

## 적응적인 가변 커널 길이의 Cubic Convolution Scaler를 이용한 화면 해상도 변화기

<sup>1</sup>정연경, <sup>2</sup>문지혜, <sup>3</sup>한종기

세종대학교

l'jyk7753@nate.com, <sup>2</sup>jihye\_haha@naver.com, <sup>3</sup>hjk@sejong.edu

## Adaptive cubic convolution scaler using variable kernel length

<sup>1</sup>Jeong, Yeon-Kyeong, <sup>2</sup>Moon, Ji-hye, <sup>3</sup>Han, Jong-Ki

Sejong University

## 요약

최근 UHD TV 출시와 HD급 영상의 보편화로 영상에 대한 해상도 변경 기술의 중요성이 높아지고 있다. 본 논문에서는 기존의 cubic convolution 기법을 응용하여, 영역별 특성에 따라 적응적인 가변 커널 길이의 cubic convolution으로 화면 해상도를 변환하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 영상의 화질을 개선시키면서도 상황에 따라 하드웨어의 line memory를 절약할 수 있도록 설계를 하여 화질 개선뿐만 아니라 하드웨어적으로도 더 효율적으로 사용이 가능하다. 또 tuning parameter를 최적화 하는 방법을 통해 기존의 cubic convolution 기법보다 더 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다.

1. 서론<sup>1)</sup>

UHD TV 출시와 더불어 저장매체들의 저장 용량 증가, HD급 영상을 지원하는 스마트 기기 보급 등으로 고품질 영상의 보편화가 급속도로 늘고 있다. 여기에 맞는 서비스를 제공하기 위해서는 영상의 해상도 변환하는 기술을 사용해야 하고 해상도 변환 시 좋은 화질로 변환하는 것이 중요해졌다.

본 연구에서는 6 tap 길이의 커널을 갖는 cubic convolution scaler를 설계한다. 이때 6 tap 길이 cubic convolution scaler의 성능을 개선시키기 위해서 국지적으로 tuning parameter 값을 최적화한다.

또한 처리할 영상을 블록별로 4 tap cubic convolution scaler와 6 tap cubic convolution scaler를 선택적으로 사용하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는  $\alpha$ 를 parameter로 갖는 6 tap cubic convolution의 kernel을 설계하는 방법에 대해 소개하고 제 3장에서는 6 tap cubic convolution의 tuning parameter인  $\alpha$ 를 최적화 하는 방법에 대해 제안을 하고, 4장에서는 4 tap과 6 tap을 적응적으로 사용하는 cubic convolution 기술을 제안한다. 논문에서 제안하는 기술의 실험 결과를 5장에서 보이고 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 6 tap 길이의 cubic convolution scaler 설계

cubic convolution kernel은 sinc 함수를 모델링 하여 만들었기 때문에 여러 개의 화소의 정보를 많이 이용할수록 화질이 좋아진다. 기존의 4 tap cubic convolution을 확장하여 6 tap cubic convolution으로 사용할 수 있다. 6 tap cubic convolution은 Keys[1]가 이미 제안을 했지만  $\alpha$ 를 tuning parameter로 갖는 6 tap cubic convolution을 새롭게 유도하여 사용한다면 영상마다  $\alpha$ 를 조절하여 더 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있을 것이다.[2][3] 6 tap cubic convolution kernel은 다음과 같이 유도 할 수 있다.

$$u(s) = \begin{cases} A_1|s|^3 + B_1|s|^3 + C_1|s|^3 + D_1, & 0 < |s| < 1 \\ A_2|s|^3 + B_2|s|^3 + C_2|s|^3 + D_2, & 1 < |s| < 2 \\ A_3|s|^3 + B_3|s|^3 + C_3|s|^3 + D_3, & 2 < |s| < 3 \\ 0, & 3 < |s| \end{cases} \quad (1)$$

수식 (1)에서  $s$ 의 위치에 따른 값과 미분 했을 때의 값을 알 수 있고 계수에 따라 연립방정식을 유도하면 미지수 12개와 식 10개로 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned} 1 &= u(0) = D_1 \\ 0 &= u(1^-) = A_1 + B_1 + C_1 + D_1 \\ 0 &= u(1^+) = A_2 + B_2 + C_2 + D_2 \\ 0 &= u(2^-) = 8A_2 + 4B_2 + 2C_2 + D_2 \\ 0 &= u(2^+) = 8A_3 + 4B_3 + 2C_3 + D_3 \\ 0 &= u(3^-) = 27A_3 + 9B_3 + 3C_3 + D_3 \end{aligned} \quad (2)$$

1) 본 연구는 지식경제부 기술혁신사업(산업융합원천기술개발사업 4K급 UHD를 지원하는 초고해상도(Super Resolution)영상 스케일러 개발, K10041900)으로 지원되었습니다.

연락처자: 한종기

$$\begin{aligned}
 -C_1 &= u'(0^-) = u'(0^+) = C_1 \\
 3A_1 + 2B_1 + C_1 &= u'(1^-) = u'(1^+) = 3A_2 + 2B_2 + C_2 \\
 12A_2 + 4B_2 + C_2 &= u'(2^-) = u'(2^+) = 12A_3 + 4B_3 + C_3 \\
 27A_3 + 6B_3 + C_3 &= u'(3^-) = u'(3^+) = 0
 \end{aligned} \quad (3)$$

수식 (2)와 수식 (3)에서 모자란 식을 테일러급수를 이용하여 유도를 하면 연립방정식을 1개 더 얻을 수 있다. 미지수  $A_3$ 를  $\alpha$ 로 놓고 연립방정식을 정리를 하면 수식 (4)와 같이 6 tap cubic convolution kernel을 만들 수 있다.

$$u(s) = \begin{cases} \frac{11-36\alpha}{6}|s|^3 + \frac{(-17+36\alpha)}{6}|s|^3 + 1 & , 0 < |s| < 1 \\ -\frac{(1+30\alpha)}{6}|s|^3 + \frac{5+156\alpha}{6}|s|^3 - \frac{(8+258\alpha)}{6}|s|^3 + \frac{4+132\alpha}{6} & , 1 < |s| < 2 \\ \alpha|s|^3 - 8\alpha|s|^3 + 21\alpha|s|^3 - 18\alpha & , 2 < |s| < 3 \\ 0 & , 3 < |s| \end{cases} \quad (4)$$

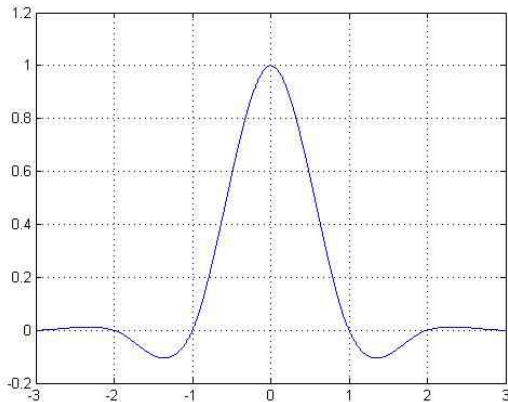


그림 1. 6 tap cubic convolution kernel ( $\alpha = 0.083$ )

### 3. 6 tap cubic convolution의 kernel 최적화

수식 (4)에서 표현된 6 tap cubic convolution의 kernel의  $\alpha$ 란 tuning parameter가 존재한다. 이 값이 양의 값을 갖게 되면 kernel의 모양이 그림 2. 와 같이 부드러워지고, 반대로 음의 값을 갖게 되면 날카로운 모양의 그림 3. 과 같은 kernel이 만들어진다. 따라서 해상도 변환을 하려는 영상의 국지적인 특성을 분석하여, 이 특성에 따라 최적화된 tuning parameter를 사용해야 한다. 화소간의 분산에 따라 최적의  $\alpha$ 를 실험을 통해 미리 계산을 하여 근사화 된 loop-up table을 만든 후, 영상의 해상도를 변경 할 때 화소간의 분산 값을 계산하여 loop-up table에 따라  $\alpha$ 를 조정한다. loop-up table은 표 1. 과 같이 사용한다.

영상의 특성에 최적화 된 tuning parameter를 사용함으로써 해상도 변환된 영상의 화질을 향상시킬 수 있다.

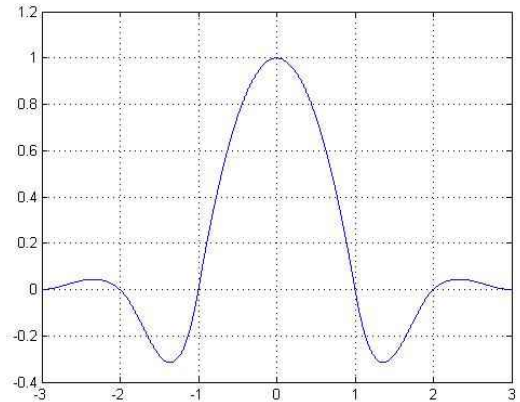


그림 2. 6 tap cubic convolution kernel ( $\alpha = 0.3$ )

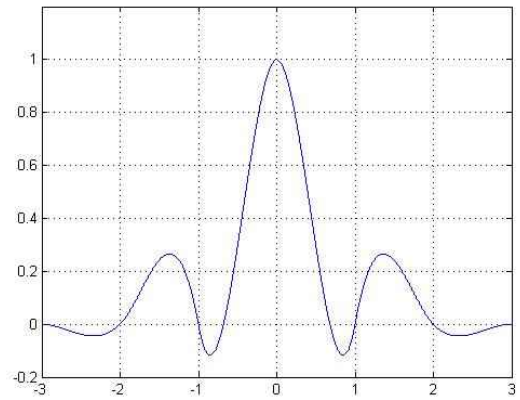


그림 3. 6 tap cubic convolution kernel ( $\alpha = -0.3$ )

가로방향 분산	세로방향 분산	$\alpha$
0 ~ 1	2 ~ 3	-0.4
0 ~ 1	3 ~ 4	-0.3
1 ~ 2	3 ~ 4	-0.2
0 ~ 1	0 ~ 1	-0.1
1 ~ 2	1 ~ 2	0
2 ~ 3	2 ~ 3	0.1
3 ~ 4	2 ~ 3	0.2
3 ~ 4	3 ~ 4	0.3
4 ~ 5	4 ~ 5	0.4
otherwise		0.083

표 1. 분산에 따른  $\alpha$  loop-up table

#### 4. 영상의 해상도 변경을 위한 4 tap과 6 tap scaler의 선택적 사용

일반적으로 영상의 해상도를 변경할 때 참조하는 화소의 수가 더 많을수록 영상의 화질이 좋아진다. 하지만  $\alpha$  parameter 영향과 참조하는 화소의 영향으로 특정 부분에서 6 tap cubic convolution이 4 tap cubic convolution을 사용했을 때 보다 화질이 떨어지는 현상이 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영상을 블록 단위로 나누어 4 tap cubic convolution과 6 tap cubic convolution을 선택적으로 사용하여 보다 좋은 영상의 화질을 얻을 수 있다.

4 tap cubic convolution이 선택되는 경우는 6 tap cubic convolution으로 화면 해상도 변경을 했을 때의 화질보다 4 tap cubic convolution으로 화면 해상도를 변경 했을 때 화질이 더 좋거나 같은 경우 4 tap cubic convolution이 선택이 된다. 4 tap cubic convolution으로 해상도 변환을 했을 때의 화질과 6 tap cubic convolution이 화질이 같은 경우에는 4 tap cubic convolution이 line memory를 적게 사용하기 때문에 하드웨어적으로 이득이 생기기 때문에 화질이 같은 경우에도 4 tap cubic convolution을 선택하여 사용을 한다.

#### 5. 실험결과

##### 가. 최적화된 6 tap cubic convolution scaler 성능

Sequece	6 tap cubic convolution	최적의 $\alpha$ 6tap cubic convolution
Iena (512 x 512)	50.345	51.750
RaceHorses (416 x 240)	48.935	50.389
BasketballDrill (832x480)	49.050	50.623
PeopleOnStreet (2560x1600)	54.680	56.046
평균	50.753	52.202

표 2. 최적화 된  $\alpha$  6 tap cubic convolution PSNR

실험결과  $\alpha$  최적화를 통해 기존의 6 tap cubic convolution보다 약 1.449dB 향상 된 것을 확인 할 수 있다.

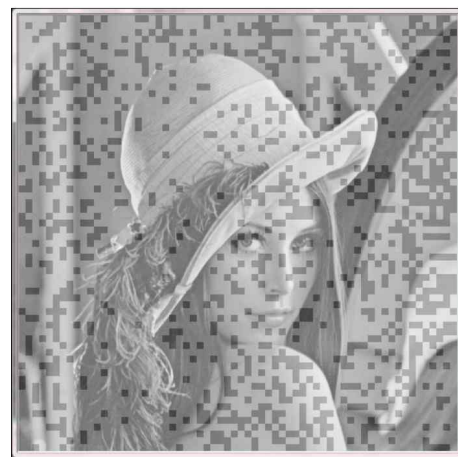
##### 나. 4 tap과 6 tap scaler의 선택적 적용 기술의 성능

		선택적 Cubic Convolution	선택적 Cubic Convolution	선택적 Cubic Convolution
Block Size		4x4	8x8	16x16
Tap Ratio	4 tap	30.10%	13.28%	4.05%
	6 tap	69.90%	86.72%	95.95%

표 3. 4 tap, 6 tap 선택적 cubic convolution 선택 비율

Sequece	6 tap Cubic Convolution	선택적 Cubic Convolution	선택적 Cubic Convolution	선택적 Cubic Convolution
Block Size	.	4x4	8x8	16x16
Iena (512 x 512)	50.338	50.590	50.396	50.345
RaceHorses (416 x 240)	48.931	49.052	48.956	48.935
BasketballDrill (832x480)	49.048	49.215	49.080	49.050
PeopleOnStreet (2560x1600)	54.641	55.133	54.812	54.680

표 4. 4 tap, 6 tap 선택적 cubic convolution PSNR 비교



■ 4 tap cubic convolution

그림 4. 4 tap, 6 tap 선택적 해상도 변경 결과 영상

그림 4. 의 결과 영상을 보면 대부분 저주파 영역에서만 4 tap cubic convolution이 선택 되는 것을 확인할 수 있다. 이유는 4 tap cubic convolution으로 해상도 변경을 했을 때 보다 화질이 더 좋거나 차이가 없어서 화질과 line memory에서 이득이 생기기 때문에 4 tap cubic convolution이 선택이 된다. 이러한 결과는 표 3. 와 같이 블록의 크기가 작을수록 더 명확하게 드러난다. 그러나 블록의 크기가 커질수록 6 tap cubic convolution으로 해상도 변경을 했을 때 화질이 월등히 우수하기 때문에 6 tap cubic convolution이 더 많은 영역에서 선택이 된다.

#### 6. 결론

4 tap cubic convolution과 6 tap cubic convolution을 선택적으로 사용함으로써 6 tap convolution에서 성능저하가 일어나는 부분을 4 tap cubic convolution이 보완을 해주어 좀 더 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다. 또한 블록별로 4 tap cubic convolution이 6 tap cubic convolution 보다 성능이 좋거나 같은 경우 하드웨어의 line memory도 줄일 수 있어서 하드웨어 관점에서도 유리한 기술이라고 판단된다.

그리고 6 tap cubic convolution에서  $\alpha$ 를 두어 최적의  $\alpha$ 를 통해 해상도 변환을 하게 되면 기존의 6 tap cubic convolution보다 더 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다.

## 7. 참고 문헌

- [1] R. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing" IEEE Transactions on Signal Processing, Acoustics, Speech, and Signal Processing. December 1981.
- [2] J. K. Han, H. M. Kim. "Modified Cubic Convolution Scaler with Minimum Loss of Information" Optical Engineering. April 2001.
- [3] J. K. Han, H. M. Kim. "Modified cubic convolution scaler for multiformat conversion in Transcoder" Optical Engineering. July 2004.