프린지패턴의 프레넬릿 변환 특성에 대한 연구

서영호 · 이윤혁 · 김동욱

광운대학교

Analyzing Characteristics of Fringe Pattern by Fresnelet Transform

Young-Ho Seo · Yoon-Hyuck Lee · Dong-Wook Kim

Kwangwoon University

E-mail : yhseo@kw.ac.ir

요 약

본 논문에서는 디지털 홀로그램의 분해를 위한 프레넬릿 변환을 구현하고 그 특성을 분석한다. 구현한 웨이블릿 유사 기저함수는 광학적으로 생성된 프레넬 홀로그램의 복원과 처리에 매우 적합하다. B-스플라인 함수의 특성을 분석한 이후에 이를 기반으로 하는 웨이블릿 유사 다해상도 해석 방법에 대해서 살펴본다. 이러한 과정을 통해 프린지 패턴을 효과적으로 분해할 수 있는 변환 도구를 구현하였다. 다양한 분해 특성을 갖는 B-스플라인 함수를 구현하였고 이를 이용하여 프린지 패턴을 분해한 결과들을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we implement Frenelet transform for decomposition of the fringe pattern and analyze its characteristics. The implemented wavelet-like basis functions are well suited for reconstruction and processing of optically generated Fresnel holograms. After analyzing the characteristics of the B-spline function, we will discuss the wavelet-like multi-resolution analysis method. Through this process, we implemented a transform tool that can decompose fringe patterns effectively. We have implemented a B-spline function with various decomposition properties and showed the results of decomposing the fringe pattern.

키워드

프레넬릿, 프린지 패턴, 웨이블릿, 다해상도, B-스플라인

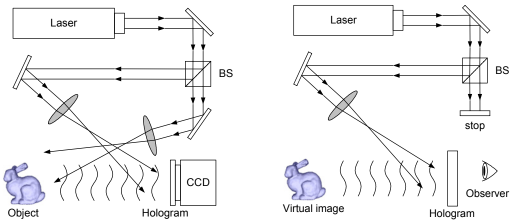
Ⅰ. 서 론

홀로그램(hologram)은 원래 ‘전체’라는 뜻의 그리스어 ‘holos’와 ‘기록하다’라는 뜻의 ‘gram’이 합성된 단어로 완전한 영상을 구현할 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 디지털 홀로그래피는 시각화 방식의 하나로써 CCD 카메라 혹은 전자적 방법을 통해 기록 및 생성된다[1]. 홀로그램은 객체에 의해 반사된 파와 참조파 사이의 간섭에 의한 결과로써, 간섭계의 출력에서 홀로그램 평면내의 강도의 분포를 기록하는 것이다[2]. 객체 근처에서 진폭과 위상의 복소파의 디지털 복원은 회절 적분의 근사화인 프레넷(Fresnel) 회절에 기초한다[3]. 디지털 홀로그래피의 응용 분야는 매우 많은데, 특히 영상 생물학 등에 널리 사용되어왔다. 응용분야가 넓어짐에 따라 더 나은 영상 품질에 요구가 증가하여 노이즈 억제, 고해상도의 복원 영상, 정밀한 파라미터 조절 그리고 빠른 알고리즘의 개발이 필요하다[3]. 이와 같이 다양한 응용을 하기 위해서는 디지털 홀로그램을 다루기 쉬운 형태로 변환하는 방법이 필요하다. 일반적으로 디지털 영상신호처리에서는 이를 위해 변환(transform) 도구를 사용한다.

Ⅱ. 디지털 홀로그램

그림 1(a)에는 홀로그램을 획득하기 위한 시스템을 나타냈고, 그림 1(b)에는 복원(재생)하기 위한 시스템을 나타냈다. 홀로그램은 레이저광을 집광 렌즈로 평행광을 만들고, 빔분리기를 이용하여 기준파와 객체파로 분리한다. 객체파는 객체(Object)에 조사된 후에 반사된 후에 기준파와 간섭을 이루면서 촬영장치(혹은 필름)에 입사된다. 입사된 간섭무늬를 프린지 패턴 혹은 홀로그램이라 한다. 획득된 무늬를 전자적으로 처리한 이후

에 SLM에 출력하고 여기에 기준파와 동일한 특성의 평행광을 조사하면 회절광이 발생하여 3차원 객체를 재생할 수 있게 된다[4]. 그림 1에는 획득을 위해서 디지털 장치인 CCD 카메라를 사용한 경우를 나타냈다.



(a) (b)

그림 1. 디지털 홀로그림 (a) 기록 (b) 복원

III. 프레넬릿 변환

프레넬릿 기저를 만들기 위해, 웨이블릿 기저에 프레넬 변환을 적용하여 구현한다. n차수의 B-spline을 위한 식 (1)를 정의할 수 있다[7].

$$\beta^n(x) = \sum_{k=0}^{n+1} (-1)^k \binom{n+1}{k} \frac{(x-k)_+^n}{n!} \tag{1}$$

B-스플라인에 프레벨 변환을 결합함으로써 프레넬릿은 프레넬 변환을 수행하여 구현한다. 웨이블릿 이론의 다해상도 관계를 프레넬릿 영역으로 전치한다. 프레넬릿은 식 (2)과 같고, 다해상도의 하위 영역에 대해, 잔차 공간 $\widetilde{W}_{j,\tau}$는 식 (3)로 정의된다. $\widetilde{W}_{j,\tau}$는 $\widetilde{W}_{j+1,\tau} \perp \widetilde{V}_{j+1,\tau}$ 및 $\widetilde{W}_{j+1,\tau} \oplus \widetilde{V}_{j+1,\tau} = \widetilde{V}_{j,\tau}$ 와 같다.

$$\underset{k \in \mathbb{Z}}{\mathrm{span}} \left\{ \widetilde{\psi}^n_{\tau/2}\left(\frac{x}{2} - k\right) \right\} \perp \underset{k \in \mathbb{Z}}{\mathrm{span}} \left\{ \widetilde{\beta}^n_{\tau/2}\left(\frac{x}{2} - k\right) \right\} \tag{2}$$

$$\widetilde{\mathrm{W}}_{\mathrm{j},\tau} = \underset{k \in \mathbb{Z}}{\mathrm{span}} \left\{ \widetilde{\psi}^n_{\tau 2^{-j}}\left(2^{-j} - k\right) \right\} \tag{3}$$

IV. 실험결과

구현한 B-스플라인 함수를 이용하여 프레넬릿 변환을 구현하고 이를 프린지 패턴에 적용한 결과를 그림 2에 나타냈다.

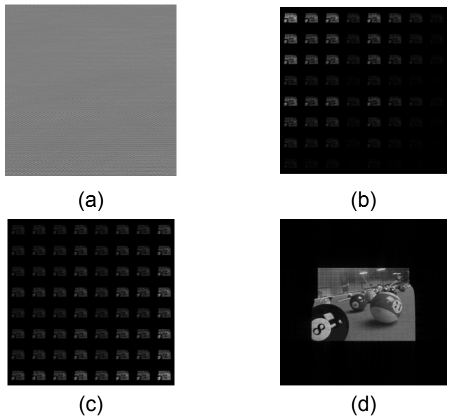


그림 2. 프레넬릿 변환 결과 (a) (3/1), (b) (5/5), (c) (6/8) 필터를 사용한 경우, (d) 복원 결과

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 B-스플라인 함수를 기반으로하는 프레넬릿 변환을 구현하였고, 효율적으로 프린지 패턴을 분해함을 보였다.

감사의 글

이 논문은 0000년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2018R1D1A1B07043220)

참고문헌

[1] J. W. Goodman and R. W. Lawrence, "Digital image formation from electronically detected holograms", Appl. Phys. Lett., vol. 11, no. 3, pp. 77-79, 1967

[2] D. Gabor, "A new microscopic principle", Nature, vol. 161, no. 4098, pp. 777-778, 1948

[3] J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 1996, McGraw-Hill.

[4] M. Liebling, T. Blu and M. Unser, "Fresnelets : new multiresolution wavelet bases for digital holography," IEEE Trans. Image Process. Vol. 12, No. 1, pp. 29-43, 2003.