

에지 기반의 하이브리드 디인터레이싱 방법

김정영, 오세훈, 심동규, 오승준

광운대학교 VIA-멀티미디어 센터

jykim@media.kw.ac.kr

A Design of a Novel Edge Based Hybrid De-interlacing Scheme

Jung-Young Kim, Sye-Hoon Oh, Donggyu Sim, and Seoung-Jun Oh

VIA-Multimedia Center, Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 아날로그 TV에서 사용되는 인터레이스 영상을 디지털 디바이스에서 보다 우수하게 출력하기 위해 새로운 디인터레이싱 알고리즘을 제안 한다. 기존의 에지 기반의 라인 평균 방법의 경우 제한된 방향의 화소단위 상관도를 이용하기 때문에 잡음과 계조도 변화에 취약하였다. 또한 공간적 방향 벡터를 사용한 DOI방법은 영상 내 수평 에지가 강한 영역을 보간하는데 우수하지만 좌우 넓은 검색 영역으로 인한 잡음에 취약한 단점이 있었다. ED4D는 에지기반 라인 평균 방법과 공간적 방향 벡터를 적절히 사용하여 규칙적 에지 특성을 갖는 영역에 대한 에지 방향의 정확도를 높였다. 하지만, 참조 방향 및 화소 보간의 판별 기준이 3×2 윈도우로 고정되어 있기 때문에 초기 방향성 판단 기준과 수평 방향 에지 검출에 있어 정밀도가 떨어지는 문제점을 안고 있다.

제안하는 방법은 기존에 사용하던 3×2 윈도우에 5×2 윈도우를 추가적으로 적용하여 초기 방향성 판단 기준을 더 섬세하게 하였으며, 변형된 공간적 방향 벡터를 사용하여 넓은 검색영역으로 인한 잡음의 간섭을 줄였다. 실험결과를 통하여 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 주관적 화질뿐만 아니라 객관적인 성능도 우수함을 알 수 있다.

1. 서론

현재의 아날로그TV 신호는 전송대역폭의 제한으로 홀수 필드와 짝수 필드가 1/60초의 시간차를 두고 교차되어 하나의 프레임을 만드는 인터레이스(interlaced) 방식을 사용하고 있다. 그러나 이러한 아날로그 TV의 영상을 멀티미디어 컴퓨터 및 고화질TV(HDTV)등에 그대로 사용할 경우 심각한 화질 열화가 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해 지금까지 다양한 디인터레이싱(deinterlacing)방법이 소개 되어왔다.

기존의 디인터레이싱 방법으로는 한 프레임 내에서 주변 화소의 상관도를 이용해 복원하는 방법(intra)과 연속된 프레임의 움직임 벡터를 이용해 복원하는 방법(inter) 등이 있다. 특히, 한 프레임 내에서 이루어지는 인트라 방식의 경우 시간적 상관도를 이용하는 인트라 방식에 비해 복잡도가 낮고, 잘못된 움직임 참조에 의한 화질 열화를 막을 수 있는 이점이 있다. 그러나 기존의 에지 기반 인트라 방식은 화소 단위의 상관 정도를 이용하기 때문에 잘못된 에지(edge)방향으로 인한 주관적 화질 열화를 초래 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 잘못된 방향성 정보를 교정하고 얇은 에지 뿐만 아니라 수평 성분이 강한 에지에도 우수한 알고리즘을 제안 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 디인터레이싱 방법 중에서 화면 내 디인터레이싱 알고리즘에 대해 살펴보고, 3장에서는 주관적 화질과 객관적 성능이 기존의 알고리즘 보다 우수한 에지 기반의 하이브리드 디인터레이싱 방법을 제안한다. 4장에서는 실험 및 결과에 대해 기술하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 인트라 디인터레이싱 알고리즘

본 장에서는 에지 기반의 디인터레이싱 방법으로 ELA(Edge Based Line Average)알고리즘, E-ELA(Efficient-ELA)알고리즘, M-ELA(Modified-ELA)알고리즘과 공간방향벡터(Spatial Direction Vector, *sdv*)를 이용한 DOI(Direction-Oriented Interpolation)에 대해 알아본다 [3,4,5,2]. 마지막으로 이들을 이용한 4단계 복원방법인 ED4D(Edge Directional-based 4-step Deinterlacing)에 대해 소개한다[1].

2.1 ELA

ELA알고리즘은 3×2 윈도우를 사용하여 상하위 화소들 간의 상관도를 좌우대각 및 수직방향($45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$)의 차분치를 이용하여 계산하고, 그중 상관도가 가장 높은 두 화소값을 이용하여 보간한다[3]. ELA의 경우 복잡도가 낮고, 좌우대각 및 수직방향의 화소를 잘 보간 할 수 있는 반면, 잘못된 에지 방향으로 인한 화질 열화를 가져온다.

2.2 E-ELA

E-ELA알고리즘은 기존의 ELA알고리즘에서 나타나는 잘못된 에지 검출 확률을 줄이기 위해 두 개의 방향성 P, Q 를 검출하는 방법이다[4]. 방향성을 검사하기위한 함수는 아래 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$P = |U(i-1) - L(i)| + |U(i) - L(i+1)| \quad (1)$$
$$Q = |U(i) - L(i-1)| + |U(i+1) - L(i)|$$

2.3 M-ELA

M-ELA알고리즘은 E-ELA에서 방향성 판단으로 사용된 P, Q 에

평활화 지역의 판단 함수로 사용되는 V 를 식(2)와 같이 추가하였다[5]. M-ELA 알고리즘은 기존의 에지 기반 디인터레이싱 방법보다 방향 예측 면에서 더 우수함을 증명하였다. 그러나 수평성분이 강한 영역이나 얇은 에지가 다수 존재하는 영역일 경우 여전히 주관적 화질이 저하 될 수 있다.

$$P = (|U(i-1) - L(i)| + |U(i) - L(i+1)|) / 2 \quad (2)$$

$$Q = (|U(i) + L(i-1)| + |U(i+1) - L(i)|) / 2$$

$$V = (|U(i-1) - L(i-1)| + |U(i) + L(i)| + |U(i+1) - L(i+1)|) / 3$$

2.4 DOI

DOI 알고리즘은 현재 화소를 보간하기 위해 2개의 상단 참조라인 (U_0, U_1)과 하단 참조라인 (L_0, L_1)을 사용한 공간적 방향 벡터 (Spatial Direction Vector, sdv)를 사용한다[2]. 참조 라인에서 얻어지는 상위 공간벡터와 하위 공간벡터를 이용함으로써 수평 에지에 대한 정확한 방향을 찾고 섬세함을 높인다. 하지만 넓은 검색영역으로 인한 잡음이 생기는 단점이 있으며, 규칙적인 얇은 에지 영역에 매우 취약하다.

2.5 ED4D

ELA 방법과 DOI 방법의 장점을 취합한 기존의 ED4D 알고리즘은 다수결 voting 방법을 이용하여 4단계 화소보간 과정을 통해 규칙적인 에지의 특성을 갖는 영역을 찾는데 있어 이전 기술보다 더 나은 주관적 화질과 객관적 성능을 증명 하였다[1]. 1단계에서는 식 (3)과 같이 M-ELA를 보완 수정한 *Method I* 를 이용한다.

Method I : (3)

$$x(i) = \begin{cases} \text{case I } (D(i) = D_p) : \begin{cases} \frac{U(i)+L(i)}{2} & C(0) < C(1) \\ \frac{U(i-1)+L(i+1)}{2} & C(0) > C(1) \end{cases} \\ \text{case II } (D(i) = D_Q) : \begin{cases} \frac{U(i)+L(i)}{2} & C(0) < C(-1) \\ \frac{U(i-1)+L(i+1)}{2} & C(0) > C(-1) \end{cases} \\ \text{case III } (D(i) = D_V) : \frac{U(i)+L(i)}{2} \end{cases}$$

2단계와 3단계는 다수결 voting 방법을 도입하여 참조열의 P, Q, V 의 개수를 카운팅하고, 해당 조건에 부합하는 경우 식 (4)와 같이 *Method II*를 이용한다.

Method II : (4)

$$x(i) = \begin{cases} \text{case I} \\ \left\{ \begin{array}{ll} \frac{U(i-1)+L(i+1)}{2} & \text{if } (|U(i-1)+L(i+1)|) < T_3 \\ \text{Method I} & \text{else} \end{array} \right. \\ \text{case II} \\ \left\{ \begin{array}{ll} \frac{U(i+1)+L(i-1)}{2} & \text{if } (|U(i-1)+L(i+1)|) < T_3 \\ \text{Method I} & \text{else} \end{array} \right. \\ \text{case III } (D(i)=D_V) \left\{ \begin{array}{ll} \frac{U(i)+L(i)}{2} & \text{if } (V < T_4) \end{array} \right. \end{cases}$$

다수결 voting 방법으로 결정할 방향이 불분명한 화소에 대해서는

식 (5)를 이용하여 현재 화소의 기울기를 예측하고, *Method I*와 4단계 DOI를 이용하여 최종 보간한다.

$$Grad = \frac{(45 \times Cnt_Q) + (90 \times Cnt_V) + (135 \times Cnt_P)}{(Cnt_P + Cnt_V + Cnt_Q)} \quad (5)$$

ED4D는 기존의 ELA를 개선한 방법과 DOI를 사용하여 규칙적인 에지를 복원하는데 뛰어나지만 초기 참조 방향 및 화소 보간 판단 기준을 3×2 윈도우로 제한하기 때문에 여전히 방향성 판단 기준과 수평방향 에지 보간에 있어 섬세하지 못한 문제점을 안고 있다.

3. 제안하는 에지 기반의 하이브리드 디인터레이싱 방법

제안하는 방법인 NEHD (Novel Edge based Hybrid De-interlacing scheme)는 기존의 ED4D 방법의 장점인 다수결 voting 방법을 살리면서 *Method I* 과 *Method II*를 다시 정의 하고, 기존 ED4D 방법에서 3단계까지 방향성을 정하지 못한 화소에 대해 적용하는 *Grad* 연산을 제거한 에지 기반의 하이브리드 디인터레이싱 방법이다. 첫 번째 단계에서는 기존의 3×2 윈도우가 찾아 내지 못하는 수평성분이 강한 에지를 검색하기 위해 5×2 윈도우를 적용한 *First Method*를 제안한다. 또 2단계와 3단계에서는 ED4D의 장점인 다수결 voting 방법을 이용해 찾아낸 방향성분 P, Q, V 에 대해 변형된 DOI 이용한 새로운 *Second Method*를 제안한다. 알고리즘에서 보간 될 화소는 $x(i)$ 로 표기하며, 각각의 화소는 화소값과 방향성을 가지고 있다.

첫 번째 보간 단계에서는 기존의 M-ELA 방법을 이용하여 방향성 P, Q, V 를 확인하고, 확인된 방향의 에지 기울기를 더욱 세밀히 판단하기 위하여 5×2 윈도우를 적용한다. 따라서 식 (6)으로 결정된 방향성과 조건을 이용하여 식 (7)에 적용하게 되고, *First Method*에서 보간하지 못한 화소는 두 번째 보간 단계에서 다시 한 번 복원하게 된다.

$$D(i) = \min(P_i, Q_i, V_i) ; \quad (6)$$

case I ($D(i) = D_p$) :

if ($|P_i - Q_i| > T_2$) \rightarrow *First Method*

$$\text{else if } (|P_i - Q_i| > T_2) \rightarrow \begin{cases} D(i) = D_p & T_1 < P_i - Q_i < T_2 \\ x(i) = NULL & T_1 < P_i - Q_i < T_2 \end{cases}$$

case II ($D(i) = D_Q$) :

if ($|Q_i - P_i| > T_2$) \rightarrow *First Method*

$$\text{else if } (|Q_i - P_i| > T_2) \rightarrow \begin{cases} D(i) = D_Q & T_1 < Q_i - P_i < T_2 \\ x(i) = NULL & T_1 < Q_i - P_i < T_2 \end{cases}$$

case III ($D(i) = D_V$) \rightarrow *First Method*

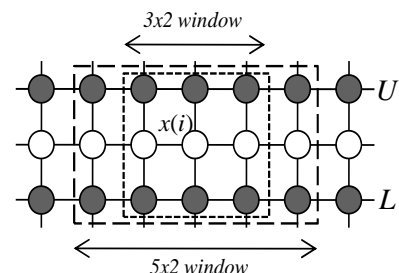


그림 1. ELA의 3×2 윈도우와 제안하는 5×2 윈도우

그림 1은 NEHD의 5×2 윈도우를 나타낸다. 기존의 3×2 윈도우가 수직(90°) 및 좌우 대각($45^\circ, 135^\circ$) 방향의 예지만 고려한 것에 반해 5×2 윈도우는 3×2 윈도우 보다 수평 성분이 강한 예지에 대한 검출이 가능하다. 따라서 식 (7)에서 나타낸 바와 같이 현재 보간 될 화소는 주어진 식에 의해 각각 P, Q, V 로 결정되고 각 방향의 상관도를 나타내는 $C(\text{correlation})$ 에 의해 기존의 좌우 대각 방향 예지보다 더 수평 방향에 가까운 예지를 검색하여 보간한다.

First Method : (7)

$$x(i) \begin{cases} \text{case I } (D(i) = D_p): \begin{cases} \frac{U(i)+L(i)}{2} & C(0) < C(-1) \\ \frac{U(i-1)+L(i+1)}{2} & C(0) > C(-1) \\ \frac{U(i-2)+L(i+2)}{2} & C(1) > C(-2) \end{cases} \\ \text{case II } (D(i) = D_Q): \begin{cases} \frac{U(i)+L(i)}{2} & C(0) < C(1) \\ \frac{U(i+1)+L(i-1)}{2} & C(0) > C(1) \\ \frac{U(i+2)+L(i-2)}{2} & C(1) > C(2) \end{cases} \\ \text{case III } (D(i) = D_V): \frac{U(i)+L(i)}{2}, \quad (C: \text{correlation}) \end{cases}$$

두 번째 보간 단계에서는 ED4D의 voting 방법을 이용하여 첫 번째 단계에서 보간 하지 못한 값을 결정하며, NEHD의 Second Method인 M-DOI(Modified-DOI)를 이용하여 두 번에 걸쳐 보간 한다. 기존 방법의 경우 화소의 방향성을 결정함에 있어 3×2 윈도우를 이용한 차분치 계산은 수평성분이 강한 예지 영역의 보간에 있어 효과적인 성능을 제공하지 못했다. ED4D는 상위참조열(D_U) 방향성과 상하위참조열($D_U + D_L$) 방향성을 카운팅 하여 좀 더 섬세하게 각 방향에 대한 보간을 할 수 있다. 하지만, 상위참조열과 상하위참조열을 순차적으로 카운팅 하고 보간하는 과정에서 이용되는 Method II 역시 Method I과 같은 3×2 윈도우를 적용 하였기에 때문에 ED4D 또한 수평 성분이 강한 예지 성분의 화소를 복원하는데 한계가 있었다.

NEHD의 두 번째 보간 단계에 이용되는 M-DOI는 이미 상위참조열과 상하위참조열의 카운팅을 이용하여 현재 화소에 적용될 해당 방향에 따라 DOI의 검색 영역을 그림 2, 3과 같이 고정함으로써 좁은 검색 영역인 3×2 윈도우의 한계를 극복함과 동시에 DOI의 단점이었던 기존의 넓은 좌우 검색영역으로 인한 잡음 발생을 줄였다.

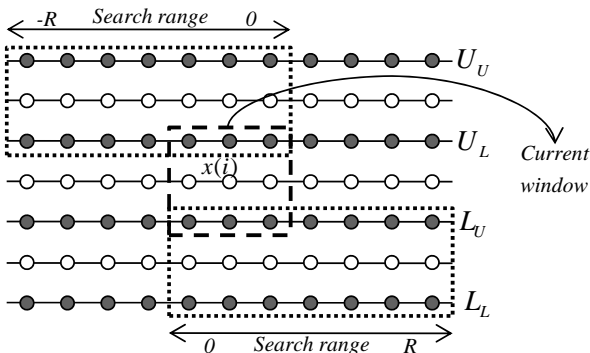


그림 2. 제안하는 M-DOI의 P방향 검색 (Pd_Doi)

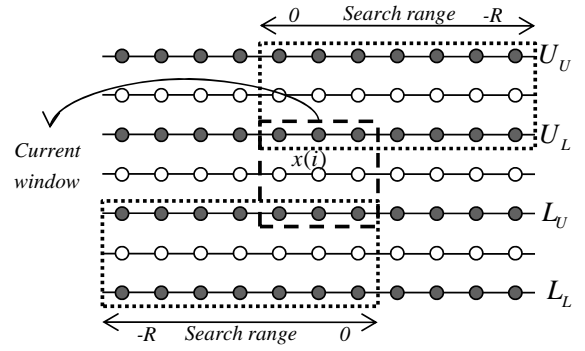


그림 3. 제안하는 M-DOI의 Q방향 검색 (Qd_Doi)

그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 M-DOI는 상위 참조열의 방향 성분과 상하위 참조열의 방향성을 이용해 밝혀낸 P, Q 방향성에 대해 Pd_Doi(P direction_Doi) 또는 Qd_Doi(Q direction_Doi)를 적용하여 불필요한 탐색구간으로 인한 연산량을 줄임과 동시에 양방향 탐색으로 인한 잡음을 줄인다. 식 (8)의 조건에 의해 Pd_Doi는 Second Method의 식 (9-1)을 이용하여 보간 하고, Qd_Doi는 Second Method의 식 (9-2)를 이용하여 보간한다.

$$D_U(i) = (P_i \parallel Q_i \parallel V_i) \geq 4 \text{ or } D_U(i) \text{ and } D_L(i) = (P_i \parallel Q_i \parallel V_i) \geq 8; \quad (8)$$

$$x(i) \begin{cases} \text{case I } (D(i) = D_p): Pd_DOI \\ \text{case II } (D(i) = D_Q): Qd_DOI \\ \text{case III } (D(i) = D_V): \begin{cases} \frac{U(i)+L(i)}{2} & \text{if } (V < T_3) \\ NULL & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$$

Second Method : Pd_Doi ; (9-1)

$$S_U = \sum_{j=1}^1 \left(|U_L(i+j) - U_U(i+j+k)|^2 + |L_U(i+j) - U_L(i+j+k)|^2 \right) \\ S_L = \sum_{j=1}^1 \left(|U_L(i+j) - L_U(i+j+k)|^2 + |L_U(i+j) - L_L(i+j+k)|^2 \right) \\ s_{dv_U} = \arg \min \{S_U(k)\}, \quad -R \leq k \leq 0 \\ s_{dv_L} = \arg \min \{S_L(k)\}, \quad 0 \leq k \leq R \\ i_U = \frac{s_{dv_U}}{2}, \quad i_L = \frac{s_{dv_L}}{2}, \quad X(i) = \frac{U_0(i+i_U) + L_0(i+i_L)}{2}$$

Qd_Doi ; (9-2)

$$S_U = \sum_{j=1}^1 \left(|U_L(i+j) - U_U(i+j+k)|^2 + |L_U(i+j) - U_L(i+j+k)|^2 \right) \\ S_L = \sum_{j=1}^1 \left(|U_L(i+j) - L_U(i+j+k)|^2 + |L_U(i+j) - L_L(i+j+k)|^2 \right) \\ s_{dv_U} = \arg \min \{S_U(k)\}, \quad 0 \leq k \leq R \\ s_{dv_L} = \arg \min \{S_L(k)\}, \quad -R \leq k \leq 0 \\ i_U = \frac{s_{dv_U}}{2}, \quad i_L = \frac{s_{dv_L}}{2}, \quad X(i) = \frac{U_0(i+i_U) + L_0(i+i_L)}{2}$$

마지막으로 First Method 와 Second Method로 보간하지 못한 최후의 화소에 대해서는 넓은 양방향 검색능력을 갖는 기존의 DOI방법을 이용한다.

4. 실험 및 결과

실험에서는 다양한 영상 특성을 가진 512×512 크기의 표준영상을 사용하였다. 각 테스트 영상에 대하여 짝수 혹은 홀수 열을 서브샘플링하고 다양한 디인터레이싱 알고리즘(E-ELA, DOI, ED4D, NEHD)을 이용하여 복원한 후 주관적, 객관적 화질을 비교하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 NEHD가 예지기반 인트라방식 및 ED4D에 비해 수평성분의 에지를 복원함에 있어 우수한 성능을 나타내며 거짓 예지방향 판단으로 인해 발생했던 DOI의 잡음을 줄일 수 있었다. 또한 그림 5에서와 같이 기존의 방법들이 계조도 변화가 있는 얇은 좌우 대각 방향의 예지에 대해서 잘못된 방향으로 복원하거나 잡음이 끼는 것에 비해 NEHD는 원본 영상의 방향과 패턴을 보다 가깝게 복원해 낼 수 있다. 뿐만 아니라, 주관적 화질의 개선과 더불어 표 1에서 보는 바와 같이 객관적 성능도 기존의 방법에 비해 $0.3dB$ 이상 우수함을 보였다.

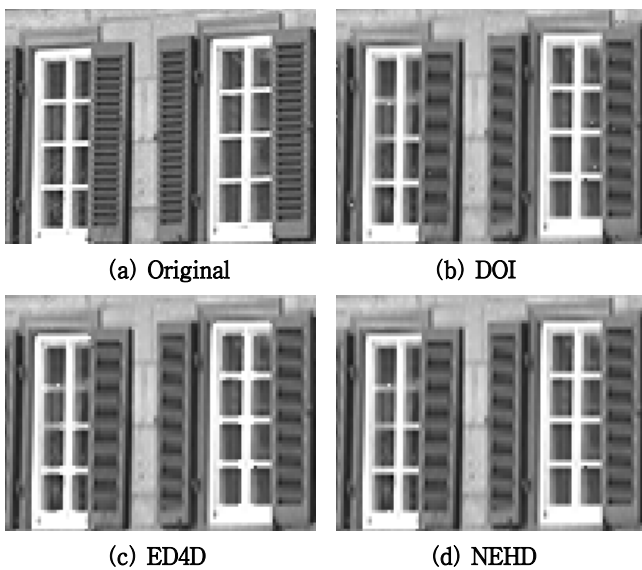


그림 4. Houses 확대 영상

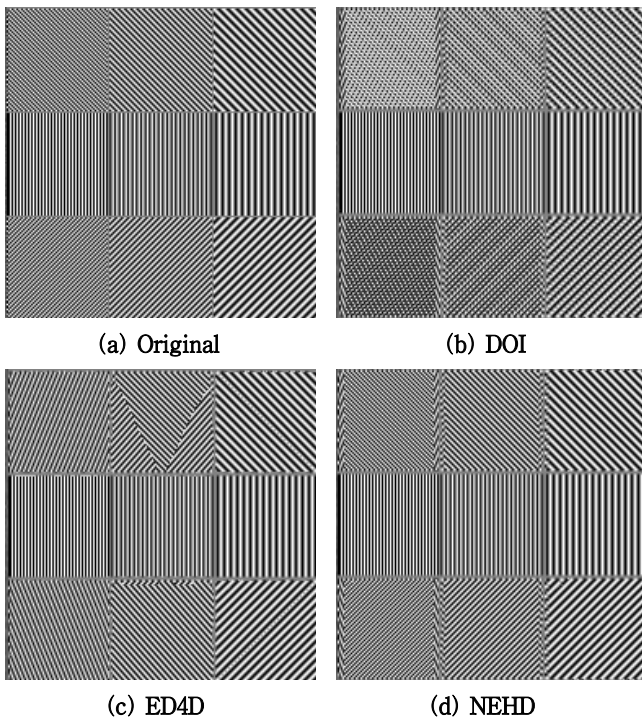


그림 5. Target 확대 영상

표 1. 기존방식과 제안된 방식의 PSNR비교(단위 dB)

Images	E-ELA	DOI	ED4D	NEHD
airplane	34.25	35.02	35.22	35.56
barbara	30.48	29.38	33.19	32.15
lighthouse	28.33	28.97	28.84	29.02
finger	29.48	29.04	31.17	31.8
bridge	27.32	27.83	27.92	28.06
mit	36.98	37.3	37.64	38.03
clown	36.36	37.44	37.55	37.74
dollar	20.47	20.61	20.48	20.6
bike	25.56	28.49	28.24	28.24
boat	34.69	37.73	38.01	38.26
houses	25.61	26.12	25.91	26.19
target	16.48	17.94	16.66	18.96
average	28.83	29.66	30.07	30.38

5. 결론

본 논문은 기존의 예지 기반 알고리즘의 장점을 살린 ED4D 알고리즘을 개선하기 위해 윈도우의 크기를 5×2 로 확장하고, M-DOI를 적용해 Method I과 Method II를 새롭게 정의함으로써 수평 및 연속해서 나타나는 에지를 더욱 섬세하게 복하는 방법을 제안 하였다. 제안하는 방법은 고정된 3×2 윈도우를 사용하는 기존의 방법에 5×2 윈도우를 추가함으로써 수평방향 에지 검출의 정확성을 높였을 뿐만 아니라 M-DOI를 통해 기존의 알고리즘을 간소화 하고 성능을 향상 시켰다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비[60012008090]와 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업과 정보통신연구진흥원의 차세대 DTV핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 오세훈, 이여송, 박호중, 오승준, "에지 방향성을 고려한 4단계 디인터레이싱 방법", 제21회 신호처리합동학술대회 논문집, vol. 21, no. 1, pp. 53, 2008
- [2] Hoon Yoo and Jechang Jeong, "Direction-oriented interpolation and its application to de-interlacing", *IEEE Trans. consumer Electronics*, vol.48, Issue 4, pp. 954-962, Nov. 2002
- [3] T.Doyle, "Interlaced to sequential conversion for EDTV applications", in Proc. 2nd Int. Working Processing of HDTV, pp. 412-430, Feb. 1998
- [4] T.Chen, H. R Wu, and Z. H. Yu, "An efficient edge line average interpolation algorithm for deinterlacing", in Proc. Visual communications and Image Processing, SPIE vol. 4067, pp. 1551-1558, 2000
- [5] Wonki Kim, Soonjong Jin, and Jechang Jeong, "Novel Intra Deinterlacing Algorithm Using Content Adaptive Interpolation", *IEEE Trans. Consumer Electrics*, vol. 53, Issue 3, pp. 1036-1043, Aug. 2007