

-notch 필터 개선을 통한 인체 연속절단 영상 재현

Representation of Serially Sectioned Images of Entire Human Body by Improvement of Notch Filter

박기석, 하동환
중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과

Ki-Seok Park(smartpk@naver.com), Dong-Hwan Har(dhhar@cau.ac.kr)

요약

현재 VK(Visible Korean) 프로젝트의 인체 연속절단 영상을 이용한 해부학 분야의 다양한 연구가 진행 중이다. 이러한 관점에서 VK 영상 데이터의 정확한 인체 정보 재현이 날로 중요해지고 있다. 이와 관련하여 VK 영상의 시상면 및 관상면에 존재하는 절단무늬 제거를 위한 연구들이 있었다. 하지만, 진행 과정에서 급격한 주파수 변화에 따른 울림 현상이 공통으로 발생하였다. 또한, 절단무늬가 제거되지 않은 원본 영상과의 병합으로 절단무늬가 다시 재현되는 문제가 있었다. 따라서 본 논문에서는 먼저 FFT 및 notch 필터 적용에 효과적인 색공간을 찾고자 하였다. 이를 위해, RGB, LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간을 이용하였다. 다음으로, notch 필터 개선을 통해 울림 현상을 제거 및 완화하고자 하였다. 이를 검증하기 위해 원본 영상을 대상으로 하여 선행 연구와 제안 방법을 가시적인 접근과 객관적인 수치를 통해 비교하였다. 이러한 연구를 통해 더욱 실제 인체 정보를 유지한 데이터를 재현할 수 있어서 앞으로 VK 관련 연구에 긍정적으로 작용할 것으로 기대한다.

■ 중심어 : | 비저블 코리아 | 연속 인체절단 영상 | 고속 푸리에 트랜스폼 필터 | notch 필터 | 울림 현상 |

Abstract

Recently various anatomic researches by using serially sectioned images in VK(Visible Korean) project are in progress. In that sense, it is very important and necessary to represent images which keep information of the original anatomic images. In this regard, there are some studies to get rid of slice patterns in coronal and sagittal images. However, according to the rapid spatial frequency changes, the ringing effect occurred in common. In addition, because of merge with the original images which have splice patterns, those patterns appeared again. Therefore, in this study we found effective color space to apply to FFT(Fast Fourier Transform) and notch filter in getting rid of the slice patterns. To verify this, we used RGB, LAB, CMYK, HSV and HSL color space. Secondly we got rid of and alleviated the ringing effect by improving notch filter. To verify this, we compared proposed method with previous study on the basis of original images by visual method and objective values. These result images are expected to contribute to anatomy research in relation to VK project.

■ keyword : | Visible Korean | Serially Sectioned Image | Fast Fourier Transform Filter | Notch Filter | Rining Effect |

I. 서론

2000년부터 시작된 VK(Visible Korean) 프로젝트는 실제의 시신을 절단하여 다른 인종이나 국적이 아닌 한국인의 인체 내부지도도를 구축했다는 데 그 의의와 가치가 있다. 이를 통해 현재까지 개발된 MRI(Magnetic Resonance Images)와 CT(Computed Tomography)에서는 촬영할 수 없었던 미세한 간격(0.1mm)의 고해상도 컬러 이미지를 재현할 수 있었다.

현재 VK를 활용한 다양한 의료 영상 콘텐츠의 제작과 개발이 진행 중에 있다[1]. 가상해부 및 가상내시경 소프트웨어, 방사능 피폭량 측정을 위한 한국인 표준 복셀(voxel) 모델, 신체기관의 3차원 표면 영상, 대장내시경 시뮬레이터, 한국인 두개골 및 요추 천자 시뮬레이터 등 국내외적으로 다양한 분야에서 VK 영상 데이터를 활용하고 있다. 향후 VK 영상은 촉감형 가상현실 기술을 통한 가상해부 및 가상진단으로까지 그 영역을 확대할 계획이다[2].

이러한 관점에서 볼 때, VK 프로젝트에서 기존 인체 정보의 손상이나 왜곡이 없는 디지털 이미지 데이터의 확보가 더욱 중요해지고 있다. 이와 관련하여 대두한 문제가 인체절단 영상의 시상면(sagittal section) 및 관상면(coronal section) 구축 과정에서 발생하는 수평 방향의 절단무늬(slice pattern)이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform) 및 notch(notch) 필터를 이용한 연구가 있었다[3]. 이는 RGB 색공간의 VK 데이터를 채널별로 분리하여 각각의 채널에 FFT와 notch 필터를 적용한 후, 다시 채널별로 병합하는 방법이다. 하지만, 이러한 과정에서 공간 주파수 분포의 급격한 변화에 따른 울림 현상(ringing effect)[4]이 발생하고 특정 채널의 농도가 변하는 등의 문제가 있었다.

이후, 이를 보완하고자 Adobe Photoshop CS3에서 HSL(hue, saturation, lightness) 색공간을 이용한 절단무늬 및 울림 현상의 개선이 제시되었다[5]. 이는 원본 영상과 FFT 및 notch 필터를 적용한 영상을 각각 HSL 색공간으로 분리한 후, 울림현상이 존재하지 않은 원본 영상의 H, S 채널과 필터 적용 영상의 밝기 채널인 L

채널을 병합하는 방법이다. 이를 통해 기존의 방법[3]에 비해 울림 현상과 원본 영상과의 농도 차를 완화할 수 있었다. 하지만, HSL 색공간을 이용한 개선 방법[5]은 울림 현상이 그대로 재현된 결과 영상의 L 채널과 절단무늬가 존재하는 원본 영상의 H, S 채널을 병합하였기 때문에 근본적인 문제 해결에는 한계가 있었다.

이러한 선행 연구를 기반으로 하여 본 논문에서는 먼저 시상면 및 관상면 영상의 색공간별 절단무늬 개선 결과를 비교하였다. Photoshop CS4의 RGB, LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간을 이용하여 FFT 및 notch 필터 적용에 효과적인 색공간을 찾고자 하였다. 다음으로, 기존의 방법들에서 공통으로 발생한 울림 현상의 제거 및 완화에 대한 연구를 진행하였다. 울림 현상의 원인은 FFT 필터 처리 과정에서 사용된 notch 필터에 있다. notch 필터는 구축된 시상면 및 관상면 영상의 절단무늬를 제거하기 위해 사용된 마스크의 일종이다[8]. 이때, notch 필터의 불연속적인 형태 때문에 기존 공간 주파수의 분포에 급격한 변화를 가져왔고[4] 이는 울림 현상의 원인으로 작용하였다. 이러한 점을 기반으로 하여 본 논문에서는 선형적인 그라데이션(linear gradation) 형태의 notch 필터를 제안하였다. 제안 방법과 기존 방법을 비교함으로써 notch 필터 형태에 따른 울림 현상의 여부 및 발생 정도를 확인하고 효과적인 notch 필터 적용을 제시하고자 하였다.

이러한 연구를 통해 시상면 및 관상면의 절단무늬를 제거 및 완화하면서도 원본 영상의 정보를 최대한 유지한 디지털 이미지를 재현할 수 있을 것이며, 앞으로 진행될 인체절단 영상과 이를 활용하는 다양한 의료 영상 콘텐츠 제작에 개선된 결과를 가져올 것으로 기대한다.

II. 관련 연구

1. 인체 연속절단 영상의 제작 및 재정렬

2008년 12월 19일부터 2010 2월 5일까지의 겨울 기간에만 촬영한 이번 VK 작업은 여성의 뇌를 대상으로 한 VA(Visible Artery)와 여성의 전신을 대상으로 한 VF(Visible Female)로 구성되어 있다.

VA(1921년생 여성시신)의 경우, 뇌혈관의 구조와 형태를 보다 정확하게 관찰하기 위한 목적으로 시도되었다. 이를 위해 사전에 뇌에 이상이 없는 시신을 기증받아, MRI로 확인하는 과정을 거쳤다. 기증받은 뇌의 양쪽 온목동맥에는 붉은 색소가 포함된 고정액을 주입하였다. 주입된 고정액은 속목정맥을 열어서 배출시켰다. 그 결과 뇌의 혈관 영역이 붉게 염색되었다. 염색된 뇌는 여성 전신(26세, 길이 1,720mm, 몸무게 56kg, 위압)과 함께 -70℃의 냉동고에서 보관하였다. 냉동된 여성 뇌와 여성 전신은 포매상자로 옮겨졌는데 이때 뇌를 전신의 다리 사이에 위치시켰다. 다음으로 포매제(증류수 1,000L, 젤라틴 30kg, 메틸렌 블루 0.5kg)를 포매 상자에 넣고 다시 냉동 보관하였다. 냉동된 포매상자는 연속절단기(한원전기TM)를 이용하여 0.2mm 간격으로 절단하였다. 촬영에 사용된 카메라는 Canon EOS 1DS MARKIII로 해상도는 5,616 × 3,744 pixel로 설정하였다. [그림 1]은 VA와 VF 영상의 제작과정을 나타낸 것이다.

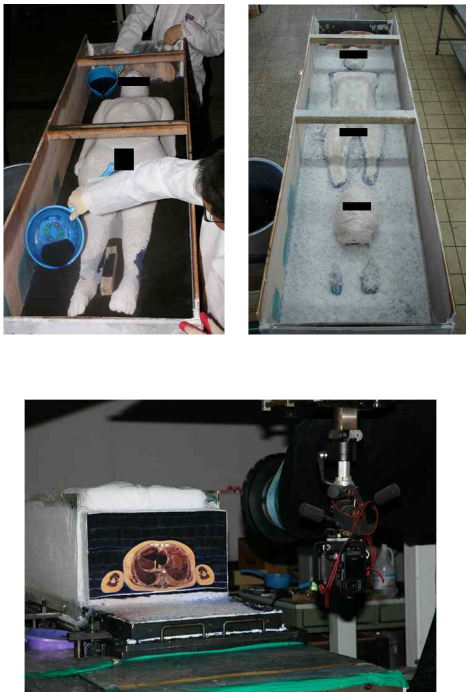


그림 1. 인체절단 영상 제작 과정

촬영된 절단면(axial) 영상은 총 5,901장으로 여성 전신의 다리 부분에 여성 뇌를 올린 상태로 촬영한 점을 고려하여 중복된 절단면까지 합한 전체 인체절단 영상은 6,143장에 달했다. 촬영과정에 발생한 절단면 내의 성애 및 칼날 자국 등은 Photoshop CS4를 통해 보정하였다. 보정된 전체 절단면 영상을 Exslice Ver 2.5를 이용하여 1 pixel 단위로 열(row)과 행(column)으로 재구성함으로써 시상면 및 관상면 영상을 출력할 수 있었다 [그림 2].

다음으로, 출력된 시상면 및 관상면을 참고하여 절단면 영상을 정렬하는 과정을 반복적으로 거쳤다. 위의 과정들을 통해, 재정렬된 절단면 영상의 전체 영역을 대상으로 Exslice Ver 2.5를 실행시킴으로써 최종 시상면 및 관상면 영상을 구축할 수 있었다[그림 3][6][7].

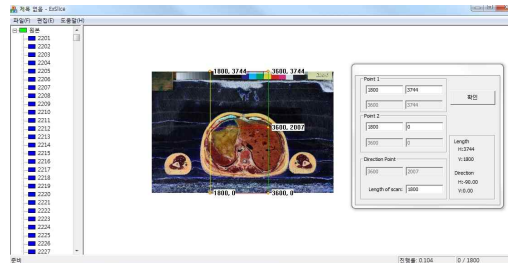


그림 2. Exslice Ver 2.5 GUI

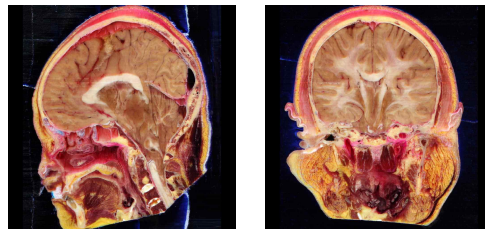


그림 3. VA의 재구성된 영상.
시상면(좌) 및 관상면(우)

2. FFT를 통한 주파수 변환

푸리에 변환(Fourier Transform)은 공간 영역에서의 신호 파형을 주파수 영역으로 변환하는 알고리즘이다. 이를 통해 모든 영상 데이터는 주파수 성분으로 변환할 수 있다. 이때, 영상의 신호는 방향이 두 곳인 2차원 신

호이므로 식(1)과 같이 2차원 연속 푸리에 변환을 수행해야 한다. 2차원 연속 푸리에 변환은 가로축 및 세로축 방향으로 각각 1차원 연속 푸리에 변환을 수행하는 것을 뜻한다. 식(1), 식(2)의 $f(x, y)$ 는 공간 영역에서의 영상 신호를 나타내고, $F(u, v)$ 는 주파수 영역에서의 영상 신호를 의미한다. u 는 공간 영역에서 x 방향의 주파수 성분이고, v 는 공간영역에서 y 방향의 주파수 성분이다. 주파수 영역의 영상 신호는 식(2)의 과정을 통해서 공간 영역의 영상으로 역변환이 가능하다[4].

$$\mathfrak{F}\{f(x, y)\} = F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y)e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (1)$$

$$\mathfrak{F}^{-1}\{F(u, v)\} = f(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} F(u, v)e^{j2\pi(ux+vy)} du dv \quad (2)$$

푸리에 변환은 실제 디지털 영상에서는 이산 푸리에 변환인 DFT(Discrete Fourier Transform)를 통해 수행된다. 여기서도 모든 영상의 신호는 가로와 세로 방향으로 구성된 2차원 신호이기 때문에 2차원 DFT를 통해 x 와 y 방향의 주파수 영역으로의 변환이 이루어진다. $f(x, y)$ 는 $M \times N$ 크기의 영상을 뜻한다. 식(3)을 통해, $f(x, y)$ 를 구성하는 x, y 의 방향의 데이터는 u 와 v 방향의 주파수 영역으로 변환된다. u, v 은 역변환인 식(4)를 통해, x 와 y 방향의 공간 데이터로 변환된다[8].

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)}$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v)e^{j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (3)$$

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)}$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v)e^{j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (4)$$

그러나 실제 DFT는 연산량이 많고 복잡하여 속도가 늦고 처리시간이 긴 단점이 있다. 그리하여 FFT(Fast Fourier Transform)을 통해 DFT 연산에서 반복적인 계산을 제거함으로써 빠르게 변환을 수행할 수 있다. 나비 연산(butterfly operation)은 이와 같은 과정을 도

식화한 것이다[그림 4]. FFT를 통해 디지털 영상을 주파수 영역의 영상으로 변환한 것을 푸리에 스펙트럼(spectrum)이라고 한다[그림 5]. 여기서 생성된 스펙트럼의 각 화소는 공간주파수의 변화를 의미하는데, 공간영역에서 인접 픽셀과의 밝기 변화가 크고 빠를수록 고주파, 밝기 변화가 작고 느릴수록 저주파로 분류할 수 있다. 재현된 스펙트럼의 모서리 부분으로 갈수록 고주파 성분이 분포되어 있고 중앙으로 갈수록 저주파 성분이 모여 있으며 정중앙은 DC 성분이다[4].

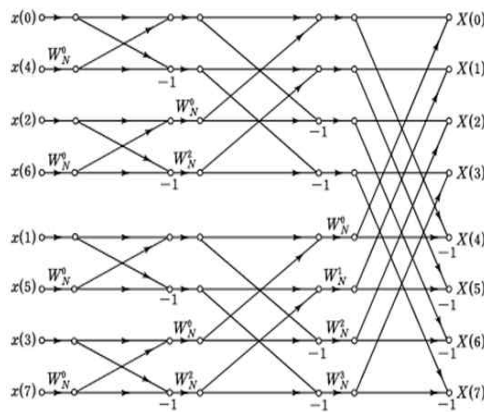


그림 4. 8점 FFT의 나비 연산

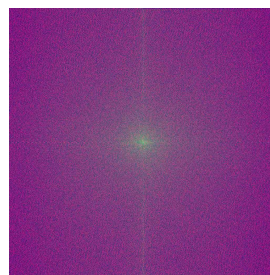


그림 5. VK 영상의 푸리에 스펙트럼

III. 연구 방법

1. VK 영상의 울림 현상 발생 배경 및 원인

시상면 및 관상면 영상에 발생한 절단무늬는 공통으로 수평 방향이다. 공간 영역의 수평 성분은 푸리에 스

펙트럼 상에서 중심을 기준으로 수직 방향으로 분포한다. 이러한 점을 기반으로 하여 기존의 연구들에서는 스펙트럼 중심 영역에서 수직 방향으로 밝기 수치가 0(zero)인 검은색 마스크를 삽입하였다[3][4]. 이를 통해 절단무늬의 원인이 되는 특정 주파수 영역을 차단함으로써 기존 영상에서 대두하였던 슬라이스 패턴을 제거할 수 있었다[그림 6]. 즉, 이때 사용된 검은색의 notch 필터는 특정 대역의 주파수를 차단하여 명암도 영상으로의 변환을 막는 일종의 BRF(Band Reject Filter) 내지 BSF(Band Stop Filter)로 작용하였다[8].

하지만, 이러한 불연속적인 notch 필터의 적용은 원본 영상의 공간 주파수 흐름과 분포에 급격한 변화를 가져왔다[4]. 그 결과, 기존의 연구들에서 울림 현상이 공통으로 발생하였다[3][5].

2. HSL 색공간을 이용한 연속절단 영상 개선

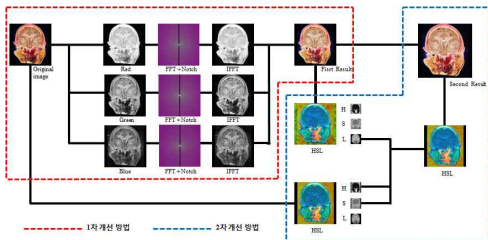


그림 6. 기존 개선 방법

울림 현상을 개선하기 위해 HSL 색공간을 이용한 연구가 제시되었다[5]. 이는 FFT 및 notch 필터를 통해 수평 방향의 절단무늬가 제거된 영상[3]의 L 채널을 추출하여 원본 영상의 H, S 채널과 병합하는 방법이다[그림 6, 2차 개선]. 다시 말해서, 이 방법은 2차 개선 영상의 H 채널과 S 채널을 울림 현상이 전혀 발생하지 않은 원본 영상의 H, S 채널로 대체하여 1차 개선 영상의 문제점을 극복하고자 한 것이다. 이를 통해 1차 개선 영상보다는 울림 현상을 완화할 수 있었다. 하지만, 울림 현상이 완전히 제거되지 않은 결과 영상의 밝기 채널을 병합하였기 때문에 원본 영상의 훼손이나 왜곡이 여전히 존재하였다[그림 7]. 또한, 원본 영상의 채널들을 병합하는 과정에서 원본에 발생하였던 수평 방향의 절단무

늬도 같이 병합되어 절단무늬가 다시 재현되는 문제가 발생하기도 하였다[그림 8].

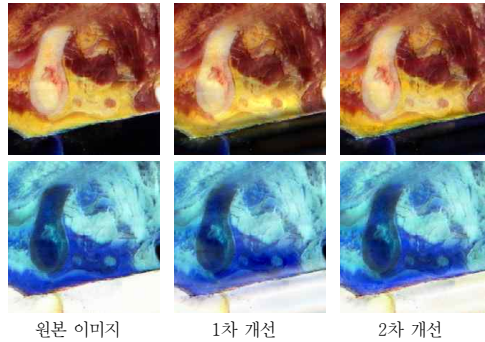


그림 7. 기존 방법의 울림 현상 비교
RGB(위), Invert(아래)

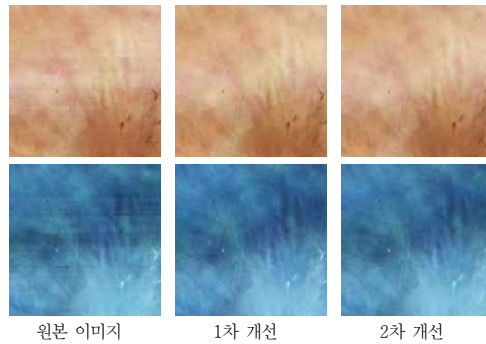


그림 8. 기존 방법의 절단무늬 개선 비교
RGB(위), Invert(아래)

3. 선형적인 그라데이션 형태의 notch 필터 적용

본 논문에서는 기존 연구에서의 notch 필터 적용[3][5]을 개선함으로써 FFT 필터를 적용한 색공간에서 공통으로 발생한 울림 현상을 해결하고자 하였다. 기존의 불연속적인 notch 필터의 적용은 원본 영상의 공간 주파수 흐름과 분포에 급격한 변화를 가져왔다고 볼 수 있다. 그 결과, 기존의 개선 영상에서 울림 현상이 공통으로 발생하였다. 이를 기반으로 하여 본 논문에서는 기존의 불연속적인 형태가 아닌 선형적인 스펙트럼 형태의 notch 필터를 푸리에 스펙트럼에 적용하였다[그림 9]. 이를 위해, Photoshop CS4의 Gradient tool에서 Linear

gradient를 이용하였다. 제안된 낫치 필터는 기존 공간 주파수의 급격한 변화를 완화하고 주파수 흐름을 점진적으로 차단하는 역할을 수행할 것으로 예상하였다.

본 논문의 실험에서는 제안한 낫치 필터를 적용하여 기존의 방법과 비교함으로써 울림 현상의 개선에 대해 가시적이고 객관적인 측면에서 검증하고자 하였다.

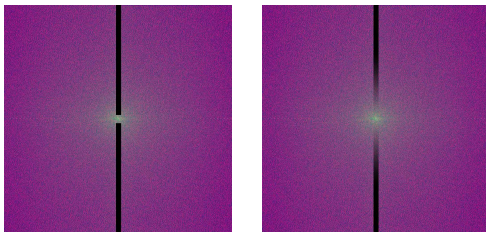


그림 9. 낫치 필터 형태 비교
기존 낫치 필터(좌), 제안 낫치 필터(우)

IV. 연구 실험

1. 실험대상

본 논문의 전반적인 실험 사항은 다음과 같다[표 1].

표 1. 실험 사항

구분	내용
대상	VA(Visible Artrey) 시상면 영상 및 관상면 영상
파일 색공간	RGB 8 bit
파일 포맷	BMP 파일
해상도	1024 x 1024 (pixel)
낫치 필터 크기	중심에서 수직방향으로 23 x 1024 pixel, 가운데 부분 23 x 37 pixel 삭제
사용 프로그램	Adobe Photoshop CS4, MSU Video Quality Measure Ver. 1.2
비교 및 측정 방법	Blending Mode의 Difference, PSNR

본 논문의 실험 대상은 2010년 2월부터 5월까지 정렬과 보정 작업을 수행한 VA의 시상면 및 관상면 영상이다. VA는 뇌혈관의 형태와 조직을 보다 정밀하게 관찰하기 위해서 진행된 VK 프로젝트이다. 이를 위해 뇌 부위의 동맥에 붉은 색소를 주입하여 염색하였다. Exslice Ver 2.5를 통해 출력된 시상면 및 관상면 영상

의 파일 포맷은 BMP 파일이고 효과적인 FFT 필터 적용을 위하여 밝기 수치가 0인 검은색 영상을 추가함(zero-padding)[8]으로써 최종 해상도는 1024 X 1024(pixel)로 하였다. 실험 전반에 사용된 낫치 필터는 스펙트럼 영상의 중심을 기준으로 수직 방향으로 위치하였다. 크기는 23 x 1024 pixel이며 DC 성분 때문에 가운데 영역은 23 x 37 pixel만큼 제거되었다.

2. 실험 순서

먼저 색공간별 수평 방향의 절단무늬 개선 결과를 비교하였다. Photoshop CS4의 RGB, LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간에 각각 FFT 및 낫치 필터를 적용하였는데 이때, 사용된 낫치 필터의 크기와 범위는 모두 동일하게 설정하였다. 이를 통해 수평 방향의 절단무늬를 제거에 가장 효과적인 색공간을 알아보고자 하였다. 다음으로, 낫치 필터의 형태에 따른 기존 방법 및 제안 방법의 결과를 상호 비교함으로써 울림 현상의 개선 정도를 가시적이고 객관적으로 분석하였다. 본 실험의 순서는 [그림 10]과 같다.



그림 10. 실험 순서 및 내용

3. 실험 방법

3.1 Blending Mode의 Difference

Blending Mode의 Difference는 선택된 두 레이어 중 가장 밝은 하이라이트를 지닌 컬러에서 나머지 컬러와의 차이를 출력하는 모드이다[9]. 다시 말해, 레이어의 각 채널에서 정보를 읽고 두 레이어의 혼합된 컬러(blend color)에서 베이스 컬러(base color)를 빼주거나 베이스 컬러에서 혼합된 컬러를 빼는 과정을 거친다[10]. 두 영상의 밝기 차이가 없을수록 재현된 이미지는 검은색에 가까워진다. 이는 곧 재현된 영상이 검은색에 가까울수록 두 영상의 차이가 없음을 의미한다.

본 실험에서는 원본 영상에 대비한 기존 방법 및 제안 방법의 Difference 결과를 비교하고자 한다.

3.2 PSNR

PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 영상처리 분야에서 범용적으로 사용되는 객관적 화질 측정 방법이다. 이는 서로 다른 두 영상에 대한 픽셀 간의 차이를 측정 한 후 최대 신호 출력을 이용하여 수치화한 것이다[11].

PSNR 및 MSE(Mean Square Error)의 연산과정은 식(5)와 같다. 여기서 MSE는 동일 위치에 있는 픽셀의 차이를 제공하여 모두 합한 결과를 픽셀 개수만큼 나누면서 연산된 수치이다. PSNR의 수식에서 MAX는 최대 신호 값으로 영상처리 분야에서 8bit 영상을 기준으로 255로 고정한다. PSNR의 측정 단위는 db이며, 연산된 수치가 높을수록 두 영상의 차이가 적다고 할 수 있다. 측정된 수치가 30db이 넘으면 두 영상의 차이를 육안으로 구분하거나 분석하기 어렵다고 한다[12].

$$\begin{aligned}
 MSE &= \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \\
 PSNR &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \\
 &= 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (5)
 \end{aligned}$$

V. 결과

1. 색공간별 수평 방향의 절단면 개선 비교

색공간별 절단면 개선 결과를 비교하기 위해 RGB, LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간을 이용하였다. RGB 색공간을 제외하고 나머지 색공간은 모두 밝기 채널을 포함하고 있다.

이러한 점을 고려하여 먼저 [그림6, 2차 개선]과 같은 과정으로 밝기 채널에만 FFT 및 notch 필터를 적용하였다. [그림 11]는 각각의 색공간에 동일한 notch 필터를 사용한 시상면 영상이다. 원본 영상에서 수평 방향 절단면이 발생한 곳을 비교해 보았다. RGB 색공간이 절단면 제거 및 완화에 가장 효과적이었다. RGB를 제외한 LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간은 정도의 차이가 있었지만 모두 절단면이 다시 재현되는 결과가 나타났다. RGB 색공간의 경우, 밝기 채널이 따로 존재 하지 않으므로 모든 채널에 FFT 및 notch 필터가 균일

하게 적용 가능하다. 따라서 모든 채널에서 수평 방향의 절단면을 개선한 영상을 재현할 수 있었다.

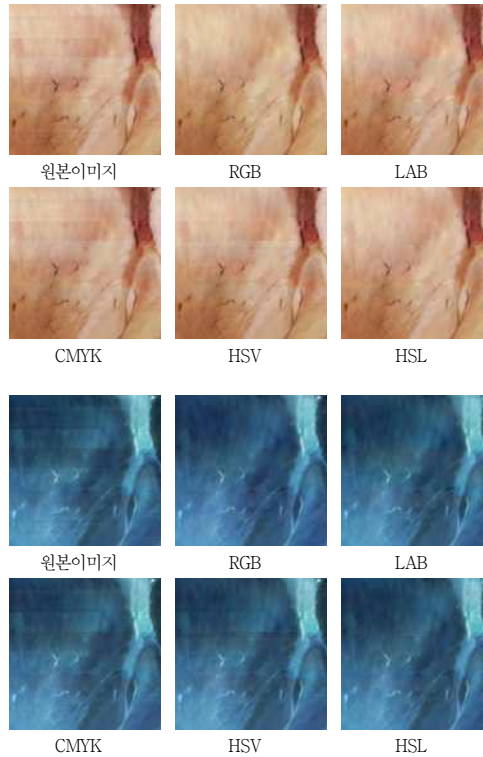


그림 11. 색공간별 절단면 개선 비교
RGB(위), Invert(아래)

다음으로 LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간 각각의 모든 채널에 FFT 및 notch 필터를 적용해 보았다. HSV 및 HSL 색공간은 이미지의 색 정보가 [그림 12]와 같이 매우 왜곡되거나 훼손되는 결과가 나타났다. 이에 반해 LAB와 CMYK 색공간의 경우, 육안상 극명하게 드러나는 VK 영상의 손상은 발견하기 어려웠다. 단, LAB, CMYK 색공간 각각의 모든 채널에 FFT 및 notch 필터를 적용함으로써 절단면 현상이 더 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

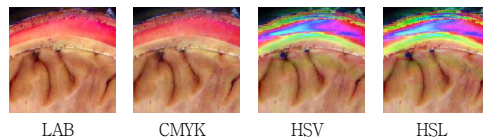


그림 12. 색공간별 모든 채널에 FFT 및 notch 필터 적용

하지만, PSNR 측정에서 [그림 13]과 같이 기존의 RGB 색공간을 이용한 방법보다 더 낮은 수치를 기록했다. 결론적으로 RGB 색공간에서의 FFT 및 notch 필터 적용[3]이 연속 인체절단 영상의 수평 방향의 절단 무늬 개선에 가장 효과적임을 알 수 있었다.

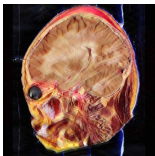
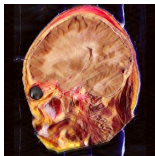
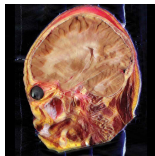
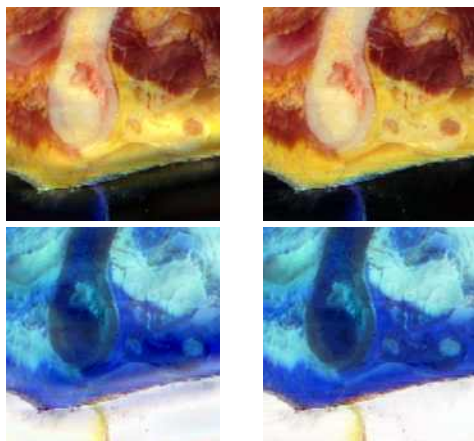
		
RGB	LAB	CMYK
28.1967	26.2392	27.5769

그림 13. 색공간별 PSNR 수치 비교

2. 기존 및 제안 notch 필터의 울림 현상 비교

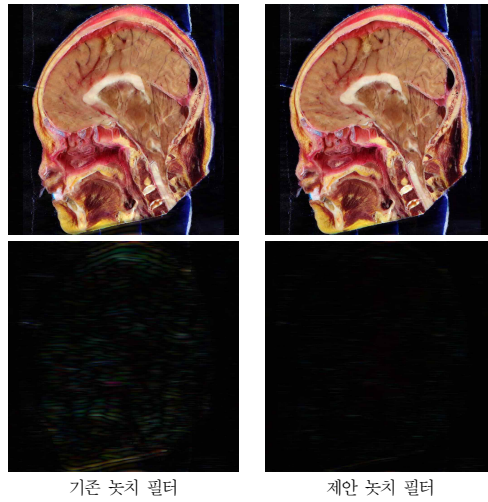
VA의 시상면을 원본 영상으로 하여 기존의 RGB 색공간에서의 불연속적인 notch 필터 적용[3]과 제안된 notch 필터 적용 결과를 각각 비교해 보았다. 인체 이미지의 테두리 부근에서 울림 현상의 발생 여부 및 분포를 볼 때, 기존 방법보다 제안 방법이 더욱 개선된 결과를 재현하였음을 시각적으로 확인할 수 있었다[그림 14].



기존 notch 필터 제안 notch 필터

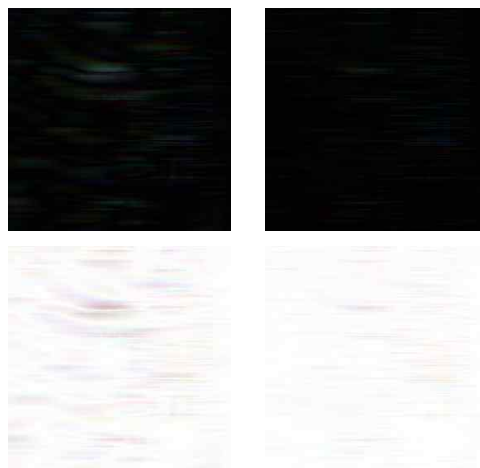
그림 14. 결과 영상 비교
RGB(위), Invert(아래)

다음으로, Difference를 이용하여 기존 방법 및 제안 방법을 각각 비교해 보았다[그림 15]. 기존 방법보다 제안 방법이 확연하게 검은색에 근접한 결과를 도출하였다. 반대로 불연속적인 형태의 notch 필터 적용은 제안 방법보다 원본과의 밝기 차이가 큰 결과를 재현했다. 이는 제안 방법의 적용이 기존 방법보다 원본과의 밝기 차이를 명백하게 감소시켰다는 것을 의미한다.



기존 notch 필터 제안 notch 필터

그림 15. Difference 영상 비교
RGB(위), Invert(아래)



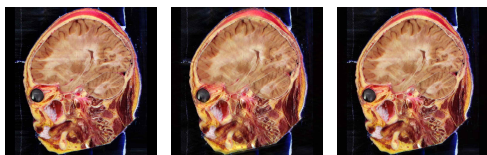
기존 notch 필터 제안 notch 필터

그림 16. 절단무늬 영역의 Difference 영상 비교
RGB(위), Invert(아래)

또한 [그림 16]과 같이, 제안 방법의 Difference 영상은 원본 영상 내 존재하는 절단무늬와 일치하는 수평적인 형태가 대부분이다. 이에 반해, 기존 방법은 절단무늬의 개선된 영역에서도 울림 현상이 재현되었다. 이를 통해 불연속적인 notch 필터의 적용은 울림 현상을 유발한다는 것을 판단할 수 있었다.

끝으로 원본 영상을 대상으로 하여 기존 방법 및 제안 방법의 PSNR을 측정해 보았다. 제안한 notch 필터의 적용으로 PSNR 수치가 이전보다 상승하였다[그림 17]. 즉, 선형적인 그라데이션 형태의 notch 필터 적용으로 울림 현상이 개선됨에 따라 원본과의 차이가 감소하였다는 것이 수치상으로 증명되었다.

결론적으로 가시적인 비교와 Difference 및 PSNR 수치에 근거하였을 때, 제안 방법을 통한 notch 필터의 적용이 울림 현상을 개선하였고 원본과의 유사도를 객관적으로 증가시켰다고 할 수 있다.



원본 영상	기존 notch 필터	제안 notch 필터
100	28.1967	35.96183

VI. 결론

본 논문에서는 시상면 및 관상면 영상의 절단무늬 제거에 효과적인 색공간을 찾고 notch 필터의 개선을 통해 기존 연구에서 공통으로 발생하였던 울림 현상을 제거 및 완화하였다[그림 18]. Photoshop CS4의 RGB, LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간에 동일한 FFT 및 notch 필터를 적용하였을 때, RGB 색공간이 수평 방향의 절단무늬 개선에 가장 효과적인 결과를 재현하였다. LAB, CMYK, HSV, HSL 색공간의 경우, 밝기 채널 이외의 채널에 FFT 및 notch 필터를 적용하면 색 정보가 손상 및 훼손되거나 RGB 색공간에 비해 PSNR 수치가 낮은 결과를 도출하였다. notch 필터 개선의 경우, 선형적인

그라데이션 형태의 검은색 마스크를 푸리에 스펙트럼에 적포한 [그림 16]과 같이, 제안 방법의 Difference 영상은 원본 영상 내 존재하는 절단무늬와 일치하는 수평적인 형태가 대부분이다. 이에 반해, 기존 방법은 절단무늬의 개선된 영역에서도 울림 현상이 재현되었다. 이를 통해 불연속적인 notch 필터의 적용은 울림 현상을 유발한다는 것을 판단할 수 있었다.

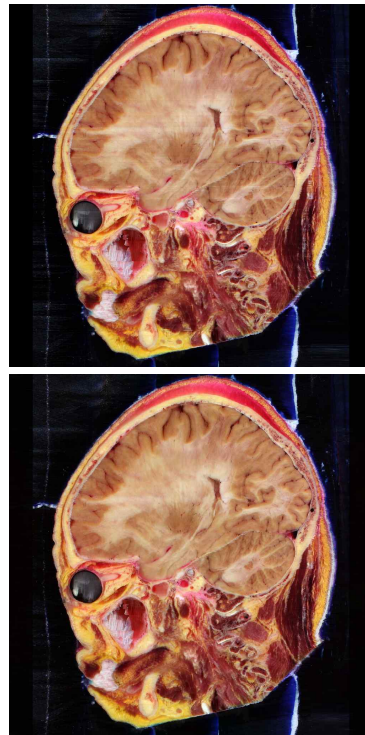


그림 18. 최종 결과 비교
원본 영상(위), 제안 영상(아래)

참 고 문 헌

- [1] 김대중, 안성수, 박형선, 이승복, “한국인의 인체 영상 데이터에 대한 활용 사례 연구”, 한국콘텐츠학회지 종합학술대회 논문집, 제5권, 제1호, pp.401-404, 2007.
- [2] 이상호, 이승복, 정민석, “한국인의 인체정보의 활

용사례 소개”, 한국콘텐츠학회지, 제7권, 제3호, pp.44-52, 2009.

- [3] 조두희, 하동환, “단방향 고주파 성분 제거를 통한 인체 연속 절단면 영상의 개선에 관한 연구”, 한국사진학회지, 제17호, pp.102-110, 2007.
- [4] 신종홍, 장선봉, 지인호, *디지털 영상처리 입문 : 오감으로 익히는 3차원 입체 학습*, 서울: 한빛미디어, 2008.
- [5] 최영호, 하동환, “HSL 색공간을 이용한 인체 연속 절단면 영상의 개선에 관한 연구”, 한국사진학회지, 제19호, pp.23-29, 2008.
- [6] 박진서, 정민석, 김진용, 박형선, “온문의 연속절단면 영상 만들기(첫째 보고 : 포매하고 연속 절단하는 방법)”, 대한해부학회지, 제35권, 제4호, pp.297-304, 2002.
- [7] J. Park, M. Chung, S. Hwang, Y. Lee, D. Har, and H. Park, “Visible Korean Human: Improved Serially Sectioned Images of the Entire Body,” IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, Vol.24, No.3, pp.352-360, 2005.
- [8] R. Gonzalez, R. Woods, 유현중, 김태우, 오춘석 역, *디지털 영상처리*, 서울 : 피어슨에듀케이션코리아, 2009.
- [9] M. Evening, 조윤철 역, *Adobe Photoshop CS3 for Photographers*, Focal Press, 2008.
- [10] http://help.adobe.com/en_US/Photoshop/11.0/WSfd1234e1c4b69f30ea53e41001031ab64-77e9a.html
- [11] D. Turaga, Y. Chen, and J. Caviedes, “No reference PSNR estimation for compressed pictures,” Signal Processing: Imaging Communication, Vol.19, No.2, pp.173-184, 2004.
- [12] P. Pattanasethanon and B. Attachoo, “Linear Filtering for Optimized Approach in Satellite Image Enhancement,” Journal of Computer Science, Vol.6, No.10, pp.1101-1007, 2010.

저 자 소 개

박 기 석(Ki-Seok Park)

준회원



- 2009년 2월 : 중앙대학교 사진학과(미술 학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 이미징, 의료영상

하 동 환(Dong-Hwan Har)

정회원



- 1993년 : Brooks Institute of Photography, Industrial/Scientific Photography(B.A.)
- 1994년 : Ohio University, Visual Communication(M.A.)
- 2005년 : 한양대학교 교육대학원

(Ph.D)

▪ 1999년 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
<관심분야> : 과학사진, 특수영상