

다중모드 광섬유의 스펙클 패턴을 이용한 광섬유 파장센서

이 일민, 양 병춘, 이 병호
 서울대학교 전기공학부 국가지정 홀로그래피 기술 연구실

A Fiber Wavelength Sensor using Speckle Patterns of a Multimode Fiber

Il-min Lee, Byungchoon Yang, and ByoungHo Lee
 NRL of Holotech, School of Electrical Eng. Seoul National University

Abstract - In this paper, we report a new scheme of multimode fiber sensor which uses pattern matching method. Fiber speckle pattern allows the wide dynamic range of the intensity based sensor. The proposed method uses pre-built specklegram database which is made by image processing techniques of wavelet transform and edge detection for the sake of compact data storage and fast sensing time. We demonstrate our proposed sensor and the experimental results will be presented.

1. 서 론

다중모드 광섬유로부터 나오는 스펙클 필드는 광섬유의 섭동에 민감하기 때문에, 지금까지 광섬유의 스펙클에 포함된 정보를 이용한 세기(intensity) 기반의 센서에 대한 연구가 여럿 있었다. 이런 센서들은 광상판기(JTC)등을 이용하여 실시간 동작이 가능하고, 넓은 동작영역을 갖도록 고안된 것들이었다. 그러나 기존에 발표된 센서들은 훌륭한 동작을 보여온 반면, LCTV와 같은 부가의 광학 장치를 필요로 한 것들이었다[1-2].

이와는 별도로, 이차원의 영상으로부터 패턴을 읽어내는데 있어서 웨이블릿 변환은 잡음에 상대적으로 장점을 보인다든 면 외에도 그 계산이 간단하다는 특징에 의해 지금까지 많은 연구자의 관심을 받아왔고, 다양한 논문들이 발표되고 있다[3-5].

우리는 이 글에서 다중모드 광섬유를 이용한 센서의 새로운 형태를 제안하고자 한다. 제안된 센서는 입력된 스펙클 영상에 웨이블릿 변환과 경계검출 기법(edge detection method)을 적용하여 만들어진 신호를 같은 방식으로 미리 만들어진 데이터베이스로부터 매칭되거나 혹은 가장 가까운 이미지를 찾는 방식으로 동작하게 된다.

이어지는 글에서는 웨이블릿 변환과 경계검출로부터 만들어지는 간략화 된 이미지가 파장을 구별하는 특징을 가짐을 보이고, 실험적으로 구현한 센서의 동작 특성과 결과를 다루고자 한다.

2. 본 론

2.1 웨이블릿 변환과 경계검출의 방법

일반적으로 영상을 기술하거나 인식하는데 많이 사용되는 Fourier 표현이 단일 해상도내에서 잡음제거와 특징 추출 등의 작업을 해결해야함과 달리, 웨이블릿 변환은 다중 해상도(multi-scale)를 제공하며, 이로써 영상의 상태와 잡음 등에 유연하게 대처할 수 있다는 장점이 있다 [1].

일반적인 영상 인식의 과정은 크게 영상취득, 전처리, 영상추출, 특징 추출, 인식의 단계로 나뉜다. 일반적으로 웨이블릿을 이용하는 경계 검출과 영상처리의 방법

은 영상의 경계 값을 먼저 추출한 후 이를 토대로 웨이블릿 표현을 얻어내어 영상을 서술하고, 이들을 비교하는 방법으로 영상의 인식 및 분류를 수행하는 것이었다 [6-11].

그러나 우리가 다루고자 하는 문제의 경우는 다음과 같은 이유로 인해 위의 방법과는 약간 다른 접근 방법이 요구된다.

첫째, 인식하고자 하는 정보가 영상내의 특정 물체인 보통의 경우와는 달리, 전체 영상에 대한 스펙클의 세기 분포가 원하는 정보라는 점.

둘째, 따라서 경계로부터 독립된 폐곡선들을 뽑아내어 비교하는 기존의 알고리즘을 적용하기 어렵다는 점.

셋째, 센서로 동작해야 하므로, 가급적 계산과 처리 단계를 간단히 해야 한다는 점.

본 연구에서 다루고자 하는 영상은 다중모드 광섬유로부터 나오는 스펙클 필드의 영상으로, 복잡한 패턴의 분포 상태와 위치가 중요한 정보가 된다. 따라서, 영상 처리 과정은 다음의 그림 1과 같이 이루어진다.

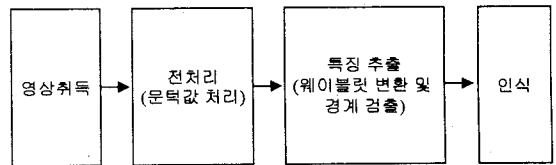


그림 1. 영상 처리의 단계

위와 같이, 취득된 영상에 대해 웨이블릿 변환을 바로 실행하는 이유는, 각 해상도 단계의 웨이블릿 계수가 영상의 경계 값을 잘 나타내기 때문이다[9].

다음의 그림 2는 스텝 함수를 3개 해상도로 웨이블릿 변환한 결과를 나타내고 있다. 그림의 가장 위가 입력 신호로 스텝형의 급격한 경계를 보이고 있다. 그 아래의 각 해상도 단계의 그림들은 경계가 존재하는 위치에서 웨이블릿 계수 값이 크게 나타남을 보이고 있다.

또한 그림 2는 이산 웨이블릿 변환을 수행한 각 단계에서 데이터는 추림(decimation)의 단계를 거치기 때문에 그 크기가 단계당 대략 절반으로 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이렇게 추려지는 데이터의 길이를 각 레벨에 대해 모두 더하면 원래 데이터의 길이와 같아지게 된다. 이것은 이진(dyadic) 웨이블릿 변환의 당연한 결과이지만 [8], 앞으로 소개할 센서의 알고리즘에 유익한 특성을 제공한다.

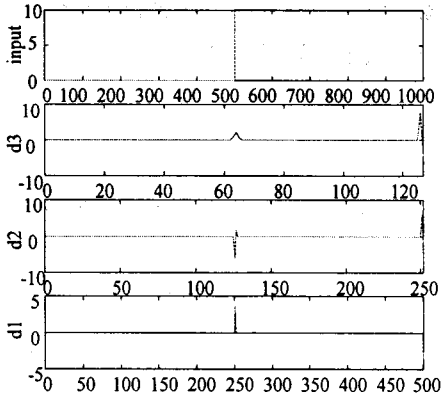
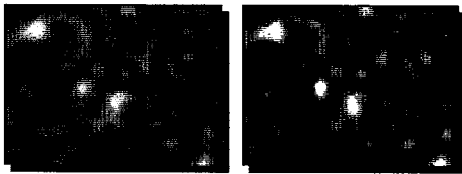


그림 2. 경계에 대한 웨이블릿 변환

2.2 광섬유 파장 센서의 구현

2.2.1 데이터 베이스 구축

다중모드 광섬유의 스펙클 패턴은 인장력, 응력, 온도, 파장 등의 영향을 복합적으로 받는다. 그러나 센서의 다중모드 광섬유 부분(약 10cm)만 외부의 섭동으로부터 격리되어 있다고 가정한다면, 출력 단의 스펙클은 광섬유를 통과하는 빛의 파장에 의해서만 변화할 것이다.

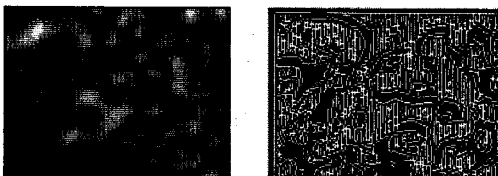


(a) 677.18nm (b) 677.22nm
그림 3. 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴 변화

그림 3은 두 개의 근접한 파장에서의 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴을 촬영한 것이다. 위의 그림은 서로 매우 유사하지만, 작은 차이가 존재함을 확인할 수 있을 것이다. 이 차이를 수치적으로 표현하여 두 개의 파장을 구분 하려는 것이 우리의 목표이다.

이렇게 서로 다른 이미지를 구별하고 또한 그 파장을 알아내기 위해서는 센서의 동작 조건에서 이미 파장이 측정된 스펙클 영상을 데이터베이스화하여 가지고 있어야 한다. 이 데이터베이스는 앞에서 설명한 영상처리의 과정을 거쳐 만들어진 것으로서, 센서의 동작시간을 고려해 계산량이 많지 않고, 데이터베이스 자체도 최대한 필요한 정보를 잃지 않으면서 간략화된 형태로 저장되어야 한다.

다음은 입력 영상을 전혀리 없이 웨이블릿 변환을 한 뒤 경계 검출을 한 결과이다.

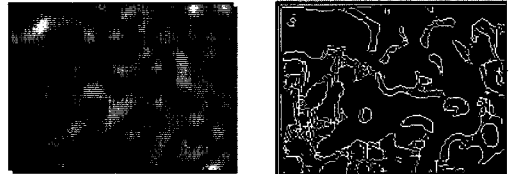


(a) 677.76 nm (b) 경계 검출 결과

그림 4. 경계검출 결과 (문턱치 기법 비적용)

그림 4의 (a)를 보면, 영상에서 밝은 부분에 세로로 일직선의 잡음이 있음을 알 수 있다. 이 잡음은 세기가 매우 크기 때문에, 경계 검출을 한 결과에도 그대로 나타나게 된다.

따라서 이 잡음을 없애기 위해, 웨이블릿 변환을 하기 전에 문턱치 기법을 사용하였다. 경계 검출은 알려진 여러 가지 방법을 실험해 본 결과 대동소이한 결과를 얻었기 때문에 간단하면서도 널리 쓰이는 Prewitt의 방법을 사용하였다[7,10]. 이 방법은 계산 시간이 적게 걸리면서도 좋은 결과를 제공하였다.



(a) size 376 x 274 (b) size 191 x 140



(c) size 99 x 73 (d) size 53 x 40

그림 5. 스펙클 패턴의 다중 해상도에 대한 경계검출 결과

위의 그림 5는 문턱치 기법을 적용한 경우의 결과이다. 그림에서 (a)는 다중모드 광섬유의 출력 단에서 찍은 스펙클 패턴의 모습이고, (b),(c),(d)는 각각 3개의 해상도 단계에 따른 경계 검출된 결과를 나타낸다. (b)에서 (d)쪽으로 갈수록 거친(coarser) 추정을 나타낸다.

이 때 경계가 존재하는 위치를 '1'로, 그렇지 않은 곳을 '0'으로 나타낸다. 이러한 이진 표현은 상관도를 계산할 때 행렬로 계산을 할 경우 빠른 연산이 가능하게 한다. 또한 각 영상들이 해상도 단계별로 된 단계의 약 1/4로 크기가 줄어 있음도 알 수 있다. 이것은 이차원 이산 웨이블릿 변환의 결과에서 의도적으로 대각 방향의 것만 남긴 결과이다. 이렇게 하여, 웨이블릿 변환과 경계 검출을 이용하여 스펙클 패턴 영상이 간략화되었다.

2.2.2 영상 인식

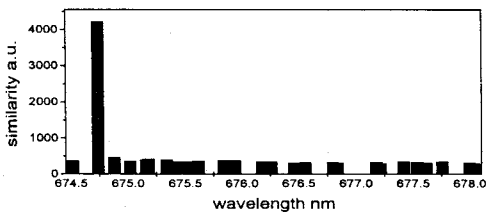
위 그림과 같이, 입력 영상을 여러 해상도의 경계 정보로 표현하면, 인식 단계의 처리를 좀 더 유연하게 할 수 있다[4].

- (1) 알려지지 않은 파장에 대한 스펙클 영상이 입력되면, 이를 위와 같이 세 단계의 해상도로 나누어 경계 검출을 하고, 가장 거친 단계의 정보만으로 데이터 베이스를 검색한다.
- (2) 이전 단계에서 정확하게 일치되는 정보가 없으면 다음 단계로 넘어가서 검색한다.
- (3) 마지막 단계에 다다를 때까지 (2)의 과정을 반복한다.
- (4) 마지막 단계까지 정확히 일치하는 것이 없을 때는 마지막 단계에서 가장 상관도가 높은 데이터에 대한 파장을 근사적인 추정 파장으로 택한다.

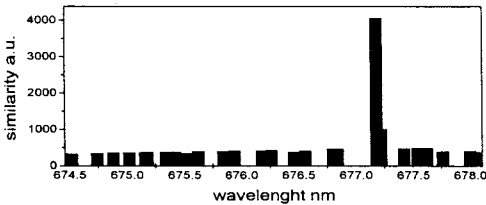
위와 같은 순서로 작업을 할 경우, 데이터베이스 내에 정확히 일치하는 파장이 있을 경우 (1)의 단계에서 매우 빠르게 파장을 찾을 수 있다. 또한, 스펙클 패턴의 전체적인 변화가 선형적 혹은 연속적으로 변할 때는, 데이터베이스를 쓰는 방식을 택한 가답에 필연적으로 이산화될 수밖에 없는 기준 파장들의 사이 값에 해당하는 입력에 대해서도 가장 근사한 파장을 찾아 줄 수 있게 된다.

2.3 실험 결과와 센서 동작

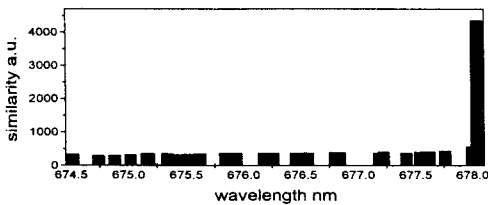
지금까지 서술한 영상 처리 방법을 이용하여 실험적으로 센서 동작을 시험해 보았다. 이 실험에 이용된 데이터는 674.52nm - 678.04nm까지의 약 3.42nm 대역으로부터 28개의 영상을 추출하여 실험을 하였다.



(a) 674.88 nm input



(b) 677.18 nm input



(c) 678.04 nm input

그림 5. 입력에 대한 데이터 베이스와의 상관도

그림 5는 실험 결과의 일부로, 가로축은 파장을 세로축은 상관도를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 전체 실험 구간의 임의의 위치에 대해서도 파장을 잘 찾아내는 것을 알 수 있다. 또한 정확한 파장의 값에 대해서 뿐만 아니라, 그를 제외한 가장 가까운 파장에 대해서도 다른 파장의 데이터에 비해 높은 상관도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 정확하게 일치되는 파장이 없는 입력이 들어오더라도 상관도가 가장 높은 데이터가 나타내는 파장이 가장 가까운 파장을 나타낸다고 말할 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

지금까지 데이터베이스에 기반 하여 웨이블릿 변환과 경계검출 방법을 이용한 다중모드 광섬유의 스펙클 패턴 분석 센서에 대해 살펴보았다. 제안된 센서는 LCTV와 같은 부가적인 광학 장치가 필요 없고, 계산이 간단하며, 넓은 동작 영역에서 사용할 수 있다는 장점이 있다. 반면에, 다중모드 광섬유의 차폐가 잘 되어있어야 하며, 특히 다중모드 광섬유의 출력단과 CCD가 고정되어 있어야 한다는 제약이 있다. 그러나 일단 설치를 한 후에는 고정적인 상태에서 사용하게 되는 시스템에 응용할 경우에는 이러한 점이 문제가 되지 않을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] F. T. S. Yu, K. Pan, C. Uang, and P. B. Ruffin, "Fiber specklegram sensing by means of an adaptive joint transform correlator," *Opt. Eng.*, vol. 32, no. 11, pp.2884-2889, 1993.
- [2] F. T. S. Yu, K. Pan, D. Zhao, and P. B. Ruffin, "Dynamic fiber specklegram sensing," *Appl. Opt.*, vol. 34, no. 4, pp. 622-626, 1995.
- [3] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE. Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, pp 674-693, 1989.
- [4] S. G. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 14, pp. 710-732, 1992.
- [5] M. Shensa, "The discrete wavelet transform: Wedding the a trous and mallat algorithms", *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, pp 2464-2483, 1992.
- [6] T. Y. Young and K.-S. Fu, *Handbook of Pattern Recognition and Image processing*, Academic Press, San Diego, 1986.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison Wesley, Massachusetts, pp. 413-423, 1992.
- [8] D. C. Marr and E. Hildereth, "Theory of edge detection," *Proc. Roy. Soc. London*, vol. B 207, pp. 187-217, 1980.
- [9] I. Daubechies, "The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 38, pp. 864-872, 1996.
- [10] J. M. S. Prewitt, "Object enhancement and extraction," in *Picture Processing and Psychopictorics*, B. S. Lipkin and A. Rosenfeld, eds., Academic Press, New York, 1970.
- [11] 양 희수, "음관선과 웨이블릿 변환을 이용한 2차원 물체 인식," 박사학위논문, 서울대학교, 1998.