

논문 2010-47SP-6-11

레이저 스펙클 내시경을 이용한 미세혈관 영상화 기법

(Laser Speckle Imaging Using Laser Speckle Endoscope)

진 호 영*, 신 현 출**

(Ho-Young Jin and Hyun-Chool Shin)

요 약

간섭성을 가진 레이저 빛을 산란체에 주사하였을 때 반사되는 정보의 간섭현상에 의해 생기는 불규칙한 무늬를 레이저 스펙클이라 한다. 레이저 스펙클 시스템은 동물의 특정부분의 기능적인 측면 관찰이 가능하고, 상대적으로 저렴하고 간단한 시스템으로 구성된다. 레이저 스펙클 시스템의 가장 큰 특징은 스펙클 이미지를 영상처리 과정을 통해 미세혈관 관찰이 가능하다는 것이다. 기존의 연구는 주로 영상처리를 통한 화질개선에 대해 연구가 많이 진행되었지만 본 논문에서는 레이저 스펙클 시스템을 소형화 하여 상용화시키기 위한 단계로서 레이저 스펙클 내시경을 제작하였다. 제작된 내시경의 성능테스트를 위해 동물실험으로 성능을 입증할 것이다. 피실험체로서 꼬리부분에 미세혈관을 가진 금붕어를 사용하였고 일반 자연광 이미지와 영상처리된 스펙클 이미지를 비교함으로써 내시경 시스템의 가능성을 보일 것이다.

Abstract

A laser speckle is a random pattern that has a granular appearance produced by reflected light when a coherent laser illuminates an irregular course surface. Laser speckle system has many advantages. It can detect some animals functional parts. Moreover, it relatively consists of simple and in-expensive system. It is very important that detecting micro-vessels through image processed image. Current study is to improve image quality through variable image processing method. But this paper made laser speckle endoscope for miniaturization and commercialization laser speckle system. We had endoscope test through goldfish's tail. We will compare the processed speckle image and halogen image.

Keywords: Laser speckle contrast analysis(LASCA), Laser speckle, Laser speckle endoscope, micro blood vessel.

I. 서 론

최근 의료장비에 대한 연구들이 다양하게 진행되면서 의공학이 발달하고 있다. 병원에서 많이 사용하고 있는 MRI, PET, X-ray 등 다양한 의료영상기구를 포함하여 최근에는 기능적인 측면까지 관찰할 수 있는 장비

도 개발되었다. 이와 관련하여 미세혈관을 관찰할 수 있는 레이저 스펙클 분야에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 하지만 그 잠재력이 크에도 불구하고 아직 상용화되지 못하고 있다.

레이저 스펙클이란 간섭성을 가진 빛 또는 레이저를 산란 물질에 주사하였을 때 반사되는 빛에 의해 생기는 낱알 모양의 불규칙한 무늬^[1]이다. 이 현상을 이미지화하고 통계적 특성을 이용해 영상처리하면 미세혈관을 관찰 할 수 있다는 것이 레이저 스펙클 영상화 기술의 핵심이다^[2]. 또한 시간에 따른 변화에 의한 기능적인 측면도 관찰 가능하며 비침습적 또는 최소한의 침습적 방법으로 측정 가능하다. 또한 스펙클 시스템의 구성은 기존의 MRI나 PET에 비해 장비가 매우 간단하고 저렴하다는 장점이 있다^[4].

* 학생회원, ** 정회원 숭실대학교 전자공학부
(Department of Electrical Engineering, Soongsil University)

※ 본 논문은 2007년도 서울시 산학연 협력사업 서울형산업 기술개발(R&BD NT070079)사업의 재원으로 지원을 받아 수행되었음.

※ 본 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-(C1090-0902-0007)).

접수일자: 2010년6월7일, 수정완료일: 2010년10월7일

이런 장점에도 불구하고 직접 상업화 하고 실제로 상용화나 필드에서 응용가능한 도구는 개발 되지 않고 있다. 그래서 본 논문에서는 기존에 사용되고 있는 레이저 스펙클 시스템을 소형화 및 상용화하기 위하여 레이저 스펙클 내시경을 제작하고 시스템의 가능성을 입증하기 위해 동물실험을 시행하였다.

동물실험을 통해 얻은 스펙클 이미지의 미세혈관 관찰을 위해서는 영상처리과정이 필수적이다. 기존의 연구에서는 미세혈관을 영상화 하기위한 영상처리 방법으로 LASCA(Laser Speckle Contrast Analysis)^[5], mLSI (Modified Laser Speckle Imaging)^[7], tLASCA (Temporally LASCA)^[3], sLASCA(Spatially LASCA)^[8], 적응 윈도우 기법^[9] 등의 방법이 있지만 본 논문에서는 mLSI기법을 사용하였다. 화질측면에서는 적응 윈도우 방법이 가장 뛰어나지만 여러장의 이미지 사용과 시간 해상도에 대한 제한점^[9]이 있으므로 비교적 화질이 우수한 mLSI 기법을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 스펙클 시스템과 레이저 스펙클 내시경에 대해 설명하고 III장에서는 영상처리 방법과 실험환경에 대해 기술할 것이다. IV장에서는 실험 결과를 보이고 V장에서는 결론을 내릴 것이다.

II. 장치 및 방법

1. 레이저 스펙클 시스템

그림 1은 레이저 스펙클 현상을 영상화하기 위한 장

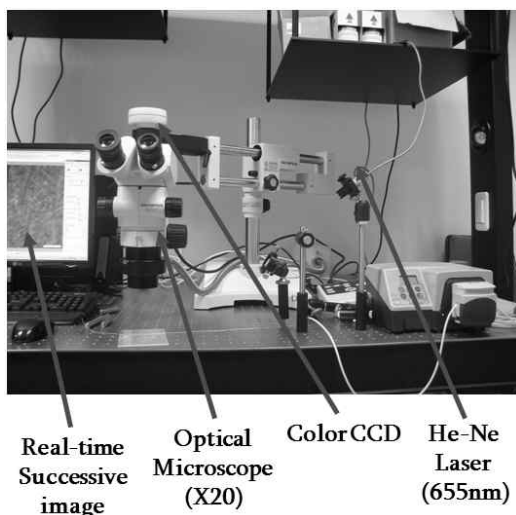


그림 1. 실험장비
Fig. 1. Experimental setup.

치이다. He-Ne 레이저(655nm)를 목표지점인 산란체를 향해 주사한다. 이때 반사되는 스펙클 정보를 현미경이 확대한다. 확대된 정보를 CCD 카메라를 통해 이미지화한 후 컴퓨터를 통해 스펙클 이미지를 볼 수 있게 된다. 저장된 이미지는 산란체의 특성에 따라 다양한 영상처리 과정을 거치게 되면서 필요한 정보를 얻을 수 있게 된다.

2. 레이저 스펙클 내시경

시스템 상용화를 위해 기존의 스펙클 내시경 시스템을 소형화한 스펙클 내시경을 제작하였다. 그림 2는 실제 사용한 레이저 스펙클 내시경이다. 기존의 레이저 스펙클 시스템(그림 1)의 레이저, CCD, 현미경에 해당하는 부분을 하나의 내시경으로 통합하였다. 기존의 내시경과의 가장 큰 차이점은 광원을 할로겐광에서 레이저로 대체하였다는 것이다.

1번 부분은 실제 병원이나 산업용으로 쓰이고 있는 고정형 내시경(ligidbore scope)이다. 앞부분의 긴 관 안으로 렌즈가 연결되어 있어 영상정보와 빛 정보를 보내주게 된다. 입력 정보와 출력 정보가 섞이지 않도록 블록 렌즈가 앞 뒤로 구성되어 있으며 내시경의 길이는 시중의 제품 중 가장 짧은 5cm로 하였다. 영상정보를 얻는 가

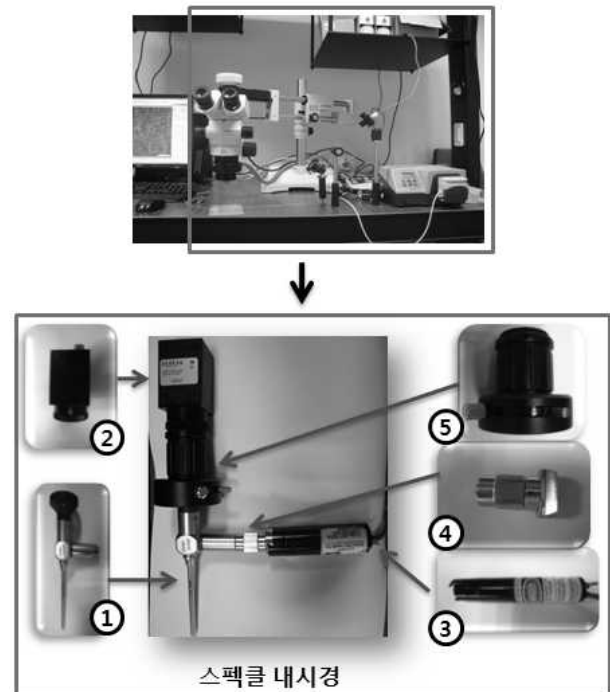


그림 2. 레이저 스펙클 내시경
Fig. 2. Laser speckle endoscope.

장 앞부분의 둥그런 관의 크기는 클수록 더 큰 영상을 볼 수 있다. 우리의 실험은 미세한 부분과 많은 정보를 얻어야 함으로 시중 제품 중 가장 긴 직경 4Φ로 하였다.

2번은 디지털 CCD카메라이다. 영상의 저장을 용이하게 하기 위해 최근 개발된 카메라로서 frame grabber 없이 영상을 바로 Digital로 저장한다. 저장시 이미지 형식은 비압축 무손실 BMP 및 TIF이다.

3번은 655nm파장의 He-Ne 레이저이다. HeNe 레이저는 위험하지 않은 범위 내에서 투사 하였을 때 가장 투영정도가 우수하여^[2] 내시경 제품에도 기존의 스펙클 내시경과 동일한 He-Ne 레이저를 사용하였다.

4번은 광원이 전달되는 어댑터이다. 일반적인 산업용 내시경은 이곳으로 할로겐 광 정보가 들어가지만 스펙클 내시경의 경우는 이곳으로 레이저 정보가 광섬유를 통해 전달된다.

5번은 C mount 어댑터이다. 대부분 내시경과 CCD 카메라 시스템에서 광범위 하게 사용되는 일반적인 어댑터이다. 마운트 내부에는 렌즈가 있어서 영상의 확대, 축소 및 초점조절이 가능하다.

III. 실험환경 및 영상처리

1. 레이저 스펙클 대조비

산란체를 통해 얻은 레이저 스펙클 현상에는 산란체의 특성에 따른 정보를 가지고 있다^[5]. 지역적으로 산란체가 상대적으로 다양한 물질과 다양한 속도를 가지고 있다면 스펙클의 분산(variation)은 큰 값을 가지게 되는 반면 상대적으로 균일한 물질로 구성되고 균일한 속도를 가진다면 스펙클의 분산은 상대적으로 작은 값을 가지게 된다. 이러한 특징을 사람이나 동물의 혈관에 적용하여 보면 혈관은 신체의 다른 부분에 비해 적혈구, 백혈구, 혈소판 등 비교적 균일한 산란체로 이루어져 있고 혈류의 속도도 비교적 일정하다. 그러므로 다른 부위에 비해 상대적으로 낮은 분산을 가지게 됨으로 레이저 스펙클을 이용해 혈관을 구분해낼 수 있다^[9].

이러한 특징을 잘 나타내주는 식을 대조비라고 표현하며 수식적 정의는 다음과 같다^[8].

$$K = \frac{\sigma_s}{\langle I \rangle} \quad (1)$$

K는 대조비를 나타내며 σ_s 는 공간에 대한 표준편차, $\langle I \rangle$ 는 공간에 대한 평균 밝기를 나타낸다. 이 식은 밝

기 값과 표준편차의 비율을 나타내는 것으로서 σ_s 는 산란체의 분산정보를 나타내며 $\langle I \rangle$ 는 이 분산값을 정규화 시켜주는 역할을 한다. K값은 산란체의 표면이 가우시안 분포를 가지는 이상적인 환경이라 가정할 때, 레이저의 반사가 일어나지 않은 경우 0, 전반사되는 경우 1, 즉, $0 \leq K \leq 1$ 값을 가진다^[1]. 하지만 스펙클 노이즈와 다른 환경적인 요인으로 인해 실제로는 1보다 큰 값이 나타날 수도 있다.

2. 시-공간 윈도우 영상처리

내시경을 통해 얻은 스펙클 이미지를 통해 미세혈관을 관찰하기 위해선 영상처리 과정이 필수적이다. 다양한 방법 중 본 실험에서는 mLSI방법을 사용하였다. 그림 3은 mLSI의 동작을 나타낸다^[7]. R.I(Raw Image)는 영상처리 되지 않은 레이저 스펙클 이미지를 나타내며 CCD카메라를 통해 저장된 영상처리 되기 전의 이미지를 말한다. C.I(Contrast Image)는 스펙클의 특성을 이용해 영상처리 되어 각 밝기값들이 대조비 값으로 변환된 대조비 이미지를 말한다. 대조비 값은 수식 1을 통하여 계산하며 시-공간 윈도우를 사용하여 윈도우 내부에 존재하는 모든 밝기값들을 대조비 값으로 변환시켜준다. mLSI방법은 가장 많은량의 데이터로 대조비 연산을 하는 단점은 있지만 고정 윈도우를 사용하는 방법 중 화질이 우수함으로 혈관관찰이 용이해 사용하였다. 화질 측면으로 본다면 적응 윈도우 기법이 고정 윈도우 기법보다 화질이 더 우수하지만^[9] 시간측면을 고려해야 하는 것에 대한 연구의 결과가 아직 이루어지지 않았으므로 mLSI방법을 사용하였다.

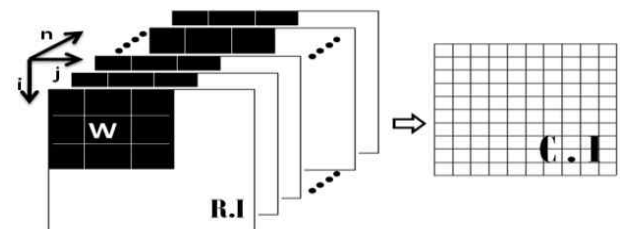


그림 3. mLSI 동작
Fig. 3. mLSI operation.

3. 실험환경

내시경의 가능성을 확인하기 위한 피실험체로서 금붕어를 사용하였다. 아래의 그림 4(a)는 실험에 사용한 금붕어를 나타내었고 (b)는 (a)의 꼬리부분에 점선으로 표시

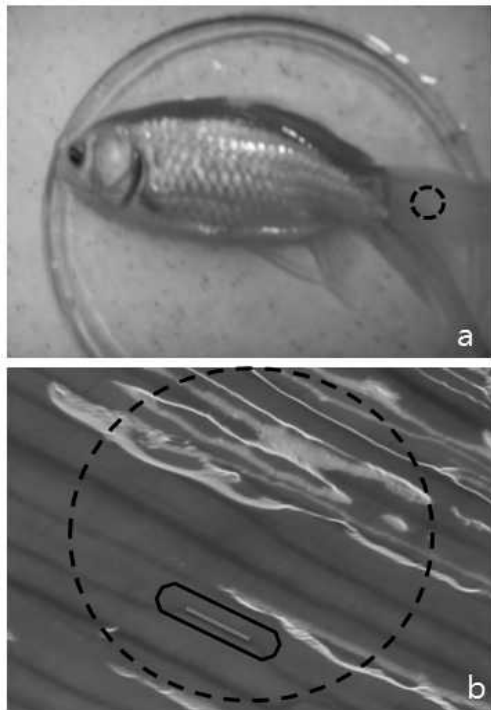


그림 4. 현미경으로 관찰한 금붕어 꼬리의 미세혈관
 Fig. 4. Micro-vessel of Gold-fish through microscope.



그림 5. 금붕어 마취
 Fig. 5. Anesthetized gold-fish.



그림 6. 금붕어 내시경 실험
 Fig. 6. Goldfish speckle endoscope experiment.

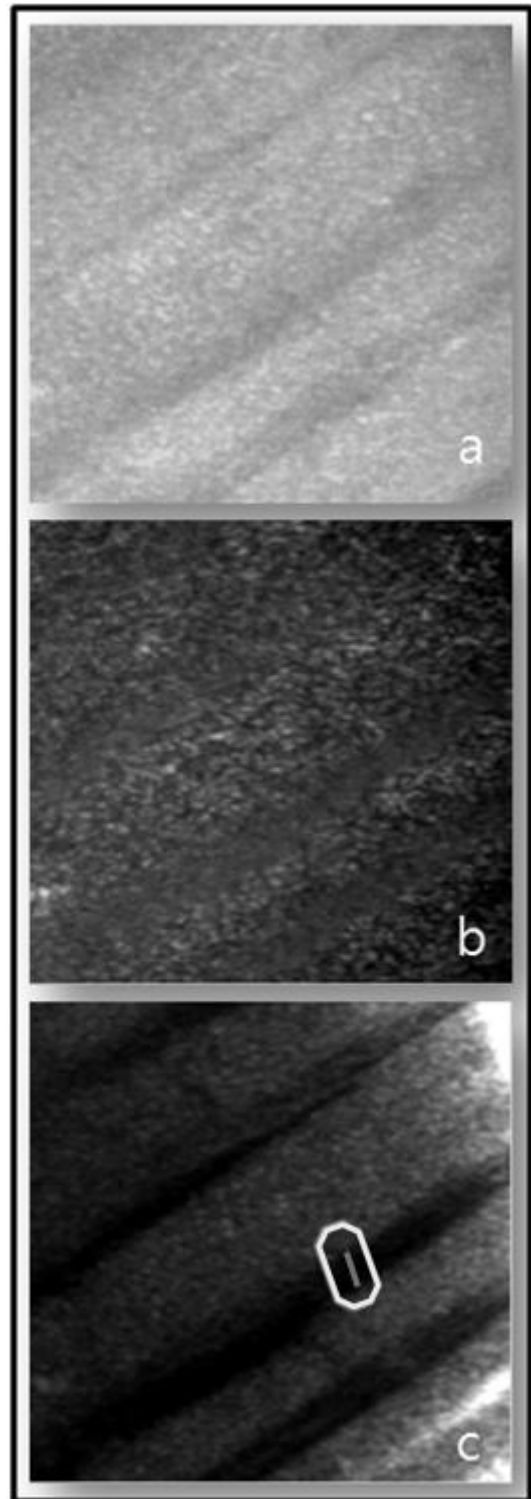


그림 7. 금붕어 내시경 실험 결과
 (a) 자연광 이미지 (b) 스펙클 이미지
 (c) 대조비이미지
 Fig. 7. Results of gold-fish speckle endoscope experiment.
 (a) Halogen image (b) speckle image
 (c) speckle contrast image

된 부분을 현미경 확대한 모습이다.

금붕어 꼬리에는 매우 가는 미세혈관이 존재하고 피부 외피가 두껍게 존재하지 않기 때문에 스펙클 내시경의 실험에 적합한 피실험체이다. 실제로 b이미지의 도형 내부에 표시된 실선의 길이가 0.551mm이다.

실험을 위해 금붕어를 마취상태로 만들어야 했다. 마취시키기 위해 그림 5에서 보는 것처럼 냉각마취 방법을 사용하였다. 얼음물에 금붕어를 2~3분 넣어두면 금붕어는 기절 상태에 놓이게 되고 2분에서 3분 정도 지속됨으로 냉각마취는 실험하기에 적절하였다.

그림 6은 전체 내시경을 통한 실험환경을 보여준다. 마취된 금붕어를 올려두고 내시경으로 목적부위를 비추며 컴퓨터 화면을 통해 영상을 관찰하며 실험하였다. 실험은 주위의 모든 불빛을 차단한 암실환경에서 진행하였다.

IV. 실험 결과

그림 7은 금붕어 내시경 실험의 결과를 보여준다. (a)는 기존 내시경에서 사용하는 자연광(할로겐광) 이미지이며 (b)는 영상처리 되지 않은 스펙클 이미지이고 (c)는 영상처리 과정을 거친 레이저 스펙클 이미지이다. 그림 7(c)에서 도형 내부의 실선의 실제 길이는 45.46 μ m인 매우 작은 미세혈관이다. 영상처리 방법으로는 mLSI에서 공간윈도우 M=3, 시간윈도우 n=50으로 영상처리 하였다. 즉, b이미지를 시간순으로 50장을 가지고 c를 구현해 내었다.

그림에서 (a)를 보면 희미하지만 자연광에서도 내시경을 통하여 기존의 미세혈관 확인이 가능한 것을 알 수 있다. 그리고 a와 b를 비교한다면 영상처리를 거치지 않은 b는 기존의 자연광 이미지보다 혈관구분하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 하지만 영상처리된 (c)를 보면 (a)보다 더 선명히 혈관 구분이 가능한 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 레이저 스펙클 시스템을 내시경 시스템을 통한 미세혈관을 영상화 하는 방법에 대하여 알아보았다. 이미지를 통하여 스펙클 시스템을 적용한 스펙클 내시경 시스템이 기존의 자연광 이미지보다 혈관관찰이 더 용이하다는 것을 알 수 있었고 앞으로 상용화

의 가능성까지도 알 수 있었다. 추후 정밀한 실험을 위해 금붕어 마취부분과 다양한 피실험체를 통한 실험이 필요하며 화질개선을 위해 적응윈도우 기법을 통해 시간해상도를 높여 화질개선에 힘 쓸 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. F. Fercher and J. D. Briers, "Flow visualization by means of single exposure speckle photography," *Optics Commun.*, vol. 37, pp.326 - 329, 1981.
- [2] J. D. Briers, Laser Doppler, speckle, and related techniques for blood perfusion mapping and imaging,, *Physiological Meas.*, vol. 22, pp.35 - 66. 2001.
- [3] Thin M. Le, New Insight into Image Processing of Cortical Blood Flow Monitors Using Laser speckle Imaging, *IEEE TRANSACTION ON MEDICAL IMAGING*, VOL.26, pp.833-842. 2007.
- [4] J. David Briers, Capillary Blood Flow Monitoring Using Laser Speckle Contrast Analysis(LASCA), *Journal of Biomedical Optic* 4(1), pp.164-175. 1999.
- [5] J. W. Goodman, "Statistical properties of laser speckle patterns," in *Laser Speckle and Related Phenomena*, J. C. Dainty, Ed. Berlin:Springer-erlag, pp. 9 - 75. 1984.
- [6] Nan Li, Micro Vascular Imaging by Temporal Laser Speckle Contrast Analysis, Master thesis, Johns Hopkins Univ. 2006.
- [7] H. Cheng, Q. Luo, S. Zeng, S. Chen, J. Cen, and H. Gong, Modified Laser speckle imaging method with improved spatial resolution, *J. Biomed. Optics*, vol.8, no. 3, pp. 559-564. 2003.
- [8] J. D. Briers and S. Webster, Laser speckle contrast analysis (LASCA): A non-scanning, full-field technique for monitoring capillary blood flow, *J.Biomed Optics*, vol.1, no.2 pp.174-179. 1996.
- [9] Ho-Young Jin and Hyun-Chool Shin, 적응 윈도우 기법을 사용한 레이저 스펙클 영상처리, 대한전자공학회논문지, 제47권, SP편, 제1호, 97쪽-102쪽, 2010년.

 저 자 소 개



진 호 영(학생회원)
 2008년 숭실대학교 정보통신전자
 공학부 학사 졸업.
 2008년~현재 숭실대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 신경신호처리, 의
 료영상처리>



신 현 출(정회원)
 1997년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 학사 졸업.
 1999년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 석사 졸업.
 2004년 포항공과대학교 전자전기
 공학과 박사 졸업.
 2004년~2007년 Johns Hopkins Univ., School of
 Medicine 박사 후 연구원
 2007년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 조교수
 <주관심분야 : 생체신호처리, 뇌-기계 인터페이
 스, 의료영상처리 ,>