1. B-spline 식

구하고자 하는 위치를 x라 하면 그 값은 f(x)라 할 수 있습니다. 또한, x의 좌측 데이터 값을 k, 우측 데이터 값을 k + 1이라 하고 x와 k의 차이를 t라고 합니다. 또 바로 옆 데이터 간의 위치의 차는 1입니다.

이 때 f(x)를 추정하면 다음과 같습니다.

f(x) = f(k-1) \* (1/6 \* (1-t)^3)

+ f(k) \* (2/3 + 1/2 \* t^3 – t^2)

+ f(k+1) \* (2/3 – 1/2 \* (t-1)^3 – (t-1)^2)

+ f(k+2) \* (1/6 \* t^3)

1. 코드 구성

텍스트이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

코드 구성 중에 바뀐 점은 없으나 B-Spline은 전처리 필터가 필요하므로 해당 함수를 만들어 주었습니다. 또한 LPF와 전처리 필터의 입력 값을 unsigned char 포인터가 아닌 float 포인터로 변경하였습니다.

이미지는 unsigned char 정수 값이고 각 필터 계산 결과, 그리고 S&H를 제외한 각 기법들의 계산 결과는 모두 실수 값입니다. 자료형을 자주 변환한다면 반올림 등으로 처리를 해준다 하더라도 에러가 더 발생할 수 밖에 없습니다.

따라서 에러를 줄이기 위해 lena 이미지를 받은 후 이를 float 포인터로 데이터를 옮긴 후 LPF 등 필터를 포함한 모든 과정을 계산한 후에 단 한 번, 마지막 저장하기 직전에만 형 변환을 해줌으로써 자료형 변환으로 발생하는 오류를 최대한 줄여보았습니다.

1. B-Spline 실행 결과

텍스트이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

전처리 필터의 탭 갯수는 15개를 사용했습니다. LPF는 여전히 cut off frequency는 각 0.40, 0.25, 탭 수는 11개를 사용했습니다. cubic convolution과 마찬가지로 매우 준수한 값이 나왔고, 미세하게 더 좋은 MSE값이 나왔습니다. 이 과정에서도 LPF를 사용한 경우가 에러가 더 큰데, 이는 제 생각과는 매우 다른 결과였습니다. 잦은 자료형 변환으로 일어날 수 있는 오류를 최대한 없앴음에도 이런 결과가 나오는 것은 너무 아쉬웠습니다.

한 편, 처음에는 MSE가 각 0.xx, 12.xx, 23.xx 정도로 나왔습니다. 생각보다 너무 MSE가 큰 값이 나와 이미지의 모든 부분을 float 형으로 계산해 자료형 변환으로 인한 오류를 최대한 줄여 계산했더니 위와 같은 더 좋은 결과가 나왔습니다.

사람, 여자, 실내, 하얀색이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명 사람, 여자, 실외, 모자이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

왼쪽은 1000으로 늘렸다가 원본으로 되돌린 사진, 오른쪽은 LPF를 사용해 400으로 줄였다가 원본으로 되돌린 사진입니다. 두 사진 모두 전처리 필터를 사용한 덕분에 흐릿해지거나 하는 부분 없이 잘 변환되었음을 알 수 있습니다.

만약 전처리 필터를 사용하지 않는다면 MSE도 위의 두 경우 모두 12, 29 정도로 치솟고, 화면도 다음과 같이 출력됩니다.

사람, 여자, 머리장식, 모자이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명 사람, 여자, 실외이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

머리카락 같은 선으로 표현되는 영역이 비교적 강하게 표현되었던 원본과 달리 더 차분해지고 부드러워진 모습으로 표현됩니다. 이는 원본과 동일하게 복구하고자 하는 목표에는 위배되며 전처리 필터의 역할을 수식이 아닌, 이미지 상에서 무엇인지 알 수 있는 부분입니다.

1. 자료형 변환 부분 수정

자료형 변환 부분을 수정한 후 앞서 공부했던 알고리즘들 역시 모두 다시 MSE 값을 출력해보았습니다.

의외로 별 차이가 없는 부분을 확인할 수 있지만, MSE는 줄어드는 방향으로 변화했습니다. 이전의 보고서에 적힌 부분에 비해 많게는 1, 적게는 0.3 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있었습니다. 자료형 변환을 수정한 결과, 다른 기법들 보다는 B-spline에 더 효과적이었습니다. (LPF를 사용하지 않고 400으로 변환 후 다시 키운 결과 : 23 -> 7)

1. 전처리 필터 탭 개수에 따른 MSE 추이 (LPF는 11개, 0.40)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 512x512->1000x1000->512x512 | 54.214 | 4.265 | 1.058 | 0.587 | 0.629 | 0.632 |
| 512x512->400x400->512x512 | 59.184 | 10.227 | 6.821 | 6.538 | 6.539 | 6.557 |
| 512x512->400x400->512x512  (no LPF) | 59.100 | 9.682 | 6.505 | 6.148 | 6.164 | 6.198 |

탭 수가 13개까지는 눈에 띄게 MSE가 줄다가 그 뒤로는 미미하게 줄어들기 시작하는 모습을 볼 수 있었습니다. 그 이후로는 오히려 약간 늘어나는 모습을 보였습니다.

1. LPF 탭 개수에 따른 MSE 추이 (전처리 필터는 15개, cut off frequency는 0.40, B-spline)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 512x512->400x400->512x512 | 7.512 | 6.775 | 6.539 | 6.501 | 6.357 | 6.371 |

전반적으로 탭 수가 늘어날수록 MSE가 줄어드는 모습을 볼 수 있습니다. 15 – 17 사이에서는 소폭 올라간 모습을 보였습니다. 다만, LPF 탭 개수에 따른 MSE의 차이가 크진 않으니 각자 메모리 사용량을 고려해 개수를 선택하면 될 것 같습니다.

1. LPF cut off frequency에 따른 MSE 추이 (전처리 필터는 15개, LPF는 11개, B-Spline)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
| 512x512->400x400->512x512 | 26.305 | 16.016 | 10.650 | 7.895 | 6.539 | 6.119 |

cut\_off frequency는 커질수록 MSE 값이 좋게 나왔습니다. 이는 512->400으로 줄일 때 샘플링으로 인해 주파수 영역에서 중첩되는 부분이 매우 적다는 것을 뜻하며 이로 인해 LPF 필터로 조금만 자를수록 MSE가 좋게 나오게 되는 것 같습니다. 또한 cut off frequency를 0.45로 설정하면 드디어 LPF를 사용한 경우가 LPF를 사용하지 않을 때 보다 MSE가 좋게 나오는데, 이는 위에서 했던 의심인 적절하지 못한 cut – off frequency로 인해 LPF를 사용했을 때 오히려 MSE가 높다는 부분이 합리적인 의심이었다는 점을 이야기해줍니다.

1. 정리

수정된 코드로 실행 결과 (S&H에서 LPF를 사용한 경우 이전 MSE가 196.8이었는데 이는 Bilinear부터 사용한 LPF 필터와 탭수와 cut off frequency가 다릅니다.)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | S&H | Bilinear | Cubic Conv | B-Spline |
| 512x512->1000x1000->512x512 | MSE : 182.545 | MSE : 2.953 | MSE : 0.148 | MSE : 0.629 |
| 512x512->400x400->512x512 | MSE : 224.266 | MSE : 15.611 | MSE : 7.671 | MSE : 6.539 |
| 512x512->400x400->512x512  (no LPF) | MSE : 231.988 | MSE : 14.872 | MSE : 6.952 | MSE : 6.164 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | S&H | Bilinear | Cubic Conv | B-Spline |
| 512x512->1000x1000->512x512 |  |  |  |  |
| 512x512->400x400->512x512 | 사람, 실외, 여자, 하얀색이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명 |  |  |  |
| 512x512->400x400->512x512  (no LPF) |  |  |  |  |
| 512x512->945x945 |  |  |  |  |
| 512x512->298x298 | 사람, 머리장식, 모자이(가) 표시된 사진  자동 생성된 설명 |  |  |  |
| 512x512->298x298  (no LPF) |  |  |  |  |