

매트랩 구현을 통한 주기적 잡음 제거 알고리즘 실험

*김민선, **위승우, 정제창

*한양대학교 융합전자공학부, **한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

*zxz7489@naver.com, **slike0910@hanyang.ac.kr, jjeong@hanyang.ac.kr

Experiment of Periodic Noise Removal Algorithm through MATLAB Implementation

*Minseon Kim, **Seungwoo Wee, Jechang Jeong

*Department of Electronic Engineering, Hanyang University

**Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 영상에서 발생하는 주기적 잡음을 제거하기 위해 다양한 필터들을 이용하여 성능 비교 실험을 수행한다. 영상의 주파수 도메인에서 지역적으로 잡음이 발생하면 영상의 공간 도메인에서 주기적인 잡음이 발생한다. 우선, 영상을 주파수 도메인에서 잡음을 야기시키는 영역을 분석하여 해당 영역에 지역적으로 노치 필터를 적용한다. 이를 통해 영상의 원신호를 유지하면서 영상에서 발생했던 주기적 잡음을 제거함으로써 영상의 화질이 개선됨을 실험을 통해 검증했다. 또한 객관적 지표 비교를 통해 3 가지의 지역적인 노치 필터들의 성능을 비교하고 최적의 필터를 제시한다.

1. 서론

무아레 (Moire)는 촬영 장비와 디스플레이의 주파수로 서로 상이하어 물결무늬 형태로 간섭이 일어나는 현상을 의미한다. 무아레의 형태는 물결무늬 (water ripples)와 주사선 (scan line) 두 종류로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 영상에서 발생하는 주사선 형태의 주기적인 잡음을 제거하는데 초점을 맞췄다.

일반적으로 영상의 공간 도메인에서 나타나는 주기적인 잡음은 주파수 도메인에서 고주파 대역에서 지역적으로 강하게 발생할 때 나타난다 [1]. 노치 (notch) 필터는 주어진 영상의 주파수 도메인에서 원하는 주파수 대역을 통과하거나 차단시킬 수 있으며 구현이 용이하다. 노치 필터는 고주파 대역에서 지역적으로 발생한 잡음 신호를 차단하여 주기적인 잡음 제거에 활용할 수 있다.

하지만, 영상 신호에서 특정 주파수 대역을 차단하는 것은 영상 신호에 포함된 잡음뿐만 아니라 원영상의 신호 또한 제거하기 때문에 결과 영상의 화질저하를 초래하게 된다. 특히 고주파 영역에 많이 분포하고 있는 에지 (edge) 성분의 주파수가 차단될 경우, 원영상의 에지가 흐려지며 이미지 선명도가 낮아진다. 이로 인해 노치 필터는 영상 내의 주기적 잡음의 제거에는 적합하지 못하다.

본 논문에서는 이상의 문제점을 해결하여 지역적인 주기적 잡음을 제거하는데 적합한 필터를 제안한다 [2]. 나아가 영상의 원신호를 최대한 보존하기 위해 다양한 필터들을 비교 분석한다. 최종적으로 실험을 통해 객관적 지표의 비교를 통해

최적의 필터를 선정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 노치 필터, Gaussian low pass filter (LPF)에 대해 살펴본 후, 각 필터의 기법을 주파수 영역에서 적용했을 때 발생하는 문제점에 대해 분석한다. 3 절에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 설명하고, 4 절에서는 실험을 통해 다양한 필터링 기법들의 성능을 비교한다. 마지막으로 5 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 기존의 알고리즘

Gaussian LPF 는 백색 잡음의 제거에는 뛰어난 성능을 보이지만 특정 주파수 대역에 강하게 포함되어 있는 잡음의 제거에는 효과가 뛰어나지 않다. 게다가 잡음이 주파수가 0 (DC)인 영역과 가까울수록 주파수 도메인에서의 필터의 영역이 좁아짐에 따라 저주파 대역의 신호가 더 감쇄하게 된다 [2]. 이것은 원래 신호 성분이 크게 손실됨에 따라 블러링이 발생하며 정도에 따라 원영상을 알아볼 수 없을 정도로 화질을 저하시키기도 한다.

그림 1 은 원영상과 주기적 잡음이 포함되어 있는 영상의 주파수 영역을 푸리에 변환을 통해 살펴본 결과를 나타낸다. 이러한 주기적 잡음을 제거하기 위해 잡음이 포함된 영상의 주파수 도메인에 Gaussian LPF 를 적용했다.

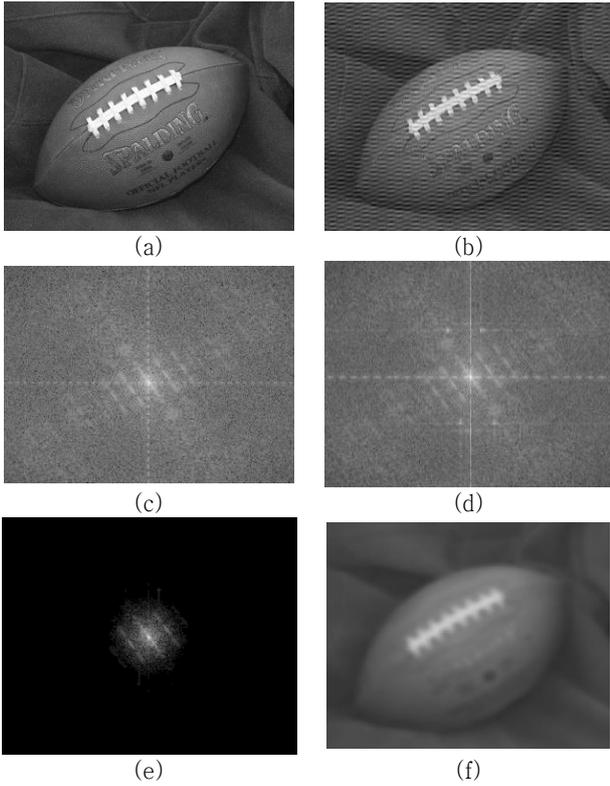


그림 1. Football 영상의 주파수 도메인에서 Gaussian LPF 를 적용한 예시 (a) 원영상, (b) 주기적 잡음이 포함된 영상, (c) 원영상의 주파수 도메인 (d) 잡음 영상의 주파수 도메인 (e) Gaussian LPF 가 적용된 주파수 도메인, (f) 필터링 후 결과 영상.

그림 1-(f)는 Gaussian LPF 를 사용하여 잡음을 제거한 결과 영상을 나타낸다. 그림 1-(e)를 통해 고주파 영역에서 강하게 발생했던 잡음은 감소되었지만 원영상에 포함된 고주파 신호의 손실이 발생한 것을 볼 수 있다. 그 결과, 필터링한 영상을 공간 도메인으로 변환하였을 때 주기적 잡음은 크게 감소했지만 영상 블러 현상이 매우 심하게 발생했다.

Gaussian LPF 의 결과에서 발생한 원영상의 과도한 신호손실과 블러링 효과를 해결하기 위해 대역 차단 필터나 노치 필터를 사용할 수 있다. 하지만 그림 2 와 같이 잡음과 함께 원영상의 신호가 손상된다.

또한 지역적인 잡음을 제거하기 위해 차단하는 주파수 도메인의 영역이 넓어질수록 원래 신호의 주파수도 그에 비례하여 잃어버리게 된다. 또한 잡음의 주파수가 DC 값과 가까울 경우 원신호에 심각한 손상이 발생하여 영상이 훼손될 수 있다.

대역차단 필터를 사용하여 잡음을 제거한 결과는 그림 2 와 같다. 잡음이 발생한 영역의 범위가 넓어질 수록 잡음을 제거하기 위해 차단되는 주파수 영역이 비례하여 넓어진다. 이것은 지역적인 잡음을 제거하기 위해 원영상이 함께 손실됨을 의미한다.

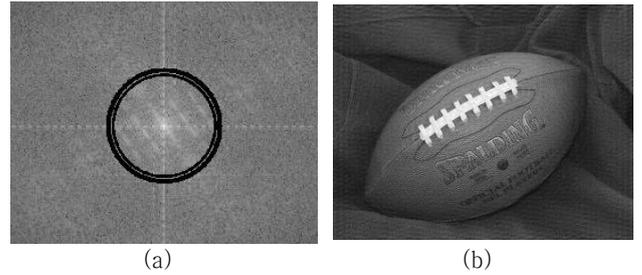


그림 2. Football 영상의 주파수 도메인에서 대역 차단 필터를 적용한 예시 (a) 대역 차단 필터가 적용된 주파수 도메인, (b) 필터링 후 이미지.

3. 제안하는 알고리즘

주파수 도메인 전체 영역에 Gaussian LPF 를 적용하는 것은 고주파 잡음을 제거하는데 용이하지만 원영상의 고주파 성분에 큰 손실을 야기한다. 이를 보완하기 위해 대역차단 필터를 활용하여 잡음이 분포하고 있는 영역을 따라 차단함으로써 원영상이 가진 고주파 영역의 성분을 최대한 보존할 수 있다. 잡음을 제거와 원영상의 신호를 최대한 보존하기 위해 노치필터를 적용하여 잡음이 나타나는 곳의 주파수를 차단한다.

우선 주기적인 잡음이 포함된 영상을 푸리에 변환을 통하여 주파수 도메인에서 잡음의 성분을 분석한다. 공간 도메인에서 발생하는 주기적인 잡음은 주파수 도메인에서 DC 영역으로부터 특정 주파수 이상의 영역에서 높은 피크로 나타난다 [2]. 이를 기반으로 저주파 영역을 제외한 고주파 영역에서 주변보다 특정 임계 값을 넘는 주파수 성분 값을 갖는 지점을 탐색한다. 해당 지점들에 노치 필터를 적용함으로써 공간 도메인에서 발생하는 주기적인 잡음을 제거할 수 있다.

4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 기존의 대역 차단 필터와 제안하는 3 가지 지역적 노치 필터의 성능을 비교하기 위해 각각 다양한 주기적인 잡음을 가진 다양한 크기의 8 비트 영상들을 사용하였다. 실험은 Window 10 64 비트 운영체제 및 Intel Pentium 4415U @ 2.3 GHz 의 PC 환경에서 MATLAB R2018b 를 이용하여 수행하였다. 또한 실험 결과를 분석하기 위해서 주기적 잡음이 제거되어 복원된 영상의 주관적인 화질과 객관적인 PSNR 의 수치를 비교하였다.

그림 2-5 를 통해 Gaussian LPF, Ideal 노치 필터, Gaussian 노치 필터, Butterworth 노치 필터는 주기적인 잡음을 제거하는 정도와 원영상의 고주파 성분이 보존되는 정도를 주관적으로 비교할 수 있다.

그림 3 은 Football 영상의 원본과 Ideal 노치 필터를 적용한 결과의 비교를 나타낸다. 대역 차단 필터의 결과인 그림 2-(b)에 비해 영상 가장자리의 주기적 잡음이 개선되었지만 Ideal 노치 필터의 특성상 해당영역의 잡음과 함께 원래의 신호도 완전히 제거된 것을 볼 수 있다.

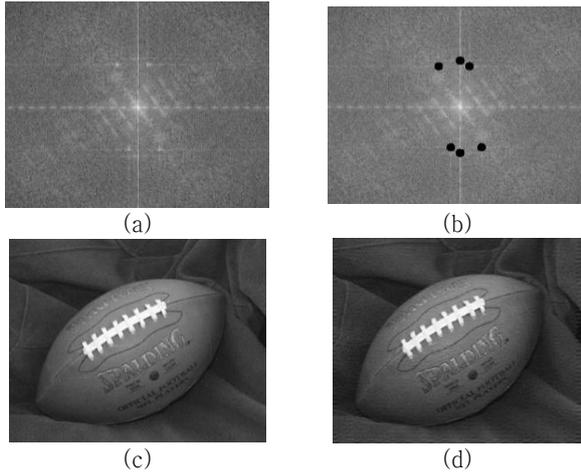


그림 3. Football 영상의 원본과 Ideal 노치 필터를 적용한 영상의 비교 (a)잡음 영상의 주파수 도메인, (b) Ideal 노치 필터링 후 주파수 도메인, (c) 원영상, (d) 필터링 후 복원된 영상.

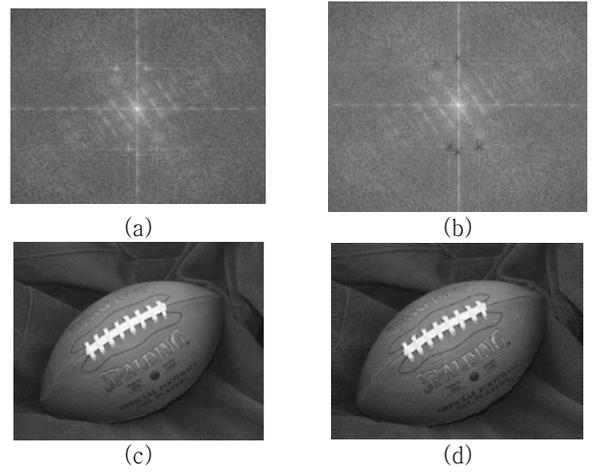


그림 4. Football 영상의 원본과 Gaussian 노치 필터를 적용한 영상의 비교 (a) 잡음 영상의 주파수 도메인, (b) Gaussian 노치 필터링 후 주파수 도메인, (c) 원영상, (d) 필터링 후 복원된 영상.

그림 4 는 Gaussian 노치 필터 [3]를 적용한 결과를 나타내며 그림 5 는 Butterworth 노치 필터를 적용하여 필터링한 결과를 보인다. 그림 3 의 Ideal 노치 필터는 해당 영역의 잡음과 원영상의 신호가 모두 차단되어 검은색으로 신호가 제거된 것을 확인할 수 있다.

이에 비해 그림 4 와 5 는 필터의 범위 내에서 중심부는 차단하고 중심부로부터 주변으로 멀어질수록 신호를 서서히 차단하면서 원신호는 보존, 잡음은 차단하는 것을 확인할 수 있다. 특히 그림 5 의 Butterworth 노치 필터는 중심부에서 신호를 급격히 차단하면서 잡음을 더욱 강하게 차단하고 주변부의 주파수는 최대한 보존하면서 원영상의 차단되는 신호가 줄어들었음을 확인할 수 있다.

각 필터들의 객관적인 성능비교를 위해 peak signal-to-noise ratio (PSNR)을 사용했으며 아래의 식과 같다.

$$PSNR = 10 * \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{X * Y} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y |C(i, j) - R(i, j)|^2 \quad (2)$$

여기서 $C(i, j)$ 는 원영상이고 $R(i, j)$ 는 잡음을 제거한 복원된 영상이다.

표 1. 필터 종류에 따른 PSNR 결과 비교

	잡음 영상	대역 차단 필터	Ideal 노치 필터	Gaussian 노치 필터	Butterworth 노치 필터
Football	21.60	26.58	26.78	26.82	26.98
Man	16.15	24.55	25.77	26.01	26.34
child	11.59	14.27	20.99	20.96	20.49
x-ray	9.26	10.26	10.39	10.73	11.41
평균	14.65	18.92	20.98	21.13	21.31

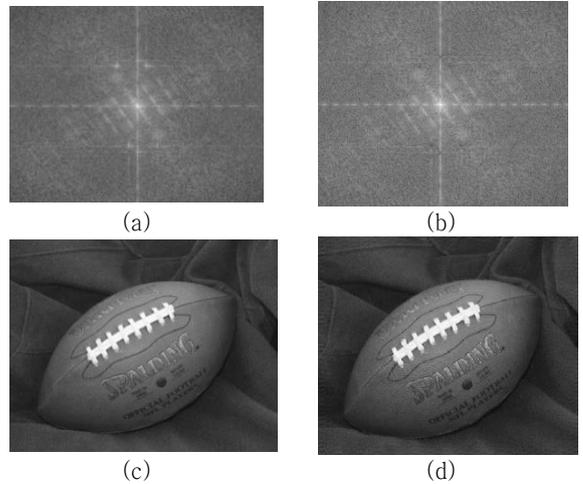


그림 5. Football 영상의 원본과 Butterworth 노치 필터를 적용한 영상의 비교 (a) 잡음 영상의 주파수 도메인, (b) Butterworth 노치 필터링 후 주파수 도메인, (c) 원영상, (d) 필터링 후 복원된 영상.

표 1 은 필터 종류에 따른 PSNR 결과를 정리하여 나타냈다. 표 1 에서 지역적으로 노치 필터를 적용한 이미지의 PSNR 이 대역 차단 필터를 적용한 것보다 수치가 크게 나타남을 알 수 있다.

또한 3 개의 지역적인 노치 필터 중에서 Butterworth 노치 필터를 적용했을 때, 다른 지역적인 노치 필터를 적용한 것보다 PSNR 과 평균적으로 더 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 이는 원신호는 최대한 보존되면서 잡음 신호는 많이 감소한 것을 의미한다.

5. 결론

본 논문은 주기적인 잡음이 영상에 포함되어 있을 때, 잡음을 주파수 도메인에서 제거하는 방법을 살펴보고 원영상의 신호를 최대한 보존하기 위한 필터를 실험적으로 비교했다. 제안된 방법으로 잡음이 강하게 있는 곳의 위치를 파악하여 해당 영역에 지역적인 필터를 적용함으로써 원신호를 최대한 보존하고 잡음은 제거하면서 PSNR 이 높게 나타남을 정량적인 수치로 확인할 수 있었다. 그 결과 지역적인 잡음을 제거하는데 Butterworth 노치 필터가 최적의 필터임을 실험을 통해 검증했다.

참고문헌

- [1] D. N. Sidorov and A. C. Kokaram, "Suppression of Moire Patterns via Spectral Analysis," *Proc. SPIE*, vol. 4671, pp. 895–906, 2002.
- [2] Haryadi Prasetya and Sanghoon Sull, "Region Growing-Local Gaussian Notch Filtering for Moire Pattern Removal of LCD Monitor Captured Images," *대한전자공학회 학술대회*, pp. 470–473, November 2013.
- [3] I. Aizenberg and C. Butakoff, "A Windowed Gaussian Notch Filter for Quasi-Periodic Noise Removal," *Image and Vision Computing*, vol. 26, pp. 1347–1353, 2008.
- [4] R. Gonzales and R. Woods, *Digital Image Processing, 2nd ed.*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2002.
- [5] Z. Wei, J. Wang, H. Nichol, S. Wiebe, and D. Chapman, "A Median-Gaussian Filtering Framework for Moire Pattern Noise Removal from X-Ray Microscopy Image," *Micron*, vol. 43, issues 2–3, pp. 170–176, February 2012.