 기술이 계속 요구될 전망이다.

최근 고해상도 및 고선명 디스플레이 기술의 발전으로 영상 보간 기술이 10년 전부터 다시 각광을 받고 있다[3]. 기존 영상 보간 기술은 수평과 수직방향의 양방향 보간기법이 많이 이용되었으나, 최근에는 경계 방향을 추출하여 45도 혹은 그 이하의 세부적인 방향을 고려하는 기법들이 연구되고 있다[4,5]. 또한, 이들 기법을 빠르게 구현하기 위해 효율적인 고속 알고리즘이 활용되고 있으나[6], 경계 방향 검출과 화질 개선을 위한 후처리 등에서 많은 계산을 요구하고 있다. 그러므로 본 논문에서는 고선명 디스플레이 장치에서 빠른 활성화를 및 고화질 영상 취득을 위해서 웨이브릿 주파수 해석과 동일한 방식이지만, 변환

* Corresponding Author: Kyu-Phil Han, Address: (39177) 61 Daehak-ro, Gumi, Gyungbuk, Korea, TEL: +82-54-478-7525, FAX: +82-54-478-7539, E-mail: kphan@kumoh.ac.kr

Receipt date: Jul. 24, 2017, Revision date: Sep. 16, 2017
Approval date: Sep. 20, 2017

[†] Dept. of Computer Engineering, Kumoh National Institute of Technology

* This paper was supported by Kumoh National Institute of Technology.

을 수행하지 않으면서 현재 화소의 경계 방향을 빠르게 추출한 후, 화소 블록의 경계 형태를 8가지 그룹으로 분류하고 고속으로 방향성 보간을 수행하는 기법을 제시하고자 한다.

2. 기존 연구

기존 보간 기법은 삽입되는 화소의 밝기 값을 결정하기 위해 활용하는 주변 화소의 폭에 따라 0차에서 3차까지 활용되고 있으며, 이 중에서 양방향 1차(bi-linear)와 3차(bi-cubic) 보간법이 많이 사용되고 있다[4]. 차수가 낮을수록 속도는 빠르지만 블록현상(block artifact)이 심하게 발생하며, 고차에서는 경계영역에서 고주파성분이 많이 차단되어 선명도가 떨어지는 단점이 있다. 또한, 차수와 무관하게 대부분의 보간법은 수평 및 수직 양방향(bi-direction)만 고려하므로 경계부분의 화질열화가 심하다. 그러므로 전통적인 기법의 단점을 보완하기 위해, 경계의 방향을 검출하여 보간에 활용하는 기법이 제안되고 있지만 속도와 성능개선에는 반비례관계가 있으며, 기본적으로 경계 검출에 많은 시간이 소요된다. 경계 검출을 위해 국부 분산을 이용하는 방법[4]이 있지만, 최근에는 Sobel 연산자를 가장 많이 활용하고 있다[3,5].

성능 개선을 위한 다른 접근법으로 여러 장의 LR(low resolution)영상으로부터 고해상도 영상 환경을 획득하는 SR(super resolution)영상복원 방법을 이용하는 기법이 있는데, 최근에는 한 장의 LR영상에서 SR영상을 복원하는 방법이 연구[7,8]됨에 따라 영상 보간에도 활용되고 있다. 그러나 이 기법은 데이터베이스에 보관된 많은 SR영상 예제로부터 LR영상의 특정 patch를 반복적으로 갱신하므로, 성능이 우수하지만 막대한 계산시간을 요구한다는 단점 때문에 실시간 구현이 불가능하다[8].

최근 웨이브릿 변환과 SR기법의 패치기반 갱신을 화소기반 삽입 기법으로 변환하여 방향성 보간에 적용한 기법이 제시되어, 기존 방향성 보간 방법보다 품질과 속도 면에서 우수한 성능을 보였다[9]. 이 방법에서는 경계 방향 검출 시간을 줄이기 위해 경계 연산자 보다 가장 단순한 Haar 웨이브릿 변환을 수행하였고, 경계 화소의 화질을 개선하기 위해 화소 값을 갱신하는 화소 삽입법을 제안하였다[10]. 그러나 웨이브릿 변환에 일정 계산 시간이 요구되어 속도

개선에 한계가 있었다. 그러므로 영상의 경계 방향을 이용하면서 보다 빠른 보간을 수행할 수 있는 기법의 개발이 필요하다.

3. 제안한 보간 기법

제안한 기법은 Fig. 1에서와 같이 Haar WT 개념을 이용하여 간단히 경계 형태를 구분하고, 경계 화소에 대해서는 경계 방향으로 선형 보간을 수행한 후, 나머지 비경계 화소를 보간하는 3단계로 구성된다.

3.1 웨이브릿변환과 경계형태

웨이브릿 변환 중 가장 단순한 Haar 웨이브릿 변환은 산업계에서 유일하게 사용되고 있으며, JPEG 2000 표준안에도 포함되어있는 기법이다. Haar 웨이브릿의 1D analysis LPF/HPF 필터 쌍은

$$h(n) = \{1/2, 1/2\}, g(n) = \{1, -1\} \tag{1}$$

와 같이 표현되고 기본적으로 2-화소 단위로 계산되며, 각 필터는 평균과 뺄셈연산으로 구현된다. Fig. 2는 2x2 영상이 Fig. 2(a)와 같이 입력될 때, 수평방

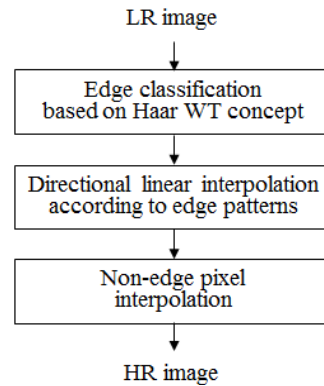


Fig. 1. Block diagram of the proposed algorithm.

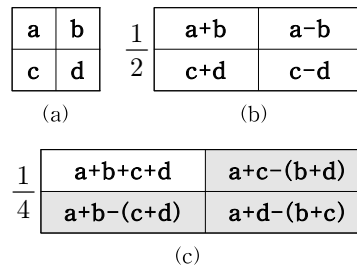


Fig. 2. Haar WT. (a) 2x2 input image (b) Horizontal 1D WT result © Bi-directional 2D WT.

향 1D 변환 결과 Fig. 2(b)를 거쳐, 수직방향 1D 변환 후 최종 2D Haar WT 결과인 Fig. 2(c)까지의 과정을 보여준다. 각 과정을 단계적으로 보면, 첫 번째 행의 수평방향 1D Haar WT는

$$H_L = \frac{a}{2} + \frac{b}{2} = \frac{a+b}{2}, H_H = a - H_L = a - \frac{a+b}{2} = \frac{a-b}{2} \quad (2)$$

이 되며, 2행에도 수평방향 변환을 적용하면 Fig. 2(b)와 같이

$$H_L = \frac{c}{2} + \frac{d}{2} = \frac{c+d}{2}, H_H = c - H_L = c - \frac{c+d}{2} = \frac{c-d}{2} \quad (3)$$

이 된다. 같은 방법으로 1D 수직방향 변환을 적용하면 Fig. 2(c) 또는 아래의 식(4)~(7)와 같이 각 주파수 채널 계수를 얻는다.

$$H_{LL} = \frac{1}{2} \left(\frac{a+b}{2} + \frac{c+d}{2} \right) = \frac{1}{4} (a+b+c+d) \quad (4)$$

$$H_{HL} = \frac{1}{2} \left(\frac{a-b}{2} + \frac{c-d}{2} \right) = \frac{1}{4} (a-b+c-d) \quad (5)$$

$$H_{LH} = \frac{a+b}{2} - \frac{a+b+c+d}{4} = \frac{1}{4} (a+b-c-d) \quad (6)$$

$$H_{HH} = \frac{a-b}{2} - \frac{a-b+c-d}{4} = \frac{1}{4} (a-b-c+d) \quad (7)$$

식(4)는 양방향 저주파 계수이고 경계 검출과 무관하므로 제외하고, 변화를 검출할 수 있는 고주파 계수인 식(5)~(7)를 같은 부호로 정리하면 Fig. 2(c)와 같다. 여기서, 같은 부호를 갖는 화소를 도식적으로 묶어 표현하면 Fig. 3과 같다. 그러므로 Haar WT의 세 고주파 계수는 2-화소씩 묶은 화소 쌍들 간의 평균적 차이를 추출하는 것임을 알 수 있다. 여기서 4로 나누어지는 연산은 단순 평균을 위한 가중치이므로 나눗셈을 하지 않고도 경계유무를 판단할 수 있다. 즉, 수직방향 경계 유무를 검출할 수 있는 H_{HH} 은 수직방향으로 묶은 화소들 간의 차이, 수평경계

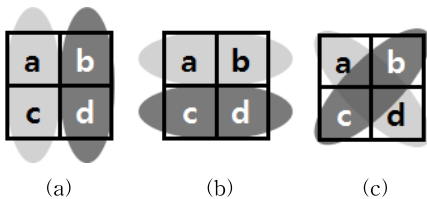


Fig. 3. The relation between pair-wise differences and high frequency coefficients in Haar WT. (a) $4H_{HL}$ (b) $4H_{LH}$ (c) $4H_{HH}$.

검출이 가능한 H_{LH} 계수는 수평화소 쌍들의 차이, 마지막으로 대각선 경계 계수 H_{HH} 은 대각선방향 화소 쌍의 차이이다. 그 결과, Haar 웨이브릿 변환을 수행하지 않고 두 화소 쌍들 간의 차이만 판단하여도 수평, 수직 및 대각선 방향의 8-방향 경계 유무를 판단할 수 있다.

화소형태에 따라 적절한 방향성 보간을 적용하기 위해서는 2x2 블록이 가지는 화소의 형태를 분석해야만 한다. 본 논문에서는 이들 4개 화소의 밝기 값이 가질 수 있는 전체 경우의 변화를 분석한 결과 Fig. 4에서와 같이 8가지 형태로 분류할 수 있었다. 그러므로 C_0 과 C_1 인 무작위영역과 평탄영역을 제외하고는 방향성 보간이 이루어져야만 한다. 여기서 RD와 LD(right/left diagonal)는 오른쪽 및 왼쪽 대각선 경계형태를 의미한다.

3.2 방향성 보간

방향성 보간은 Fig. 4와 Fig. 5(a)의 저해상도 4화소가 Fig. 5(b)처럼 1옥타브로 확대될 때, 새롭게 추가되는 홀수 행과 홀수 열의 화소를 영상의 경계방향

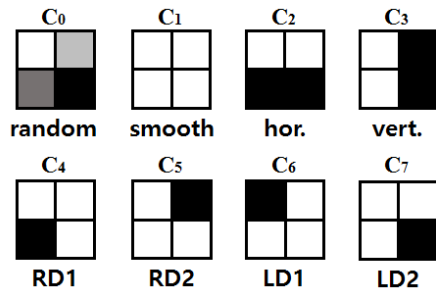


Fig. 4. All edge cases in the 2x2 image block.

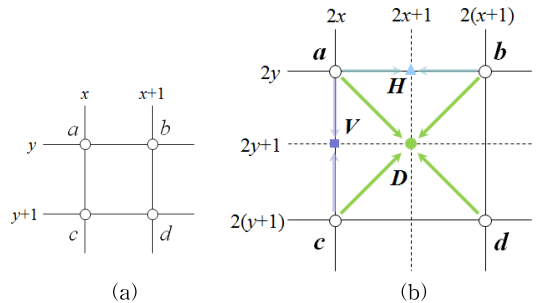


Fig. 5. Directional interpolation, (a) Low resolution image (b) Interpolating pixels (H, V, D) in up-sampling.

Table 1. Directional interpolation cases according to the 2X2 pixel pattern

case	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
H	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
V	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
D	↔	↔	↔	↔	↘	↘	↗	↗

과 평행하게 보간을 수행하는 것이다. 이 경우, 경계를 포함하는 형태 C₂~C₇에서 방향성 선형 보간이 이루어져야지만 품질이 좋은 고해상도 영상을 획득할 수 있다.

Fig. 4의 8가지 형태에서 수평, 수직 또는 대각선 방향 보간을 쉽게 결정할 수 있는 경우를 분석하면 Table 1에서와 같다. 여기서, 화살표 방향이 있고 음영으로 표시된 부분은 경계를 보존하기 위해 반드시 방향성 보간이 이루어져야하는 화소를 나타내며, ↕ 표시는 경계방향에 관계없이 양방향 선형 보간을 수행하는 보간 화소를 나타낸다. 예를 들어, C₂인 경우라고 가정하면, Fig. 5(b)에서 경계가 a-b와 c-d화소와 평행하게 존재하기 때문에 수평보간화소(H)는 a-b화소의 평균으로 쉽게 결정할 수 있지만, 수직(V) 및 대각선(D) 화소는 경계가 2_y-2_{y+1}행 사이에 있는지 또는 2_{y+1}-2(_{y+1})행 사이에 있는지에 따라 보간방식이 다르다. 이런 세부적인 경계예측을 활용하려면 부화소 정밀도(half-pixel precision)에서 이루어져야하기 때문에 많은 계산을 요구한다. 그러므로 제안한 방식은 반드시 방향성 보간이 이루어져야하는 화소를 Haar WT에 기초한 2-화소들간의 차이로 빠르게 판별하여 처리하고, 판단이 어렵거나 C₀ 및 C₁과 같이 어떤 선형 보간을 수행하여도 결과에 큰 영향을 미치지 않는 화소는 추후 양방향 선형 보간으로 오류 가능성 및 보간 시간을 줄이도록 하였다. 영상이 입력되면 Table 1에서처럼 방향성 보간이 필요한 경우가 먼저 수행되고, 잔여화소에 대해서는 양방향 선형(bi-linear) 보간이 수행된다.

수평방향 보간(H)을 수행하는 화소 판단 기준은 수평경계화소이면서 C₂, C₄ 및 C₇의 공통점인 a와 b 화소의 차이가 작은 경우이므로

$$H = \frac{a+b}{2}, (H_{LH} > TH) \text{ and } (|a-b| < TH) \quad (8)$$

와 같이 처리된다. 방향성 수직 보간(V)은 식(9)와 같으며, 개념은 식(8)과 동일하게 수직경계이면서

C₃, C₅ 및 C₇의 공통점인 a와 c화소의 차이가 작은 경우이다.

$$V = \frac{a+c}{2}, (H_{HL} > TH) \text{ and } (|a-c| < TH) \quad (9)$$

대각선 화소(D)의 보간은 대각선 경계화소에 대해서 식(10)에서처럼 좌우 대각선 방향에 따라 C₄-C₅ 경우는 a와 d화소의 선형 보간, C₆-C₇은 b와 c화소를 사용한다.

$$D = \begin{cases} \frac{a+d}{2}, (H_{HD} > TH) \text{ and } (|a-d| < |b-c|) \\ \frac{b+c}{2}, (H_{HD} > TH) \text{ and } (|a-d| > |b-c|) \end{cases} \quad (10)$$

경계화소의 경우에만 위와 같이 H, V, D 화소가 방향에 맞게 보간되고, 그 후, 잔여화소는 양방향 선형 보간이 수행된다. Fig. 6은 입력영상에 대해 1옥타브 up-sampling, 방향성 보간 및 잔여화소보간의 과정을 보여준다.

3.4 칼라 영상 적용

상기 보간 알고리즘은 Y(휘도: luminance)신호에 적용된다. 왜냐하면, 현재 멀티미디어 장비에서 사용되는 관련 영상표준이 JPEG, MPEG, 디지털HD (ITU-R BT.709) 및 UHDTV (ITU-R BT. 2020)을 이용하므로 YCbCr(감마보정된 Y'CbCr/YPbPr 포함)을 기본 칼라영상 포맷으로 사용한다. 또한, 제시한 기법은 HD와 UHD 환경에 적용하는 것을 목적으로 하기 때문에, 칼라 영상은 Y신호에만 적용된다. 입력이 RGB영상인 경우에는 YCbCr=4:4:4로 변환되므로, Y신호에 대해 적응적 방향성 보간을 수행하면 Y영상의 표본화율은 4화소에서 16화소로 1옥타브 증가되며 색차신호는 4에 머물게 되어 YCbCr=16:4:4, 즉 YCbCr=4:1:1 형식으로 HR칼라영상이 복원된다. 만약 고해상도 복원영상이 4:4:4를 원할 경



Fig. 6. Step by step results of the proposed interpolation. (a) 1-octave up-sampling (b) H, V, and D directional interpolation (c) Residual pixel interpolation.

Table 2. The comparison of computation time and complexity (unit: millisecond)

	Bi-linear	Bi-cubic	RDWT	Proposed
time	15.7	31.3	25.8	15.7
complexity	+i:3, xi:3	+f:9, xf:12	+i:18, xi:6	+i:9, xi:3

+: addition, x: multiplication, i: integer, f: float operation

Table 3. The comparison of objective quality metrics for experimental images

Interpolation methods		Bi-linear	Bi-cubic	RDWT	Proposed
BW	PSNR(dB)	21.75	21.09	23.87	24.96
	SSIM	0.9997	0.9997	0.9998	0.9998
Gray	PSNR(dB)	32.15	32.17	32.75	33.43
	SSIM	0.9940	0.9940	0.9940	0.9941
Color	PSNR(dB)	39.63	39.33	40.52	41.40
	SSIM	0.9983	0.9984	0.9994	0.9995

우에는 색차신호가 양방향 0차 보간되어 입력되게 된다. 왜냐하면, 색차신호가 선형 보간되면서 변경되면 색조(hue) 값이 변경되기 때문이다.

4. 실험

제안한 기법의 성능을 평가하기 위해 사용된 영상은 Fig. 7에서처럼 특성이 다른 이진영상, 흑백영상 및 칼라영상이 사용되었다. Fig. 7(b)는 512×512이고, 나머지는 full HD 1080p 영상이다. 주관적 화질은 실험영상 전체에 대해서 비교하였으며 비교 방법은 전통적인 1차-, 3차-보간 및 제안한 방식과 유사한



Fig. 7. Experimental images, (a) BW (b) Gray (c) Color.

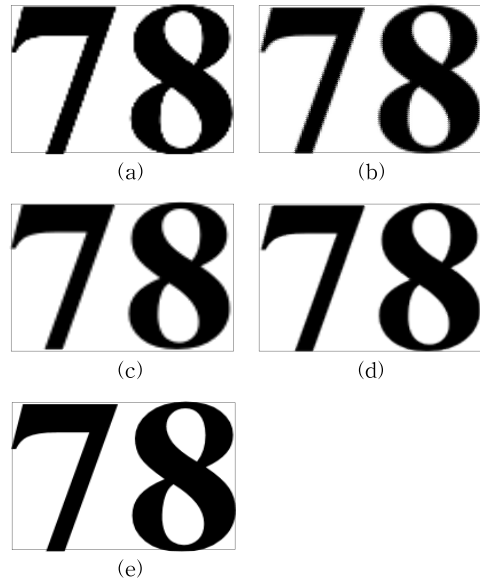


Fig. 8. Results of the BW image. (a) Bi-linear (b) Bi-cubic (c) RDWT (d) The proposed interpolation (e)The Original.

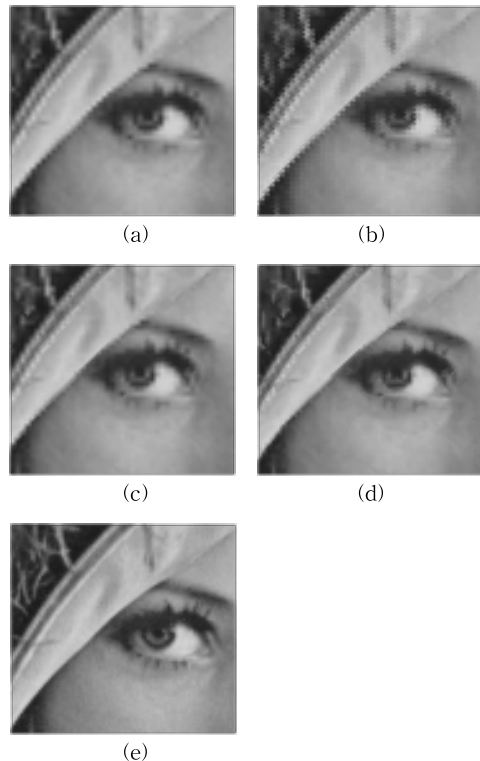


Fig. 9. Results of the Gray image. (a)Bi-linear (b)Bi-cubic (c)RDWT (d)The proposed interpolation (e)The Original.

최신기법[5](RDWT로 언급함)을 사용하였고, 수행 시간은 흑백영상을 제외한 칼라영상에 대해서만 평가하였다. 원본을 강제로 1옥타브 축소한 후, 각 방법을 적용하여 1옥타브 확대하고 원본과 비교하였다. 실험에 사용된 문턱치(TH), 즉 식(5)-(10)에서 경계를 판단하는 값은 3을 사용하였다. 그 이유는 이미지 센서의 출력이 8-bit 해상도에서 ± 2 정도의 인접화소 편차를 가지기 때문에 그 차이가 3을 초과할 경우 경계로 판단하기 위함이다. 주관적 평가를 위해 Fig. 8~10에 결과영상을 표시하였으며, 이 결과에서 기존 보간 방법보다 경계 부분의 화질이 많이 개선된 것을 확인할 수 있다. Table 2에는 수행시간과 계산량을 평가하기 위해서 Intel i7-4790 쿼드코어 CPU, clock 3.6GHz, RAM 4GB에서 Fig. 7(c)의 칼라영상을 각 방법에 대해 총 40회 수행한 평균 시간과 2×2 블록의 수평, 수직 및 대각선 세 화소를 보간하는데 필요한 덧셈(빨색 포함) 및 곱셈 계산 횟수를 나타내었다. 계산 횟수는 up-sampling 후부터의 연산량을 나타내며, 제안한 방식은 경계 판단연산 $4H_{HL}$, $4H_{LH}$, $4H_{HH}$ 에서 각각 덧셈이 3회(예: $a+b-c-d$) 요구되기 때문에, 수평경계이면 덧셈 3회에서 경계판단이 종료되지만, 수직경계이면 6회, 대각선경계이면 9회가 소요된다. 그러므로 경계판단에서 평균 6회가 요구된다. 그 후 보간연산은 식(8)-(10)에서와 같이 각 경우에 대해서 덧셈 1회 및 곱셈(평균계산=비트 시프트) 1회가 필요하다. 그 결과 제안한 방식의 2×2 블록에서 필요한 계산 횟수는 경계화소인 경우, 평균적으로 덧셈 9회 곱셈 3회가 요구된다. 2×2 블록에서 bi-linear방식은 고정적으로 정수형 덧셈과 곱셈 각 3회, bi-cubic은 실수형 덧셈 9회와 실수형 곱셈 12회가 필요하다. 제안한 방식은 경계유무와 경계방향을 판단하여 보간을 수행하지만, 경계의 비율이 보통 영상에서 2-30%이하이므로, 본 실험에서는 bi-linear 방식과 비슷한 수행시간 결과를 보였다. RDWT기법은 1차원적으로 2화소가 4개화소가 되므로, 정수연산이 제안한 기법보다 2배 요구되지만, 정수계산만을 요구하기 때문에 3차보간법 보다 시간은 작게 소요된다. 또한, 객관적 화질 비교는 Fig. 8(b)와 8(d), 9(b)와 9(d), 그리고 10(b)와 10(d)를 비교할 때, 제안한 방식은 양방향 1차 선형 보간법과 동일한 수행시간을 가지지만 화질에는 큰 개선이 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 객관적 화질을 평가하기 위해

PSNR(peak signal to noise ratio)과 SSIM(structural similarity index measure)을 결과영상의 평가 척도로 활용하여 Table 3에 나타내었다.

5. 결 론

본 논문에서는 인접 4화소의 형태에 기반한 고속 방향성 영상 보간 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘의 기본 개념은 비간축 이산 웨이브릿 변환에 기초하지만, 실제로 변환이 수행되는 것이 아니라 인접한 4화소의 값이 2화소씩 묶여서 비교된다. 이때, 비교되는 2×2 화소의 형태를 8개 종류로 분류하고 각 형태에 따라 방향성 보간과 양방향 보간이 선택적으로 수행된다. 제안한 알고리즘은 정수 덧셈계산을 최소 3회에서 최대 9회로 경계 유무와 방향을 판단할 수 있기 때문에, 매우 단순하고 1차 양방향 선형 보간과 비슷한 수행시간을 나타내지만 성능에서는 기존 영상 보간 기법들보다 우수한 결과 품질을 보여준다

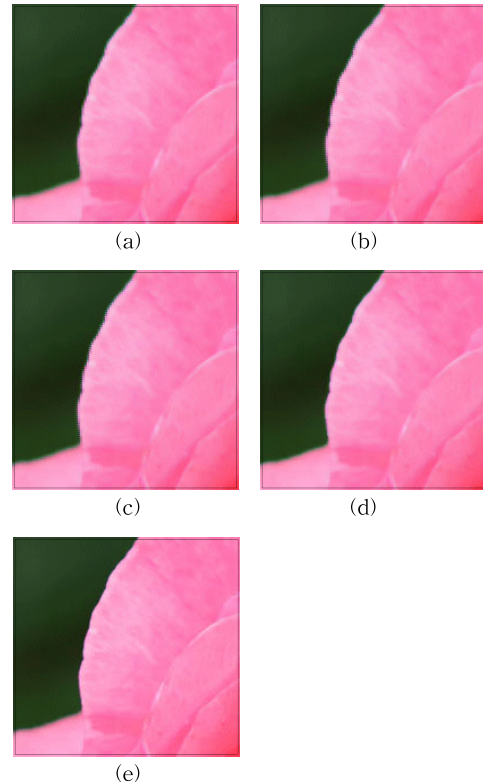


Fig. 10. Results of the color image. (a) Bi-linear (b)Bi-cubic (c) RDWT (d) The proposed interpolation (e)The Original.

는 것을 실험에서 확인할 수 있었다. 향후에는 16K급 이상의 초고해상도 장치에서 이용할 수 있는 고화질 영상 보간을 위해 수퍼해상도 복원 기법에서 활용되는 방식을 영상 보간기법에 접목시킬 수 있는 새로운 화질 개선 기법에 대해서 연구할 예정이다.

REFERENCE

- [1] X. Li and M.T. Orchard, "New Edge-directed Interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, 2001.
- [2] S.C. Park, M.K. Park, and M.G. Kang, "Super-resolution Image Reconstruction: A Technical Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 20, No. 3, pp. 21-36, 2003.
- [3] H. Choi, S. Jeong, and J. Choi, "The Present Status and the Prospects of UHD TV Technologies," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 14, No. 2, pp. 16-23, 2010.
- [4] H.J. Kwon, G.G. Jeon, and J.C. Jeong, "Low Complexity Hybrid Interpolation Algorithm Using Weighted Edge Detector," *Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol. 32, No. 3, pp. 241-248, 2007.
- [5] K.P. Han, "A Fast Directional Image Interpolation Algorithm Based on RDWT concept," *Journal of Korean Society for Imaging Science and Technology*, Vol. 21, No. 4, pp. 6-18, 2015.
- [6] J. Jeong, W. Jeong, S. Jin, and J. Koo, *Apparatus and Method for Restoring Loss Pixel Using Directional Interpolation*, 10-0886647, Korea, 2009.
- [7] N.R. Shah and A. Zakhori, "Resolution Enhancement of Color Video Sequences," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 8, No. 6, pp. 879-885, 1999.
- [8] C.H. Kim, K.H. Choi, and J.B. Ra, "Example-based Super-resolution via Structure Analysis of Patches," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 20, No. 4, pp. 407-410, 2013.
- [9] K. Taniguchi, M. Ohashi, X.H. Han, Y. Iwamoto, S. Sasatani, and Y.W. Chen, "Example-based Super-resolution Using Locally Linear Embedding," *Proceeding of 6th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, pp. 861-865, 2011.
- [10] K.P. Han and G.H. Oh, "Adaptive Image Interpolation Using Pixel Embedding," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 12, pp. 1393-1401, 2014.



한 규 필

1993년 경북대학교 전자공학과
공학사
1995년 경북대학교 전자공학과
공학석사
1999년 경북대학교 전자공학과
공학박사

2000년 3월 ~ 현재 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 증강
및 가상현실