Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 18, No. 1 pp. 696-701, 2017

https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.696
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

수평방향의 3차 스플라인 보간과 ELA을 이용한 개선된 디인터레이싱 연구

백경훈
동아방송예술대학교 방송기술계열

A study on the improved de-interlacing applying third order spline interpolation for horizontal direction and ELA

Kyung-Hoon Baek
Dept. of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts.

요 약 본 논문에서는 하나의 필드 만을 사용하여 비월 주사 영상을 순차 주사 영상으로 변환하는 개선된 디인터레이싱 방법을 제안한다. 우선, 구하고자 하는 화소의 위와 아래 각각 4개 화소를 이용하여 화소 사이의 3개 점을 3차 스플라인 보간을 적용하여 구한다. 알려진 위와 아래 화소값과 3차 스플라인 보간으로 구한 위와 아래 화소 사이의 보간값으로 부터 구하고자 하는 화소를 중심으로 9방향으로 세분화하여 각각의 상관 관계를 구한다. 구하고자 하는 화소에서 위 • 아래 상관 관계가 가장 최소가 되는 방향으로 에지의 방향성을 예측하고 화소 사이의 상대적인 값이 최소가 되는 방향으로 화소의 방향성을 결정한다. 결정된 방향의 위 • 아래 화소값의 평균으로 화소값을 계산한다. 모의실험 결과 기존의 디인터레이싱 방법에 비해 약간의 소요 시간이 걸리는 문제점은 있으나 CPU의 개선으로 시간적 제약은 없다고 판단된다. 기존의 연구된 여러 디인터레이싱 방법들과의 비교를 통하여 본 논문에서 제시된 방법이 주관적 화질에 있어서 개선이 있었으며 객관적 화질에 있어서도 정량적으로 PSNR이 0.1~0.5dB 향상됨을 보이고 있다.

Abstract This paper proposes an improved de-interlacing method that converts interlaced images into progressive images from one field. First, it calculates inter-pixel values applying third-order spline interpolation for the horizontal direction from four upper • lower pixel values of missing pixels. From inter-pixel values obtained from spline interpolation and upper • lower pixels with value, the proposed method makes an accurate estimate of the direction by applying the correlation between upper and lower pixels. The correlation between upper and lower pixels is calculated in nine directions of a missing pixel by using values obtained from spline interpolation and pixels with value. The direction of an edge is determined as the direction in which the correlation between upper and lower pixels is at its minimum. Thus, a missing pixel is calculated by taking the average of upper • lower pixels obtained from the predicted direction of an edge. From the simulation results, there are problems in that it takes a bit more time for processing, but it is expected that the time problem will be improved by increasing CPU processing speed. As for image quality, it is shown that the proposed method improves both subjective and objective image quality and quantitatively improves picture signal-to-noise ratio (PSNR) in the range between 0.1 dB to 0.5 dB, as compared with previously presented de-interlacing methods.

Keywords : ELA, image quality, missing pixel, spline interpolation, the corelation

*Corresponding Author : Kyung-Hoon Baek (Dong-Ah Institute of Media and Arts.)
Tel: +82-31-670-6741, +82-10-2377-0689 email : bkh6741@dima.ac.kr

Received September 21, 2016 Revised October 18, 2016
Accepted January 6, 2017 Published January 31, 2017

1. 서론

디인터레이싱 기법에는 화면간의 정보를 이용하는 인터 방식[1-2]과 필드내 화면정보를 이용하는 인트라 방식[3-5]이 있다. 인터방식은 움직임 정보를 이용하는 방법으로 보간할 영역의 위치에 해당하는 영역을 이웃필드에서 찾아 움직임벡터를 이용하여 현재의 필드영역을 보간하는 방법이다. 보간은 고화질 영상의 해상도를 얻기 위하여 널리 사용되고 있으며 지난 수십년동안 영상의 질을 향상시키기 위하여 많은 보간 기술이 제시되었다. 일반적인 보간 방법은 빠른 시간에 영상 이미지를 복원할 수 있다는 장점이 있으나 원 영상에서 에지의 검출이 불안정하다는 단점이 있으며 영상에서의 계단효과가 발생하게 된다[6-7].

Chen는 엣지 기반의 라인평균 보간(edge-based line average) 방법을 제시하였고 이러한 방법은 위 • 아래 화소의 상관관계를 이용하여 에지방향을 검출하는 방법으로 에지의 방향성 검출은 가능하였으나 에지방향을 잘못 검출하였을 때 심각한 화질 열화를 일으킨다는 단점이 있다[3]. 또한 2007년에는 ELA 알고리즘의 정확도를 증가시키기 위하여 경사된 윈도우에서 정의된 2개의 특정치를 사용한 개선된 ELA 방법을 제시하였고,[4] Kim et al은 영상보간을 수행하기 위하여 적응적 유사평균필터를 적용하였다.[7] 2004년 M.Q. Phu는 평균필터와 Chen의 고안한 개선된 ELA 방법을 기초로 평균기반의 보간이 제시되었다.[8] 2013년 J. Wang은 테일러 급수 전개 및 다항회귀를 이용한 디인터레이싱을 방법을 제안하였다.[9] 이러한 방법들은 디인터레이싱 알고리듬이 복잡성으로 인하여 연속된 이미지 재생시 디인터레이싱 시간이 오래 걸리는 문제점 및 엣지 플리커 발생등의 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 제시된 방법은 알려진 픽셀 값으로부터 3차 스플라인 방법을 적용하여 픽셀사이의 데이타를 산출한다. 산출방법은 알려진 픽셀 각각 4개의 값을 이용하여 픽셀사이의 데이타 4개 점을 3차 스플라인 방법으로 계산한다. 이를 이용하여 인터레이싱된 화면에 대한 픽셀 사이의 3개 데이타를 구하고 이들 데이타를 이용하여 구하고자 하는 픽셀의 위픽셀(upper pixel) 9개점과 아래픽셀(lower pixel) 9점으로 부터 위 • 아래화소의 상관관계를 135도, 127도,117도,104도 ,90도, 76도, 63도, 53도, 45도로 세분화하여 에지의 방향성을 예측한다. 예측된 방향성에 따라 픽셀 값을 구하는 방법을 제안하다.

본 논문의 구성은 제2장에서는 ELA(엣지 기반의 디인터리이싱)기법을 기술하였고, 제3장에서 본 논문에서 제시된 스플라인 보간과 ELA을 적용한 디인터레이싱 기법을, 제4장에서는 본 연구방법의 타당성을 입증하기 위해 임의 영상에 대하여 시뮬레이션 수행결과를 기존발표된 여러방법들과 비교 • 검토하였다. 제5장은 본 연구에 대한 결론을 서술하였다.

2. 엣지 기반의 디인터레이싱 기법

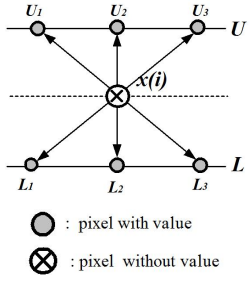

Fig. 2.1 Referencing pixels for ELA

ELA는 <그림 2.1>과 같이 인접한 위 • 아래 화소와의 상관관계로부터 방향성을 예측하여 보간하는 방법이다. 영상의 라인사이의 상관도를 구하여 가장 높은 상관도로부터 에지의 방향성을 정하고 이를 근거로 추정된 방향성에 따라 위 • 아래 화소의 평균값으로 보간을 취하는 방법이다.[3]

<그림 2.1>에서 구하고자하는 화소를 $x(i)$이며 이를 기준으로 상관도는 다음식과 같이 정의한다.

$$D_k = |U_k - L_{3-k+1}| \tag{2-1}$$

여기서 U_k , $L_k(k=1,2,3)$는 인접한 위 • 아래 화소 값이며 식 (2-1)의 3방향의 값중 가장 최소가 되는 값이 위 • 아래화소에서 상관도가 가장 높은 방향을 나타낸다. 따라서 식(2.1)에서 상관도가 결정이 되면 보간될 값은 다음과 같이 주어진다. [3]

$$\text{if } D_{\min} = D_k \ (\ k=1,2,3\ ),$$
$$X(i) = (U_k + L_{3-k+1})/2 \tag{2.2}$$

보간은 가장 높은 상관성을 가지는 방향으로 이루어진다. ELA는 적은 계산량으로 좋은 화질을 얻을 수 있지만 에지의 방향을 잘못 결정하였을 경우 심각한 화질 열화가 발생한다.

3. 스플라인 보간을 적용한 세분화된 방향성 예측

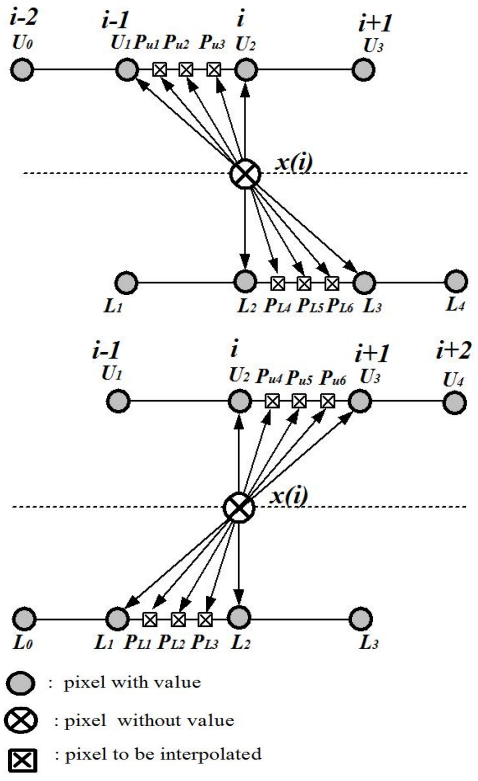

Fig. 3.1. Referencing pixels for Proposed Method

ELA에서 에지에 의한 화질열화를 개선하기 위하여 영상의 라인사이의 상관도를 세분화하여 방향성을 예측함으로서 화질개선을 이룬다.

이를 위하여 보간하고자 하는 화소 값은 $x(i)$을 중심으로 <그림 3.1>(a)과 같이 위쪽라인 화소(upper pixel) 4개점 U_0, U_1, U_2, U_3과 아래쪽 라인 화소(lower pixel) 4개점 L_1, L_2, L_3, L_4 으로부터 픽셀사이의 각점에서의 값 P_{ui} $(i=1,2,3)$, $P_{Li}(i=4,5,6)$을 구한다. 마찬가지로 <그림 3.1>(b)과 같이 위쪽라인 화소(upper pixel) 4개점 U_1, U_2, U_3, U_4과 아래쪽 라인 화소(lower pixel) 4개점 L_0, L_1, L_2, L_3 으로부터 픽셀사이의 각점에서의 값 P_{ui} $(i=4,5,6)$, P_{Li} $(i=1,2,3)$을 구한다. 이를 구하기 위하여 4개 데이타에 대한 3차 스플라인 보간을 적용한다.

폭이 h인 4개의 등구간점(x_1, x_2, x_3, x_4)에 대하여 함수값 $f(x_1)=y_1$, $f(x_2)=y_2$, $f(x_3)=y_3$, $f(x_4)=y_4$일때 이에 대한 3차 스플라인 보간법에 의한 보간함수 $s(x)$는 3차 다항식이다. 3차 다항식 $s(x)$을 두 번 연속 미분하여 얻는 $s''(x)$는 선형다항식이 되고 다음과 같은 수식으로 놓을 수 있다. [10]

$$s''(x_i) = \frac{d^2 s(x_i)}{dx^2} = M_i \quad (i=1,2,3,4) \tag{3.1}$$

각 구간에 대하여 (3.1)식을 이용하여 선형함수를 구하고 $s(x_1)=y_1$, $s(x_2)=y_2$, $s(x_3)=y_3$, $s(x_4)=y_4$의 조건을 대입하여 구한 보간함수는 구간 $x_i < x < x_{i+1}$에서 다음과 같다.

$$s_i(x) = \frac{(x_{i+1}-x)^3 M_i + (x-x_i) M_{i+1}}{6h} + \frac{(x_{i+1}-x) y_i + (x-x_i) y_{i+1}}{h} - \frac{h}{6}[(x_{i+1}-x) M_i + (x-x_i) M_{i+1}] \quad (i=1,2,3) \tag{3.2}$$

여기서 각 데이터 점에서 보간함수에 대한 미분의 연속성

$$s_1'(x_2) = s_2'(x_2),\ s_2'(x_3) = s_3'(x_3) \tag{3.3}$$

과 양 끝점에서

$$s_1''(x_1) = 0,\ s_3''(x_4) = 0 \tag{3.4}$$

을 적용하면 다음식이 얻어진다.

$$M_1 = 0,\ M_4 = 0$$
$$\frac{2h}{3}M_2 + \frac{h}{6}M_3 = \frac{y_3 - y_2}{h} - \frac{y_2 - y_1}{h}$$
$$\frac{h}{6}M_2 + \frac{2h}{3}M_3 = \frac{y_4 - y_3}{h} - \frac{y_3 - y_2}{h} \quad (3.5)$$

균일간격 $h = 1$일때 구간 $x_2 < x < x_3$에서 보간 함수는 다음과 같다.

$$s_2(x) = \frac{(x_3 - x)^3 M_2 + (x - x_2)M_3}{6} + (x_3 - x)y_2 + (x - x_2)y_3 - \frac{1}{6}[(x_3 - x)M_2 + (x - x_2)M_3] \quad (3.6)$$

여기서

$$M_1 = 0,\ M_4 = 0$$
$$M_2 = \frac{2}{5}(4y_1 - 9y_2 + 6y_3 - y_4)$$
$$M_3 = \frac{2}{5}(-y_1 + 6y_2 - 9y_3 + 4y_4) \quad (3.7)$$

이다. 구간 $x_2 < x < x_3$ 에서 구하고자 하는 보간 값을 P_1, P_2, P_3 라고 할 때

$$P_1 = s_2(x = x_2 + \frac{h}{4}) = -\frac{1}{128}(7M_2 + 5M_3) + \frac{1}{4}(3y_2 + y_3)$$
$$P_2 = s_2(x = x_2 + \frac{h}{2}) = -\frac{1}{16}(M_2 + M_3) + \frac{1}{2}(y_2 + y_3) \quad (3.8)$$
$$P_3 = s_2(x = x_2 + \frac{3h}{4}) = -\frac{1}{128}(5M_2 + 7M_3) + \frac{1}{4}(y_2 + 3y_3)$$

이다. <그림 3-1>(a)에서 등구간을 1로 설정하고 위 라인(upper line) 화소 값에 대하여 $f(x_0) = U_0$, $f(x_1) = U_1$, $f(x_2) = U_2$, $f(x_3) = U_3$ 으로 하고 3차 스플라인 보간식을 이용하여 화소사이의 값 P_{u1}, $P_{u3,}$ P_{u4}을 구하고 아랫 라인(lower line) 화소 값에 대하여 $f(x_1) = L_1$, $f(x_2) = L_2$, $f(x_3) = L_3$ $f(x_4) = L_4$ 로 하고 3차 스플라인 보간식을 이용하여 화소사이의 값 P_{L4}, $P_{L5,}$ P_{L6}을 구한다. 또한 마찬가지로 <그림 3-2>(b)에서 등구간을 1로 설정하고 위쪽 라인(upper line) 화소 값에 대하여 $f(x_1) = U_1$, $f(x_2) = U_2$, $f(x_3) = U_3$, $f(x_4) = U_4$ 으로 하고 3차 스플라인 보간식을 이용하여 화소사이의 값 P_{u4}, $P_{u5,}$ P_{u6}을 구하고 아랫 라인(lower line) 화소 값에 대하여 $f(x_0) = L_0$, $f(x_1) = L_1$, $f(x_2) = L_2$, $f(x_3) = L_3$ 으로 하여 3차 스플라인 보간식을 이용하여 화소사이의 값 P_{L1}, $P_{L2,}$ P_{L3} 을 구한다.

본 논문에서는 <그림 3.1>(a)(b)과 같이 인접한 위·아래 화소와의 상관관계로부터 방향성을 예측하여 보간한다. 수직방향 및 대각선방향의 상관관계는 <그림 3-1>로 부터 135도, 127도, 117도, 104도 ,90도, 76도, 63도, 53도, 45도에 대한 상관도를 계산한다.

$$\begin{aligned} D_{11} &= |U_1 - L_3| \\ D_{12} &= |U_2 - L_2| \\ D_{13} &= |U_3 - L_1| \\ D_{21} &= |P_{u1} - P_{L6}| \\ D_{22} &= |P_{u2} - P_{L5}| \\ D_{23} &= |P_{u3} - P_{L4}| \\ D_{24} &= |P_{u4} - P_{L3}| \\ D_{25} &= |P_{u5} - P_{L2}| \\ D_{26} &= |P_{u6} - P_{L1}| \end{aligned} \quad (3.9)$$

(3-9)식으로 부터 가장 최소가 되는 값을 구한다. 여기서 최소값의 의미는 구하고자 하는 픽셀의 위라인 화소값과 아래라인 화소 값중에서 가장 상관도가 높은 방향을 나타낸다. 따라서 식(3.9)에서 상관도가 결정이 되면 보간될 값은 예측된 방향성에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$\text{if } D_{\min} = D_{1k} \ (\ k = 1,2,3\ ),\quad X(i) = (U_k + L_{3-k+1})/2$$
$$\text{if } D_{\min} = D_{2k} \ (\ k = 1,2,3,4,5,6),\quad X(i) = (P_{uk} + P_{L(6-k+1)})/2 \qquad (3.10)$$

4. 시뮬레이션 결과

임의의 M×M 이미지에 대하여 수직라인의 기수 번째 화소를 제거하여 인터레이스 이미지 M/2×M를 만든다. 이 기수번째 라인이 제거된 이미지를 여러 방법의 디인터레이싱 기법을 사용하여 제거된 기수번째 이미지 데이터를 보간한다. 256×256 크기인 8bit gray 이미지를 테스트 이미지로 사용했으며 표1에서 여러 방법으로 계산된 PSNR(peak signal-to-noise ratio)의 결과를 나타내고 있다. 제시된 방법 이외의 LA(Line Average), ELA(edge-based line average)[3], MELA(Modified edge-based line average)[8] 그리고 HDI-ELA (Horizonally Direction Improved ELA)[11]가 비교를 위해 사용되었다. <표 1>의 결과는 본 논문에서 제시된 결과와 이전의 디인터레이싱 알고리듬을 비교한 것이다. LA, MELA 방법이 본 논문에서 제시한 방법에 비해서 정량적 화질이 약 0.2dB 정도 우수한 것으로 나타나고 있으나 이 방법은 엣지 영역에서의 방향성이 고려되지 않은 방법으로 엣지 영역에서의 주간적 화질에서는 본 연구결과가 개선되었을을 보이고 있다. 엣지의 방향성을 예측하여 주간적 화질을 개선한 방법인 ELA, HDIELA 방법은 엣지 영역에서의 주간적 화질은 개선이 되었으나 정량적 화질에 있어서 본 연구결과가 약 0.1dB~0.5dB 정도 화질이 개선되었음을 보이고 있다.

Table 1. Comparison of PSNR for different methods.

Method / image	LA	ELA	MELA	HDI ELA	Our Method
Baboon	23.00	22.73	23.04	22.87	22.93
Camera	29.38	27.84	29.44	28.49	28.57
Lena	35.59	34.36	35.94	34.84	35.07
Peppers	31.32	31.51	31.85	31.63	31.74
Butterfly	29.03	28.29	29.17	28.52	28.63
Fruits	36.02	34.00	35.74	34.31	34.35
Paper	19.26	17.13	18.71	17.84	17.88

주간적 화질 비교를 위하여 Peppers 이미지를 사용하여 이전의 여러 방법과 비교하였다. LA, ELA, HDELA 방법과 본 논문에서 제시된 방법으로 계산된 이미지 결과가 그림 4(c)~그림 4(f)에 보이고 있다. 그림4의 결과에서 보면 제시된 알고리듬이 엣지영역 뿐 아니라 전체 영역의 이미지처리에 있어서 ELA와 HDIELA에서 처리된 결과보다 개선되었음을 보이고 있으며 정량적 PSNR에 있어서 LA와 MELA에 비해서 약 0.2dB 정도의 차이가 발생하지만 주관적 화질 및 엣지영역에서의 처리가 개선되었음을 알 수 있다.

본 연구의 시뮬레이션은 Intel Core(TM) i5-3320M CPU 2.60GHz, windows7 64bit의 운영체제에서 수행하였으며 600×450 크기의 gray 이미지 30프레임에 대하여 디인테레이싱 계산 시간을 측정한 결과 BL은 109ms, ELA는 202ms, HDELA는 515ms 그리고 본 연구에 의한 계산 시간은 670ms로서 일반적인 타 방법에 비해 계산시간이 조금 더 걸리는 문제가 있다. 그러나 최근의 컴퓨터 성능의 향상으로 약간의 시간적 제약보다는 화질개선이 우선시 되므로 본 연구 결과를 디인터레이싱 기법으로 적용하는데는 문제가 없을 것으로 판단한다.

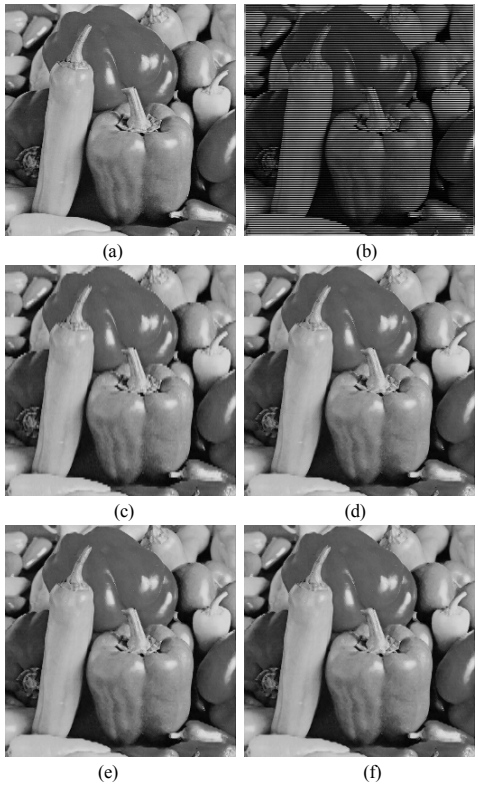

Fig. 4.1. De-Interlaced images of Peppers for (a) Original (b) interlaced image (c)LA, (d) ELA, (e)MELA, (f) Our method

5. 결 론

본 논문에서는 3차 스플라인 보간 및 개선된 엣지기반의 인터레이싱 기법을 이용하여 개선된 디 인터리에싱 알고리즘을 제안하였다. 구하고자하는 화소의 위•아래 각각 4개 화소점사이의 값을 3차 스플라인 보간으로 구한 다음 이를 이용하여 여러 방향의 상관관계를 구한다. 상관도가 밀접한 방향을 에지의 방향성으로 결정하고 결정된 방향성에 따라 그 중간값으로 픽셀값을 결정한다.

모의실험 결과 기존의 방법에 비해서 이미지 처리에 있어서 객관적, 주관적 화질이 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 ELA에 비해서 에지 영역에서의 이미지 처리가 개선됨이 확인되었다.

다만 기존의 ELA 방법에 비해서 약간의 계산적 복잡성으로 시뮬레이션 시간이 좀 더 걸린다는 단점이 있으나 최근의 컴퓨터 성능의 발전으로 다소의 복잡성은 큰 차이가 없으며 디 인터레이싱 기법으로 본 연구방법을 적용한다면 화질개선이 이루어 질 것이다. 향후 연구의 방향은 공간영역에서의 움직임 벡터를 이용한 디인터레이싱 기법에 본 연구방법을 적용하여 움직임 영상의 화질을 개선시키는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

[1] R. Li, B. Zeng and L. Liou, "*Reliable motion detection/compensation for interlaced sequences and its applications to deinterlacing,*" IEEE trans. Circuits and Syst. Video Technol., vol. 10, no. 1, pp. 23-29, Feb. 2000.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/76.825854

[2] O. Kwon, K. Soh and C. Lee, *"Deinterlacing using directional interpolation and motion compensation,"* IEEE Trans. Comsumer Electronics, vol. 49, no. 1, pp. 198-203, Feb. 2003.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2003.1205477

[3] T. Chen, H. Wu, and Z.H. Yu, *"Efficient de-interlacing algorithm using edge-based line average interpolation," Optical Engineering*, vol. 39, no. 8, pp. 2101-2105, Aug. 2000.
DOI: http://dx.doi.org/10.1117/1.1305262

[4] P. Y. Chen and Y.H. Lai, "*A low-complexity interpolation method for deinterlacing,*" IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E90-D, no. 2, Feb. 2007.
DOI: http://dx.doi.org/10.1093/ietisy/e90-d.2.606

[5] S. Jin, W. Kim and J. Jeong, *"Fine directional de-interlacing algorithm using modified Sobel operation,*" IEEE Trans. Cons. Elect., vol. 54, no. 2, pp. 857-862, Feb. 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2008.4560171

[6] Microsoft, "Broadcast-enable computer hardware requirements," Proceeding of the IEEE, vol. 86, pp. 1839-1857, September 1998.

[7] H.-C. Kim, B.-H. Kwon, and M.-R. Choi, *"An image interpolator with image improvement for LCD controller*," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 47, no. 2, pp. 263-271, May 2001.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/30.964108

[8] M.Q. Phu, P.E. Tischer, and H.R. Wu, *"A median based interpolation algorithm for deinterlacing," Proc. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems",* pp. 390-397, 2004.

[9] J. Wang, G.G Jeon and J.C. Jeong, *"Deinterlacing Using Taylor Series Expansion and Polynomial Regression,"* IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 23, no. 5, pp. 912-917, May 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/ispacs.2004.1439083

[10] S,W,Bang, Engineering Numerical Analysis with *Mathlab,* pp255~259, Hanbit.co, 2012

[11] K.H. Baek, "*A study on de-interlacing applying the interpolation of horizontal direction and improved ELA*", Journal of The Korea Knowledge Information Technology Society, vol 8, no 2, pp 63-69, 2013.

백 경 훈(Kyung-Hoon Baek) **[정회원]**

- 1987년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 1997년 2월 : 한서대학교 전자공학과 조교수
- 1997년 3월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술계열 부교수

<관심분야>
영상처리