

# 한 장의 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상의 생성방법

김응규<sup>○</sup> 이도경

한밭대학교 공과대학 정보통신·컴퓨터공학부<sup>○</sup>, 한밭대학교 정보통신전문대학원

kimeung<sup>○</sup>@hanbat.ac.kr, ishlee1127@naver.com

## Generation Method of a High Resolution Image from a Single Low Resolution Image

Eungkyu Kim<sup>○</sup> Dokyeom Lee

Division of Information Communication & Computer Eng., College of Eng., Hanbat Nat'l University<sup>○</sup>

### 요 약

본 논문에서는, 한 장의 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상을 생성하는 새로운 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 고해상도 영상과 저해상도 영상의 관계를 나타내는 선형연립방정식을 푸는 원리에 기초한다. 하지만 이러한 방정식은 일의적으로 정해지지 않기 때문에 고해상도 영상을 나타내기 위해 사용된 미지수를 축소하기 위한 이산코사인변환(DCT)의 에너지 집중특성을 이용하였다. 또한 그 구현방법으로 저해상도 영상을 일련의 작은 블록으로 나누어 각 블록영상에 적용하는 블록분할법(block division method)과 전체 프레임 영상에 직접 적용하는 전 프레임법(full frame method)을 사용하였다. 최종적으로 본 제안방법의 유효성을 확인하기 위해 시뮬레이션 실험영상에 적용한 결과 양호한 결과를 나타냈다.

### 1. 서 론

영상처리에 의해 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상을 생성하는 기술을 초해상도(super resolution)라고 하며, 최근 주목을 받고있어 여러 가지 기법이 제안되고 있다. 고해상도 영상이 열화해서 저해상도 영상으로 생성되는 과정은 센서의 특성을 나타내는 저역통과필터와 선별성을 조합한 선형연산자로 모델화하여 이 선형방정식을 푸는 일에 의해 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상을 구할 수 있다. 그러나 저해상도 영상의 화소수는 고해상도 영상의 화소수보다 작기 때문에 이 문제는 그해가 일의적으로 정해지지 않아 불량설정 문제로 남게된다. 그래서 이 문제점을 극복하기 위하여 동일한 장면을 촬영한 복수매의 저해상도 영상을 조합해서 고해상도 영상을 생성하는 방법이 검토되고 있다[1]-[4]. 예를 들면, 첫째, 카메라의 위치를 이동시켜 여러 장의 저해상도 영상을 촬영, 둘째, 비디오 영상으로부터 선택한 여러 장의 프레임(frame)을 사용, 셋째, 초점을 변화시켜서 여러 장의 저해상도 영상을 촬영하는, 등의 방법에 의해 여러 장의 독립적인 저해상도 영상을 획득할 수 있다. 또한 최근에는 손실된 고주파성분을 학습데이터로부터 구하여 한 장의 저해상도 영상만으로 초해상도를 실현하는 방법도 제안되고 있다[5],[6].

본 논문에서는, 한 장의 저해상도 영상만을 이용하여 고해상도 영상을 생성하는 간단한 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 고해상도 영상과 저해상도 영상의 관계를 나타내는 선형방정식을 푸는 원리에 기초하고 있지만, 한 장의 저해상도 영상에서도 선형방정식의 미지수와 식의 수를 동일하게 하여 일의적으로 풀 수 있도록 하기

위해 이산코사인변환(DCT:Discrete Cosine Transform)에 의한 데이터 압축방법을 이용하고 있다. 그리고 제안하는 방법의 유효성을 확인하기 위해 시뮬레이션 실험을 행하였다. 또한 이산코사인변환을 초해상도에 응용한 연구가 있지만[7],[8] 이들 방법의 원리는 본 방법의 원리와 다른 것이다.

이하, 2장에서는 제안하는 방법의 원리와 그 구현방법에 대해 기술한다. 3장에서는 제안하는 방법을 테스트 영상인 레너(lena) 영상과 골드 힐(goldhill) 영상에 적용한 결과에 대해 기술한다. 4장에서는 결론 및 향후의 과제에 대해 기술한다.

### 2. 제안하는 방법

본 장에서는 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상을 생성하는 문제의 정식화를 행해 제안하는 방법의 원리와 구체적인 구현방법에 대해 기술한다.

#### 2.1 문제의 정식화

대다수의 경우, 센서의 물리적인 제약에 의해  $I \times J$  화소의 고해상도 영상  $x(i, j)$ 가 열화해서  $I/2^p \times J/2^p$  화소의 저해상도 영상  $y(i, j)$ 가 생성되는 과정은 아래의 식과 같이 모델화될 수 있다.

$$y(i, j) = \frac{1}{2^{2p}} \sum_{k=0}^{2^p-1} \sum_{l=0}^{2^p-1} x(i \times 2^p + k, j \times 2^p + l) \quad (1)$$

$$(i = 0, 1, \dots, I/2^p - 1; j = 0, 1, \dots, J/2^p - 1)$$

단,  $2^p (p \geq 1)$ 는 고해상도 영상과 저해상도 영상의 화소수의 비를 나타내는 정수로,  $I, J$ 는 공히  $2^p$ 로 나머지가 없이 나누어진 것으로 한다. 식 (1)은 고해상도 영상의  $2^p \times 2^p$  화소마다 농도값이 평균화되어 저해상도 영상이 생성되고 있음을 나타내고 있다. 고해상도 영상  $x(i, j)$ 와 저해상도 영상  $y(i, j)$ 의 농도값을 일렬로 정렬한 벡터를 각각  $\vec{x}, \vec{y}$ 라 하면, 식 (1)은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\vec{y} = A\vec{x} \quad (2)$$

단,  $\vec{x}$ 의 차원  $N$ 은  $N=IJ$ ,  $\vec{y}$ 의 차원  $M$ 은  $M=IJ/2^{2p}$ 이고,  $A$ 는 식 (1)에서 농도값의 평균화 조작으로부터 결정되는  $M \times N$  행렬이다. 저해상도 영상으로부터 고해상도를 생성하는 문제는 식 (2)의 모델에 기초하여  $\vec{y}$ 로부터  $\vec{x}$ 를 복원하는 문제라고 생각할 수 있다. 그러나,  $\vec{y}$ 의 차원  $M$ 은  $\vec{x}$ 의 차원  $N$ 보다 작은  $M=N/2^{2p}$ 이기 때문에 식 (2)의 해는 한 장의 저해상도 영상의 정보만으로 일의적으로 정할 수 없다.

### 2.2 제안하는 방법의 원리

본 논문에서는 식 (2)의 선형방정식의 해가 일의적으로 정해지지 않는 문제점을 극복하기 위해 이산코사인변환의 저차변환 계수로의 에너지 집중률이 높은 성질을 이용해서 고해상도 영상의 자유도를 축소하는 방법을 사 고한다. 이하에 그 사고법에 대해 기술한다.

고해상도 영상  $x(i, j)$ 의 형태II의 이산코사인변환 계 수를  $X(u, v)$ 로 하면 이산코사인변환의 역변환은 다음 식과 같이 정의된다.

$$x(i, j) = \sum_{u=0}^{I-1} \sum_{v=0}^{J-1} d_I(u) d_J(v) X(u, v) \times \cos\left(\frac{\pi(2i+1)u}{2I}\right) \cos\left(\frac{\pi(2j+1)v}{2J}\right) \quad (3)$$

$$d_I(u) = \begin{cases} \sqrt{1/I} & (u=0) \\ \sqrt{2/I} & (u \neq 0) \end{cases}$$

이산코사인변환은 영상의 에너지를 저차변환계수에 집중 시키는 성질이 있기 때문에,  $X(u, v)$ 의 저차성분  $L = \{ (u, v) \mid 0 \leq u \leq I/2^p - 1 \}$ 만을 사고하여 그 외의 고차 변환계수의 영향은 매우 작다고 간주한다. 그렇다면 식 (3)은 식 (4)와 같이 적은 수  $(u, v) \in L$ 의 범위인  $X(u, v)$ 를 이용해서 근사화할 수 있다.

$$x(i, j) \approx \sum_{u=0}^{I/2^p-1} \sum_{v=0}^{J/2^p-1} d_I(u) d_J(v) X(u, v) \times \cos\left(\frac{\pi(2i+1)u}{2I}\right) \cos\left(\frac{\pi(2j+1)v}{2J}\right) \quad (4)$$

무시하지 않은 저차변환계수  $X(u, v)$ 를 일렬로 정렬한 벡터를  $\vec{X}$ 라 하면 식 (4)는 다음의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\vec{x} = T\vec{X} \quad (5)$$

단,  $T$ 는 이산코사인변환의 역변환 기저로부터 결정되는  $IJ \times IJ/2^{2p}$  행렬이다. 식 (5)를 식 (2)에 대입하면 아 래의 식을 얻는다.

$$\vec{y} = AT\vec{X} \quad (6)$$

또한, 식 (1)과 (4)의 설정의 경우, 행렬  $AT$ 는 정칙이 되고있음을 나타낸다. 따라서 이하의 순서에 의해 저해 상도 영상  $\vec{y}$ 로부터 고해상도 영상  $\vec{x}$ 를 구할 수 있다.

[단계 1] 식 (6)을 풀어서  $\vec{y}$ 로부터  $\vec{X}$ 를 구한다.

[단계 2]  $\vec{X}$ 를 식 (5)에 대입해서  $\vec{x}$ 를 구한다.

제한한 방법의 키(key)는 이산코사인변환의 고차변환계 수를 무시하여 고해상도 영상을 저해상도 영상과 동일한 자유도로 표현함에 있다. 이산코사인변환의 에너지 집중 률이 매우 높기 때문에 고차변환계수를 무시한 것에 기 인한 고주파 성분의 결손은 식 (1)의 모델에 의한 영상 의 열화와 비교해서 대단히 작다. 여러개의 실제 영상에 대해서 실험적으로 이 사실을 확인하고 있다. 직교변환 으로서 형태II의 이산코사인 변환을 채택한 이유를 이하 에 기술한다. 이러한 목적으로 이용하는 직교변환으로서, 첫째, 특정 변환계수로의 에너지 집중률이 높아서 무시 한 변환계수의 영향이 작은 것, 둘째, 어떤 변환계수를 무시했을 때 행렬  $AT$ 의 정칙성을 보증할 수 있음이 명 확한 것, 셋째, 계산시간이 짧은 것 등의 세 가지 조건을 만족하는 것이 바람직하다. 첫 번째 조건을 만족하는 구 체적인 후보로서 데이터 압축과의 추측으로부터 형태II 의 이산코사인 변환, 웨이블릿 변환, KL 변환의 세 가지 가 고려되지만 웨이블릿 변환과 KL 변환은 두 번째 조 건을 만족할 수 없는 계산시간의 관점에서 이산코사인 변환에 뒤떨어지는 경향이 있기 때문에 이산코사인 변환 을 채택했다.

### 2.3 구현 방법

이산코사인변환을 변환부호화에 이용하는 경우 영상을 작은 블록으로 분할해서 블록단위로 처리하는 블록부호 화와 영상전체단위로 처리하는 부호화의 두 가지 방법이 있다. 양자의 구현 방법에 대해 기술하면,

우선, 블록분할법에서는 저해상도 영상  $\vec{y}$ 를 직사각형의 작은 블록  $\vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_B$ 로 분할해서 각 블록마다 각각 제안하는 방법을 적용해 고해상도 영상의 블록  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_B$ 를 구해, 이들을 결합하여 고해상도 영상  $\vec{x}$ 를 얻는다. 이 모양을 그림 1에 나타낸다. 이 구현 방법의

이점은 행렬  $AT$ 의 크기가 작게되고 동시에 전 블록에 공통적이기 때문에 역 행렬  $D=(AT)^{-1}$ 을 최초로 한 번만 계산해서 메모리에 확보하고 각 블록의 처리는  $\vec{x}_b = TD\vec{y}_b$  ( $b=1,2,\dots,B$ )로 표시되는 행렬의 승산만으로 끝나게 된다. 이하에 블록분할법의 데이터 처리순서를 나타낸다.

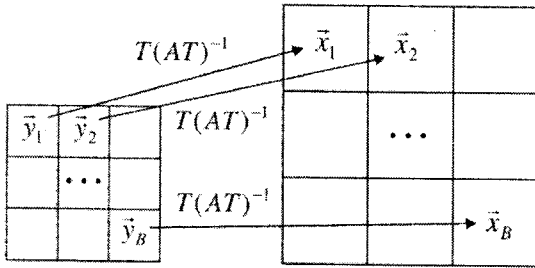


그림 1 블록분할법 데이터의 처리순서

▣ 블록분할법의 데이터 처리 순서

[단계 1] 블록의 크기로 결정되는 역행렬  $D=(AT)^{-1}$ 을 계산해서 메모리를 확보한다.

[단계 2]  $\vec{y}$ 를 작은 블록  $\vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_B$ 로 분할한다.

[단계 3] 각 블록  $\vec{y}_b$  ( $b=1,2,\dots,B$ )에 행렬의 승산  $\vec{x}_b = TD\vec{y}_b$ 를 행하여 고해상도 영상의 블록  $\vec{x}_b$  ( $b=1,2,\dots,B$ )를 구한다. 단,  $T$ 의 승산은 이산코사인변환의 고속알고리즘으로 행한다.

[단계 4] 작은 블록  $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_B$ 를 결합해서  $\vec{x}$ 를 얻는다.

위에서 기술한 순서에서 가장 계산량이 많은 것은 역행렬  $D$ 의 승산이다. 그러나 식 (1), (4)의 설정의 경우, 열화과정과 이산코사인변환 기저의 양쪽이  $i$  방향과  $j$  방향으로 분리가능하기 때문에  $D$ 도 분리가능하게 되어  $D$ 의 승산을 이하의 순서에서 고속으로 계산할 수 있다. 우선,  $i, j$  방향의 각 행과 각 열을 나타내는 1차원 신호에 대한 역 행렬  $D_H=(A_H T_H)^{-1}$ ,  $D_V=(A_V T_V)^{-1}$ 을 계산해 놓고 메모리를 확보한다. 그리고 다음 식과 같이 한 행씩 저해상도 영상  $y(i, j)$ 의  $i$  방향에  $D_H$ 를 곱하여 중간 영상  $z(u, j)$ 의  $j$  방향에  $D_V$ 를 곱해서 변환 계수  $X(u, v)$ 를 구한다.

$$y(i, j) \xrightarrow{D_H} z(u, j) \xrightarrow{D_V} X(u, v) \quad (7)$$

다음으로, 전 프레임법에서는 영상 전체에 제안한 방법을 적용한다. 이 경우, 행렬  $AT$ 의 크기가 크게되어

역 행렬  $D=(AT)^{-1}$ 을 엄밀히 계산해서 곱하는 것은 곤란한 일이다. 그래서 식 (6)의 선형방정식을 블록사영법(projections onto convex sets)을 이용해서 푸는 방법을 제안한다. 우선, 식 (6)의 선형방정식을 푸는 것은 다음의 두 식을 만족하는  $\vec{x}$ 를 구하는 것과 동가이다.

$$A\vec{x} = \vec{y} \quad (8)$$

$$X(u, v) = 0, \text{ (단, } (u, v) \notin L \text{)} \quad (9)$$

식 (8)은 복원 영상  $\vec{x}$ 가  $A\vec{x} = \vec{y}$ 를 반드시 만족해야 함을, 식 (9)는  $\vec{x}$ 의 무제한 이산코사인변환의 고차변환 계수가 반드시 0이 되어야함을 나타내고 있다. 식 (8)의 각 행  $(\vec{a}_m, \vec{x}) = y_m$  ( $m=1,2,\dots,M$ )을 만족하는  $\vec{x}$ 의 집합을  $C_1, C_2, \dots, C_M$ , 식 (9)를 만족하는  $\vec{x}$ 의 집합을  $C_{M+1}$ 로 하면 식 (6)을 푸는 것은 공통집합  $C = \bigcap_{m=1}^{M+1} C_m$ 의 요소를 구하는 문제로서 정식화할 수 있다. 단,  $\vec{a}_m$ 은 행렬  $A$ 의  $m$ 번째 행의 행 벡터,  $y_m$ 은 벡터  $\vec{y}$ 의  $m$ 번째의 요소,  $(\cdot, \cdot)$ 은 내적을 나타낸다. 블록사영법에서는 이러한 복수 블록집합의 공통요소를 다음과 같은 반복식으로부터 구한다.

$$\begin{aligned} \vec{x}^0 &: \text{ 임의적} \\ \vec{x}^{(k+1)} &= P_{M+1} P_M \dots P_1 \vec{x}^{(k)} \end{aligned} \quad (10)$$

단,  $P_m$ 은  $C_m$ 으로의 사영연산자임. 집합  $C_1, C_2, \dots, C_M$ 으로의 사영은 아래의 식으로 표시된다.

$$P_m \vec{x} = \vec{x} + \frac{y_m - (\vec{a}_m, \vec{x})}{\|\vec{a}_m\|^2} \vec{a}_m \quad (11)$$

$$(m=1, 2, \dots, M)$$

또한, 집합  $C_{M+1}$ 로의 사영은  $\vec{x}$ 를 이산코사인변환해서 고차변환계수를 0으로 설정한 후 이산코사인 역 변환하는 것으로 다음 식으로 표시된다.

$$P_{M+1} \vec{x} = T T^t \vec{x} \quad (12)$$

식 (11)과 식 (12)의 사영을 이용해서 식 (10)의 반복을 행함으로써 고해상도 영상  $\vec{x}$ 를 구할 수 있다. 전 프레임법의 데이터 처리 순서를 나타내면 아래와 같다.

▣ 전 프레임법의 데이터 처리 순서

[단계 1] 초기 영상  $\vec{x}^{(0,1)}$ 를 부여하고 반복회수를  $k=0$ 로 한다.

[단계 2] 다음 식에 의해  $C_1, C_2, \dots, C_M$ 으로 축차적 사

영을 한다.

$$\vec{x}^{(k,m+1)} = \vec{x}^{(k,m)} + \frac{y_m - (\vec{a}_m, \vec{x}^{(k,m)})}{\|\vec{a}_m\|^2} \vec{a}_m \quad (13)$$

( $m = 1, 2, \dots, M$ )

[단계 3] 다음 식에 의해 집합  $C_{M+1}$ 로 사영한다.

$$\vec{x}^{(k+1,1)} = TT^t \vec{x}^{(k,M+1)} \quad (14)$$

단,  $T, T^t$ 의 곱셈은 이산코사인변환의 고속알고리즘으로 행한다.

[단계 4] 수렴판정을 한다. 수렴하고있다면 종료하고, 그 외에는  $k \leftarrow k+1$ 로 해서 [단계 2]로 되돌아 간다.

### 3. 시뮬레이션 실험

512×512 화소인 두 종류의 테스트 영상 레나(lena)와 골드힐(goldhill)을 이용해서 시뮬레이션 실험을 하였다. 열화 과정은 512×512 화소인 고해상도 영상의 2×2 화소씩 농도값이 평탄화 되어, 256×256 화소인 저해상도 영상이 생성되는 것으로 하였다. 이것은 식 (1)의 모델에서  $I=J=512$ ,  $p=1$ 인 경우에 해당한다. 블록분할법에서 블록의 크기는 경험적으로 정하여 저해상도 영상의 8×8 화소를 1 블록으로 하였다. 또한, 전 프레임법에서 블록사영법의 반복회수는 경험적으로 정하여 10회로 하였다. 그리고 영상의 확대처리에서 가장 양호하게 이용되고 있는 쌍3차보간법과 제안하는 방법의 성능을 비교했다.

복원영상의 신호 대 잡음비(PSNR: Peak Signal Noise Ratio)를 표 1에, 골드힐의 복원 영상으로부터 중앙부(256×256 화소 범위)를 잘라낸 것을 그림 2에 나타낸다.

표 1 복원 영상의 신호 대 잡음비(dB)

구분	쌍3차 보간법	블록 분할법	전 프레임법
Goldhill	29.20	31.19	31.05
Lena	30.02	34.47	34.56

쌍3차보간법과 비교하여 제안하는 방법에서는 건물과 창 의 경계선 및 지붕과 나무의 텍스처에 포함되는 고주파 성분이 회복되어 보다 보기쉬운 영상이 생성되고 있다. 수치가 있어서도 제안한 방법에 의해 쌍3차보간법과 비교하여 신호 대 잡음비가 향상되고 있다. 레나와 골드힐에서 블록분할법과 전 프레임법의 신호 대 잡음비(PSNR



그림 2(a) 복원 영상(쌍3차보간법)



그림 2(b) 복원 영상(블록분할법)



그림 2(c) 복원 영상(전 프레임법)

그림 2 골드힐(Goldhill)에 대한 복원영상

)의 우열이 역전되고 있는 이유에 대해 다음과 같이 사고할 수 있다. 잘 알려진 바와 같이 이산코사인변환은 유한장 신호의 우측 반과 좌측 반을 차례로 반전시킨 후 주기신호로 간주하는 것으로부터 유도되고, 이산코사인 변환의 고차변환계수를 무시한 것에 기인하는 복원오차는 차례로 반전되었을 때 블록의 끝단에서 발생하는 고

