

## 퍼지 논리를 이용한 Subpixel 정확도 Edge 검출

### Edge Detection at Subpixel Accuracy Using Fuzzy Logic

°김영옥 양우석

홍익대학교 전기공학과

(Tel: (0415) 60-2376; Fax: (0415)867-6146; E-mail: wsyang@wow.hongik.ac.kr)

**Abstracts** In this paper, we present an interpolation schema for image resolution enhancement using fuzzy logic. Proposed algorithm can recover both low and high frequency information in image data. In general, interpolation techniques are based on linear operators which are essentially details in the original image. In our fuzzy approach, the operator itself balances the strength of its sharpening and noise suppressing components according to the properties of the input image data. The proposed interpolation algorithm is performed in three step. First logic reasoning is applied to coarsely interpret the high frequency information. These results are combined to obtain the optical output. Using our approach, resolution of the original image can be applied to various kind of image processing topics such as image enhancement, subpixel edge detection, and filtering.

**Keywords** computer vision, subpixel accuracy, fuzzy, edge, filter

#### 1. 서론

주변의 화소 값들을 이용하여 unknown 화소 값을 구하는 영상 interpolation 기술은 디지털 사진을 확대(zooming)할 때 자주 볼 수 있는 영상 재생(reconstruction) 기술의 하나이다. 데이터 전송 중 손상된 정보를 복구할 경우 사용되기도 하는 이 기술은 multiresolution pyramidal coding[1,2]이나 IDTV receiver의 설계[7]등 입력된 영상의 화질(resolution)을 증진시키는 목적으로 많이 사용된다. 그러나 후처리를 통하여 영상의 화질을 향상시킬 경우에는 spatial sampling 도중에 주파수 영역에서 발생하는 고주파 부분의 aliasing에 의한 정보의 상실로 인하여 Shannon의 sampling theorem에 따른 interpolation의 한계에 대한 제약을 받게 된다[3]. 이러한 문제점은 영상을 분석하여 주변의 화소에 내재되어 있는 고주파 정보를 해석하여 잃어버린 정보를 재구성함으로써 해결할 수 있다[4]

통상적으로 pixel값들은 서로 correlated 되어 있어 손실된 정보는 주위의 pixel들에 숨어있게 된다[3]. 영상이 지닌 이러한 correlation 성질을 이용하면 영상의 잃어버린 부분을 복구할 수 있게 된다. 그러나 interpolation이나 surface fitting같은 기술은 근본적으로 lowpass filtering에 근간을 둔 영상처리기법으로, 복구되는 영상에서 고주파 정보에 해당하는 미세한 edges나 contour 등을 흐리게(blur) 만드는 경향이 있다. 본 논문은 퍼지

논리를 이용하여 화질(image resolution)을 향상시킬(enhancement) 수 있는 interpolation scheme을 개발하여 subpixel 단위의 edge를 검출하기 위한 것이다. 개발되는 알고리즘은 영상 데이터의 저주파 정보뿐만 아니라 고주파 정보까지도 복구한다. Edge와 noise는 모두 고주파 정보들이므로 통상적인 방법으로는 edge를 sharpening하는 동시에 noise suppressing을 하기 어려우나, 본 연구에서 소개하는 fuzzy operator는 입력되는 영상 데이터의 특성에 따라 서로 상반되는 문제인 데이터 sharpening과 noise suppressing의 강도를 조화시켜 edge를 검출하게 된다.

본 논문의 결과는 손실된 영상 block의 복구뿐만 아니라, Gaussian과 impulse 혹은 outlier이나 short-line-like noise와 같은 전송 중 영상에 포함된 여러 가지 noise를 제거하며, 영상의 resolution을 임의의 비율로 증가시키는 등 reconstruction시 화질을 향상(image enhancement)시키는데 에도 다양하게 사용할 수 있을 것이다.

#### 2. Subpixel 정확도 Edge 검출 알고리즘

영상의 저주파 특성뿐만 아니라 고주파 특성까지도 고려하여 edge를 검출하는 본 논문은 다음과 같이 3단계로 이루어진다.

우선 edge를 검출하려고 하는 부분의 주변에 있는 pixel들에

본 연구는 홍익대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음.

분산된 저주파 정보를 추출한다. 설정된 window 안에 흩어져 있는 저주파 특성을 추출하기 위해 기존의 min-max 알고리즘을 수정 보완하여 영상에 삽입된 여러 가지 noise를 제거할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 추출된 저주파 정보는 본질적으로 edge를 검출하려고 하는 부분의 저주파 특성과 동일하다고 할 수 있다. 저주파 특성이 구해지면 Fuzzy logic을 이용한 추론으로 영상에 숨어있는 고주파 정보의 특성을 분석한다. 윈도우 내의 저주파 특성과 고주파 특성이 분석되면 이들을 통합하여 subpixel 단위로 edge를 검출한다.

## 2.1 Fuzzy variables

본 논문에서 소개하는 fuzzy inference system은 4x4 rectangular window를 사용한다. 그림 1은 본 논문에서 사용하는 window를 보여주고 있다.  $f(i, j)$ 는  $(i, j)$ 번째 pixel의 gray level을 나타낸다. 이 window는 9개의 서로 겹치는 block으로 나누어진다.  $(ij)$ 번째 block  $g(i,j)$ 는 4개의 pixel,  $f(i,j), f(i+1,j), f(i,j+1), f(i+1,j+1)$ 를 대표하는 값으로 이들 네 pixel들이 공통으로 갖고 있는 저주파 정보를 그 값으로 갖는다. 회색으로 표시된  $(1, 1)$ 번째 block은 edge를 검출하고자 하는 부분을 나타낸다. 본 논문에서는 ATM median filter[8]과 비슷한 방식을 사용하여  $g(i,j)$ 를 구한다.  $s_1$ 과  $s_2$ ,  $l_1$ 과  $l_2$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$\begin{aligned} s_1 &= \text{Min} \{f(i, j), f(i+1, j+1)\}, \\ s_2 &= \text{Min} \{f(i+1, j), f(i, j+1)\} \\ l_1 &= \text{Max} \{f(i, j), f(i+1, j+1)\}, \\ l_2 &= \text{Max} \{f(i+1, j), f(i, j+1)\} \end{aligned}$$

$g(i,j)$ 는 아래와 같이 구해진다.

$$g(i, j) = \frac{\text{Max} \{s_1, s_2\} + \text{Min} \{l_1, l_2\}}{2} \quad (1)$$

이러한 방법을 사용하면 제거하기 힘든 outlier이나 short-line-like noise의 interpolation에 대한 영향을 최소화 할 수 있다.

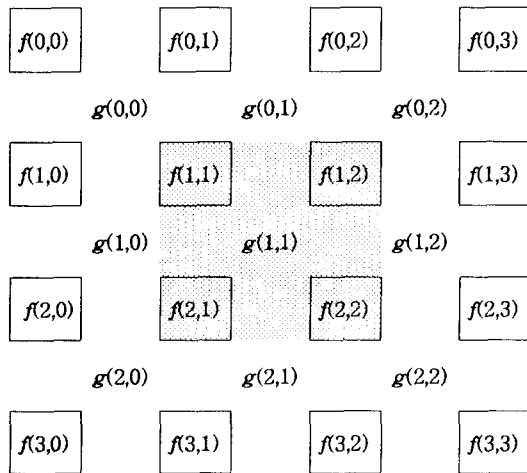


그림1. 4×4 Window

Fuzzy operator는 block  $g(1,1)$ 를 중심으로 하는 주변 8개의 block과 4개의 pixel,  $f(1,1), f(2,1), f(1,2), f(2,2)$ 들을 이용하여 소위 relative processing rule[6]이라는 방법을 적용한다. 사용하는 fuzzy variable은 다음과 같다.

$$v_{ij} = g(i, j) - g(1, 1) \quad \text{for } i, j \neq 1 \quad (2)$$

$$u_{st} = f(s, t) - g(1, 1) \quad \text{for } s, t = 1, 2 \quad (3)$$

$v_{ij}$ 와  $u_{st}$ 는 fuzzy 연산을 위한 input value로서 저주파 정보에 영향을 받는 surface fitting의 결과에 대한 주변 영상 값들의 mismatching 정도와 pixel 사이의 directional difference를 나타낸다.

## 2.2 Fuzzy Rule base & Inference engine

Fuzzy 추론을 위한 reasoning structure는 여러 개의 THEN-rule과 하나의 ELSE-rule로 구성된다. 각각의 THEN-rule은 최대 12개의 fuzzy AND logical operator들로 연결된 antecedent들과 최대 8개의 consequent로 이루어진다.

Antecedent들은 input variable인  $v_{ij}$ 와  $u_{st}$  들을 서술하며 consequent들은 입력 값들의 결과를 block 모서리에 있는 4개의 pixel,  $f(1,1), f(2,1), f(1,2), f(2,2)$ 들에 대한 directional derivatives, 즉,  $\partial f / \partial x$ 와  $\partial f / \partial y$ 를 서술한다. 본 연구에서 개발하는 rulebase는 4 group으로 구성되며 각 group은 영상의 모습에 따른 28 개의 THEN-rule과 한 개의 ELSE-rule을 갖는다.

$$\begin{aligned} \text{IF } & (v_{00} \text{ is } A^i_{00}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (v_{22} \text{ is } A^i_{22}) \text{ AND } \dots \\ & (u_{11} \text{ is } B^i_{11}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (u_{22} \text{ is } B^i_{22}) \\ \text{THEN } & \left( \frac{\partial f(1,1)}{\partial x} \text{ is } C^i_{11}, \frac{\partial f(1,1)}{\partial y} \text{ is } D^i_{11}, \dots, \right. \\ & \left. \frac{\partial f(2,2)}{\partial x} \text{ is } C^i_{22}, \frac{\partial f(2,2)}{\partial y} \text{ is } D^i_{22} \right) \\ \text{ELSE } & \left( \frac{\partial f(1,1)}{\partial x} \text{ is } C^0_{11}, \frac{\partial f(1,1)}{\partial y} \text{ is } D^0_{11}, \dots, \right. \\ & \left. \frac{\partial f(2,2)}{\partial x} \text{ is } C^0_{22}, \frac{\partial f(2,2)}{\partial y} \text{ is } D^0_{22} \right) \end{aligned}$$

THEN-rule은 sharpening 기능을 갖는데 반하여 ELSE-rule은 smoothing 작용을 한다. ELSE-rule의 강도는 THEN-rule의 강도와 관련을 갖는다. Defuzzifying 방법은 고속으로 연산을 할 수 있는 centroid algorithm을 적용한다. 문헌을 보면 충분한 수의 rule이 설정되면 이러한 방법이 데이터 sharpening과 noise suppressing을 조화하여 좋은 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다 [5]. Antecedent는 그림 2와 같이 네 가지 즉,  $f(1,1), f(1,2), f(2,1), f(2,2)$ 에서 본 중심  $g(1,1)$ 에 대한 x방향, y방향으로 구성된다.

그림 2에서  $\circ$ 표시가 된 부분은  $g(1,1)$ 를 의미한다. group A는  $f(1,1)$ 에서, group B는  $f(1,2)$ 에서, group C는  $f(2,1)$ 에서, group D는  $f(2,2)$ 에서,  $g(1,1)$ 방향에 대한 입력변수를 나타낸다.

그림 2의 (a),(b),(c),(d),(e)는 대각선 방향의 차분성분이고 (f),(g)는 직선 방향의 차분성분으로서 각각 90도씩 방향을 바꾸어 나가면, 거의 모든 직선과 대각선 방향의 차분을 얻을 수 있다.

각 방향마다 (a) 에서 (g) 까지 7개의 기본 rule이 있고, GP 와 SN을 고려하여 (a)부터 (g)까지 90도씩 로테이션을 하면 실제의 rule base는 각 방향마다 56개씩 전체 224개의 rule 로 구성된다. fuzzy 입력은 각각  $\circ$  표시에 대한 luminance difference 를 나타내는 gray level 값으로서 아래 그림 3과 같은 다섯 단계 (GN,SN,ZE,SP,GP)의 Fuzzy Set 으로 이루어지게 된다. fuzzy rule base 는 그림 4와 같이 구성된다.

그림 4는 group A의 (a)와 (b)에 대한 fuzzy rule을 나타낸다.

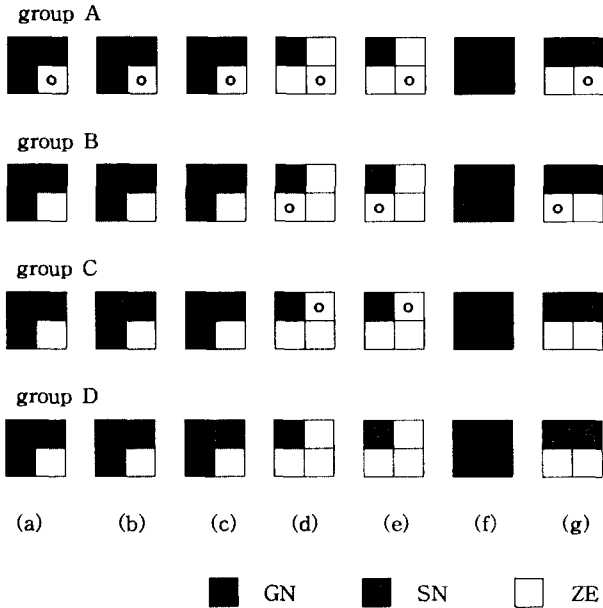


그림 2. 네 방향에서의 Fuzzy rule base

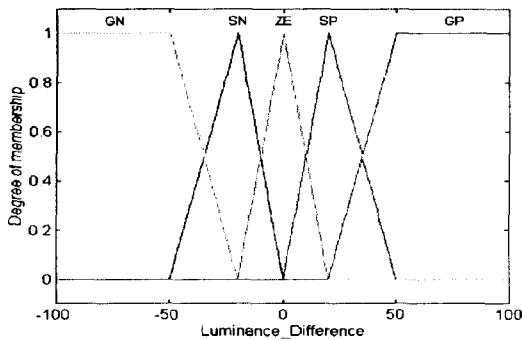


그림 3. Fuzzy Set

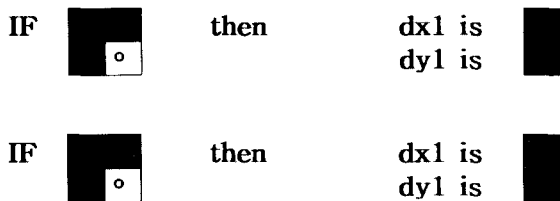


그림 4 fuzzy 추론

### 2.3 Edge 검출

각 방향에서의 변화율이 구해지면 최적의 edge가 구해진다. block(1,1)에 대한 최적의 surface patch  $\hat{f}(x,y)$ 가 구해지면 edge를 g(1,1)구간 내에서 subpixel 단위로 구할 수 있게 된다. 본 논문에서 사용하는  $\hat{f}(x,y)$ 는 다음과 같다.

$$\hat{f}(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 \quad (4)$$

### 3. 실험

본 논문에서 개발한 알고리즘은 계산의 편의를 위해  $256 \times 256$  LENA 영상 일부 ( $64 \times 64$ )를 그림 4와 같이 발췌하여 적용하였다. 실험결과는 일반적으로 edge 검출에 많이 사용하는 sobel 연산자를 이용하여 검출한 LENA( $64 \times 64$ )의 edge를 (그림 5 (b) 참조)와 비교하였다.

그림 6은 본 논문에서 소개한 fuzzy rule로 구한 각 방향별 변화율을 보여준다. 결과를 보면 그림 5의 (b)에서 보듯이 sobel의 연산자와 비슷한 것을 알 수 있다.

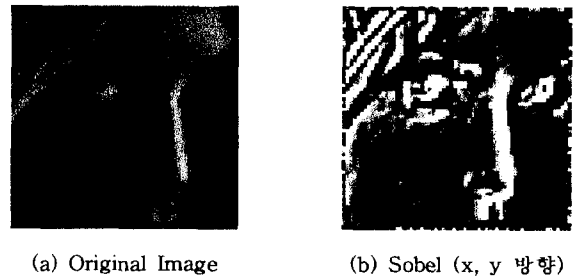


그림 5 sample 영상 과 sobel 연산자에 의한 edge

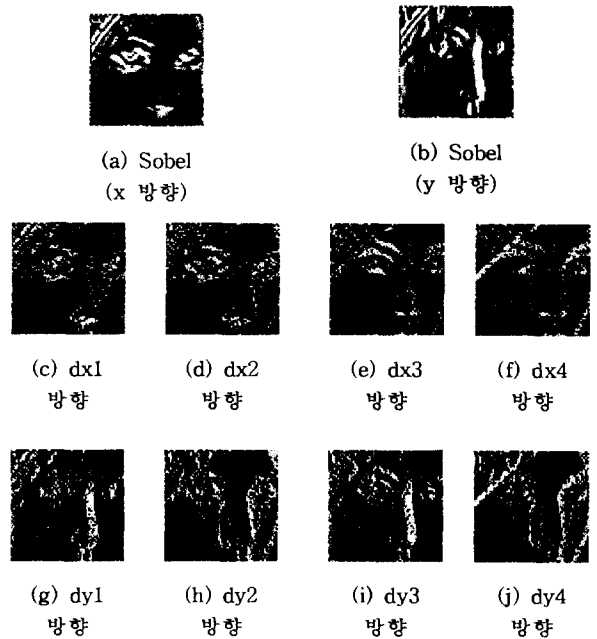


그림 6 각 네 방향에서의 x, y Interpolation 결과와 edge 검출 및 sobel x, y, xy 방향 edge 영상

그림 6의 (c) 와 (g)는 그림 1의 f(1,1)관점에서 검출한 edge이고 (d) 와 (h)는 그림 1의 f(1,2)관점에서 검출한 edge, (e) 와 (i)는 그림 1의 f(2,1)관점에서 검출한 edge, 그리고 (f) 와 (j)는 그림 1의 f(2,2)관점에서 검출한 edge를 나타낸 것이다.

그림 7은 64 × 64 영상에 대한 edge를 배경밀도로 구한 영상이다. sobel과 비교할 때 보다 세밀한 edge를 보여주는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

일반적으로 interpolation 이란 영상에 숨어 있는 고주파 정보나 주변의 영상 값들을 이용하여 image acquisition 시 spatial sampling 과정에서 잃어버리는 고주파 정보를 추론하거나 영상 정보의 전달 도중 손실된 정보를 재생하기 위하여 사용하는 기술이다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 영상 데이터의 특성에 따라 서로 상반적인 문제인 데이터 sharpening 과 noise suppressing의 강도를 조화시켜 interpolation 하여 subpixel 단위의 edge를 구한다. 실험결과에 나타나듯이 본 알고리즘은 edge와 contour를 보존하고 noise를 suppressing 할뿐만 아니라 interpolation을 이용한 영상의 확장에도 사용할 수 있음을 보여준다.

영상의 질에 대한 판단은 전적으로 상대적인 시각에 달려있다. 고주파 특성을 가지고 있는 noise 와 edge 들을 동시에 처리하여 noise는 제거되고 edge는 enhance 하는 정도는 fuzzy rule base와 fuzzy set을 어떻게 수정하기에 달려있어 본 알고리즘을 이용하면 관점에 따른 영상의 수정이 쉽다.

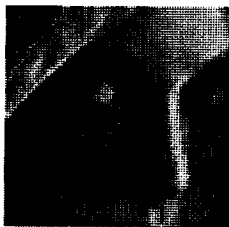
fuzzy rule base 와 fuzzy set을 최적화 시켜 제안된 알고리즘에 이용한다면 손실된 block의 복구뿐만 아니라, Gaussian 과 impulse 혹은 outlier 나 short-line-like noise 와 같은 전송 중 영상에 포함된 noise 를 제거하며, 영상의 resolution을 임의의 크기로 증가시키면서 화질을 향상시키는 등, 여러 분야에서 다양하게 사용할 수 있을 것이다.



(a)  
Original  
Image



(b) (a)의  
Edge



(c) 128 × 128  
배경밀도 Image



(d) (c)의 Edge

그림 7 식 4에 의한 배경밀도 Image 및 Edge

#### Reference

- [1] D. Anastassiou, "Generalized Three Dimensional Pyramid Coding for HDTV Using Nonlinear Interpolation", in *Proc. Picture Coding Symp.* Cambridge, MA, U.S.A., 1990.
- [2] P. J. Burt and E. H. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code", *IEEE Trans. on Communication*, Vol. COM-31, No. 4, 1983.
- [3] W. E. Grimson, "An Implementation of Computational Theory of Visual Surface Interpolation", *CVGIP*, Vol. 22, No. 3, Mar 1983.
- [4] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel Edge Localization and the Interpolation of Still Images", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 4, No. 3, 1995.
- [5] F. Russo, "A New Class of Fuzzy Operators for Image Processing: Design and Implementation", in *Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, San Francisco, CA, U.S.A., Apr. 1993.
- [6] F. Russo and G. Ramponi, "A Fuzzy Operator for the Enhancement of Blurred and Noisy Images", *IEEE Trans. on Image Processing*. Vol. 4, No. 8, 1995.
- [7] K. M. Uz, M. Vetterli, and D. J. LeGall, "Interpolative Multiresolution Coding of Advanced Television with Compatible Subchannels", *IEEE Trans. on Circuit Sys. Video Technology*, Vol. 1, No. 1, Mar. 1991.
- [8] You, "A Robust Adaptive Estimation for Filtering Noise in Images", *IEEE Trans. on Image Processing*, No. 5, May 1995.
- [9] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley Co. 1992.
- [10] R. Krishnapuram and J. M. Keller, "Fuzzy Set Theoretic Approach to Computer Vision: an Overview", in *Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Diego, CA, U.S.A., Mar, 1992.*
- [11] X. Lee, Y. Zhang, and A. Leon-Garcia, "Information Loss Recovery for Block-Based Image Coding Techniques-A Fuzzy Approach", *IEEE Trans. on Image Processing, Vol 4, No. 3, 1995.*
- [12] S. K. Pul, "Fuzzy Sets in Image Processing and Recognition", in *Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Diego, CA, U.S.A., Mar, 1992.*
- [13] Y. Wang and S. K. Mitra, "Motion/Pattern Adaptive Interpolation of Interlaced Video Sequences", *IEEE int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing, Toronto, May 1991.*
- [14] Y. Wong, "Dynamic Range Compression by Edge-Reserving Filter", *IEEE Signal Processing Letters, Vol 1, No. 11, 1994.*