

WENO 방법을 이용한 UHD TV 화질 개선

이덕균¹, 박지은^{2*}

¹대구대학교 공과대학 기계공학부, ²대구대학교 인문교양대학

WENO methodology for UHD TV Image Quality Improvement

Dokkyun Yi¹, Jieun Park^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Daegu University

²Seong-san Liberal Arts College, Daegu University

요 약 FHD(Full High Definition Television)의 시대를 지나 UHD(Ultra High Definition Television) 시대를 맞이하였다. 두 TV에서 화소(Pixel)수의 차이에 따라 발생하는 문제에 대하여 이야기하고 이를 개선할 수 있는 방법을 도입하고자 한다. 이 방법은 WENO(Weighted Essential Non-Oscillation)으로 주어진 영상(Image)에 적합한 보간법을 시행하는 방법이다. 이를 통하여 영상의 왜곡현상을 줄이고 보다 나은 화질을 보장할 수 있다. 따라서 예전에 만들어진 영상물을 UHD TV로 시청하려고 할 때 WENO 방법론을 활용하면 화소수에 따른 화질의 저하 없이 UHD TV의 고화질을 누릴 수 있다.

주제어 : UHD, FHD, 보간법, 융합기술, WENO

Abstract It has passed the era of Full High Definition Television (FHD) and ended the era of Ultra High Definition Television (UHD). We will talk about the problems caused by the difference in the number of pixels in the TVs and introduce a method to improve them. This method is a method of performing an interpolation method suitable for a given image with Weighted Essential Non-Oscillation (WENO). Thus, it is possible to reduce the distortion of the image and to ensure a better image quality. Therefore, if we use the WENO methodology, when we watch old video material on UHD TV, we can enjoy high definition of UHD TV without changing the number of pixels.

Key Words : UHD, FHD, Interpolation, Convergence technology, WENO

1. 서론

TV시장은 연간 2억2천700만대의 규모로 꾸준한 성장세였으나, 최근 중국의 추격으로 경쟁이 심해지고 있는 상황이다. 이러한 상황은 FHD시장에서 빠르게 UHD시장으로의 변화를 불러 왔으며, 기술력의 발전을 더욱 필요로 하고 있는 실정이다[1]. FHD와 UHD의 가장 큰 차이는 화소수의 차이이다. FHD는 1920*1080의 화소수를 가지며, UHD는 3840*2160의 화소수를 가진다. 참고로 TV는 640*482이고 SD는 1024*768 그리고 HD는 1920*1024이다. 이는 기술력의 발전으로 화소의 크기를

조절함으로써 해서 가능했다[2-5]. 우리의 논문은 이러한 화소수의 차이에서 발생하는 문제들을 해결하고자 한다.

화소수의 차이로 생기는 문제 중 가장 큰 문제는 퍼짐(diffusion)이다. 화소수가 커짐으로 data 값이 없는 중간 과정을 만들고자 가장 쉬운 선형 조합을 하는데 이것으로 인해서 퍼짐 현상이 발생한다. 이것은 화질의 선명도를 떨어트리는 원인이 된다. 이를 극복하기 위해서 고차원의 보간법을 시행하는데 이로 인한 진동(Oscillation)이 발생한다. 이것은 화질의 왜곡 현상을 발생시키는 결과를 낳는다. 이를 해결하기 위하여 보간법의 보간 하려는 위치 조절(Adaptive)이 가능한 방법론인 WENO(Weighted

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2017R1E1A1A03070311)

*Corresponding Author : Jieun Park(writer2yah@daegu.ac.kr)

Received February 14, 2018

Accepted April 20, 2018

Revised March 23, 2018

Published April 28, 2018

Essential Non-Oscillation)을 활용하고자 한다. 이 방법은 보간 하고자 하는 부분을 부분의 영역과 전체의 영역을 이용하여 조합하는 방법으로 진동이 생기는 부분을 감소시키는 방법이다. 특히 이 방법은 유체의 거동 및 물질의 거동을 설명하는 방법론[6-11,17,18]에서 아주 널리 사용되는 방법으로 안정적이며, 고차원의 방법이 가능한 방법론이다. 또한, 화소수의 변화에 따른 보간법은 코딩 작업에 필수적으로 활용된다[12].

2. 보간법

공통적으로 보간 하고자 하는 부분은 두 점(두 화소) 사이에 해당된다고 가정하자. 화소에 해당되는 점을 편의상 x_i 로 표시하자. 여기서 i 는 정수이다. 따라서 우리에게 주어지는 화면상의 화소는 x_i 위치상에서의 값($f(x_i)$)으로 표현 가능하다. 따라서 화소수를 늘리는 것은 x_i 와 x_{i+1} 사이에 새로운 화소를 $y_i = x_i + x_{i+1}$ 로 정의하고 화소 y_i 에서의 화상의 값을 계산해야한다.

2.1 선형 방법

가장 기본이 되는 방법론으로 새로운 화소 y_i 에서의 화상의 값을 다음으로부터 정한다.

$$f(y_i) = 0.5 * (f(x_i) + f(x_{i+1})) \quad (1)$$

가장 기본이 되는 방법론이다. 1차의 방정식을 풀이하는 방법의 결과로 나온다.

2.2 3차방정식 방법 (Cubic)

보편적으로 가장 널리 많이 쓰이는 방법론으로 다양한 부분에서 활용되는 방법론이다. 3차 방정식은 다음과 같은 방정식으로 정의하고, $S(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$, 두 점 x_i 와 x_{i+1} 사이에 새로운 화소 $y_i = x_i + x_{i+1}$ 로부터 $S(y_i)$ 를 계산해서 화상의 값을 알아내는 방법이다. 이를 위하여 3차의 방정식 $S(x)$ 는 미지수가 4개이므로 4개의 주변 값을 필요로 하게 된다. 그래서 점 x_i 로부터 값을 가지고 오는데 x_{i-1} , x_i , x_{i+1} , x_{i+2} 에 해당되는 화상의 값을 가지고 다음의 행렬식을 만든다.

$$\begin{bmatrix} 1, & x_{i-1}, & x_{i-1}^2, & x_{i-1}^3 \\ 1, & x_i, & x_i^2, & x_i^3 \\ 1, & x_{i+1}, & x_{i+1}^2, & x_{i+1}^3 \\ 1, & x_{i+2}, & x_{i+2}^2, & x_{i+2}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_{i-1}) \\ f(x_i) \\ f(x_{i+1}) \\ f(x_{i+2}) \end{bmatrix}$$

이 행렬식을 계산하여 $S(x)$ 의 미지수를 계산하고 이를 통하여 $S(y_i)$ 를 얻어 우리의 문제를 해결해가는 방법이다.

2.3 WENO(Weighted Essential Non-Oscillation) 방법

WENO 방법론은 적분의 값이 함수 위치의 값을 만족한다는 기본 정의로부터 출발한 개념이다. 즉 $f(x) = \int_{x_0}^x p(x)$ 을 만족한다. 우선 $f(x)$ 를 기본적인 Lagrangian interpolation 방법을 사용하여 다음과 같은 방법으로 근사한다. 구하고자 하는 y_i 를 기준으로 5개의 점을 선택하고 x_{i-2} , x_{i-1} , x_i , x_{i+1} , x_{i+2} 그 점에서의 화상의 값 $f(x)$ 을 이용하여,

$$f(x) \approx \sum_{m=0}^4 f(x_m) L_m(x),$$

$$L_m(x) = \prod_{\substack{l \neq m \\ l=0}}^k \frac{(x - x_{i-r+l+1/2})}{(x_{i-r+m-1/2} - x_{i-r+l-1/2})}.$$

이를 통하여 $f(x)$ 를 근사한 방정식을 구하고 그 방정식의 미분을 통하여 우리가 구하고자 하는 $p_0(x)$ 를 구할 수 있다. 여기서 구하고자 하는 $y(x_i)$ 를 기준으로 화소들의 선택에 따라 구간별로 방정식을 구할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉 5개의 화소 중 x_{i-2} , x_{i-1} , x_i 를 선택해서 $p(x)$ 보다 차수가 적은 $p_0(x)$ 를 만들 수 있으며, 화소 x_{i-1} , x_i , x_{i+1} 을 선택하여 $p_0(x)$ 과 같은 차수의 $p_1(x)$ 를 만들 수 있다. 마지막으로 x_i , x_{i+1} , x_{i+2} 를 이용하여 $p_1(x)$ 와 같은 차수의 $p_2(x)$ 를 만들 수 있다. 이는 $p(x)$ 의 근사함수를 구간 및 차수를 낮추는 방법으로 분해한 것으로 이들 사이에는 $p(x) = d_0p_0 + d_1p_1 + d_2p_2$ 의 연결 고리를 만들 수 있다. 여기서 연결고리 함수(d_0, d_1, d_2)의 함수를 계산적으로 정확하게 결정된다는 것을 확인할 수 있다[13-16].

연결고리 함수(d_0, d_1, d_2)들을 진동이 생기는 부분에 따라 선택적으로 계산함으로 진동을 줄이는 방법을 만든

다. 진동의 정도를 나타내는 함수(smoothness indicator)를 정의하는데,

$$\beta_r = \sum_{j=1}^5 \int_{x_{i-1}}^{x_i} \Delta x^{2j-1} \left(\frac{\partial}{\partial x} p_r(x) \right)^2 dx, \quad (2)$$

여기서 r 은 0, 1, 2중 하나이다. 이 진동을 나타내는 함수를 이용하여 가중치 함수(Weighted function)를 만들는데 $\alpha_r = d_r / (e + \beta_r)^2$ 을 만들고, 이 함수로부터 가중치 함수 $w_r = \alpha_r / \sum_{r=0}^2 \alpha_r$ 로 만든다.

이를 이용하여 최종적으로 우리가 하고자 하는 보간법의 다항식은 $pw(x) = w_0p_0 + w_1p_1 + w_2p_2$ 로 만들어지며, 이를 통하여 보간법이 완성된다.

앞에서 계산된 y_i 을 이용하고, 최종적인 화소 y_i 에서의 화상의 값은 $pw(y_i)$ 로 계산된다.

3. 전산모사

디지털 영상신호는 정수의 비 값으로 계산되므로 계단식 값으로 표현 가능하다. 여기서는 가장 기본이 되는 1차원의 신호부터 2차원의 화질까지 다루고자 한다.

3.1 1차원 영상 실험

우리가 다루는 영상 신호는 2차원이며, 이 2차원을 한 줄만 바라보면 1차원의 신호로 간주할 수 있다. 1차원의 신호로부터 기본적인 변화를 보고자 한다.

실험상에서는 16개의 화소 값으로부터 512개의 화소로까지 확장하는 방법을 사용한다.

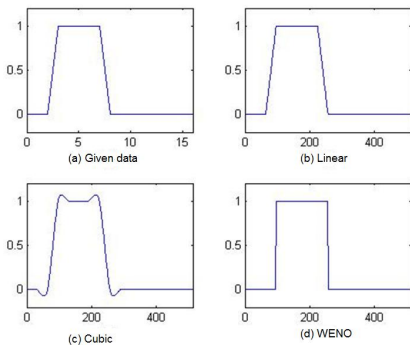


Fig. 1. Simple stair test ((a) Given data (b) Linear method, (c)Cubic method, (d) WENO method)

3.1.1 기본 계단 실험

가장 기본이 되는 영상을 실험하고자 한다. 영상 신호의 값을 0과 1값으로 표현하여 화소의 영역을 나누어 기본 값으로 정의하였다.

Fig. 1에서 (a)는 주어진 값이다. (b)는 선형 방법의 결과이고, (c)는 Cubic 방법이며, (d)는 WENO방법이다. 여기서 선형 방법은 우리가 예측하듯이 퍼짐 현상이 발생함을 알 수 있다. 그림 상에서는 (a)와 같은 값으로 보이나 화소의 수가 521/16배이 차이를 감안해야한다. 그림 상에서 (c) Cubic에서는 우리가 잘 알고 있는 진동(Oscillation)이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 불연속한 화상의 값을 연속함수 즉 방정식의 근으로 계산하려고해서 생기는 현상으로 화질의 변화를 가지고 오는 문제가 있다. 반면에 이질적인 효과를 주므로 또한 영상의 경계부분을 두드러지게 하는 효과는 있다. 그러나 영상의 다양한 변화에서 화질이 특이하게 보이는 문제를 발생하기도 한다. 결과의 비교에서 (b)에 비해서는 나름 퍼짐이 덜하지만 역시나 퍼짐현상을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 WENO방법의 결과인 (d)는 경계 부분과 퍼짐 부분 등 모든 면에서 확실히 좋은 결과를 가지고 오는 것을 그림의 결과로 확인할 수 있다. 왜곡 없는 화질과 정확한 경계 부분의 구별을 위해서는 WENO방법이 좋다.

3.1.2 다층 계단 실험

영상의 신호 값은 다양하게 들어오며 그 값은 화소 영역에 분포할 것이다. 4가지 정도의 화상 값을 정의했다. 초기 주어지는 화소의 개수가 16개뿐이라 4가지 정도의 값만으로 나누어 실험하였다.

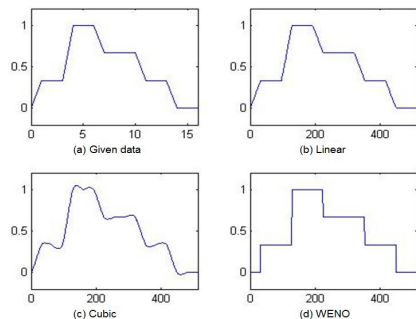


Fig. 2. Multi-stairs test ((a) Given data (b) Linear method, (c)Cubic method, (d) WENO method)

다양한 영상을 고려하면 계단식의 화상의 값을 잘 표현해야한다. Fig. 2에서 (a)는 화소 수 16개의 주어진 값일 때 이를 512화소수로 늘렸을 때의 각 방법론의 결과들이다. 여기서도 실험 3.1.1에서 이야기한 바와 같이 (b)의 선형 결과가 원래 주어진 값과 같아 보이나 화소수의 차이에 따른 차이점을 감안해야 함을 다시 이야기한다. 결과적으로 (b)의 값은 512/16의 넓은 화소 수에 퍼져있는 상황으로 간주하기 바란다. 이를 통해 선형 사상의 퍼짐은 확인 가능하다. [Fig. 2]에서 (c)를 보면 역시나 진동(Oscillation)이 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 계단 부분의 특징에서 화소 70~80 부분 430~480부분 등에서 왜곡에 따른 변형을 확인할 수 있다. 이는 영상 신호의 화상 값 차이에 따라 다양한 부분에서 발생함을 알 수 있다. 영상 신호를 디지털화함으로써 정확한 화질을 보장하려 함인데 이러한 보간 방법론에 의한 화질의 왜곡은 기대하지 않은 다른 효과를 내게 된다. (d)방법은 화질의 기대하는 값을 아주 잘 표현한 방법이라 하겠다. 경계부분에서의 왜곡, 그리고 퍼짐의 정도에서 다른 방법론과 비교해서 월등한 결과를 얻을 수 있었다.

3.2 2차원 문제

각 방법론을 2차원 문제에 적용해 본다. 1차원의 문제를 해결하듯이 2차원 및 다차원의 문제는 각 차원마다 각각으로 해결하는 방법을 사용 할 수 있다. 이 방법은 보통 분열방법(Splitting method)이라 하며, 여기서는 이 방법을 이용하여 2차원의 문제를 해결하였다.

3.2.1 Lena image

Lena 영상은 영상처리에서 대표적으로 사용하는 영상으로써, 2차원상의 곡선 및 영역의 변화 등으로 널리 사용되는 영상이다.

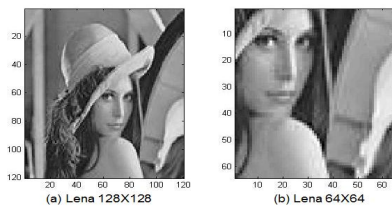


Fig. 3. Lena image

Fig. 3에서 (a)는 Lena의 128X128 화소의 주어진 영상이다. 이 영상에서 64X64 화소에 해당하는 부분을 선택

하여 (b)의 영상을 얻었다. 화소수의 감소로 영상에서 화질이 떨어지는 현상을 확인할 수 있다. 이 영상을 이 논문에서 소개한 각 방법으로 처리 후 결과를 보자.

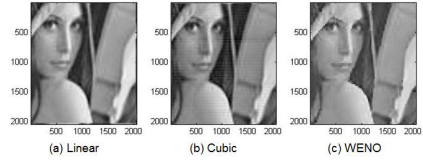


Fig. 4. Results of each method ((a) Linear method, (b)Cubic method, (c) WENO method)

Fig. 4는 각 방법론의 결과이다. Fig. 4의 (a) 영상은 선형 방법의 결과이고 (b) 영상은 Cubic 방법론이며, (c) 영상은 WENO 방법론이다. 64화소를 2048화소로 확장한 영상이다. 각 결과는 1차원의 결과와 비슷한 결과를 나타냈다. 선형은 퍼짐 현상이 확인됐으며, Cubic은 선형 보다는 적은 퍼짐이 발생하나 화상의 값이 화상의 최대 최소값을 넘어가는 진동(Oscillation)이 발생함을 알 수 있다. WENO 방법은 화상의 최대 최소값을 벗어나지 않으며 퍼짐 현상도 가장 적었다. 여기서 화소수의 값을 64로 시작하여 충분한 초기 값을 시행하였으므로 16개의 화소를 가지고 실험을 시행하였다.

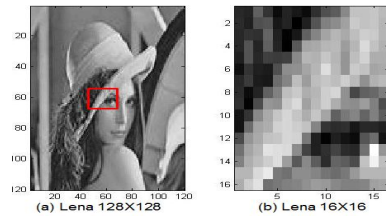


Fig. 5. Lena image and Lena image(16X16 pixels)

Fig. 5는 Lena 영상에서 16X16화소를 선택한 영상이다. Fig. 5의 (a) 그림의 붉은 부분을 선택하여 작업하였다.

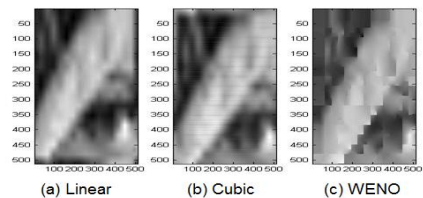


Fig. 6. Results of each method ((a) Linear method, (b)Cubic method, (c) WENO method)

Fig. 6은 각 방법론의 결과이다. 16X16의 화소를 512X512의 화소로 확대하며 각 방법론에 따른 결과이다. Fig. 6의 (a)는 선형 방법이고 (b)는 Cubic 방법론이며, (c)의 결과는 WENO의 결과이다. 여기서 각 방법론에 따른 결과의 차이가 64화소의 경우와 비교하여 확실하게 드러나는 것을 볼 수 있다. 선형과 Cubic은 퍼짐이 두드러지며, WENO는 퍼짐이 작으나 계단의 효과가 화상의 값뿐만 아니라 화소 사이에서도 두드러지게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 WENO방법이 차원에 관하여 해결하는 방법을 Splitting 방법에 기반을 하고 있으므로 이로 인해서 발생하는 어쩔 수 없는 현상이다.

3.2.2 Color image

Color 영상은 앞장에서 다룬 2차원 영상이 Red, Green 그리고 Blue에 해당되는 3가지로 각각 존재하게 된다. 이를 한 화면에 작동(play) 함으로 color 영상을 얻는다. 즉 각 방법론은 RGB(red, Green, Blue) 각각의 2차원 화상에 앞장에서 설명한 방법론을 실행함으로 결과를 얻는다.

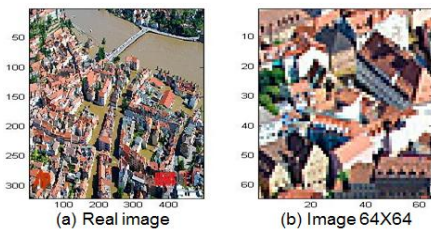


Fig. 7. Images of the aerial photograph

Fig. 7의 영상은 항공 촬영 영상으로 유럽의 주택가를 촬영한 것이다. 64X64화소의 값을 1024X1024의 화소수로 확대한 작업이다.

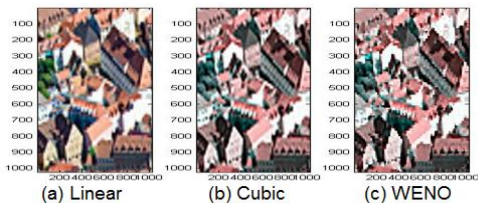


Fig. 8. Results of each method ((a) Linear method, (b)Cubic method, (c) WENO method)

Fig. 8에서 (a)의 결과는 선형 방법이고 (b) 방법은 Cubic 방법론이며, (c)의 결과는 WENO의 결과이다. 결

과를 통해서 확인 가능하듯이 WENO 방법론이 선명도 및 경계부분(Edge) 부분 등에서 확연히 구분 가능하며 공간에서의 계단 효과가 건물의 외간을 구분하는데 더욱 효과가 뛰어나다는 것을 확인할 수 있다. 좀 더 적은 화소 수를 가지고 실험을 해보자.

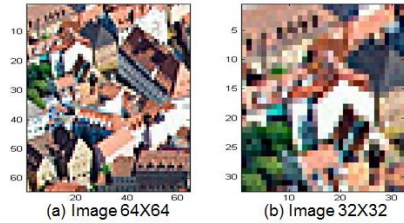


Fig. 9. (a) Image of the aerial photograph, (b) Zoom-in image of (a).

Fig. 9는 64X64 화소 수에서 32X32 화소만을 선택한 후 각 방법론에 대하여 실험하였다.

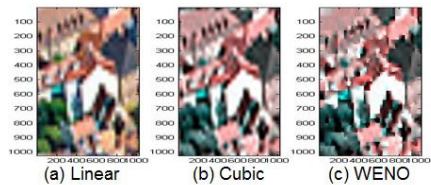


Fig. 10. Results of each method ((a) Linear method, (b)Cubic method, (c) WENO method)

Fig. 10은 32X32의 화소를 이용하여 확대를 1024X1024 화소까지 확장하였다. (a)의 결과는 선형 방법이고 (b) 방법은 Cubic 방법론이며, (c)의 결과는 WENO의 결과이다. 결과에서도 WENO의 방법이 퍼짐 및 경계 부분의 영역을 잘 잡아내는 것을 다시 확인 가능하다. Color 영상은 RGB 3가지 색의 요소를 합하여 화상에 play함으로 각 색의 효과가 줄어들 수 있다. 선형 사상과 Cubic의 경우에 퍼짐의 정도가 좀 더 확실하게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

UHD TV 시대에 화소 개수는 점점 더 늘어나는 상황이다. 그러나 기존의 영상 장비나 저 화소 수에서 만들어진 영상은 UHD TV 상에서 화질의 저감은 피할 수 없는 상황이며, 저화질의 질로 인한 눈의 피로함 또한 경험하

게 된다. 이에 화소 수의 조절 및 보간법의 방법에 따른 화질의 변화에 대하여 알아보았다. 이는 간단한 알고리즘(보간법)을 TV 상에 적용하면 저 화소의 영상을 보다 선명한 화질을 즐길 수 있을 것이다. 이를 위하여 기본적인 선형 보간법과 Cubic 그리고 WENO의 방법을 설명하였다.

선형 방법은 보간법에서 가장 기본이 되는 방법이라 소개하였다. Cubic 방법론은 가장 널리 쓰이고 있는 방법론으로 다양한 부분에서 응용되는 보간법의 하나이다. 우리는 특히나 WENO의 방법을 소개하였다. WENO 방법론은 유체 등의 전산 모사에 쓰이는 방법론으로 영상 처리에 관심 있는 연구자들에게는 생소한 개념이다. 그러나 WENO는 불연속 구간의 부분을 좀 더 정확하게 계산하고자 도입된 방법론이다. 이러한 아이디어는 영상에서 경계(Edge) 부분을 선명 화하거나 경계 부분이 무너지는 경우가 많은데 WENO의 불연속구간 해결 방법은 이러한 영상의 문제를 해결할 수 있는 방법론이다. 이에 본 연구에서 소개했으며, 실험상에서 확실한 경계의 구분을 할 수 있음을 확인하였다. 특히 WENO의 방법과 Splitting에 의한 경계 부분의 두드러짐은 실험 결과를 통하여 확인할 수 있다. 그러나 WENO 방법이 Splitting을 기본으로 구성된 방법론이라 Lena의 영상처럼 곡선의 영상과 부드러운 부분의 화질을 표현하는 데에는 한계가 있다. 이를 좀 더 보완하는 영상에 적합한 방법론의 연구와 이를 이용한 UHD TV에 적용을 기대한다. 따라서 예전에 만들어진 영상물을 UHD TV로 시청하려고 할 때 WENO 방법론을 활용하면 화소수에 따른 화질의 저하 없이 UHD TV의 고화질을 누릴 수 있다.

REFERENCES

- [1] M. Sugawara, M. Kanazawa, K. Mitani & F. Okano. (2003. Oct). Ultrahigh-Definition Video System with 4000 Scanning Lines. *SMPTE Motion Imaging Journal*, 112, 339-346.
- [2] T. Blu, P. Thévenaz & M. Unser. (2004). Linear interpolation revitalized. *IEEE Trans. on Image Processing*, 13(5), 710-719.
- [3] R. G. Keys. (1981). Cubic convolution interpolation for digital image processing. *IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Process*, ASSP-29(6), 1153-1160.
- [4] W. C. Siu & K. W. Hung. (2012). Review of Image Interpolation and Super-resolution. *IEEE conference*. ieeexplore.ieee.org/document/6411957.
- [5] D. H. Han. (2016). Design and Characteristics of 6-60 Lens for CCTV. *Journal of Convergence Society for SMB*, 6(3), 85-91.
- [6] N. Crouseilles, T. Respanud & E. Sonnendrucker. (2009). A Forward semi-Lagrangian method for the numerical solution of the Vlasov equation. *Computer Physics Communications*, 180, 1730-1745.
- [7] E. Sonnendrucker, J. Roche, P. Bertrand & A. Ghizzo. (1999). The semi-lagrangian method for the numerical resolution of the Vlasov equation. *Journal of Computer Physics*, 149, 201-220.
- [8] A. Staniforth & J. Cote. (1991). Semi-Lagrangian integration schemes for atmospheric models. *A review Mon. Weather Rev.* 119, 2206-2223.
- [9] M. Zerroukat, N. Wood & A. Staniforth. (2005). A monotonic and positive-definite filter for a Semi-Lagrangian Inherently Conserving and Efficient (SLICE) scheme. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131, 2923-2936.
- [10] G. S. Jiang & C.-W. Shu. (1996). Efficient implementation of weighted ENO schemes. *Journal of Computational Physics*, 126, 202-228.
- [11] X. D. Liu, S. Osher & T. Chan. (1994). Weighted essentially non-oscillatory schemes, *Journal of Computational Physics*, 115, 200-212.
- [12] S. J. Kim & D. E. Cho. (2018). Study on Learning Model for Effective Coding Education. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(2), 7-12.
- [13] L. L. Takacs. (1985). A two-step scheme for the advection equation with minimized dissipation and dispersion errors. *Month Weather Rev*, 113, 1050-1065.
- [14] J. A. Carrillo & F. Veci. (2007). Nonoscillatory interpolation methods applied to Vlasov-Based models. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 29(3), 1179-1206.
- [15] C. W. Shu. (2009). High order weighted essentially non-oscillatory schemes for convection dominated problems, *SIAM Review*, 51, 82-126.
- [16] C. W. Shu & S. Osher. (1988). Efficient implementation of essentially non-oscillatory shock capturing schemes. *Journal of Computational Physics*, 77(2), 439-471.
- [17] J. M. Qui & A. Christlieb. (2010). A Conservative high order semi-Lagrangian WENO method for the Vlasov equation, *Journal of Computational Physics*, 229, 1130-1149.
- [18] D. K. Yi & J. E. Park. (2015). Comparative analysis methods for digital simulation. *Journal of Digital Convergence*, 13(9), 209-218.

이 덕 균(Yi, Dok Kyun)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한국과학기술원 수학과 (석사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 수학과 (박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 공과대학 기계공학부 조교수

- 관심분야 : 수치해석, 이미지처리
- E-Mail : dkyi@daegu.ac.kr

박 지 은(Park, Ji Eun)

[정회원]



- 1998년 2월 : 이화여자대학교 과학교육과(화학전공) (학사)
- 2013년 2월 : 이화여자대학교 과학교육학과 (박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 인문교양대학 조교수

- 관심분야 : 문제해결력, 표상
- E-Mail : writer2yah@daegu.ac.kr