

---

## 방향적응적인 연속 비율 실시간 영상 보간 방식

방향별 가우시안 필터를 사용한 연속 비율 지원 영상 보간 필터

### Real-Time Continuous-Scale Image Interpolation with Directional Smoothing

유윤중\*, Yoonjong Yoo, 전신영\*\*, Sinyoung Jun, 비벡 마이크\*\*, Vivek Maik, 백준기\*\*\*, Joonki Paik

---

**요약** 방향 적응적인 저대역 통과 필터를 사용한 보간 방식은 화소의 방향성에 따른 적응적인 필터 처리를 통하여 가로 세로의 비율이 다른 보간을 수행할 시 생기는 영상의 왜곡을 최소화한 방식이다. 본 방식은 하드웨어 적인 구현에 적합하도록 설계 되었으며, 영상의 보간 시 사용하는 저대역 통과 필터 처리 강도의 조절이 용이하여 최종 영상의 선명도를 쉽게 변경 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 적은 연산량과 화질의 변경이 용이 함으로 인하여, 본 기술은 디지털 카메라, CCTV, 평판 디스플레이 장치 등 영상 보간 기술이 필요한 영상 장비에 적용될 수 있다.

**Abstract** A real-time, continuous-scale image interpolation method is proposed based on bi-linear interpolation with directionally adaptive low-pass filtering. The proposed algorithm has been optimized for hardware implementation. The original bi-linear interpolation method has blocking artifact. The proposed algorithm solves this problem using directionally adaptive low-pass filtering. It can also solve the severely problem by selection choosing low-pass filter coefficients. Therefore the proposed interpolation algorithm can realize a high-quality image scaler for various imaging systems, such as digital camera, CCTV and digital flat panel display, to name a few.

**핵심어:** *Image interpolation, Directional smoothing, Linear scaler, Continuous scaler*

---

본 논문은 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 지원 사업과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성 지원사업, 2008년도 2 단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

\*유윤중: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 e-mail: whitener@wm.cau.ac.kr

\*\*전신영: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사과정 e-mail: jjun0427@wm.cau.ac.kr

\*\*비벡 마이크: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 e-mail: vivek5681@wm.cau.ac.kr

\*\*\*백준기: 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수 e-mail: paikj@cau.ac.kr

## 1. 서론

영상 보간은 영상처리 기술[1]의 기본적인 요소 중 하나로서 영상 보안, 영상 획득, 의료 영상[2] 등에 널리

사용되고 있다. 따라서 최우도 보간, 선형 보간[3], 큐빅 B-스플라인[4,5,6], 정칙화 보간등의 많은 방식들이 존재해 왔다. 최우도 보간 방식과 선형 보간 방식의 경우 간단한 구조와 빠른 속도를 가지고 있지만 블록 왜곡 현상에 대하여 기민하게 대처하지 못하는 단점을 지니고 있으며, 큐빅 B-스플라인 보간의 경우 블록 왜곡에 대해서는 대처가 빠르나 연산량과 열화에 있어서 문제점을 지니고 있다. 그리고 정칙화 보간 방식의 경우 반복적인 구조로 인한 하드웨어적인 실시간 처리에 한계가 있다.

제안하는 방향적응적 영상보간 기법의 경우 다섯 방향에 대한 적응적인 저대역 통과 필터 처리를 통하여 하드웨어에 적합한 구조를 지니고 있으며, 블록 왜곡 문제와 열화 문제가 발생하지 않는다. 다음 장에서는 제안하는 방향적응적 보간 방식에 대하여 알아 본다.

## 2. 선형 보간법

우선적으로 기존의 선형 보간방식을 사용하여 영상의 크기를 구하고자 하는 영상의 크기로 보간을 한다. 보간은 선형적인 보간 방법을 사용하며, 정수배가 아닌 실수 배의 보간을 하도록 하기 위하여 새로 생성되는 각각의 화소마다 기존의 원본영상의 주변화소와의 거리를 구하여 거리에 따른 가중치를 곱하여 하나의 화소를 만드는 방법을 사용하였다. 선형 보간법(bilinear interpolation)은 계산이 복잡하지 않아 가장 일반적으로 사용하는 방법이다. 이 방식은 가장 가까운 네 개의 화소값을 가지고 보간을 하고자 하는 위치의 화소를 식 (1)에 명시된 것과 같은 선형적 관계식에 대입하여 구한다. 그림 1와 같이 새로운 화소를 생성하기 위해 네 개의 가장 가까운 화소들의 거리를 구하고 네 화소에 대한 거리의 비율에 따라 가중치 값을 a, b, c, d와 같이 구한다. 즉, 생성하고자 하는 화소값 I가 A에 가까우면 가중치 값 a의 값이 가장 크고, 가중치 값 d의 값이 가장 작은 값을 갖는다. 화소값 I를 가중치 값을 곱한 결과값들의 합을 사용하여 만들고, 각각의 가중치 값을 화소로부터의 거리에 반비례하며, 이로 인하여 가장 인접한 화소보간법(zero-order interpolation)보다 더 부드러운 영상을 얻을 수 있다.

$$I = a \times A + b \times B + c \times C + d \times D, \quad (1)$$

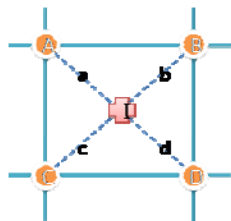


그림 1 선형 보간 알고리즘 모식도

## 3. 화소의 방향성 판별

영상의 경계선(edge) 부분은 고주파성분으로 시각적으로 예민할 뿐만 아니라 영상의 많은 정보를 포함하고 있는 부분이다. 본 알고리즘은 이렇게 중요한 에지부분에 있어 에지의 방향성을 판별하여 후처리과정에서 최대한 부드럽고 자연스러운 영상을 만들기 위한 과정이다. 영상의 경계선은 사물의 윤곽, 위치, 크기 등을 나타내고, 영상의 밝기와 색이 급격한 변화가 있는 경우에 경계선이 존재한

다. 본 연구에서는 스케일링된 영상의 경계선의 방향을 수평방향, 수직방향, +45도 방향, -45도(135도) 방향의 4개의 방향과 에지부분이 없는 평탄한 영역으로 나누어 체크한다. 선택된 각각의 방향에 대하여 시각적으로 부드러운 영상을 얻을 수 있도록 서로 다른 필터계수를 사용하여 방향에 알맞은 후처리를 한다.

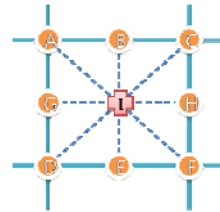


그림 2 화소의 방향성 판별 알고리즘 개요

방향성 판별에 사용되는 8개의 화소는 그림 3의 A-H와 같이 구성되며, 이때 사용되는 각 화소들은 이미 3.1.1의 선형보간 방식으로 보간된 화소들이다. 방향성을 판별하는 방식은 그림 3에서와 같이 각각의 방향에 맞는 이웃 화소의 합과 반대쪽 이웃 화소의 합의 차분한 값을 절대값을 취하여 계산된 값을 비교하여 다른 3가지 방향에 비해 가장 큰 경우 대표방향으로 현재 계산된 방향을 선택한다. 하지만 이렇게 비교한 값이 어느 정도의 임계치 값보다 작을 경우 에지영역으로 판단하지 않고 평탄한 영역으로 보고 방향성이 없는 저주파 통과 필터링을 한다.

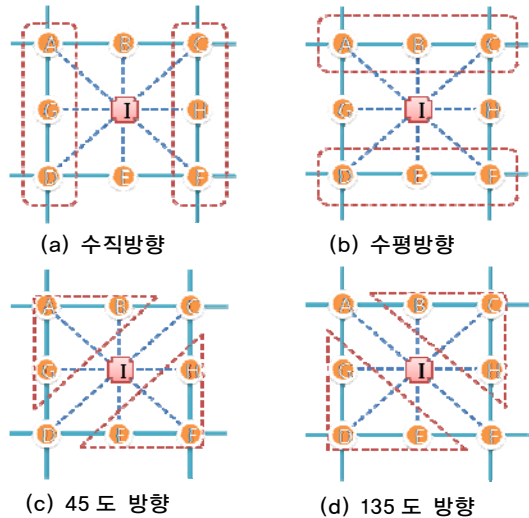


그림 3. 방향성에 따른 보간 방법

## 4. 제안하는 방향적응적 보간 방식

제안하는 알고리즘은 저대역 통과 필터의 계수를 변경함으로써 사용자가 선택적으로 영상의 열화정도를 조절 할 수 있도록 되어 있다. 제안하는 알고리즘의 전체적인 블록도는 아래 그림 4에 도시 되어 있다.

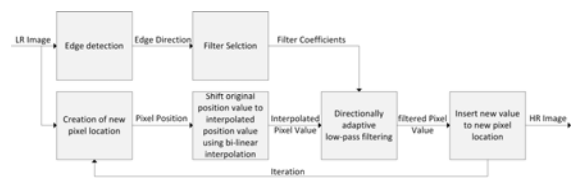


그림 4 제안하는 알고리즘의 블록도

그림 4 을 좀더 쉽게 설명하기 위하여, 다음 그림 5 에 5/3 배율 보간을 예로 제시 하였다.

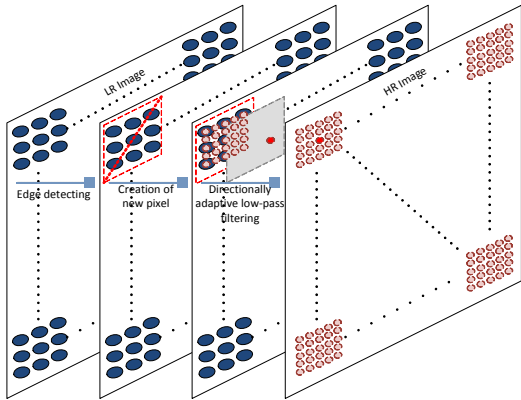


그림. 5 보간 예시 모식도

여기서 파란 원형은 LR(low resolution)영상의 화소를 붉은색원형은 HR(high resolution) 영상의 화소를 의미한다. 여기서 이루어 지는 일련의 과정들은 다음의 세부절에서 소개한다.

#### 4.1 방향선택

제안하는 알고리즘은 연산량의 간소화를 위하여 3×3 화소에 대하여 공간 기울기를 계산하여 4 가지 방향에 대한 기울기의 최대값으로 방향성을 탐색하고, 4 가지 기울기의 값이 모두 특정값을 넘지 못하면 방향성이 없는 것으로 결정하도록 한다.



그림. 6 방향선택에 사용되는 화소의 위치

그림 6 에서 X 는 방향성을 찾을 현 화소의 위치이며, 그 외의 영문 대문자는 3×3 영역에 속하는 개별적인 화소를 의미한다. 이때 각 방향의 기울기 값은 다음 수식에 의해서 계산 된다.

$$\begin{aligned}
 Di_{horizontal} &= |(A+B+C)/3+(D+E+F)/3| \\
 Di_{vertical} &= |(A+D+G)/3+(C+F+H)/3| \\
 Di_{45} &= |(B+C+H)/3+(D+E+G)/3|, \\
 Di_{135} &= |(A+B+G)/3+(E+F+H)/3| \\
 Di_{flat} &= Threshold
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서  $Di$  는 기울기 값을 의미하며,  $||$  는 절대값을, Threshold 는 임의의 상수값으로 평탄 영역 설정의 기준값이 되며, 마지막으로 아래첨자는 각각의 방향을 나타낸다. 이렇게 구해진 각각의 기울기 값에 대하여 현 화소의 대표 방향성은 다음의 수식과 같이 최대 값으로 결정된다.

$$Di = \max(Di_{horizontal}, Di_{vertical}, Di_{45}, Di_{135}, Di_{flat}), \tag{3}$$

#### 4.2 보간 및 저대역 통과 필터 처리

방향선택에서 결정된 대표 방향에 대하여, 보간 비율에 따라 필터 처리 될 영역안의 화소들에 대해 보간 연산과 방향적응적 필터 처리가 동시에 이루어 진다. 이원화 된 과정으로 보간과 필터 처리를 할 경우, 보간 된 영상을 저장해 두고 필터 처리를 해야 하기 때문에 추가적인 메모리의 요구등으로 인하여 순차적인 처리를 요구하는 하드웨어에서 구현이 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 입력 영상으로부터 화소별 보간이 이루어지는 시점과 동시에 필터처리 될 화소의 값을 바로 추정하여 필터 처리 하게 된다.

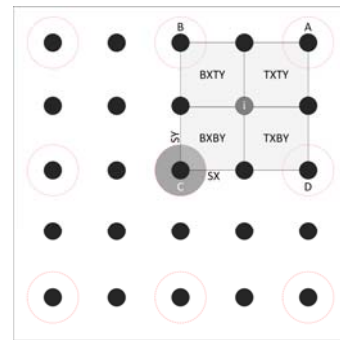


그림. 7 보간화소와 입력화소의 위치 모식도

그림 7 은 5/3 배율로 보간을 실시할 경우의 각 화소의 모식도이다. 붉은 원은 입력화소를, 검은색의 작은 원은 필터처리에 요구되는 영역에 속하는 화소를 의미한다. SX 와 SY 는 각각 X 방향으로 보간 될 때 보간되는 화소 사이의 거리로 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned}
 SX &= (ori\_width - 1)/(inter\_width - 1) \\
 SY &= (ori\_height - 1)/(inter\_height - 1)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서  $ori\_width$  와  $inter\_width$  는 각각 원영상과 보간될 영상의 가로크기를  $ori\_height$  와  $inter\_height$  는 세로크기를 의미한다. 그림 3 에서 보간될 화소  $i$  로부터 원영상의 주변 원화소까지의 거리인  $TXTY$ ,  $TXBY$ ,  $BXTY$ ,  $BXBY$  는 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned}
 TXTY &= (1 - SX) \times (1 - SY) \\
 TXBY &= (1 - SX) \times SY \\
 BXTY &= SX \times (1 - SY) \\
 BXBY &= SX \times SY
 \end{aligned} \tag{5}$$

기본적으로 제안하는 예서는 각각의 방향성을 가지고 있는 5×5 의 low-pass filter 5 개를 사용하며, 이때 filtering 이 수행되는 실제 값들은 그림 4 에서의 작은 원형의 보간된 화소에 대하여 이루어진다. Filtering 을 위하여 보간된 화소를 생성할 시 수식 (5)의 각 화소간의 거리에 대한 면적을 이용한 bi-linear 보간 방식을 이용한다. 이 방식에 따른 그림 4 에서의  $i$  화소의 보간은 다음의 수식 (6)과 같다.

$$i = (A \times B \times B \times Y) + (B \times T \times B \times Y) + (C \times T \times T \times Y) + (D \times B \times T \times Y), \quad (6)$$

여기서 A, B, C, D 는 그림 3 에 위치한 입력 화소이다. 이렇게 생성된 5×5 화소에 대하여 앞 절에서 판별한 방향성을 가지고 low-pass filtering 을 하여 현재 C 위치에 있는 보간 될 화소의 값을 결정한다. Low-pass filter 의 경우 해당하는 방향에 대한 픽셀들은 smoothness 시키고 수직 방향에 대해서는 해당 방향의 2/3 정도만 smoothness 를 시킨다. 이를 통하여 에지를 이루는 부분들은 부드럽게 하면서도 선명도는 유지시키게 된다. 이에 대한 모식도가 다음의 그림 8 에 도시되어 있다.

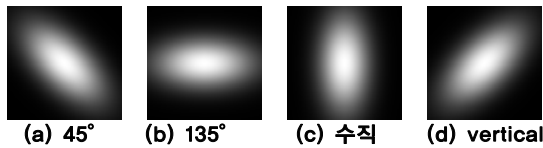


그림 8. 저대역 통과 필터

복원 필터의 계수  $h(x)$  는 일반적인 공간 도메인에서의 가우시안 공식에 따르며, 이는 수식 (7)에 표현되어 있다.

$$h(x) = e^{-x^2/2\sigma^2}, \quad (7)$$

여기에서  $X$  는 필터 중심으로부터의 거리를 뜻하며,  $\sigma^2$  은 표준편차를 의미한다.  $\sigma$  값은 위의 설명대로 에지방향과 에지의 수직 방향에 다르게 적용된다. 또한 영상의 보간비율에 따라서 변경되게 되는데, 에지 방향의 값은 다음의 수식 (8)에 따르게 된다.

$$\sigma = 0.013182 \times ir \times 10 + c, \quad (8)$$

여기서 interpolation ratio 는 HR 영상 크기 / LR 영상 크기 이며, constant 값은 smoothness 정도를 조절하는 값이다. 0.013182 는 보간 비율에 따른 가우시안 필터의 cut-off frequency 가 위치하는 응답특성을 반영하여 결정된 값이다. 이렇게 만들어진 filter 를 가지고 5×5 영역의 화소에 대하여 filtering 과정을 거치면, 최종적으로 보간 된 하나의 화소를 얻게 된다.

#### 4. 실험결과

이 장에서는 제안하는 알고리즘과 기존의 보간방식과의 비교를 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 확인하도록 한다. 제안하는 알고리즘의 경우 선명한 필터와 부드러운 필터 2 개의 결과 영상을 제시 하였다.

그림 9 는 512x512 의 원본 영상을 320x240 크기로 축소한 뒤 512x512 크기로 보간한 결과 이다.

#### 5. 결론

제안하는 알고리즘은 디지털 셋톱박스 등의 SD 영상의 스케일링에 최적화 된 방식을 구현하기 위하여, 연산량을 절제 하면서 기존 보간 방식의 단점인 블록 왜곡 등의

계단 현상을 감소시키는 방식을 취하고 있다. 이를 위하여 기본 선형 보간 방식과 유사한 방식을 취하면서, 추가적인 영상 메모리가 소요되지 않도록 방향 적응적 필터 처리를 내제하는 형식을 취하고 있다. 이를 통하여, 기존의 영상 보간 알고리즘에 사용자 선택적인 필터 처리 과정을 추가하는 형식으로 영상 품질의 향상을 꾀할 수 있다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 제안하는 알고리즘은 보간 시 발생하는 계단 현상이 억제 되어 있으며, 다양한 필터 계수의 조절이 가능 함으로써 결과 영상의 선명도를 쉽게 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있다.



그림 9. 영상 보간 결과 (a) 원본영상, (b)~(f) 각 보간 필터 별 결과 영상의 확대 영상

#### 참고문헌

- [1] R. Schafer, and L. Rabiner, "A digital signal processing approach to interpolation," Proc. IEEE, vol. 61, no. 6, pp. 692-702, June 1973.
- [2] T. Lehmann, C. Gonner, and K. Spitzer, "Survey: interpolation methods in medical image processing," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 18, no. 11, pp. 1049-1075, November 1999.
- [3] T. Blu, P. Thevenaz, and M. Unser, "Linear interpolation revitalized," IEEE Trans. Image Processing, vol. 13, no. 5, pp. 710-719, May 2004.
- [4] M. Unser, "Splines: a perfect fit for signal and image processing," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 16, no. 6, pp. 22-38, November 1999.

[5] S. Jiazheng and S. Reichenbach, "Image interpolation by two-dimensional parametric cubic convolution," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 15, no. 7, pp. 1857–1870, July 2006.

[6] H. Hsieh and H. Andrews, "Cubic splines for image interpolation and digital filtering," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 26, no. 6, pp. 508–571, December 1978.