

OCT용 초고속 위상 변조 광지연단 설계

황대석^{*} · 오세용^{*} · 이호근^{**} · 이영우^{*}

^{*}목원대학교 · ^{**}(주)한백전자

Ultrafast Optical Delay Line by Use of a Phase Modulator for OCT Application

Daeseok Hwang^{*} · Se Yong Oh^{*} · Ho-Guen Lee^{**} · Young-Woo Lee^{*}

^{*}Mokwon University · ^{**}Hanback Electronics Co. Ltd

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

광위상변조기를 이용하여 OCT용 초고속 광지연단을 설계하고 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 electro-optic 위상 변조기에 1310nm, 10ps의 펄스폭을 갖는 레이저 광원을 적용하여 수행하였다. 수치해석결과로 500MHz의 변조 주파수일때 19ps의 시간 지연을 얻었으며, 이는 기존의 기계적 검출 방식(수십kHz)의 OCT장치에 비해 1000배이상 빠른 검출이 가능할 것으로 예상된다.

키워드

OCT, Ultrafast optical delay, Phase Modulation

1. 서 론

최근 의광학분야에 있어 OCT(Optical Coherence Tomography)는 매우 주목받는 기술중 하나이다. OCT는 기존의 의료분야 진단 기술인 X-Ray나 초음파에 비해 고 분해능의 단면 영상을 손쉽게 얻을 수 있다. 특히 근적외선을 이용한 OCT 영상의 장점은 가시광선이나 자외선에 비해서 피부 침투율이 좋고, X-ray에 의한 위험으로부터 피할 수 있다. OCT를 처음으로 생체에 적용한 실험은 MIT대학의 Fujimoto에 의해서 1991년에 처음 시도되었다[1]. OCT는 생체 조직에 있어서 내부 미세구조의 고해상도 단면 영상을 얻는데 특히 눈과 올챙이 같은 투명한 조직의 경우 2cm의 검사 깊이를 얻을 것이 보고됐다[2,3].

일반적으로 OCT는 수십 μm 이하의 해상도로 기존의 X-Ray, CT, 초음파에 비해 매우 우수한 해상도를 갖는다. 그러나 OCT의 검출 속도는 기계적 방식의 경우 160mm/s, 100Hz의 반복률을 가진 galvanometer의 경우 30cm/s, 400Hz의 반복률을 가진 회전 거울 방식의 경우 20m/s로 저속 스캔인 단점이 있다[4]. 표 1에 OCT와 기존 생체 영상획득 방법에 대한 비교를 보인다.

표 1. OCT와 기존 생체 영상 획득 방법 비교

	X-Ray	CT	MRI	Ultra Sound	OCT
추정광원	X-Ray	X-Ray	Magnetic Field	Ultra Sonic	Light Source
해상도	1mm>	1mm>	1~2mm	100um>	1um~50um
투과력	단층 투과	단층 투과	단층 투과	10cm	5mm<
실시간 여부	불가능	불가능	불가능	가능	가능
접촉여부	비접촉	비접촉	비접촉	접촉	비접촉
가격	저가	고가	고가	저가	저가
장비크기	중형	중, 대형	대형	소형	소형
인체 유해여부	유해	유해	유해	무해	무해

본 논문에서는 우수한 해상도를 갖으나 기존 생체 영상 방식에 비해 검출 속도가 느린 OCT의

단점을 보완하고자 기존의 기계식 방식이 아닌 위상 변조기를 이용한 광학적 지연단을 제안한다.

II. 본 론

그림 1는 기본적인 OCT 장치의 구성을 나타낸다. 그림 1에서 광원에서 나온 광은 광분할기를 거쳐 지연단과 샘플로 나뉘게 된다. 지연단에서 광은 Mirror의 움직임에 의해 식 (1)과 같이 도플러 천이로 발생하게 된다.

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f \quad (1)$$

c : 광속
 v : Mirror 속도
 f : 광 주파수

이때 발생한 주파수 천이된 광은 샘플로부터 돌아온 광과 상관을 일으켜 검출기에서 검출하게 되고 최대 검출 속도는 식 (1)에서 얻어진 주파수 천이에 의해 결정된다.

$$v_s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} \Delta f \quad (2)$$

$\Delta\lambda$: 광원의 파장 대역폭
 λ : 광원의 중심 파장

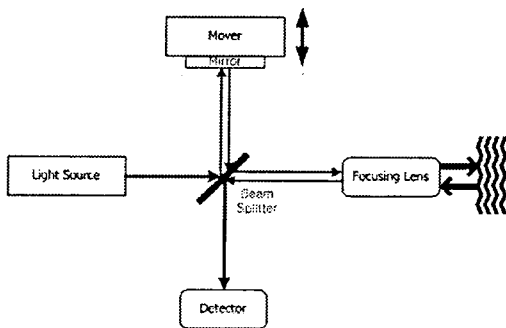


그림 1 기본적인 OCT 장치의 구성도

본 논문에서는 초고속 OCT용 광지연단을 위해 광 위상 변조기를 사용한 광학적 광 지연단을 제안한다. 그림 2에 제안된 초고속 광지연단의 기본 구성을 보인다.

그림 2에서 파장 1310nm, 펄스폭 10ps, 10GHz의

반복율을 갖는 근적외 광원을 사용하였다. 가해진 광은 1:2 광분할기를 거쳐 위상변조기와 대물 렌즈로 분할된다. 먼저 위상 변조기에서 변조 주파수에 의해 광 주파수가 천이되고, 대물 렌즈에서는 샘플에 신호광을 가한후 샘플에서의 산란, 반사 되는 신호를 획득한다. 각각의 경로를 거친 광은 2:1 광결합기를 거쳐 검출기에서 검출된다.

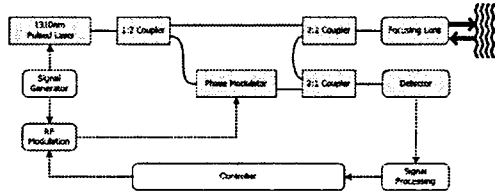


그림 2 초고속 광지연단의 기본구성

지연단으로 사용된 위상변조기에서 광 위상은 식 (3)과 같다.

$$\phi = \pi \frac{V}{2V_\pi} \sin(2\pi f_m t) \approx \pi^2 \frac{V}{V_\pi} f_m t \quad (3)$$

f_m : 변조 주파수
 V : 위상변조기의 peak to peak 전압
 V_π : 위상변조기의 π 위상 변조를 위한 전압

위상변조기에 입사된 광주파수는 식 (4)와 같이 변화된다.

$$\Delta\omega = \frac{d\phi}{dt} = \pi^2 (V/V_\pi) f_m \quad (4)$$

위상 변조기를 거친 광의 주파수는 식 (5)와 같이 천이된다.

$$\Delta f = \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2} \right) \frac{1}{\Delta\omega} = \frac{2c}{\lambda^2} \frac{V_\pi}{V} \frac{1}{f_m} \quad (5)$$

광원으로부터 나온 광과 위상 변조기를 거친 광은 각각 Δf 만큼의 주파수 차이를 갖게 된다.

그림 3은 위상 변조기의 입력에 대한 주파수 천이 및 주파수 천이에 대한 시간 지연을 각각 보여준다. 또 그림 4는 500MHz에서 시간지연에 대한 펄스 열 및 변조시간에 대한 시간지연을 보인다.

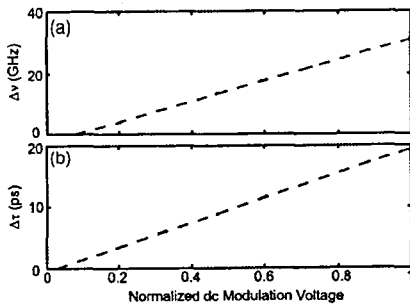


그림 3 (a) 변조 입력에 대한 주파수 천이
(b) 주파수 천이에 대한 시간 지연

electro-optic 위상 변조기에 1310nm, 10ps의 펄스 폭을 갖는 레이저 광원을 적용하여 수행하였다. 수치해석결과로 500MHz의 변조 주파수일때 19ps의 시간 지연을 얻었으며, 이는 OCT장치에서 기존의 기계적 검출 방식(수십kHz)에 비해 1000배 이상 빠른 검출이 가능함이 예상된다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

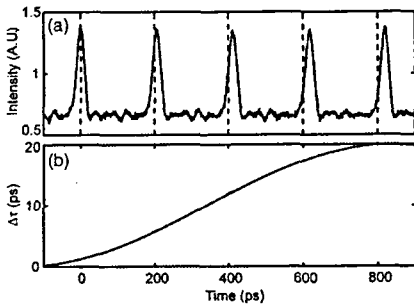


그림 4 (a) 시간 지연에 대한 펄스 열
(b) 변조 시간에 대한 시간지연

참고문헌

- [1] D. Huang, E. A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Stinson, W. Chang, M. R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C. A. Puliafito, and J. G. Fujimoto, "Optical coherence tomography," *Science*, vol. 254, pp. 1178-1181, 1991.
- [2] M. R. Hee, J. A. Izatt, E. A. Swanson, D. Huang, C. P. Lin, J. S. Schuman, C. A. Puliafito, and J. G. Fujimoto, "Optical coherence tomography of the human retina," *Arch. Ophthalmol.*, vol. 113, pp. 326-332, 1995.
- [3] S. A. Boppart, M. E. Brezinsk, B. E. Boump, G. J. Tearney, and J. G. Fujimoto, "Investigation of developing embryonic morphology using optical coherence tomography," *Dev. Biol.*, vol. 177, pp. 54-64, 1996.
- [4] J. M. Schmitt, *Optical Coherence Tomography(OCT) : A Review*, *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics.*, Vol 5, No. 4, pp. 1205-1215, 1999

III. 결론

본 논문에서는 초고속 OCT용 광지연단을 위해 광학적 광 지연단을 제안하고 수치해석을 하였다. OCT 초고속 광지연단의 적합성을