

# 정규화 된 DCT 기반의 고해상도 영상 복원

## Regularized DCT-based High-Resolution Image Reconstruction

박진열, 이승현, 강문기  
연세대학교 전자공학과

Jin Yeol Park, Seunghyeon Rhee, and Moon Gi Kang  
Department of Electronic Engineering, Yonsei University

### 요약

주파수 영역에서의 엘리어싱 관계를 이용하여 고해상도 영상을 복원할 때, 기존의 주파수 영역에서의 방법은 복원에 필요한 저해상도 영상이 충분하지 않거나, 저해상도 영상들이 가지는 정보가 적절하지 않을 경우에 대해서 원하는 고해상도의 영상을 얻을 수 없었다. 이를 극복하기 위해 공간 영역으로 재해석하면 확장된 다중채널의 정규화를 사용할 수 있었으며, DFT대신에 DCT를 사용하여 연산량을 줄일 수 있었다. 또한 정규화를 사용하였기 때문에 저해상도 영상의 움직임 정보가 올바르게 없을 경우에도 이를 보상해 줄 수 있었다.

### I 서론

CCD의 물리적인 성능 제한이나 고도의 정확도를 필요로 하는 CCD의 비용적인 이유로 다수의 저해상도 영상을 가지고 하나의 고해상도의 영상을 만드는 연구가 이루어졌으며, 현재는 주파수 영역에서의 방법[1], 공간 영역에서의 방법[2], POCS를 사용한 방법[3], 그리고 역사상을 이용한 방법[4]등의 연구가 이루어지고 있다. 기존의 주파수 영역에서의 복원식[1]은 연산에 사용되어지는 DFT의 계수들이 서로 상관관계(correlation)가 없으므로 많은 경우에 있어서 우리가 얻고자 하는 해를 구하지 못하는 경우가 발생하였다. 그래서 공간 영역으로 이를 다시 재해석하면, 원하는 해의 사전정보를 이용한 정

규화를 통해 원하는 해를 얻을 수가 있었다. 그러나 공간 영역에서 재해석하면 이를 구현하는데 있어서 동시에 전체 데이터를 연산하여야 하므로 연산량이 급격하게 증가하게 되었다. 그래서 본 논문에서는 이 증가된 연산량을 줄이기 위해 공간 영역에서의 DFT기반의 관계식을 공간 영역에서의 DCT기반의 관계식으로 재해석하였다. 그 결과로써 전체의 데이터를 가지고 동시에 연산을 하여야 하기 때문에 증가되는 연산량을 크게 줄일 수 있었으며, 주파수 영역에서 해를 얻을 수 없었던 경우에도 공간 영역으로 재해석하면 정규화 된 다채널 디컨벌루션[5]을 이용하여 원하는 결과를 얻을 수 있었다.

### II 이론적 배경

#### 1 기존의 주파수 영역 방법

주파수 영역에서의 저해상도의 영상과 쉬프트 된 고해상도 영상 사이의 관계는 [1]에 잘 나타나있다. 결론적으로 DFT 기반의 해석은 선형방정식으로 표현되어지며, 이를 간단히 나타내 보면

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}\mathbf{X}^e \quad (1)$$

가 된다.

#### 2 공간 영역으로의 재해석

공간 영역에서의 저해상도 영상과 쉬프트 된 고해상도 영상 사이의 관계는 [2]에 잘 나타나있다. 이 식은 다시

다음과 같이 행렬을 이용한 형태로 다시 표현되어질 수 있다.

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}_s \mathbf{x}^e \quad (2)$$

이렇게 공간 영역에서 새로운 식으로 재해석 하고자 하는 이유는 공간 영역에서  $\mathbf{x}^e$ 의 성분들이 서로 상관관계가 있으므로 이를 이용하여 정규화를 할 수 있기 때문이다[6].

### 3 DCT 기반의 식 유도

주파수 영역에서 해를 얻지 못하는 상황에서도 공간 영역으로 재해석하여 정규화를 사용하면 원하는 해를 얻을 수 있었다. 그러나 공간 영역의 전체 데이터를 동시에 이용하여 연산하기 때문에 메모리의 사용과 계산의 복잡성이 증가하게 되었다. 따라서 우리는 공간 영역에서의 재해석 결과로 증가한 연산량을 줄일 필요성이 있다.

그림 1(a)와 (c)에서와 같이 원래의 데이터에 이 데이터의 대칭된 형태의 데이터를 붙여 경상의 데이터(거울에 비쳤을 경우 좌우 대칭의 상, mirror image)를 만들면 복소수로 표현되는 DFT형태의 데이터가 실수로 표현되는 DCT형태의 데이터가 되는 것이다. 결과식을 보면  $x_p[n_1, n_2]$ 의 DCT계수,  $C_p[k_1, k_2]$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$C_p[k_1, k_2] = \frac{1}{L_1 L_2} \sum_{l_1=0}^{2L_1-1} \sum_{l_2=0}^{2L_2-1} (-1)^{l_1+l_2} \sum_{n_1=0}^{2L_1 N_1-1} \sum_{n_2=0}^{2L_2 N_2-1} s(n_1, k_1) s(n_2, k_2) \cos \left[ \pi \frac{(k_1 + 2l_1 N_1)(n_1 - \Delta_{p,1})}{4L_1 N_1} \right] \cos \left[ \pi \frac{(k_2 + 2l_2 N_2)(n_2 - \Delta_{p,2})}{4L_2 N_2} \right] x_p^E[n_1, n_2] \quad (3)$$

여기서

$$s(n, k) = \begin{cases} (-1)^k, & 0 < n \leq \delta_I \text{ or} \\ & N + \delta_I < n < N - 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

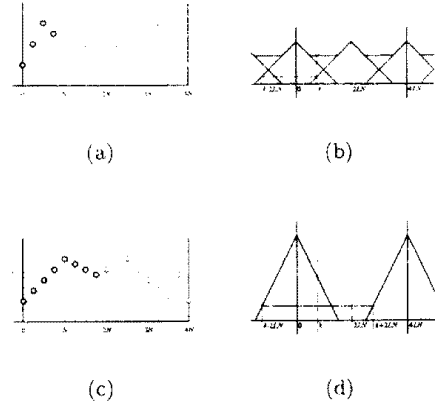


그림 1: 저해상도 영상의 경상 데이터(a,b)와 이로부터 해상도가 증가한 영상 데이터(c,d) 사이의 관계; (a) (c) 공간 영역 표현, (b)(d) 주파수 영역 표현

이며,  $\delta = \delta_I + (\delta - \delta_I)$ 로써  $\delta_I$ 는 정수로서  $\delta_I \leq \delta < \delta_I + 1$ 의 관계를 가진다. 이 때  $\Delta_{p,1} = 2L_1 \delta_{p,1}$ ,  $\Delta_{p,2} = 2L_2 \delta_{p,2}$ 로써, 저해상도 영상에서의 컷프트를 고해상도의 영상에서의 컷프트로 나타낸 것이다. 이를 행렬과 벡터 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\mathbf{C}_x = \mathbf{H}_c \mathbf{x}^E \quad (4)$$

결론적으로 우리가 풀고자 하는 문제를 DCT를 사용하여 실수만으로 이루어지는 간략한 형태로 만들 수 있게 된다.

### 4 정규화를 이용한 고해상도 영상 복원

실제적으로  $\mathbf{H}_c$ 의 역행렬이 존재하지 않으므로 고해상도 영상,  $\mathbf{x}^E$ 을 구하기 위해서는 아래와 같이 정규화를 하면 다음과 같은 결과를 얻게 된다[5][7].

$$(\mathbf{H}_c^T \mathbf{H}_c + \alpha \mathbf{Q}^T \mathbf{Q}) \mathbf{x}^E = \mathbf{H}_c^T \mathbf{C}_x \quad (5)$$

따라서 식 (5)의 해  $\mathbf{x}^E$ 는 정규화된  $(\mathbf{H}_c^T \mathbf{H}_c + \alpha \mathbf{Q}^T \mathbf{Q})$ 의 역행렬을 양변에 작용시켜 구하여지며, 이는 우리가 구하고자하는 고해상도 영상이 된다.

## III 실험 및 결과

첫 번째 실험에서는 해상도를 향상 시키는데 있어서 사용

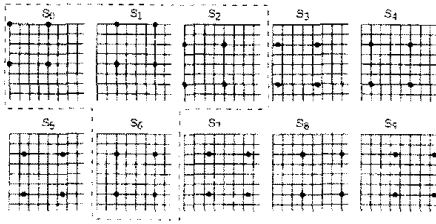


그림 2: 표 1에 사용되어지는 샘플링 패턴들

| $S_{P-1}$ | $s_3$     | $s_4$ | $s_5$ | $s_6$ | $s_7$ | $s_8$ | $s_9$ |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PSNR      | (a) 37.21 | 43.14 | 49.10 | Inf   | 48.08 | 39.01 | 27.31 |
| [dB]      | (b) -     | 43.34 | 47.19 | 50.93 | 52.34 | 50.95 | 47.93 |

표 1: 복원에 사용되어지는 영상들에 따른 복원 영상의 PSNR ; (a) 복원에 사용되어지는 영상의 수가  $P = 4$ 일 경우, (b) 복원에 사용되어지는 영상의 수가  $P > 4$ 일 경우

되어지는 영상의 패턴들이 복원에 미치는 영향을 알아보는 실험이었다. 그림 2에서 보듯이 10개의 패턴들 중에서 4개의 서로 다른 패턴의 저해상도 영상을 가지고 고해상도 영상을 복원해 보았다. 2배의 해상도를 얻기 위해서는 저해상도의 영상 4개가 필요하게 되는데, 그 중에서 3개는  $S_0, S_1, S_2$ 로 사용하고 나머지 1개는 영상을 바꾸어가며 패턴들의 영향을 살펴보았다. 그 결과는 표 1(a)에 자세하게 나타나 있다. 실험 결과  $\{(\delta_{p,1}, \delta_{p,2}) | p = 0, \dots, 3\} = \{(0, 0), (0, 0.5), (0.5, 0), (0.5, 0.5)\}$ 일 경우에는 복원되어진 고해상도의 영상이 원래의 고해상도 영상과 동일함을 볼 수 있었다. (그림 2의 점선 부분) 이 실험을 통해서 이상적인 복원을 위해 필요한 패턴과 복원에 사용되어진 패턴 사이의 차이가 클수록 복원되어지는 고해상도의 영상의 질이 점점 더 나빠짐을 알 수 있었다. 두 번째 실험에서는 복원에 사용되어지는 저해상도 영상의 개수가 복원에 미치는 영향을 알아보는 실험이었다. 저해상도의 영상  $S_0$ 에서부터  $S_{P-1}$ 까지를 이용하여 고해상도 영상을 얻었는데, 결과는 표 1(b)에 잘 나타나 있다. 실험 결과를 보면, 일반적으로 사용되어지는 영상의 개수가 증가할수록 복원되어지는 고해상도 영상의 질이 점점 더 좋아짐을 볼 수 있었다. 그러나 이상적인 복원에 필요한 영상,  $s_6$ 이 사용되어진 후에는 복원에 사용되는 저해상도 영상의 개수를 아무리 증가시켜도 복원되어지는 고해상도 영상의 질이 향상되지 않음을 볼 수 있었다.

세 번째 실험에서는 복원에 사용되어지는 영상의 개수가



(a) (b)

그림 3: 복원에 필요한 영상을 충분히 가지지 못했을 경우의 복원 영상들 ; (a) 주파수 영역에서의 복원, (b) 새로 제안한 공간 영역에서의 복원



(a) (b)

그림 4: 저해상도의 영상들이 이루는 움직임 정보가 적절하지 않을 경우의 복원 영상들 ; (a) 주파수 영역에서의 방법, (b) 공간 영역에서 제안한 방법

복원에 필요한 영상의 개수보다 적을 경우에 대하여 고해상도 영상을 복원하는 실험이었다. 일반적으로 저해상도의 영상으로부터 2배의 해상도를 향상 시키기 위해서는 4장의 저해상도 영상이 필요한데, 우리가 가지고 있는 저해상도의 영상이 3장이라 가정하고 실험을 하였다. 기존의 주파수 영역에서의 복원 방법을 사용하면 그림 3(a)과 같은 결과를 얻을 수 밖에 없지만 우리가 제안한 공간 영역에서 정규화를 사용하면 그림 3(b)에서 보는 것과 같이 만족할만한 결과를 얻을 수가 있었다.

또한 사용되어지는 저해상도 영상들이 식 1에서의 행렬  $H$ 를 특이행렬이 되게하는 경우를 생각해 볼 수가 있었다. 이 때에는 복원에 필요한 저해상도의 영상의 수보다 사용되는 영상의 수가 많더라도 주파수 영역에서는 원하는 결과를 얻을 수 없었지만 공간 영역에서는 이러한 경우에 정규화를 사용하여 원하는 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4는 수평축의 움직임 정보( $s_0, s_2, s_3$ 와  $s_4$ )만을 가지고 주파수 영역에서의 복원방법과 공간 영역에서의 복원방법을 이용하여 복원한 고해상도 영상들이다.



(a)

(b)

그림 5: 저해상도 영상의 움직임 정보가 정확하지 않을 경우의 공간 영역에서의 복원 영상들; (a) 정규화를 사용하지 않았을 경우, (b) 정규화를 사용하였을 경우

네 번째 실험에서는 저해상도 영상의 움직임 정보가 정확하지 않을 경우에 대한 실험이었다. 주파수 공간에서의 방법이나 공간 영역에서의 방법 모두 이 경우에 대해서는 복원되는 고해상도의 영상이 심하게 왜곡되는 것을 알 수 있었다. 그러나 우리가 제안한 공간 영역에서의 방법은 정규화를 이용하여 정확하지 않은 정보에 의해서 생긴 왜곡을 그림 5에서 보는 것과 같이 보상해 줄 수 있었다.

또한 우리가 제안한 DCT 기반의 방법은 DFT 기반의 방법보다 매 반복(iteration)시간을 줄여 실험 수행 시간을 훨씬 더 단축시켜 주었다.

## IV 결론

본 논문에서는 다수의 저해상도 영상들을 가지고 하나의 고해상도 영상을 복원하기 위해 공간 영역에서 정규화된 DCT를 기반으로 하는 고해상도 영상 복원 알고리즘을 제안해 보았다.

기존의 주파수 영역에서의 방법은 복원에 사용되어지는 저해상도 영상의 수가 복원에 필요한 개수보다 모자라거나, 저해상도 영상들끼리의 상대적인 움직임 정보가 적절하지 못할 경우에 대해서는 원하는 결과를 얻을 수 없었다. 그러나 우리가 제안한 공간 영역에서의 알고리즘은 공간 데이터 계수들을 사용하므로 이들 사이의 상관관계를 이용하여 정규화를 적용시킬 수 있었다. 그 결과로 기존의 주파수 영역에서의 방법으로는 해를 얻을 수 없었던 경우뿐만 아니라 저해상도 영상들의 상대적인 움

직임 정보가 부정확할 경우에도 정규화를 이용해 원하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 공간영역으로 오면서 데이터 전체를 가지고 연산을 해야 하기 때문에 증가한 연산량을 DCT를 알고리즘에 적용해 연산량을 크게 줄일 수 있었다.

## 참고 서적

- [1] S. P. Kim, N. K. Bose, and H. M. Valenzuela, "Recursive reconstruction of high resolution image from noisy undersampled multiframes," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 38, no. 6, pp. 1013-1027, June 1990.
- [2] Jin Yeol Park, Seunghyeon Rhee, and Moon Gi kang, "Multichannel dealiasing technique for superresolution," *ITC-CSCC'98*, vol. I, pp. 35-38, July 1998.
- [3] H. Stark and P. Oskoui, "High-resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections," *J. Opt. Soc. Ammer. A*, vol. 6, no. 11, pp. 1715-1726, Nov. 1989.
- [4] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," *Comput. Vis., Graphics, Image Processing: Graphical Models and Image Processing*, vol. 53, no. 3, pp. 231-239, May 1991.
- [5] M. G. Kang, "Generalized multichannel deconvolution approach and its applications," *to appear, Optical Engineering*, vol. 37, no. 11, Nov. 1998.
- [6] M. G. Kang and A. K. Katsaggelos, "Simultaneous multichannel image restoration and estimation of the regularization parameters," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 774-778, May 1997.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Reading, MA: Addison Wesley, 1993.