

일반논문-08-13-5-15

Edge 방향의 비균등 데이터를 위한 개선된 Cubic Convolution Scaler

김 상 미^{a)}, 한 중 기^{a)†}

Modified cubic convolution scaler for edge-directed nonuniform data

Sang-Mi Kim^{a)}, and Jong-Ki Han^{a)†}

요 약

본 논문에서는 디지털 영상의 해상도를 임의의 비율로 확대 또는 축소하기 위해 사용되는 개선된 cubic convolution scaler를 제안한다. 화면 해상도 변경 시 엣지 부분에서 큰 왜곡이 발생하는 문제를 극복하기 위하여 제안하는 해상도 변환 방법은 영상의 edge의 방향에 따라 적용되며, 이것은 해상도 변환된 영상의 edge 특징을 잘 보존시킬 뿐 아니라 영상의 화질도 좋게 한다. 하지만 영상 보간에 사용되는 edge 방향 데이터들이 비균등 간격으로 위치하는 특징을 가지므로 cubic convolution의 kernel을 이에 맞게 새롭게 설계하였다. 제안하는 해상도 변환 방법은 transcoder와 같이 해상도 조정을 필요로 하면서 변환된 영상의 화질을 우수하게 유지하여야 하는 여러 응용분야에서 중요하게 사용된다. 실험 결과에서는 제안하는 방법으로 변환된 영상이 기존 보간 방법을 사용하여 변환된 영상에 비해 artifact를 가지지 않으면서도 좀 더 깨끗한 edge 정보를 가지고 있다는 것을 보여준다. 또 기존 방법에 비해 제안하는 방법은 해상도 변환에 의한 정보의 손실을 최소화 하였다.

ABSTRACT

We derive a modified version of the cubic convolution scaler to enlarge or reduce the size of digital image with arbitrary ratio. To enhance the edge information of the scaled image and to obtain a high-quality scaled image, the proposed scaler is applied along the direction of an edge. Since interpolation along the direction of an edge has to process nonuniformly sampled data, the kernel of the cubic convolution scaler is modified to interpolate the data. The proposed scaling scheme can be used to resize pictures in various formats in a transcoding system that transforms a bit stream compressed at one bit rate into one compressed at another bit rate. In many applications, such as transcoders, the resolution conversion is very important for changing the image size while maintaining high quality of the scaled image. We show experimental results that demonstrate the effectiveness of the proposed interpolation method. The proposed scheme provides clearer edges, without artifacts, in the resized image than do conventional schemes. The algorithm exhibits significant improvement in the minimization of information loss when compared with the conventional interpolation algorithms.

Keywords : Interpolation, Cubic Convolution Scaler

1. 서 론

영상 보간법은 영상을 원하는 해상도로 변환하거나, 영

상의 특정정보를 부각시키기 위해, 또는 전체적으로 더 나은 화질의 영상을 얻기 위해서 많은 영상처리 시스템에서 널리 사용되고 있다. 특히, 근래의 디지털영상이 표시되는 LCD모니터는 그 해상도가 QCIF에서부터 WUXGA까지 다양하게 존재 한다. 그러므로 원영상은 LCD 모니터에 맞는 해상도로 영상 보간법을 이용하여 다시 추출되어 화면에 표시된다. 영상을 좋은 화질로 유지하면서 다른 해상도

a) 세종대학교 정보통신공학과

Sejong University

† 교신저자 : 한중기(hjk@sejong.ac.kr)

※ 본 연구는 서울시 산학연 협력사업(과제번호 10557)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

로 변환시키는 영상 보간법은 다양한 멀티미디어 응용시스템에서 필수적이고 매우 중요한 기술이다^{[1]-[4]}.

보편적인 scaling 방식들은 이산 디지털 데이터를 연속함수 모델로 표현한 뒤, 이 함수를 원하는 좌표에서 새롭게 샘플링하여 데이터를 얻는다^[5]. 샘플링 이론에 따르면, 유한 대역폭을 갖는 이산 신호는 sinc 함수와의 convolution 과정을 통해 원본 연속 신호로 완벽하게 복원가능하다. 하지만 sinc kernel이 무한대 구간에서 정의되기 때문에 실제적인 계산에 사용되기는 어렵다. 그러므로 bilinear^[2], bi-cubic^[6], cubic spline^[7], 그리고 고차원 B-spline(3차 이상)^{[5][8]}과 같은 여러 가지 대안 방법들이 제안되었다.

보간법을 적용할 때 전형적으로 발생하는 문제는 scale된 영상이 aliasing, ring, 그리고 blurring과 같은 다양한 부작용을 가지고 있다는 것이다^[4]. 특히 edge 영역은 이러한 부작용이 심하게 나타난다. 그러므로 edge 방향의 정보를 보존해 준다면 scale된 영상의 주관적, 객관적 화질을 높여줄 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 영상의 기하학적인 성질을 이용한 알고리즘들이 제안되어 왔다^{[9]-[12]}. Ayazifar 와 Lim은 pel-adaptive 모델 기반 방식을 제안했다. 이 방식은 좁은 영역의 기울기를 이용해 비선형 발산과정을 제어한다^[9]. Ratakonda와 Ahuja는 보간법을 해가 정립되지 않은 역문제로 수식화하고 이를 정규화된 iterative projection을 이용하여 풀어냈다^[10]. Carey는 상위 band 영상과 하위 band 영상 사이의 연관성을 피라미드 방식으로 적용한 multi-resolution 기술을 보여주었다^[11]. Reichenbach와 Geng^[12]은 2차원 cubic convolution을 전개하고 convolution에 사용되는 kernel parameter의 이상적인 값을 찾아냈다. 한편, edge 방향정보를 이용한 많은 보간 기술들이 제안되었다^{[13]-[18]}. Allebach와 Wong은 고해상도의 edge 지도를 만들고 이것을 이용하여 영상을 확대하였다^[13]. Battiato는 불연속성 또는 급격한 휘도변화 정보를 고려한 방법을 제안하였다^[14]. Li와 Orchard는 지역적 공분산의 특징을 계산하여 작은 영상을 큰 영상으로 조정하는 데 사용하였다^[17]. 그러나 edge 방향을 고려한 기존 연구들에서 scaler는 bilinear 방법을 사용하였고^{[13],[15]-[18]}, scaling 비율도 2의 정수단위 지수승으로 제한되어 사용되었다^{[15]-[18]}.

한편 순차주사(progressive) 및 비열주사(interlaced) 영상

을 지원하는 transcoding 시스템에 적용하기 위한 개선된 cubic convolution에 관한 연구가 진행되었다^[27]. 이 논문에서는 다양한 영상 포맷간 transcoding이 가능하게 하기 위하여 cubic convolution scaler의 kernel에 위상(phase)를 조절하는 방법이 제안되었다^[27].

본 논문에서는 임의의 배율로 해상도를 변환하기 위해서 영상의 edge 방향정보를 이용하는 개선된 cubic convolution scaler를 제안한다. 좋은 화질을 유지하면서 edge 데이터를 확대하거나 축소하기 위하여 제안하는 scaler는 edge의 방향에 따라 적용된다. edge의 방향에 위치한 데이터들은 그 간격이 비균등하다. 그러므로 제안하는 보간법은 비균등하게 위치한 데이터들에 적합하도록 변형되었다. 새로운 데이터를 추출하기 전에 edge정보를 얻기 위해서 이미 알려진 edge detection 방법^[15]을 사용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 기존의 영상 보간법에 대해 기술하였다. 3장에서는 비균등하게 위치한 데이터에 적용 가능한 개선된 cubic convolution에 대해 설명한다. 제안된 방법의 실험 결과는 4장에서 확인할 수 있다. 마지막으로 5장에서 간단한 결론으로 논문을 마친다.

II. 해상도 scaler

이 장에서는 기존의 해상도 변환 알고리즘에 대해 살펴본다. 해상도 조정은 먼저 불연속적인 원본 데이터를 이것을 표현할 수 있는 연속 함수로 변형한 후, 이 연속 함수를 새로운 위치에서 샘플링 함으로써 데이터를 추출하는 것으로 이루어진다. 균일한 간격으로 추출된 데이터 $f(x_k)$ 를 이용하여 연속적인 보간 함수를 표현하면 다음과 같다.

$$\tilde{f}(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(x_k)\beta(x-x_k) \quad (1)$$

여기서 $\tilde{f}(x)$ 는 보간된 연속함수이고 $\beta(x)$ 는 보간 kernel이다. x 와 x_k 는 각각 연속, 불연속 샘플링 위치 값을 나타낸다. 보간 kernel $\beta(x)$ 는 convolution과정을 통해 불연속 데

이터 $f(x_k)$ 를 연속 함수 $\tilde{f}(x)$ 로 바꾸어준다.

일반적인 Shannon의 샘플링정리에 의해, $f(x)$ 가 한정된 대역폭을 가지고 있다면, 보간된 연속신호는 식 (2)와 같고

$$\tilde{f}(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(x_k)\text{sinc}(x-x_k) \quad (2)$$

여기서 $\text{sinc}(x)$ 는 식(3) 과 같다.

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \quad (3)$$

식(2)는 이상적인 보간공식이어서, 현실적으로 연산에 어려움이 있다. 이에 대한 대안으로 다음과 같은 복원방법이 있다.

$f(x_k)$ 가 주어진 이산 데이터이고 $\tilde{f}(x)$ 가 새롭게 보간될 연속 신호라고 하자. 또 x_k 와 x_{k+1} 좌표가 추출될 좌표에서 가장 가깝게 위치하는 유효한 이웃화소의 위치이고, 이 2개 좌표의 샘플링 격자 간격이 1이라 하자. 우리는 x , x_k 그리고 x_{k+1} 간의 거리를 다음과 같이 정의한다.

$$s = x - x_k \quad (4)$$

$$1-s = x_{k+1} - x \quad (5)$$

s 와 x 의 범위는 $0 \leq s \leq 1$ 과 $x_k \leq x \leq x_{k+1}$ 이다. cubic convolution의 basis kernel은 다음과 같이 표현된다.

$$\beta(x) = \begin{cases} (\alpha+2)|x|^3 - (\alpha+3)|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| \leq 1, \\ \alpha|x|^3 - 5\alpha|x|^2 + 8\alpha|x| - 4\alpha, & 1 \leq |x| \leq 2, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서는 α 는 튜닝파라미터로써, Rifman^[19]와 Bernstein^[20]은 $\alpha = -1$ 로 고정하였고, Keys^[6]은 $\alpha = -1/2$ 로 제안하였다. 식 (6)의 $\beta(x)$ 는 (-2,2)범위 안에서만 값을 가지므로, 식 (4)-(6)을 이용하여 식 (1)을 다시 표현하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{f}(x) = & f(x_{k-1})(\alpha s^3 - 2\alpha s^2 + \alpha s) \\ & + f(x_k)[(\alpha+2)s^3 - (\alpha+3)s^2 + 1] \\ & + f(x_{k+1})[-(\alpha+2)s^3 + (2\alpha+3)s^2 - \alpha s] \\ & + f(x_{k+2})(-\alpha s^3 + \alpha s^2) \end{aligned} \quad (7)$$

수평 또는 수직방향을 따라 적용되는 scaling은 scale된 영상의 edge 주변에 다양한 artifact들을 생성하기도 하며, 이 artifact로 인한 영상의 열화는 해상도 scaling 비율이 커질수록 뚜렷하게 나타난다. 좋은 화질을 유지하는 영상 보간기술은 영상처리분야에서 중요한 요소이기 때문에 이러한 artifacts를 줄일 수 있는 edge방향을 이용한 알고리즘들이 제안되었다^{[13]-[18]}. Edge방향을 이용한 보간법은 해당 화소와 그 주변 화소들의 상관성을 이용한다. 보통 화소 값들간의 상관성은 edge에 의해 영역이 구분되면서 크게 나타나는 값의 변화, 또는 edge방향과 동일한 방향으로 나타나는 점진적인 값의 변화를 이야기 한다. 이러한 보간법들은 기존 보간법에 비해 각종 artifact의 효과를 줄이고 scale된 영상의 edge를 선명하게 만든다. 기존 연구들 [13]과 [15]-[18]에서 사용된 edge방향 이용 보간 방법들은 bilinear방법을 사용하는데 방법은 간단하지만 scale된 영상의 화질이 좋지 않다. 또 기존의 알고리즘들은 영상의 해상도를 2의 정수단위 지수승으로 확대하거나 줄이는 경우만을 고려한다.

본 논문에서는 영상의 해상도를 임의의 비율로 변경하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 시스템에서 우리는 cubic convolution scaler을 이용한다. 이 기법은 bilinear 방식보다 더 우수한 결과를 보장하면서 B-spline[5] 방식보다 간단하기 때문이다. 다음 장에서 edge방향에 따라 적용되기 위한 식(7)의 변형된 방법을 제안한다.

III. 개선된 Cubic Convolution Scaler

해상도 scaling과정은 (7)의 연속 함수 $\tilde{f}(x)$ 를 일정간격으로 resampling하는 과정이다. 이때 샘플링 간격을 계산하기 위해 scaling 변환 비율 δ 를 이용한다.

$$\tilde{f}(x_l) = \tilde{f}(x)|_{x=x_l=l \cdot 1/\delta}, \quad 0 \leq l < L, \quad (8)$$

여기서, $\delta = L/K$ 이고 K 와 L 은 원본과 scale된 영상의 해상도를 각각 나타낸다. $x_k \leq x_l \leq x_{k+1}$ 이면서 $s = x_l - x_k$ 이면 식(8)은 식(9)와 같이 표현된다.

$$\tilde{f}(x_l) = \tilde{f}(x)|_{s=x_l-x_k}, \quad 0 \leq l < L, 0 \leq k < K \quad (9)$$

기존 조정방법에서 scaling과정은 각 축에 대해 독립적으로 적용된다(행 적용 후 열 적용). 그러나 본 논문에서는 scaling과정에 의해 발생하는 정보손실을 줄이기 위해 edge 방향으로 scaling 과정을 적용하는 방법을 제안한다.

1. Edge-Directed Scaler

제안하는 방법은 3단계로 구성된다. (a) edge 검출, (b) 수직과 수평방향 cubic convolution 보간, (c) edge방향에 따른 cubic convolution 보간. 그림 1은 보간될 화소값을 나타내는 $\tilde{f}(x,y)$ 의 보간 예를 나타낸다. Edge-directional line(EDL)은 좌표 (x,y) 를 관통하면서 edge검출 과정^[15]의 결과로 나온 edge방향을 따르는 직선이다. EDL는 (j_0, y_m) , (x_n, i_1) , (j_2, y_{m+1}) , (x_{n+1}, i_3) 로 표시되는 4개의 좌표들에서 각각 수직선 또는 수평선과 교차한다. f_h 를 EDL과 수평축이 만나는 좌표의 화소값, f_v 를 EDL과 수직축이 만나는 좌표의 화소값이라 정의하고 $f_h(j_0, y_m)$, $f_v(x_n, i_1)$,

$f_h(j_2, y_{m+1})$, $f_v(x_{n+1}, i_3)$ 로 표현한다. 여기서 f_h 와 f_v 값은 수평 또는 수직방향으로 적용된 cubic convolution에 의해 계산되고 다음과 같이 표현가능 하다.

$$f_h(j_0, y_m) = \sum_{l=-1}^2 f(x_{n-1+l}, y_m) \beta(j_0 - x_{n-1+l}) \quad (10)$$

$$f_v(x_n, i_1) = \sum_{l=-1}^2 f(x_n, y_{m+l}) \beta(i_1 - y_{m+l}) \quad (11)$$

$$f_h(j_2, y_{m+1}) = \sum_{l=-1}^2 f(x_{n+l}, y_{m+1}) \beta(j_2 - x_{n+l}) \quad (12)$$

$$f_v(x_{n+1}, i_3) = \sum_{l=-1}^2 f(x_{n+1}, y_{m+1+l}) \beta(i_3 - y_{m+1+l}) \quad (13)$$

$f_h(j_0, y_m)$, $f_v(x_n, i_1)$, $f_h(j_2, y_{m+1})$, $f_v(x_{n+1}, i_3)$ 를 각각 보간법을 이용하여 값을 구한 후, 그림 2와 같이 EDL을 따라 cubic convolution 보간법을 이용하여 $\tilde{f}(x,y)$ 를 구한다. EDL에 적용되는 보간법은 비균등하게 위치하는 화소값들 $f_h(j_0, y_m)$, $f_v(x_n, i_1)$, $f_h(j_2, y_{m+1})$, $f_v(x_{n+1}, i_3)$ 을 이용한다. 이들 간의 거리는 A, B, C로 표현 할 수 있고 이들은 서로 다른 값을 가질 수 있다. 이와 같이 좌표들 간의 거리가 비균등 하므로 식 (6)의 basis kernel은 EDL에 적용할 보간에는 사용 될 수 없다. 본 논문에서 비균등한 데이터에 대해 사용 가능하도록 변형된 basis kernel을 제안한다. edge검출을 위해서 사용된 방법^[15]으로 edge가 검출되지 않

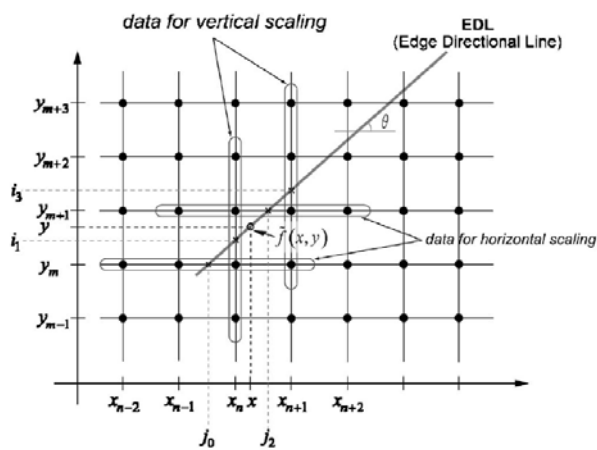


그림 1. 제안하는 cubic convolution 방법의 예
Fig. 1. Illustration of the proposed cubic convolution scheme.

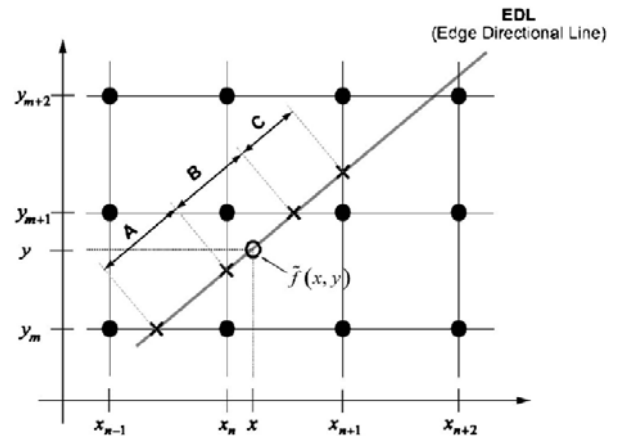


그림 2. 제안하는 cubic convolution scaler에 사용되는 데이터
Fig. 2. Data for cubic convolution scaler along edge direction.

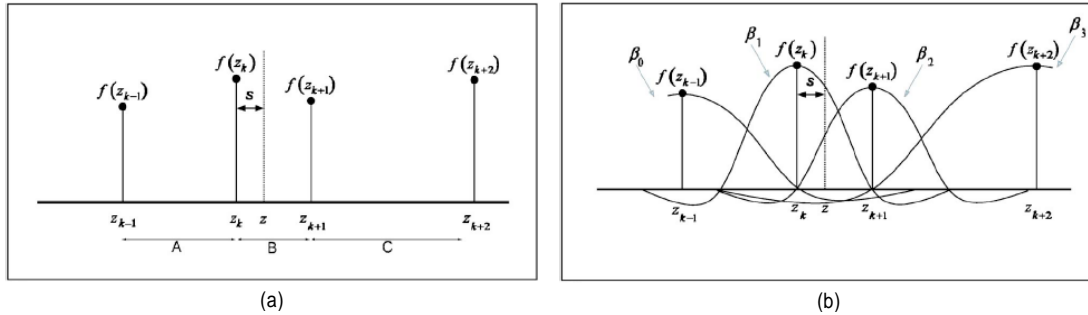


그림 3. (a) 비균등하게 샘플링 된 데이터 (b) 4개의 basis kernel
 Fig. 3. (a) Nonuniformly sampled data. (b) Four basis kernels

있을 경우, 해당 화소를 edge가 없는 지역에 위치하는 화소로 분류하고 기존의 cubic convolution scaler^[7]를 사용한다.

2. 개선된 Cubic Convolution Scaler

그림 3(a)에서 z 는 보간될 데이터의 위치이고, $f(z_{k-1})$, $f(z_k)$, $f(z_{k+1})$, $f(z_{k+2})$ 는 비균등하게 샘플링된 데이터들이다. 우리는 그림 3의 z_{k-1} , z , z_{k+1} , z_{k+2} , 그리고 z_k 간의 간격을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} A &= z_k - z_{k-1} \\ B &= z_{k+1} - z_k \\ C &= z_{k+2} - z_{k+1} \\ s &= z - z_k \end{aligned} \tag{14}$$

비균등하게 위치한 데이터들로부터 보간된 신호를 얻기 위해 4개의 basis kernel 함수를 제안한다. 그림 3(b)는 제안하는 4개의 kernel과 비균등하게 위치한 데이터를 보여준다. 각 kernel은 다음과 같이 표현 된다.

$$\beta_0(d_0) = \begin{cases} a_{03}|d_0|^3 + a_{02}|d_0|^2 + a_{01}|d_0| + a_{00}, & 0 \leq |d_0| \leq A \\ b_{03}|d_0|^3 + b_{02}|d_0|^2 + b_{01}|d_0| + b_{00}, & A \leq |d_0| \leq A+B \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{15}$$

$$\beta_1(d_1) = \begin{cases} a_{13}|d_1|^3 + a_{12}|d_1|^2 + a_{11}|d_1| + a_{10}, & 0 \leq |d_1| \leq B \\ b_{13}|d_1|^3 + b_{12}|d_1|^2 + b_{11}|d_1| + b_{10}, & B \leq |d_1| \leq B+C \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{16}$$

$$\beta_2(d_2) = \begin{cases} a_{23}|d_2|^3 + a_{22}|d_2|^2 + a_{21}|d_2| + a_{20}, & 0 \leq |d_2| \leq B \\ b_{23}|d_2|^3 + b_{22}|d_2|^2 + b_{21}|d_2| + b_{20}, & B \leq |d_2| \leq B+A \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{17}$$

$$\beta_3(d_3) = \begin{cases} a_{33}|d_3|^3 + a_{32}|d_3|^2 + a_{31}|d_3| + a_{30}, & 0 \leq |d_3| \leq C \\ b_{33}|d_3|^3 + b_{32}|d_3|^2 + b_{31}|d_3| + b_{30}, & C \leq |d_3| \leq C+B \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{18}$$

연속적인 보간 함수와 flat-field 반응을 만들기 위해서 basis kernel은 보간되는 노드에서 특정 조건을 만족해야 한다. $\tilde{f}(x)|_{x=x_n}$ 는 모든 x_n 에서 $f(x_n)$ 과 동일해야 하므로 주어진 이산 신호 위치에서 kernel의 극점은 1 이어야 한다. 특정 이산신호에서 극점을 갖는 kernel은 다른 이산신호 위치에서 '0' 값을 갖는다. 또 주어진 이산 신호 위치에서 kernel의 기울기는 연속적이어야 한다. $\beta_0(d_0)$, $\beta_1(d_1)$, $\beta_2(d_2)$, $\beta_3(d_3)$ 을 위한 제약조건들은 다음과 같다.

$$\beta_0(0) = 1, \tag{19a}$$

$$\lim_{d_0 \rightarrow A^-} \beta_0(d_0) = \lim_{d_0 \rightarrow A^+} \beta_0(d_0) = \lim_{d_0 \rightarrow (A+B)^-} \beta_0(d_0) = 0, \tag{19b}$$

$$\begin{aligned} \lim_{d_0 \rightarrow 0^-} \beta'_0(d_0) &= \lim_{d_0 \rightarrow 0^+} \beta'_0(d_0), \\ \lim_{d_0 \rightarrow A^-} \beta'_0(d_0) &= \lim_{d_0 \rightarrow A^+} \beta'_0(d_0), \end{aligned} \tag{19c}$$

$$\lim_{d_0 \rightarrow (A+B)^-} \beta'_0(d_0) = 0; \tag{19d}$$

$$\beta_1(0) = 1, \quad (20a)$$

$$\lim_{d_1 \rightarrow B^-} \beta_1(d_1) = \lim_{d_1 \rightarrow B^+} \beta_1(d_1) = \lim_{d_1 \rightarrow (B+C)^-} \beta_1(d_1) = 0, \quad (20b)$$

$$\begin{aligned} \lim_{d_1 \rightarrow 0^-} \beta'_1(d_1) &= \lim_{d_1 \rightarrow 0^+} \beta'_1(d_1), \\ \lim_{d_1 \rightarrow B^-} \beta'_1(d_1) &= \lim_{d_1 \rightarrow B^+} \beta'_1(d_1), \end{aligned} \quad (20c)$$

$$\lim_{d_1 \rightarrow (B+C)^-} \beta'_1(d_1) = 0; \quad (20d)$$

$$\beta_2(0) = 1, \quad (21a)$$

$$\lim_{d_2 \rightarrow B^-} \beta_2(d_2) = \lim_{d_2 \rightarrow B^+} \beta_2(d_2) = \lim_{d_2 \rightarrow (B+A)^-} \beta_2(d_2) = 0, \quad (21b)$$

$$\begin{aligned} \lim_{d_2 \rightarrow 0^-} \beta'_2(d_2) &= \lim_{d_2 \rightarrow 0^+} \beta'_2(d_2), \\ \lim_{d_2 \rightarrow B^-} \beta'_2(d_2) &= \lim_{d_2 \rightarrow B^+} \beta'_2(d_2), \end{aligned} \quad (21c)$$

$$\lim_{d_2 \rightarrow (B+A)^-} \beta'_2(d_2) = 0; \quad (21d)$$

$$\beta_3(0) = 1, \quad (22a)$$

$$\lim_{d_3 \rightarrow C^-} \beta_3(d_3) = \lim_{d_3 \rightarrow C^+} \beta_3(d_3) = \lim_{d_3 \rightarrow (C+B)^-} \beta_3(d_3) = 0, \quad (22b)$$

$$\begin{aligned} \lim_{d_3 \rightarrow 0^-} \beta'_3(d_3) &= \lim_{d_3 \rightarrow 0^+} \beta'_3(d_3), \\ \lim_{d_3 \rightarrow C^-} \beta'_3(d_3) &= \lim_{d_3 \rightarrow C^+} \beta'_3(d_3), \end{aligned} \quad (22c)$$

$$\lim_{d_3 \rightarrow (C+B)^-} \beta'_3(d_3) = 0, \quad (22d)$$

식 (19)-(22)에서 $\beta'(x)$ 는 다음과 같다.

$$\beta'(x) = \frac{\partial \beta(x)}{\partial x}. \quad (23)$$

(19)-(22) 조건을 만족하는 basis kernel 함수는 식(24)-(27)으로 표현된다.

여기서 b_{i3} 는 kernel 함수 $\beta_i(d_i)$, $i=0,1,2,3$ 의 tuning 파라미터이다. 그림 3의 좌표 z 에서 보간되는 값은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \tilde{f}(z) &= f(z_{k-1})\beta_0(d_0)|_{d_0=A+s} + f(z_k)\beta_1(d_1)|_{d_1=s} \\ &\quad + f(z_{k+1})\beta_2(d_2)|_{d_2=B-s} + f(z_{k+2})\beta_3(d_3)|_{d_3=B+C-s} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\beta_0(d_0) = \begin{cases} \left[b_{03} \left(\frac{B}{A} \right)^2 + \frac{2}{A^3} \right] |d_0|^3 + \frac{-(3+b_{03}AB^2)}{A^2} |d_0|^2 + 1, & 0 \leq |d_0| \leq A \\ b_{03}|d_0|^3 - b_{03}(3A+2B)|d_0|^2 + b_{03}(A+B)(3A+B)|d_0| - b_{03}A(A+B)^2, & A \leq |d_0| \leq A+B \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

$$\beta_1(d_1) = \begin{cases} \left[b_{13} \left(\frac{C}{B} \right)^2 + \frac{2}{B^3} \right] |d_1|^3 + \frac{-(3+b_{13}BC^2)}{B^2} |d_1|^2 + 1, & 0 \leq |d_1| \leq B \\ b_{13}|d_1|^3 - b_{13}(3B+2C)|d_1|^2 + b_{13}(B+C)(3B+C)|d_1| - b_{13}B(B+C)^2, & B \leq |d_1| \leq B+C \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

$$\beta_2(d_2) = \begin{cases} \left[b_{23} \left(\frac{A}{B} \right)^2 + \frac{2}{B^3} \right] |d_2|^3 + \frac{-(3+b_{23}BA^2)}{B^2} |d_2|^2 + 1, & 0 \leq |d_2| \leq B \\ b_{23}|d_2|^3 - b_{23}(3B+2A)|d_2|^2 + b_{23}(B+A)(3B+A)|d_2| - b_{23}B(B+A)^2, & B \leq |d_2| \leq B+A \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

$$\beta_3(d_3) = \begin{cases} \left[b_{33} \left(\frac{B}{C} \right)^2 + \frac{2}{C^3} \right] |d_3|^3 + \frac{-(3+b_{33}CB^2)}{C^2} |d_3|^2 + 1, & 0 \leq |d_3| \leq C \\ b_{33}|d_3|^3 - b_{33}(3C+2B)|d_3|^2 + b_{33}(C+B)(3C+B)|d_3| - b_{33}C(C+B)^2, & C \leq |d_3| \leq C+B \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27)$$

식 (24)-(27)을 식 (28)에 대입하면

$$\tilde{f}(z) = f(z_{k-1})\beta_0(A+s) + f(z_k)\beta_1(s) + f(z_{k+1})\beta_2(B-s) + f(z_{k+2})\beta_3(B+C-s) \quad (29)$$

여기서

$$\beta_0(A+s) = b_{03}s^3 - 2b_{03}Bs^2 + b_{03}B^2s, \quad (30)$$

$$\beta_1(s) = \frac{2BC^2b_{13}}{B^3}s^3 - \frac{3+2BC^2b_{13}}{B^2}s^2 + 1, \quad (31)$$

$$\beta_2(B-s) = -\frac{2BA^2b_{23}}{B^3}s^3 + \frac{3+BA^2b_{23}}{B^2}s^2 - b_{23}A^2s \quad (32)$$

$$\beta_3(B+C-s) = -b_{33}s^3 + b_{33}Bs^2 \quad (33)$$

convolution의 결과에서 신호 값의 증폭 효과가 없도록 하기 위해 4개의 basis kernel은 다음을 만족한다.

$$\sum_{k=0}^3 \beta_k(d_k) = 1, \quad 0 \leq s \leq B. \quad (34)$$

식 (30)-(33)을 식 (34)에 대입하면 식 (35)와 식 (36)을 얻는다.

$$b_{03} = (A^2/B^2)b_{23} \quad (35)$$

$$b_{33} = (C^2/B^2)b_{13} \quad (36)$$

A가 C와 같을 때, 가운데 위치 $z=B/2$ 에서 값 $\beta_1(d_1)$ 은 값 $\beta_2(d_2)$ 는 동일하다. 그러므로, 식 (37)을 얻을 수 있다.

$$\beta_1(d_1)|_{d_1=(B/2)} = \beta_2(d_2)|_{d_2=(B/2)} \quad (37)$$

식 (35)-(37)을 정리하면 다음과 같은 결론을 얻는다.

$$b_{13} = b_{23} \quad (38)$$

그러므로 식 (30)-(33)에서 알지 못하는 유일한 값은 b_{13} 이다. b_{13} 을 α 로 대체하고 식 (30)-(33)을 정리하면 다음과 같다.

$$\beta_0(A+s) = \alpha \left(\frac{A^2}{B^2} \right) s^3 - \alpha \left(\frac{2A^2}{B^2} \right) s^2 + \alpha(A^2)s, \quad (39)$$

$$\beta_1(s) = \left(\frac{\alpha BC^2 + 2}{B^3} \right) s^3 - \left(\frac{\alpha BC^2 + 3}{B^2} \right) s^2 + 1, \quad (40)$$

$$\beta_2(B-s) = -\left(\frac{\alpha A^2 B + 2}{B^3} \right) s^3 + \left(\frac{2\alpha A^2 B + 3}{B^2} \right) s^2 - \alpha(A^2)s \quad (41)$$

$$\beta_3(B+C-s) = -\alpha \left(\frac{C^2}{B^2} \right) s^3 + \alpha \left(\frac{C^2}{B} \right) s^2 \quad (42)$$

$A=B=C=1$ 일 때 식 (29)는 기존 cubic convolution scaler와 같은 식 (7)이 된다.

3. 연산 복잡도

기존방법과 제안하는 방법의 주요 연산은 다음 4개의 과정에서 발생한다.

- 1) 식 (8)의 샘플링 위치 x_i 결정하기
- 2) 식 (9)의 s 계산
- 3) 식 (6) 또는 식 (39)-(42)의 filter kernel 계산
- 4) 식 (7) 또는 식 (29)의 FIR 필터링

식 (7)에 의해 기존 방식의 필터 kernel β 의 계산은 24번의 곱셈과 11번의 덧셈이 필요하다. 반면, 제안하는 방법에서는 64번의 곱셈과 11번의 덧셈이 필요하다. β 를 구하는 것을 제외한다면, 기존방법과 복잡도는 동일하다.

IV. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 실제 영상을 사

용하여 컴퓨터 실험을 수행하였다. edge의 방향을 찾기 위해서 edge detection 알고리즘^[15]이 사용되었다. 실험영상으로 “Mobile and Calendar”와 “Flower Garden”을 사용하였다. 이 실험에서 식(39)-(42)에서 사용된 α 값은 기존 방법^[6]에서 사용된 -0.5로 정하였다.

첫 번째 실험은 객관적인 평가를 위해 이루어 졌다. 객관적인 평가를 위해 연속적인 scaling 작업 후 발생하는 정보손실량을 비교하였다. 이 실험에서는 정보손실의 평가기준으로 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)을 사용하였다. 성능 비교를 위해서 제안하는 방법을 cubic convolution^[6], 2차원 convolution^[12], 그리고 기존 방법들^{[13],[16]-[18]} 등과 비교하였다. 다양한 scaling 방법들을 이용하여 실험영상을 352x240i로 축소한 후 원본 크기로 다시 scaling 작업을 하

였다. 표 1은 원본영상과 scaling 후 원 해상도로 복원된 영상의 PSNR을 비교한 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이, 제안한 보간 방법을 적용한 경우의 PSNR가 기존 보간 방법을 사용했을 때보다 높았다. 이 결과는 본 논문에서 제안한 방식이 객관적으로 좋은 화질의 영상을 생성한다는 것을 의미한다. 기존의 cubic convolution 방법들과 비교했을 때, 제안한 방법의 PSNR이 영상(mobile & calendar, flower garden)에 따라서 최고 2.17dB와 1.11dB 만큼 높았다. 이 결과는 제안한 방법의 비균등 테이터를 위한 kernel 설계와 edge 방향에 따른 보간법 적용이 정보손실을 최소화하여 화질 개선 효과를 준다는 것을 의미한다.

그림 4, 그림 5 그리고 그림 6에서는 다양한 scaling 비율 N에 따른 실험 결과를 보여준다. 이 실험에서는 mobile &

표 1. PSNR을 이용한 성능 비교 (704x480i → 352x240i → 704x480i)

Table 1. Performance comparison of scalers with respect to the information loss

보간 방법	Edge 검출 방법	PSNR(dB)	
		Mobile and Calendar	Flower Garden
Keys's [6]	No detection	23.75	21.38
	[15]	22.93	20.50
Allebach and Wang's edge-directed scheme[13]	[13]	22.98	21.14
	[15]	22.83	21.05
Wang and Ward's edge-directed scheme[16]	[16]	22.97	21.14
	[15]	22.97	21.14
Li and Orchard's edge-directed scheme[17]	[17]	23.00	21.17
	[15]	22.97	21.14
Locally adaptive scheme[18]	[18]	23.01	21.12
	[15]	23.01	21.12
2-D cubic convolution[12]	[12]	23.82	21.43
Proposed scheme	[15]	25.14	22.23

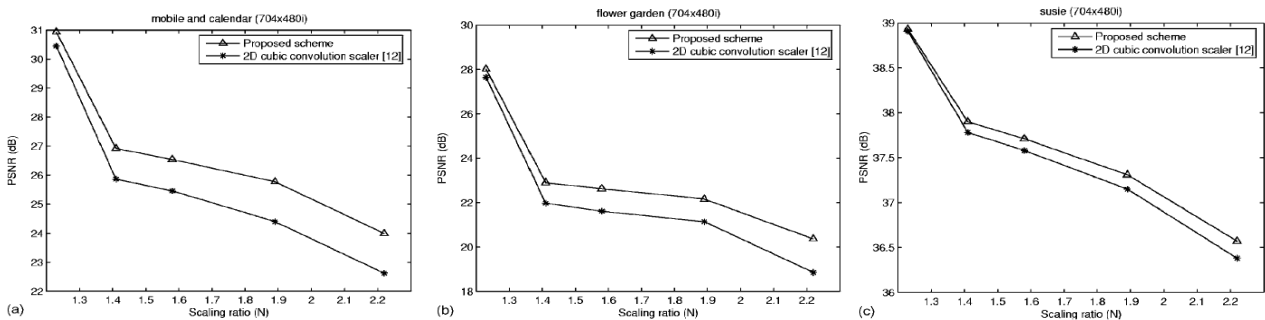


그림 4. 다양한 scaling 비율 N에 대한 PSNR 결과
 Fig. 4. The PSNR comparison between the images resulting from the consecutive

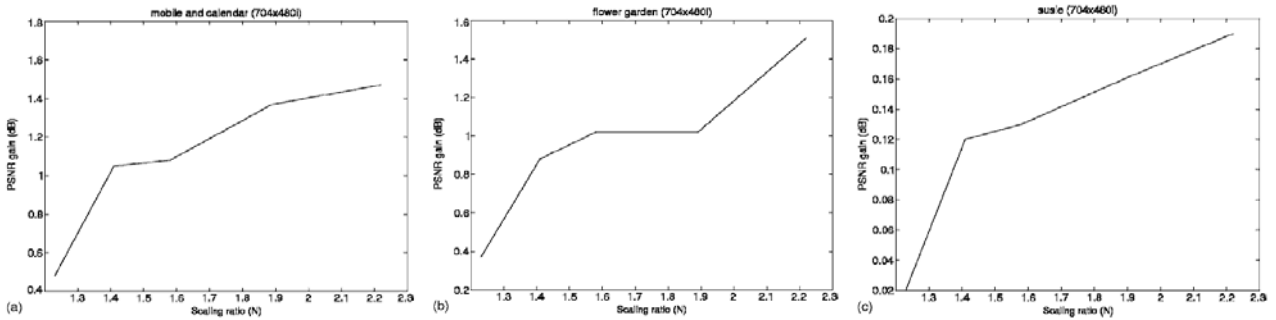


그림 5. 2D cubic convolution^[12]과 제안 방법의 PSNR 차이 (1/N배 축소 후 N배 확대한 결과)
 Fig. 5. PSNR gains of the proposed scheme over the conventional 2-D cubic convolution scaler₁₂ with various scaling factors *N*

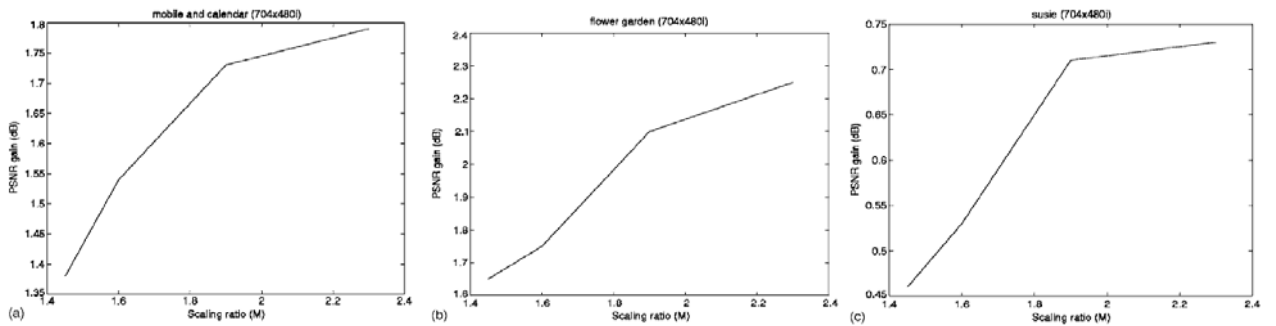


그림 6. 2D cubic convolution^[12]과 제안 방법의 PSNR 차이 (M배 확대 후 1/M배 축소한 결과)
 Fig. 6. PSNR gains of the proposed scheme over the conventional 2-D cubic convolution scaler₁₂ with various scaling factors *M*



(a) Cubic convolution^[6] (b) 2D cubic convolution^[12] (c) Proposed scheme

그림 7. 5.5배로 확대한 결과 영상("barbara"영상의 일부)

Fig. 7. Results enlarged with ratio 5.5 from an edge region of the "barbara" image.

calendar, flower garden, susie 영상들이 사용되었다. 그림 4에서는 실험 영상을 1/N배로 축소하였다 다시 N배로 확대 한 영상과 원영상의 PSNR을 보여주고 그림 5에서는 기

존 방법과 제안 방법의 PSNR 차이를 보여준다. 이 결과들은 scaling 비율이 높아질수록 제안하는 방법이 더 많은 PSNR 이득을 가진다는 것을 보여준다. 반대로 그림 6은

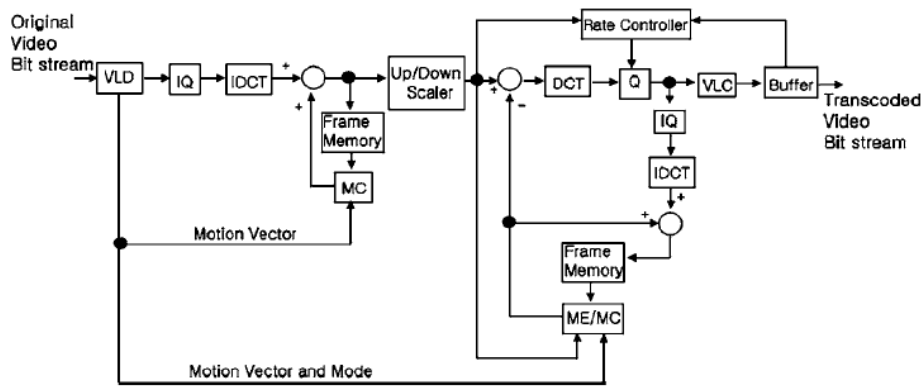


그림 8. up-down scaler가 포함된 transcoder

Fig. 8. The transcoder system with up-down scaler.

M배 확대한 후 1/M배 축소된 영상의 실험 결과이다. 이들 결과를 통해서 제안하는 방법의 이득이 scaling 비율이 높아짐에 따라 커진다는 것을 알 수 있다.

제안하는 방법의 주관적 화질 평가를 위하여 기존방법과 제안하는 방법으로 영상을 5.5배 확대하였다. 이 결과 영상은 그림 7과 같다. 이 실험에서 비교 방법으로 (a) cubic convolution^[6], (b) 2D cubic convolution^[12] 등이 사용되었다. 그림 7은 제안하는 방법으로 scale된 영상이 기존 방법으로 scale된 영상보다 시각적 화질 관점에서 더 효과적임을 보인다.

제안하는 방법이 영상통신 시스템에서 유용한지 확인하기 위해 실제 영상통신 시스템에 적용해 보았다. 그림 8은 이 실험을 위해 사용될 transcoder의 블록도이다. transcoding은 대역폭이 다른 이종네트워크에서 다양한 동영상 전송을 원활히 전송하기 위해 사용되는 기술이다. transcoder는 미리 부호화된 비트스트림을 전송에 사용될 채널에 맞게 재부호화 한다. 예를 들어, 높은 비트율로 이미 부호화된 비트스트림을 수신한 transcoder는 전송할 채널에 맞는 낮은 비트율의 새로운 비트스트림을 만들어 낸다^{[21]-[26]}.

그림 8에서 transcoder는 양자화 스텝사이즈나 공간적 또는 시간적 해상도와 같은 부호화 파라미터를 조정하여 새로운 비트율의 비트스트림을 생성한다. transcoder에서 sca-

lar는 up-down sampler 기능을 제공한다. 입력 비트스트림이 variable-length decoder를 통해 복호된 후 복호된 정보를 역양자화기를 통해 역양자화 된다. 역양자화된 데이터는 역DCT를 통해 pixel domain으로 변환되고 이 데이터들은 움직임보상을 통해 복원된다. 복원된 영상을 scaler를 통하여 새로운 해상도의 영상으로 만들고 이 영상은 다른 비트율의 새로운 비트스트림으로 부호화된다. 그림 6에서 ME/MC는 움직임 예측/보상, VLC는 variable-length coder, 그리고 Q는 양자화기를 의미한다. decoder에서 얻은 움직임 벡터-모드 정보는 encoder에서 다시 사용된다. 이와 같은 움직임 벡터의 재사용은 많은 transcoder 구조에서 사용되어 왔다^{[21]-[26]}. 본 논문에서는, decoder에서 얻은 움직임 벡터는 scale비율에 맞춰 변형된다. 그 후 조정된 크기의 움직임 벡터를 기준으로 가로 세로 ± 2 pixel 넓이의 좁은 움직임 탐색 영역에서 더 나은 움직임 벡터를 찾는다. 본 논문에서는 scaled된 영상의 edge의 화질을 높이기 위한 해상도 scaler 설계에 초점을 맞추고 있다.

실험에 사용된 비디오 부호화기는 MPEG-2 MP@ML이다. 원본 시퀀스는 $R_0 (= 15 \text{ or } 10 \text{ Mbit/s})$ 로 부호화되었고 영상의 해상도는 704x480i이다. 실험에서 영상은 480x336i 해상도로 down scale된다. 그 후 시퀀스는 $R_T (= 10 \text{ or } 5 \text{ Mbit/s})$ 로 transcoding된다. PSNR 관점에서 영상의 화질을 평가하기 위해 본래 해상도로 up scale하기 위해 scaler를 다시

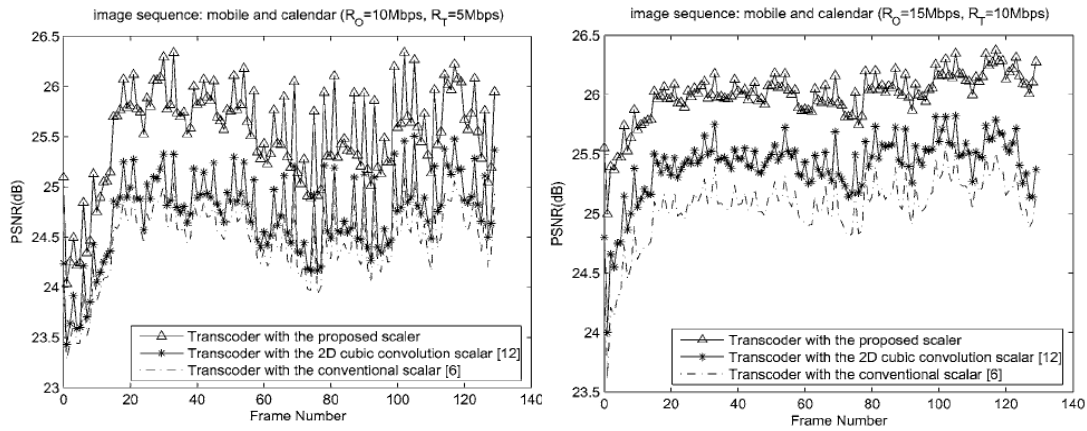


그림 9. 기존 방법으로 transcoding된 영상과 제안하는 방법으로 transcoding된 영상의 PSNR 비교 (“Mobile and Calendar” 영상)
 Fig. 9. The PSNR comparison between the images resulting from the transcoding systems

사용한다. 그림 9는 “Mobile and Calendar” 영상에 대한 실험 결과이다. 이 그래프들은 제안하는 방법이 평균적으로 0.77dB의 이득을 가진다는 것을 보여준다.

본 논문의 실험 결과들은 제안하는 방식이 기존 방식에 비해 더 높은 화질의 비트스트림을 생성한 다는 것을 보여준다. 이것은 제안하는 방법이 화소 영역 transcoder 시스템에서 유용하다는 것을 뜻한다.

V. 결 론

보간법은 영상의 해상도를 바꾸기 위해 자주 사용되는 기술이다. 대부분의 기술들이 영상의 해상도를 2의 정수단위 지수승의 비율로 변환하기 위해 제안되어 왔다. 대부분의 기술들은 수평 또는 수직적 보간법을 사용해왔다. 본 논문에서는 영상의 화질을 높게 유지하면서 확대와 축소를 하기위해 edge방향으로 적용되는 보간법을 제안한다. 보간에 사용될 EDL 상의 데이터들이 비균등하게 위치하므로 이에 맞는 새로운 cubic convolution scaler를 제안하였다.

제안하는 scaling 방법은 transcoder 시스템에서 화질을 높이기 위해 사용될 수 있다. 실험을 통해 제안하는 방법이 transcoding 과정에서 발생하는 정보손실을 줄일 수 있고 transcoding된 영상이 높은 화질을 가질 수 있게 해준다는 것을 보였다.

제안하는 방법의 장점은 임의의 변환 비율로 scaling 할 수 있다는 것과 비균등하게 샘플링 된 데이터에 사용가능하다는 것이다. 실험 결과 제안하는 방법이 객관적으로나 주관적으로 더 나은 화질의 영상을 얻는 것을 확인했다.

참 고 문 헌

- [1] K. Toriaichi, K. Yang, M. Kanada, and R. Mori, “Two-dimensional spline interpolation for image reconstruction”, *Pattern Recong.* 21(3), pp. 275-284, 1988
- [2] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons Inc., 1991
- [3] M. Unser, B. L. Trus, and M. Eden, “Iterative restoration of noisy elastically distorted quasi-periodic images,” *Signal Processing*, 17, pp. 191-200, July 1989
- [4] P. Thevenaz, T. Blu, and M. Unser, “Image interpolation and re-sampling,” in *Handbook of Medical Imaging, Processing and Analysis*, I. N. Bankman, Ed., pp.393-420, Academic Press, San Diego, 2000
- [5] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, “Enlargement or reduction of digital images with minimum loss of information,” *IEEE Trans., Image Process.* 4, pp.247-258, Mar. 1995
- [6] R.G. Keys, “Cubic convolution interpolation for digital image processing,” *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.* 29, pp.1153-1160, Dec. 1981
- [7] H. S. Hou and H. C. Andrews, “Cubic splines for image interpolation and digital filtering,” *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.* 26, pp.508-517, 1978
- [8] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, “Fast B-spline transforms for continuous image representation and interpolation,” *IEEE*

- Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 13, pp.277-285, Mar. 1991
- [9] B. Ayazifar and J. S. Lim, "PEL-adaptive model-based interpolation of spatially subsampled images," in Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Process., Vol. 3, pp. 181-184, 1992
- [10] K. Ratakonda and N. Ahuja, "POCS based adaptive image magnification," in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol 3, pp 203-207, 1998
- [11] W. K. Carey, D. B. Chuang, and S. S. Hemami, "Regularity-preserving image interpolation," IEEE Trans. Image Process. 8(9), pp. 1293-1297, 1999
- [12] S. E. Reichenbach and F. Geng, "Two-dimensional cubic convolution," IEEE Trans. Image Process. 12(8), pp. 857-865, 2003
- [13] J. Allebach and P. W. Wong, "Edge-directed interpolation," in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Process. 12(8), pp. 857-765, 2003
- [14] S. Battiato, G. Gallo, and F. Stanco, "A locally-adaptive zooming algorithm for digital images," Image Vis. Comput. 20(11), pp. 805-812, 2002
- [15] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel edge localization and the interpolation of still images," IEEE Trans. Image Process. 4(3), pp. 285-295, 1995
- [16] Q. Wang and R. Ward, "A new edge-directed image expansion scheme," in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol. 3, pp. 899-902, 2001
- [17] X. Li and M. T. Orchard, "New edge-directed interpolation," IEEE Trans. Image Process. 10(10), pp.1521-1527, 2001
- [18] L. Rodrigues, D. L. Borges, and L. M. Gonalves, "A locally adaptive edge-preserving algorithm for image interpolation," in Proc. IEEE Symp. on Computer Graphics and Image Processing, XV Brazilian, pp.300-305, 2002
- [19] S. S. Rifman "Digital rectification of ERTS multispectral imagery," in Proc. Symp. on Significant Results Obtained from ERTS-1(NASA SP-327), I, Sec. B, pp.1131- 1142, 1973[20] R. Bernstein, "Digital image processing of earth observation sensor data," IBM J. Res. Dev. 20, pp.40-57, 1976
- [21] J. Youn, M. -T. Sun, and C. -W. Lin, "Motion vector refinement for high performance transcoding," IEEE Trans. Multimedia, 1, pp. 30-40, Mar. 1999
- [22] N. Merhav, "Multiplication-free approximation algorithms for compressed-domain linear operations on images," IEEE Trans. Image Process. 8, pp. 247-254, Feb. 1999
- [23] T. Shanableh and M. Ghanbari, "Heterogeneous video transcoding to lower spatio-temporal resolutions and different encoding format," IEEE Trans. Multimedia, 2, pp. 101-110, June 2000
- [24] B. Shen, I. K. Sethi, and B. Vasudev, "Adaptive motion vector resampling for compress video downscaling," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 9, pp. 929-936, Sep. 1999
- [25] C. Yim and M. A. Isardi, "An efficient method for DCT-domain image resizing with mixed field/frame-mode macroblocks," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 9, pp. 696-700, Aug. 1999
- [26] J. Song and B. -L. Yeo, "A fast algorithm for DCT-domain inverse motion compensation based on shared information in a macroblock," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 10, pp. 767-775, Aug. 2000
- [27] 유영조, 서주현, 한종기, "다양한 포맷변환을 지원하는 transcoder의 개선된 cubic convolution scaler", 한국 통신학회 논문지, pp. 867-880, vol. 32, no 9C, 9월, 2007.

저 자 소 개



김 상 미

- 2006년 8월 : 세종대학교 정보통신공학과 공학사
- 2008년 8월 : 세종대학교 정보통신 공학과 공학석사
- 주관심분야 : 영상처리, 비디오코딩, SVC, MVC



한 종 기

- 1992년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 공학사
- 1994년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 공학석사
- 1999년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 공학박사
- 1999년 3월 ~ 2001년 8월 : 삼성전자 DM 연구소 책임연구원
- 2001년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 정보통신공학과 부교수
- 주관심분야 : 비디오 코딩, SVC, MVC, DVC, Transcoder