

# 홀로그래ムの 위상필터링에 관한 기초이론

(Basic Theory on Phase Filtering of Hologram)

김수길\* · 고명숙

(Soo-Gil Kim · Myungsook Ko)

\*호서대학교 공과대학 시스템제이공학과 · 부천대학 비서과

## Abstract

We present the basic theory on phase filtering of hologram to improve the image quality on image reconstruction.

### 1. 서론

변형 삼각간섭계[1]를 이용하여 3차원 정보를 포함하는 홀로그래프를 생성할 수 있다. 그런데, 홀로그래프 생성 시 여러 가지 요인, 즉 미러나 홀로그래프의 정보를 직접적으로 입력으로 받아들이는 CCD 카메라 등에 의해 홀로그래프에는 잡음정보도 같이 포함된다. 이러한 잡음은 3차원 영상복원시 노이즈로 복원되어 복원영상의 질을 저하시키는 작용을 하게 된다.

본 논문에서는 영상복원시 3차원 영상의 질을 보다 향상시키기 위한 방법으로 일반적으로 비접촉 진단법에 사용되는 위상필터링 방법을 도입하고자 한다. 위상필터링에 대한 기본적인 원리와 이론을 전개하고 적용가능성에 대하여 이론적으로 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 위상추출방법

비접촉 진단법에서 일반적으로 위상추출을 위한 가장 공통적인 알고리즘은 4개의 프레임을 이용하는 방법이다. 이 경우에, 측정된 intensity의 4개의 집합은 다음 식과 같이 표현될 수 있다.[1]

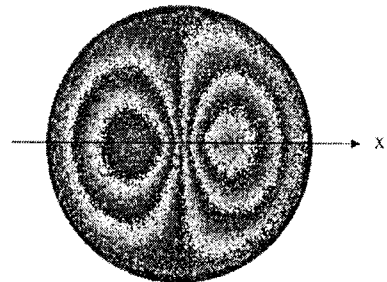
$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 [1 + \gamma \cos \phi] \\ I_2 &= I_0 \left[ 1 + \gamma \cos \left( \phi + \frac{\pi}{2} \right) \right] = I_0 [1 - \gamma \sin \phi] \\ I_3 &= I_0 [1 + \gamma \cos (\phi + \pi)] = I_0 [1 - \gamma \cos \phi] \\ I_4 &= I_0 \left[ 1 + \gamma \cos \left( \phi + \frac{3\pi}{2} \right) \right] = I_0 [1 + \gamma \sin \phi] \end{aligned} \quad (1)$$

그러면, 각 점에서의 위상은 다음 식과 같이 유도된다.

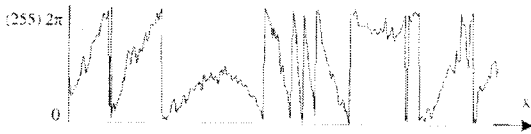
$$\phi = \arctan \left( \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \right) \quad (2)$$

이러한 위상추출방법은 변형삼각간섭계[2]에서 4개의 위상차가 다른 홀로그래프를 생성하여 위상을 추출하는 방법과 동일하다.

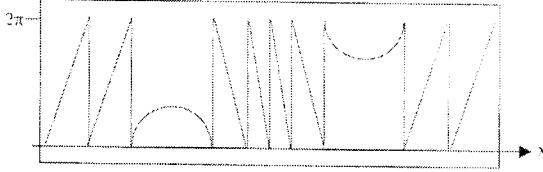
#### 2.2 sheargram의 위상 필터링



(a) sheargram의 위상지도



(b) shearogram의 단면도



(c) shearogram의 필터링 결과의 단면도

그림 1. 위상필터링

그림 1은 shearogram에 대한 위상필터링 과정을 보여주는 그림이다. 그림 (a)는 shearogram을 보여주며, 그림 (b)는 shearogram의 단면도를 보여 주는데, 보는 바와 같이 단면도에서 위상의 값은 특정한 구간을 보면 연속적인 값이 아닌 불연속적인 위상값을 보여주는 것을 알 수 있다.

그림 2는 전체영역에 대하여 필터링된 shearogram의 위상지도를 보여준다.

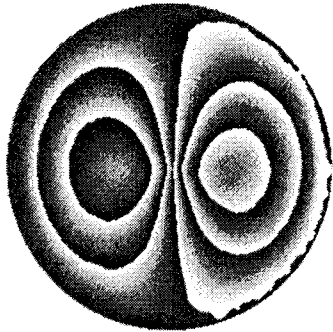


그림 2. 잡음이 제거된 위상지도

그림 2와 같은 디지털 영상 처리에서 알려진 필터 연산은 크게 두 그룹으로 분류될 수 있다. 즉, 선형연산에 대하여 사용되는 평균값 필터링(mean value filtering)과 비선형연산에 대하여 사용되는 메디안 필터링(median filtering)으로 구분된다.

메디안과 평균값 필터링은 디지털 영상에서 잡음을 걸러내기 위해 가장 흔히 사용되는 방법들이다. 그림 3은 3x3 메디안과 평균값 필터링에 의해

걸러진 위상지도를 보여준다.

비선형 연산의 메디안 필터는 점-선택 교란 즉 소음과 후추 잡음을 제거하는데 가장 강력한 것이다. 그런데, 그 알고리즘은 시간을 많이 소비한다. 왜냐하면 연산자에서 gray 값들은 크기에 대하여 정렬되어야 하기 때문이다. 더욱이 결과 프린지는 평균값에 의해 걸러진 위상지도만큼 smooth하지 않다. 선형연산의 평균값 필터링은 메디안 필터링보다 더 간단하고 빠르다. 평균값 필터링이 영상을 smoothing하는데 효과적이지만 shearogram의 위상지도를 smoothing 하는 데 아주 적합한 것은 아니다. shearogram의 위상지도는 톱니파 함수를 가지고 있다. 위상지도의 피크 값은 평균값 필터링후에 사라질 것이다. 이리하여 필터링 알고리즘 정보의 손실을 낳는다.(그림 4) 이것이 평균값 필터링이 간단하고 빠르지만 메디안 필터링이 위상지도의 잡음을 제거하기 위해 더 많이 사용되는 이유이다.

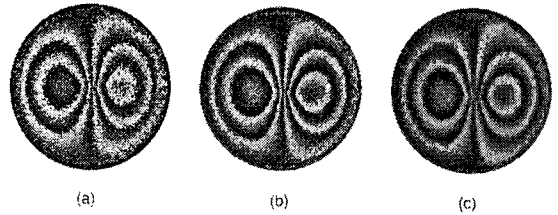


그림 3. 위상지도의 필터링 (a) 많은 잡음이 있는 원 위상지도 (b) 메디안 필터링의 결과 (c) 평균값 필터링의 결과

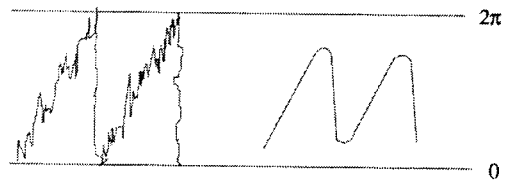


그림 4. 평균값 필터링 전과 후의 톱니파 영상의 모양

위상정보의 손실이 없거나 손실이 별로 없는 smooth한 위상지도를 생성하고 알고리즘을 가속화하기 위해, 다음의 방법이 적용된다. 톱니파 위상지도는 잡음이 다루어지기 전에 사인파와 코사인 함수로 변환된다.(그림 5) 변환된 사인파와 코사인 분포 영상에서 톱니파 영상에서 보여지는 날카로

운 피크는 나타나지 않는다. 이제 다른 필터연산자 특히 선형 필터링(예를 들어 평균값 필터링)이 적용될 수 있다.

선형 필터링 후에 위상정보의 손실이 없이 smoothing함으로써 사인과 코사인 분포영상을 얻을 수 있다. 위상 펼침방법을 적용할 때는 톱니파 분포가 사용된다. 정확할 뿐만 아니라 간단한 톱니파 위상 영상이 필터링된 사인과 코사인 분포함수로부터 재현될 수 있다. 톱니파 분포 영상으로의 변환을 위해 두 개의 사인과 코사인 함수가 요구된다. 이것이 사인함수뿐만 아니라 코사인 분포 영상도 역변환을 위해 필요한 이유이다.

그림 5는 톱니파 함수를 사인과 코사인 함수로 변환하는 원리를 보여준다. 그림 5(a)는 선형 톱니파 그래프를 보여준다. 톱니파 영상에서 0에서 255까지의 gray 값들은 사인 그래프의 gray 값 128과 코사인 그래프의 gray 값 255로 변환된다. 톱니파 함수의 gray 값 64, 128, 192는 사인 그래프의 gray 값 255, 128, 0에 대응하며, 코사인 그래프의 128, 0, 128에 대응한다. 많은 경우에 톱니파 함수는 비선형이다. 그러므로 변환된 영상은 일반적으로 그림 5(b)에서 보여진 것처럼 준사인파와 준코사인파 영상이다. 그림 6 (b)와 (c)는 그림 5 (a)에 따르면 톱니파 함수로부터 사인과 코사인 분포 그래프에 의해 변환된 영상을 보여준다.

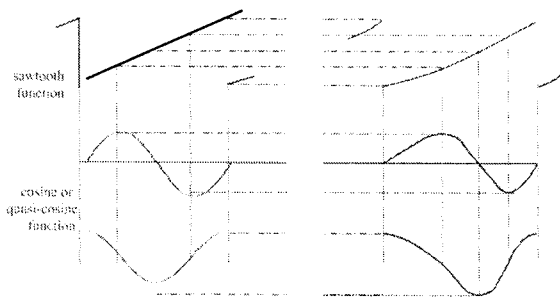


그림 5. 톱니파 분포에서 사인과 코사인 분포로의 변환 원리 (a) 선형 톱니파 그래프 (b) 비선형 톱니파 그래프

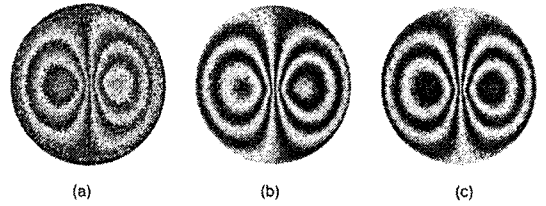


그림 6. 톱니 위상지도로부터 사인과 코사인 분포로의 변환 (a) 원 위상지도 (b) 사인함수로 변환된 위상지도 (c) 코사인 함수로 변환된 위상지도

### 3. 결 론

홀로그래를 이용한 영상복원시 잡음을 없애기 위해 위상필터링의 두가지 방법 메디안 필터링과 평균값 필터링에 대하여 분석하였다. 분석결과 메디안 필터링이 정보손실을 적게 하는 반면에 시간이 많이 걸리고, 평균값 필터링은 시간은 적게 걸리는 반면에 정보의 손실이 많은 것으로 나타났다. 따라서, 홀로그래의 위상지도에서 잡음을 줄이는 적합한 방법은 코사인과 사인위상지도로 홀로그래를 변환한 다음에 평균값필터링을 적용시키는 것이 적합한 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. Steinchen and L. Yang, *Digital Shearography*, (SPIE Press, 2003)
- [2] S.-G. Kim, B. Lee, and E.-S. Kim, "Removal of bias and the conjugate image in incoherent on-axis triangular holography and real-time reconstruction of the complex hologram," *Appl. Opt.* vol. 36, no. 20, pp. 4784-4791, 1997.