이미지의 임의의 스케일링을 위한 CSSF 샘플링 커널 기반의 cosine modulated 필터뱅크

김진영, 박기섭, 남상원
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과

Arbitrary image scaling using a cosine-modulated filter bank with CSSF based sampling kernels

Jin-Young Kim, Ki-Seop Park, and Sang-Won Nam
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

Abstract – In this paper, a cosine-modulated filter bank with a modified synthesis part is proposed for arbitrary scaling of images, whereby down/up-sampling kernels based on a compactly supported sampling function (CSSF) are utilized. Also, an optimized adaptive interpolation technique is incorporated into the filter bank structure to compensate for quality degradation arising in scaled images. Finally, simulation results verify that high quality images with arbitrary sizes can be obtained by applying the proposed approach.

1. 서 론

오늘날 디지털 기기에서 멀티미디어 기능에 대한 요구가 증가함에 따라 이미지, 동영상 등의 정보를 단시간 내에 주고받을 수 있는 압축 기술과 화면에 다양한 크기의 정보를 표시할 수 있는 이미지 스케일링 기법이 중요한 이슈가 되었다. 특히, 디지털 필터뱅크 이론은 서브밴드 부호화를 통한 이미지 압축과 데이터 전송 등의 응용 분야에 널리 적용되어왔다. 그리고, 웨이블릿 변환 기반의 서브밴드 부호화를 통해 이미지의 1/2의 스케일링을 얻을 수 있고, 최근 JPEG-2000 표준에서 가장 중요한 특성이 되어왔다. 또한, 더욱 세밀한 스케일링을 위해 M-밴드 웨이블릿 변환으로 확장되었다. 최근에는 필터뱅크를 이용하여 유리수의 스케일링을 얻기 위한 여러 방법도 제안되었다 [1, 2]. 그러나 이러한 방법들은 다른 이미지 스케일링이 요구될 때 analysis 부분에서의 채널수가 변경되어야 하며, 완전 복원 성질을 만족하도록 analysis와 synthesis 부분의 필터들을 다시 설계해야 하는 문제가 있다. 또한, 필터뱅크의 synthesis 부분에서 스케일링된 신호에서 발생되는 잡음에 대한 보상이 충분히 고려되지 않았다.

본 논문에서는 compactly supported sampling function (CSSF)를 이용하고 down/up 샘플링 커널을 기반으로 수정된 synthesis 부분을 갖는 cosine modulated 필터뱅크를 이용하여 임의의 이미지 스케일링을 위한 방법을 제안한다. 또한, 최적 적응 보간 기법을 수정된 synthesis 부분에 적용하여 스케일링 된 이미지의 화질 저하를 보상한다. 다음 2장에서는 최적 적응기법이 적용된 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 커널을 구체적으로 설명하고, 3장에서는 제안된 cosine modulated 필터뱅크 구조에 대해 기술한다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안된 방법의 성능을 확인하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 최적 적응 보간 기법이 적용된 CSSF를 이용한 샘플링 커널

본 장에서는 필터뱅크 구조에 적용하기 위한 최적 적응 보간 기법이 적용된 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 커널에 대해 기술한다.

2.1 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 커널

최근, 하나의 단계로 임의의 샘플링 비율을 얻기 위한 sinc 함수 기반의 down/up 샘플링 closed-form 수식을 유도되었고, 이를 불균일 완전 복원 필터 뱅크에 적용되었다[3]. 그러나, 이상적인 샘플링 함수로 알려진 sinc 함수는 무한대의 support와 절단 효과로 인하여 실제 적용에 많은 문제점들이 있다[4]. 따라서 sinc 함수와 비슷한 형태이나 제한된 support를 갖는 새로운 샘플링 함수가 요구되어 왔다. 최근에 [5]에서 아래와 같이 compactly supported 샘플링 함수(CSSF)가 제안되었다.

$$\Psi^3_{[s],0}(t) = -\frac{1}{2}\Phi_3(t+2) + 2\Phi_3(t+\frac{3}{2}) - \frac{1}{2}\Phi_3(t+1) \tag{1}$$

$$\Phi_1(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le 1 \\ 0, & otherwise \end{cases}, \quad \Phi_3(t) = \Phi_1(t) * \Phi_1(t) * \Phi_1(t) \tag{2}$$

식 (1)에서 2차 CSSF인 $\Psi^3_{[s],0}(t)$는 식 (2)의 1차 piecewise 다항식 $\Phi_1(t)$을 두 번 컨볼루션하여 얻어진 2차 piecewise 다항식 $\Phi_3(t)$에 의해 구성된다. 2차 CSSF $\Psi^3_{[s],0}(t)$는 sinc 함수와 주파수 특성이 유사하고, 시간 영역에서 제한된 support를 가짐으로써 고속 이미지 처리에 적합하다. 2차 CSSF $\Psi^3_{[s],0}(t)$를 [3]에서 제안된 down/up 샘플링 수식의 sinc 함수 대신 적용하여 다음의 수정된 down/up 샘플링 수식을 얻을 수 있다.

$$x_{M\downarrow}(n) = \frac{1}{M}\sum_k x(n)\Psi^3_{[s],0}(n-\frac{k}{M}),\ M(n-2) < k < M(n+2),\ k \neq M(n\pm 1) \tag{3}$$

$$x_{M\uparrow}(n) = \sum_k x(n)\Psi^3_{[s],0}(\frac{n}{M}-k),\ \frac{n}{M}-2 < k < \frac{n}{M}+2,\ k \neq \frac{n}{M}\pm 1 \tag{4}$$

2.2 최적 적응 보간 기법

표본 이미지의 픽셀로부터 존재하지 않는 픽셀을 추정하여 스케일링하는 과정을 이미지 보간 기법이라고 한다. 일반적으로 스케일링된 이미지에서는 윤곽선 부분에 흐림 현상과 jaggy 잡음 등이 발생한다. [6]에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 최적 적응 보간 기법을 제안하였다. 보간 커널로서 CSSF를 이용하고, 윤곽선의 방향에 따라 보간 커널의 모양을 변형시켜 표본 이미지에서 윤곽선 근처에 있는 픽셀이 보간 되는 픽셀에 주는 영향 도를 조절한다. 특히, 재구성된 이미지의 PSNR이 최대가 되도록 particle swarm optimization(PSO) 방법[6]으로 최적화된 파라미터(E_{max}, R_{max}, L, V_s)를 통해 얻어진 expansion/contraction 비율(γ_D)로 표본 픽셀과 보간 픽셀 사이의 거리를 나누어줌으로써 CSSF를 이용한 보간 커널의 모양을 변형시킨다. 즉, 보간 픽셀의 값을 추정함에 있어서 보간 커널의 한쪽 방향을 수축시켜 본래의 이미지의 윤곽선 근처에 있는 표본 픽셀의 영향을 줄이고, 팽창시킴으로써 윤곽선 방향으로의 영향을 강조하여 윤곽선 근처에서 발생하는 흐림 현상과 jaggy잡음을 감소시켜 재구성된 이미지의 화질을 높이는 것이다. 본 논문에서는 최적 적응 보간 기법을 적용하여 식 (3)-(4)의 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 커널을 아래와 같이 나타낸다.

$$\Psi^3_{[s],0}(n,k)_{M\downarrow} = \Psi^3_{[s],0}((n-\frac{k}{M})/\gamma_D) \tag{5}$$

$$\Psi^3_{[s],0}(n,k)_{M\uparrow} = \Psi^3_{[s],0}((\frac{n}{M}-k)/\gamma_D) \tag{6}$$

3. 제안된 Cosine modulated 필터뱅크 구조

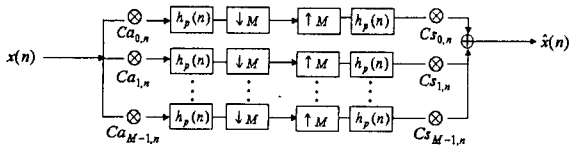
디지털 필터뱅크 이론에서 cosine modulated 필터뱅크는 원형 필터의 cosine 변조에 의해 analysis와 synthesis 부분의 필터를 동시에 얻을 수 있기 때문에 디자인이 간단하고, 구현이 빠른 장점을 갖는다. 따라서 많은 응용분야에서 널리 사용되고 있다[7].

그림 1은 일반적인 cosine modulated 필터뱅크를 나타낸다. 여기서 $Ca_{k,n}, Cs_{k,n}$은 다음과 같이 각각 analysis, synthesis부분에서의 cosine 변조성분이고, $h_p(n)$은 π/M의 대역폭을 갖는 원형 필터이다.

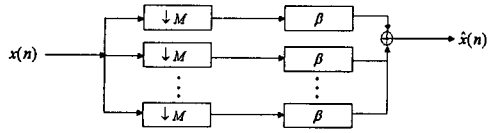
$$Ca_{k,n} = 2\cos\left((2k+1)\frac{\pi}{2M}(n-\frac{N-1}{2}) + (-1)^k\frac{\pi}{4}\right) \tag{7}$$

$$Cs_{k,n} = 2\cos\left((2k+1)\frac{\pi}{2M}(n-\frac{N-1}{2}) - (-1)^k\frac{\pi}{4}\right) \tag{8}$$

그림 2는 본 논문에서 제안된 최적 적응 기법이 적용된 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 커널 기반의 수정된 synthesis부분을 갖는 cosine modulated 필터 뱅크 구조이다. 일반적인 cosine modulated 필터뱅크의 cosine 변조 성분, 원형 필터, down/up-샘플러가 각 블록에 의해 대체되었고, 이에 대한 수식은 표1에서 제시되었다. Analysis 부분에서는 입력신호가 cosine 변조 성분이 포함된 closed-form down-샘플링 수식에 의해 $1/M$로 down 샘플링 된다. 수정된 synthesis 부분에서 β는 필터뱅크의 채널수인 M과 원하는 스케일링 계수 α의 곱에 의해 결정된다. $0 < \beta < 1$일 때, 입력 신호에 대해 식 (5)의 down 샘플링 커널이 cosine변조 성분과 함께 적용되며, $\beta \ge 1$ 일 때, 식 (6)의 up 샘플링 커널이 적용된다. 또한, analysis 부분에서 처리된 서브밴드 이미지에서 윤곽선 근처에 있는 픽셀에 대해 미리 계산된 expansion/contraction 비율(γ_D)을 통해 최적 적응 보간 기법이 적용되며, 윤곽선 근처에 있지 않은 픽셀의 경우, γ_D는 1로 고정된다. 위와 같은 처리과정을 거쳐 analysis 부분에서 채널수의 변경 없이, 또는 완전 복원 필터뱅크 뒤에 post-resampling 과정을 추가할 필요 없이, 원하는 스케일링 계수 α만큼 스케일링된 이미지를 직접 얻을 수 있다. 또한, 수정된 synthesis 부분에 적용된 최적 적응 보간 기법에 의해 이미지의 화질 저하를 보상할 수 있다.



<그림 1> M-채널 cosine modulated 필터 뱅크 구조



<그림 2> 제안된 cosine modulated 필터 뱅크 구조

<표 1> 각 블록의 입, 출력 관계에 대한 closed-form 샘플링 수식

블록	블록의 입력($x(n)$) 대한 closed-form 수식	
$\downarrow M$	$\frac{1}{M}\sum_k x(n)\left(\psi^3_{\{s\},0}(n-\frac{k}{M})\sqrt{2}\cos((2k+1)\frac{\pi}{2M}(M(n-\frac{k}{M}))+(-1)^k\frac{\pi}{4})\right)$	
β	$0<\beta<1$	$\frac{1}{\beta}\sum_k x(n)\left(\psi^3_{\{s\},0}((n-\frac{k}{\beta})/\gamma_D)\sqrt{2}\cos((2k+1)\frac{\pi}{2\beta}(\beta(n-\frac{k}{\beta})/\gamma_D)-(-1)^k\frac{\pi}{4})\right)$
	$\beta\geq 1$	$\sum_k x(n)\left(\psi^3_{\{s\},0}((\frac{n}{\beta}-k)/\gamma_D)\sqrt{2}\cos((2k+1)\frac{\pi}{2\beta}(\frac{1}{\beta}(\frac{n}{\beta}-k)/\gamma_D))-(-1)^k\frac{\pi}{4})\right)$

4. 모의실험

모의실험에서는 제안된 2-ch cosine modulated 필터뱅크를 적용하여 주어진 스케일링 계수(α), 3/4, 7/8, 1, 3/2로 재구성 된 이미지를 얻을 수 있음을 보이고, 최적 적응 보간 기법을 적용하여 재구성 된 이미지의 화질을 개선시킬 수 있음을 확인한다. 본 실험에서 사용된 이미지는 8-bit 그레이 스케일 256×256 크기의 'Lena'이미지이다. 또한, 필터뱅크의 수정된 synthesis 부분에 최적 적응 보간 기법을 적용하기 위해 사용된 파라미터 ($E_{\max}$, $R_{\max}$, L, V_s)는 스케일링 계수(α)가 1인 경우 제안된 2-ch cosine modulated 필터 뱅크를 통해 재구성된 이미지의 PSNR 값이 최대가 되도록 PSO를 100번 수행하여 식(9)과 같이 최적화 되었다. 이 때 PSO 과정은 많은 시간이 소요되기 때문에 모의실험에 사용된 'Lena' 이미지보다 작은 64×64 크기의 이미지를 사용하였다.

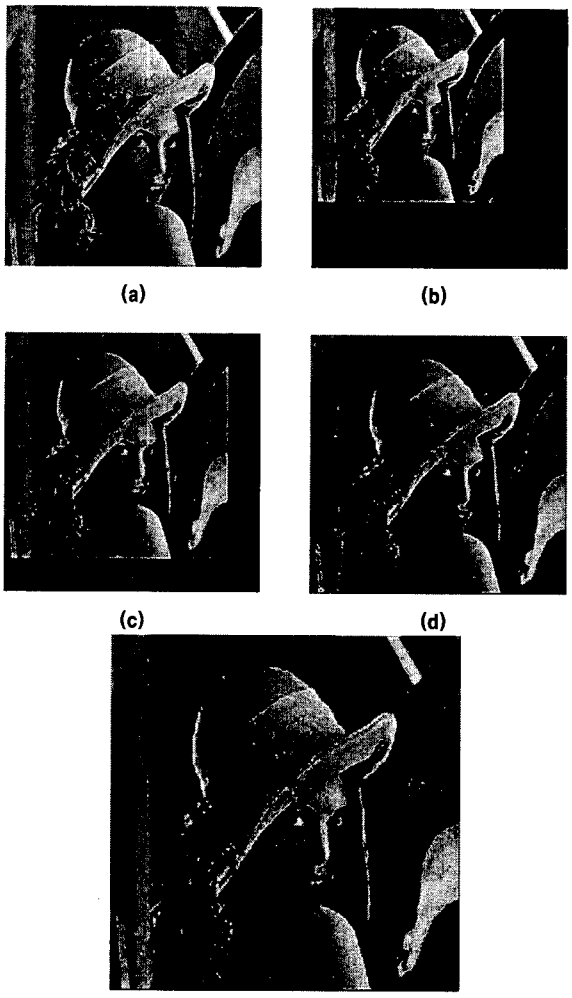
$$E_{\max}=-0.0146,\ R_{\max}=-0.0802,\ L=1,\ V_s=595.3402 \qquad (9)$$

제안된 방법을 통해 256×256 크기의 'Lena' 이미지로부터 3/4, 7/8, 1, 3/2의 스케일링 계수로 재구성 된 이미지는 그림 3(b)-(e)와 같다. 또한, 스케일링 계수가 1인 경우 최적 적응 보간 기법을 적용하여 재구성된 이미지(그림 3(d))의 PSNR 값은 31.22dB이다. 특히, 최적 적응 보간 기법이 적용되지 않은 경우의 PSNR 값이 30.98dB인 점을 고려해 볼 때 재구성된 이미지의 화질 저하가 보상되었음을 알 수 있다. 따라서 제안한 최적 적응 보간 기법이 적용된 CSSF를 이용한 down/up샘플링 커널 기반의 cosine modulated 필터 뱅크를 이용하여 analysis 부분의 채널 변경 없이 원하는 스케일링 계수만큼 이미지의 크기를 변화시키면서, 동시에 스케일링 시 나타나는 화질 저하를 보상할 수 있음을 상기 모의실험을 통해 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 cosine modulated 필터뱅크를 이용한 이미지의 임의의 스케일링을 위한 방법을 제안하였다. 2차 CSSF를 이용한 down/up 샘플링 수식을 제시하였고, 이를 필터 뱅크의 analysis 부분과 수정된 synthesis 부분의 cosine 변조 성분, 원형필터, down/up-샘플러 대신 블록화하여 사용하였다. 또한, 수정된 synthesis 부분에 최적 적응 보간 기법을 적용하여 스케일링 시 저하된 화질을 보상하였다. 앞으로 완전 복원 조건을 만족하는 원형 필터와 CSSF와의 관계에 대해 연구를 계속할 예정이다.

Acknowledgement: This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R & D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (02-PJ3-PG6-EV08-0001).



<그림 3> (a) 원본 이미지와 주어진 스케일링 계수 (b) 3/4 (c) 7/8 (d) 1 (e) 3/2로 재구성된 이미지

[참 고 문 헌]

[1] G. Pau, B. Pesquet-Popescu, and G. Piella, "Modified M-band synthesis filter bank for fractional scalability of images," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 13, no. 6, Jun. 2006.

[2] F. Itami, E. Watanabe, and A Nishihara, "A new multirate processing scheme for the conversions of image resolution based on integer/fractional sampling filter banks," *IEICE Technical Report*, vol. 105, no. 149, pp. 55-60, Jun. 2005.

[3] S.C. Pei and M.P. Kao, "Two channel nonuniform perfect reconstruction filter bank with irrational down-sampling factors," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 2, pp. 116-119, Feb. 2005.

[4] E.H.W. Meijering, K.J. Zuiderveld, and M.A. Viergever, "Image reconstruction by convolution with symmetrical piecewise nth-order polynomial kernels," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 2, pp. 192-201, Feb. 1999.

[5] K. Katagishi, K. Toraichi, K. Hattori, S.L. Lee, and K. Nakamura, Practical Compactly Supported Sampling Functions of degree 2," *Proc. of IEEE PACRIM. Communications, Computers and Signal Processing*, pp. 552-555, Aug. 1999.

[6] A. Fujii, K. Kameyama, T. Kamina, Y. Ohmiya, and K. Toraichi, "Image resolution conversion by optimized adaptation of interpolation kernels,"*Proc. IASTED Int. Multi-Conf. on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications*, Innsbruck, Austria, 520-051, pp. 274-279, Feb. 2006.

[7] G. Strang and T. Nguyen, *Wavelets and Filter Banks*, Wellesley Cambridge Press, Wellesley, Massachusetts, 1996.