

## 6-Tap FIR 필터를 이용한 부화소 단위 움직임 추정을 통한

## 초해상도 기법

\*권순찬, \*유지상

\*광운대학교 전자공학과

\*honest\_soonc@kw.ac.kr, \*jsyoo@kw.ac.kr

## Super-Resolution Algorithm by Motion Estimation

## with Sub-pixel Accuracy using 6-Tap FIR Filter

\*Soon Chan Kwon, \*Jisang Yoo

Kwangwoon University

## 요약

본 논문에서는 연속된 프레임을 갖는 영상의 프레임간 움직임 추정 기법을 응용하여 고해상도 영상을 획득하는 초고해상도 기법을 제안한다. 기존의 단일 영상을 이용한 초고해상도 기법의 경우 영상에서의 고주파 대역을 찾기 위해 확률 기반의 다양한 방법이 제시되었으나 연산에 사용할 수 있는 정보가 제한적이라는 문제가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연속된 프레임을 이용한 다양한 초고해상도 기법이 제안되었다. 본 논문에서는 주어진 영상의 전, 후의 다수 프레임을 정하여 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 이용하여 프레임들의 부화소(sub-pixel)를 구한 뒤에, 부화소 정밀도의 움직임 추정을 통하여 보다 정확한 고주파성분을 복원하고자 한다. 실험을 통하여 제안하는 기법이 기존의 고등차수(bi-cubic)보간법 보다 선명한 영상을 획득할 수 있었다.

## I. 서론

영상을 확대하기 위해 기존 화소들 사이에 적절한 값을 삽입하는 기술을 영상 보간법(interpolation)이라 한다. 근래, 디지털 카메라 같은 디지털 영상 획득 매체의 개발로 고해상도 영상 보간의 중요성은 다양한 분야에서 점점 커지고 있다. 예를 들어 의료 분야에서 고해상도의 의료 영상은 의사들에게 있어 매우 중요하다. 이 분야에서 빈번히 사용되는 컴퓨터 패턴 인식의 수행 능력은 입력 영상의 해상도에 크게 좌우되기 때문이다.

영상 보간은 비월주사 방식의 영상을 순차주사 방식으로 전환하는 de-interlacing과 여러 장의 저해상도 영상들로부터 고해상도의 영상을 복원하는 초해상도(super-resolution) 기법과도 밀접한 관계가 있다[1, 2]. 디지털 영상 매체에 의해 획득된 영상은 고해상도 영상이 저주파 통과 필터를 통과한 후, 다운 샘플링 된 영상으로 모델링 될 수 있다. 이 과정을 거치면서 획득된 영상은 앨리어싱(aliasing) 현상에 의해 많은 고주파 성분의 정보가 손실된다. 따라서 이러한 고주파 성분을 효과적으로 복원하는 것이 영상 보간에서 가장 중요한 기술이다.

전통적인 영상 보간법은 저해상도 영상 화소의 가중치

합(weighted-sum)에 기반을 두고 있으며, 그 중 대표적인 방법으로 최단입점(nearest neighborhood) 보간법, 이중선형(bi-linear) 보간법, 고등차수(bi-cubic) 보간법 등이 있다. 이러한 방법들은 선형 필터의 개념으로 해석될 수 있다. 즉 저해상도 영상은 필터의 입력 신호가 되고 이 영상에 곱해지는 가중치들은 필터 계수가 되며, 전체적인 영상의 확대 과정은 저해상도의 입력 영상을 업 샘플링한 후 필터를 적용하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 필터 계수가 되는 가중치들의 주파수 특성을 확인함으로써 해당 보간법의 성능을 분석할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 가중치 기반 방법들은 대부분 저주파 통과 필터 특성을 가지고 있으므로 앨리어싱에 의해 손상된 고주파 성분을 효과적으로 복원할 수 없다.

이러한 문제를 개선하기 위해, 본 논문에서는 연속된 다수의 프레임을 이용하여 단일 영상을 사용한 경우보다 정확도가 높은 고주파 성분을 복원하고자 한다. 이 방법은 초해상도 기법을 적용하고자 하는 목표 영상의 앞, 뒤의 다수 프레임에서, 목표 영상 내 고주파 성분을 부화소(sub-pixel) 단위 움직임 추정을 통해 인접한 다른 영상들에서 찾아 고주파 성분 보간 시 이용하는 방법이다[3]. 보다 정확한 움직임 추정이 결과 영상의 화질을 결정하기 때문에, 정수단위가 아닌 부화소 정밀도의 움직임 추

정이 필요하다. 본 논문에서는 움직임 추정을 하기에 앞서 입력 영상들의 부화소를 구하기 위해 H.264/AVC의 6-tap FIR 필터를 사용한다[4]. 이 후 부화소 정밀도의 움직임 추정을 적용하여 목표영상에 정합시킨 후 D. Shepard에 의해 제안된 2차원 보간법[5]을 이용해 목표영상의 빈 공간을 보간하게 된다. 실험 결과 기존 제시된 이중선형 보간법, 고등차수 보간법을 사용한 결과 영상보다 주관적 및 객관적으로 약간 더 우수한 것을 확인할 수 있었다.

## II. 제안하는 기법

그림 1은 본 논문에서 제안하는 초해상도(super-resolution) 기법의 흐름도이다. 제안하는 기법에서는 우선 초해상도 기법을 적용하고자 하는 영상을 기준으로 하여 전, 후 각 2장의 프레임에 포함하여 총 다섯 장의 저해상도 영상을 입력으로 한다. 이 다섯 장의 영상에 부화소(sub-pixel)를 구하기 위해 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 적용한다[4]. 그 후 1/4 화소 단위에서의 움직임 추정으로 목표영상의 고주파 부분에 해당하는 부분을 다른 저해상도 영상에서 찾아, 이 점들을 이용하여 목표영상의 해상도를 증가시키게 된다.

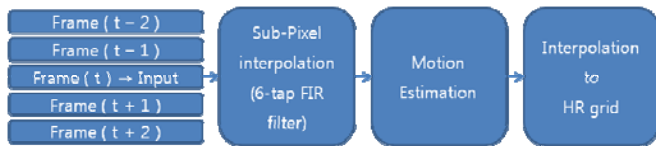


그림 1. 제안하는 기법의 흐름도  
Fig 1. Block diagram of the proposed algorithm

### 2.2 부화소 단위의 화소이동

사람이 육안으로 보는 영상은 연속적인 아날로그 신호이다. 영상신호를 컴퓨터 처리가 가능한 디지털 신호로 변환하기 위해서는 음성신호와 같이 신호를 디지털화 하는 과정이 필요하다. 이 과정에서 그림 2와 같이 이미지 센서 등과 같은 디지털 기기의 성능적 제한으로 저해상도 영상이 되는 과정에서 샘플링 간격으로 인한 필연적인 앨리어싱(aliasing)이 발생한다. 이로 인해 원 영상신호의 고주파 성분이 손실된다.

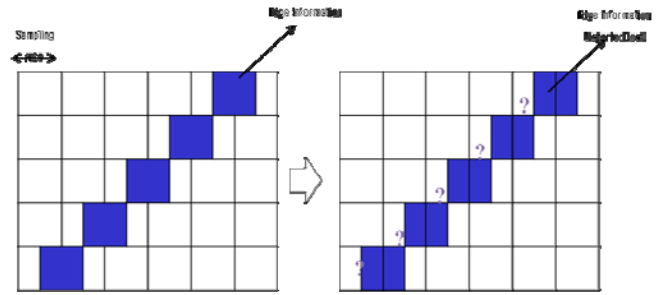


그림 2. ADC 과정에서 발생하는 앨리어싱  
Fig 2. Aliasing caused by analog to digital converting process

한 연속된 영상 내에서 장면의 전환 부분이 아니라 고정했을 때, 두 영상은 서로 근소한 차이만을 가질 것이다. 본 논문에서는 목표영상과 인접한 프레임에서 영상 내 객체가 부화소 단위로 이동하는 경우를 이용한다. 만약 목표 영상과 인접한 저해상도 입력 영상들에서 서로 정수 단위의 화소 이동만이 일어난다면, 해당 영상들로는 초해상도(super-resolution)기법 적용이 불가능하다 [3].

### 2.3 부화소 탐색을 위한 6-tap FIR 필터

2.2절에서 언급한 부화소(sub-pixel) 단위의 움직임 정보를 얻기 위해서는 우선 입력 영상들의 부화소를 찾아야 한다. 본 논문에서는 입력 영상들마다 H.264/AVC의 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 적용하여 부화소를 얻는다[4].

### 2.4 고해상도 화소 위치로의 보간

2.3 절의 내용을 적용하여 목표 영상을 기준으로 나머지 4개의 저해상도 입력 영상들에 대하여 1/4 화소 단위의 움직임 추정을 한다. 이 과정을 통하여 목표 저해상도 영상과 나머지 저해상도 영상들 간의 위치관계를 얻을 수 있다. 그러나 이와 같이 다른 입력 영상들과 정합(registration)만 완료된 상태에서는 목표 보간점의 화소 값으로 사용할 수 없다[3]. 정합된 화소 데이터를 참고로 하여 목표 보간점의 화소 값을 구하는 과정이 필요하다. 우선 목표 보간점을 기준으로 하여 가장 가까운 점들 중 몇 개를 선택할 것인지를 정해야 한다. 목표점의 보간에 사용되는 데이터점의 수는 결과 영상에 영향을 준다. 그 수가 너무 적으면 고주파성분을 보간하기에 정보가 부족하고, 반대로 그 수가 너무 많다면 결과적으로 구하고자 하는 성분과는 관계가 적은 점을 참고하게 되어 오히려 보간법의 정확도를 떨어뜨린다. 정합된 화소 값들을 목표점으로 보간하는 데에는 여러 방법이 있는데, 본 논문에서는 식 (1)에 나타낸 것과 같이 D. Shepard에 의

해 제시된 보간법을 사용한다[5].

$$f_i(\mathbf{P}) = \begin{cases} \frac{[\sum_{i=1}^N (d_i)^{-u} z_i] / [\sum_{i=1}^N (d_i)^{-u}]}{z_i} & \text{if } d_i \neq 0, \text{ for all } D_i \\ z_i & \text{if } d_i = 0, \text{ for some } D_i \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)는 2차원 공간에서 해당위치를 기준으로 하여 불규칙적으로 퍼져있는 점들과의 거리에 의한 가중치를 이용한 보간법이다. 식 (1)에서  $f_i(\mathbf{P})$  는 목표 보간점의 값,  $d_i$  는 각 목표 보간점과 데이터 점과의 거리,  $z_i$  는 해당 데이터 점의 값을 나타낸다.  $u$  는 보간 식의 계수로서 이 수치가 따라 결과 영상의 평탄함이 다르게 나타난다. 만약 수집된 데이터점 중 목표 보간점과의 거리가 0인 경우, 해당 값을 그대로 목표 보간점에 대입한다.

### III. 실험 조건 및 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 실험하기 위해 사용된 실험 영상은 352\*288 크기의 ‘Foreman’, ‘Mother-daughter’ 영상이다. 실험은 원본 영상을 176\*144 크기의 영상으로 다운 샘플링 한 후 각 실험 영상의 최초 10 프레임을 고등차수(bi-cubic) 보간법과 제안하는 기법을 사용하여 다시 원래 해상도로 복원 후 주관적, 객관적 결과를 비교하는 것으로 진행하였다. 객관적인 성능 비교를 위해 각 결과들의 원본과의 PSNR을 측정된 결과를 표 1, 표 2에 각각 나타내었다. 표 1과 표 2는 각각 8개, 12개의 정합된 데이터 점을 사용한 실험 결과를 나타낸다. 표 1과 표 2를 참고하면 제안된 기법이 실험 한 모든 조건에서 다른 보간법 보다 PSNR 수치가 높다는 것을 확인할 수 있다. 표 1과 표 2은 실험영상 마다 각 장면(sequence)으로 구분된 것이며, 다시 각 장면은 식 (1)의 계수  $u$ 의 변화에 따라 열 방향으로 나타내었다. 표 1과 표 2에서 각 장면의 첫 번째 행은 제안된 기법을, 두 번째 행은 고등차수 보간법을 사용한 PSNR 결과를 나타낸다. 그림 3은 결과 영상의 일부분을 6배 확대한 모습을 나타낸다. 그림 3의 왼쪽 열은 ‘Foreman’, 오른쪽 열은 ‘Mother-daughter’ 영상을 나타낸다. 여기서 첫 번째 행은 원본영상을, 두 번째와 세 번째 행은 순서대로 고등차수 보간법과 제안된 기법을 사용한 결과를 나타낸다.

표 1. 데이터 점 8개를 사용한 경우의 PSNR 측정결과  
Table 1. PSNR when using 8 data points

Sequence#	Foreman					Mother-Daughter				
	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	-0.01	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	-0.01
1	29.369	29.400	29.443	29.498	29.549	34.046	34.066	34.096	34.135	34.175
	28.437					32.331				
2	29.390	29.416	29.453	29.498	29.540	34.085	34.099	34.122	34.151	34.181
	28.456					32.354				
3	29.443	29.468	29.500	29.541	29.579	34.081	34.091	34.106	34.125	34.142
	28.471					32.350				
4	29.475	29.502	29.538	29.585	29.628	34.120	34.131	34.149	34.169	34.192
	28.466					32.393				
5	29.450	29.476	29.512	29.557	29.597	34.116	34.130	34.148	34.174	34.199
	28.470					32.394				
6	29.394	29.417	29.447	29.484	29.519	34.122	34.138	34.158	34.186	34.212
	28.389					32.370				
7	29.435	29.457	29.485	29.520	29.554	34.122	34.136	34.156	34.181	34.208
	28.402					32.394				
8	29.444	29.476	29.518	29.567	29.609	34.119	34.132	34.150	34.173	34.196
	28.469					32.367				
9	29.506	29.543	29.590	29.646	29.698	34.142	34.155	34.173	34.197	34.219
	28.461					32.383				
10	29.391	29.427	29.472	29.523	29.571	34.116	34.130	34.150	34.176	34.204
	28.340					32.361				

표 2. 데이터 점 12개를 사용한 경우의 PSNR 측정결과  
Table 1. PSNR when using 12 data points

Sequence#	Foreman					Mother-Daughter				
	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	-0.01	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	-0.01
1	29.401	29.447	29.511	29.578	29.625	34.078	34.111	34.153	34.203	34.245
	28.437					32.331				
2	29.418	29.458	29.511	29.571	29.618	34.104	34.128	34.161	34.200	34.231
	28.456					32.354				
3	29.468	29.507	29.554	29.608	29.646	34.099	34.118	34.142	34.170	34.193
	28.471					32.350				
4	29.504	29.545	29.598	29.656	29.646	34.139	34.159	34.184	34.216	34.240
	28.466					32.393				
5	29.480	29.520	29.575	29.631	29.697	34.136	34.157	34.188	34.224	34.253
	28.470					32.394				
6	29.420	29.454	29.498	29.548	29.676	34.145	34.169	34.201	34.240	34.268
	28.389					32.370				
7	29.461	29.493	29.536	29.581	29.617	34.138	34.161	34.189	34.225	34.251
	28.402					32.394				
8	29.481	29.528	29.587	29.650	29.694	34.136	34.156	34.186	34.217	34.242
	28.469					32.367				
9	29.547	29.601	29.668	29.739	29.788	34.160	34.181	34.208	34.241	34.266
	28.461					32.383				
10	29.435	29.487	29.551	29.618	29.669	34.137	34.159	34.189	34.225	34.254
	28.340					32.361				

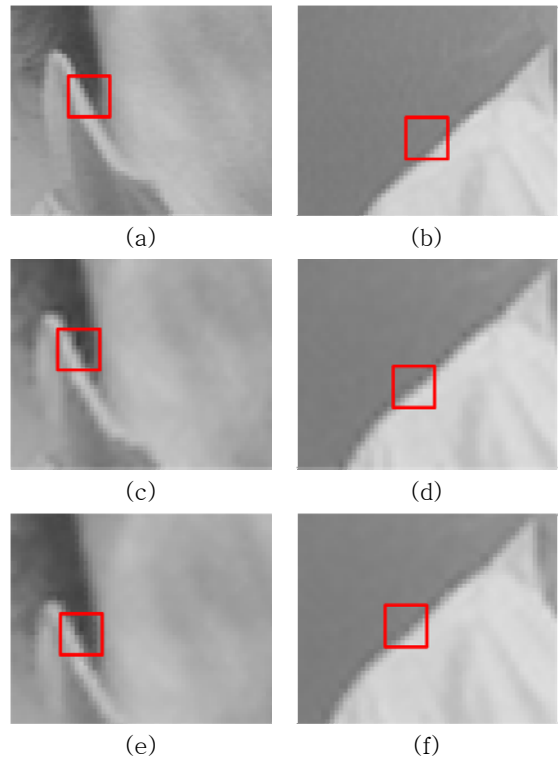


그림 3. 결과 영상의 부분 6배 확대영상  
(a) 원본 ‘Foreman’ (b) 원본 ‘Mother-daughter’  
(c), (d) 고등차수 (e), (f) 제안된 기법

fig 3. 6 times zoomed version of experimental images  
(a) original ‘Foreman’ (b) original ‘Mother-daughter’

(c), (d) bi-cubic (e), (f) proposed

## VI. 결 론

본 논문에서는 영상의 확대 시 기존의 고등차수(bi-cubic) 보간법을 이용하여 각 화소 사이의 빈 부분을 보간 하였던 것과 달리 연속된 다수의 저해상도 영상을 이용하여 비교적 정확한 고주파 정보를 얻는 것을 확인할 수 있었다. 제안된 기법에서는 움직임 추정 과정 전 저해상도 영상의 부화소(sub-pixel)를 얻기 위하여 H.264/AVC의 6-Tap FIR(finite impulse response) 필터를 사용하였다. 그 결과 고등차수 보간법을 사용하여 얻은 결과 영상보다 객관적, 주관적으로 더 나은 결과를 얻을 수 있었다. 정수단위에 비해 부화소 정밀도의 움직임 추정을 하면 비교적 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있지만, 6-Tap FIR 필터의 식을 보면 역시 존재하는 원본 화소에 가중치를 두어 부화소를 추측하는 선형 필터의 역할을 하기 때문에, 이 역시 정확한 부화소라고 보기는 힘들다. 또한 목표 영상과 인접한 프레임을 추출할 때, 영상 내에서 장면이 바뀌는 부분의 경우 연속된 저해상도 영상을 얻을 수 없기 때문에 또 제한이 있다. 앞으로 더 정확한 움직임 추정을 할 수 있는 방향과, 앞서 말한 제한을 줄이기 위해 적응적으로 처리가 가능한 대체 기법에 대한 연구가 필요하다.

### <감사의 글>

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0027640)

### <참 고 문 헌>

- [1] Freeman W. T., Jones, T. R., and Pasztor E. C. "Example-based super-resolution", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 22, pp. 56-65, 2002.
- [2] Fengung Qin., "An improved super resolution reconstruction method based on initial value estimation", *CISP, 2010 3<sup>rd</sup> International Congress*, vol. 2, pp. 826-829, Oct. 2010.
- [3] S.C. Park, M.K. Park, and M.G. Kang "Super-resolution image reconstruction: a technical overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, pp. 21-36, May 2003.
- [4] 유상화 "H.264/AVC 부화소 움직임 추정을 위한 블록 병렬 보간 필터 설계", *광운대학교 대학원 석사 논문*, 2010년.
- [5] D. Shepard "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data," in *Proceedings of the 23rd ACM national conference*, pp. 517-524, 1968.