

망막 두께 측정을 위한 망막 촬영 및 다채널 영상획득장치 개발

Development of Retina Photographing and Multi Channel Image Acquisition System for Thickness Measurement of Retina

양 근 호*

Keun-Ho Yang

요 약

망막 촬영 및 다채널 고속 영상 획득 시스템을 개발하였다. 망막 두께 측정은 망막을 3차원으로 촬영하고 고속으로 신호처리를 할 수 있는 시스템을 요구한다. 망막에 레이저를 투사한 후에 반사되어 돌아오는 레이저의 양을 array photo diode를 이용하여 감지하며 이를 3차원 영상화하여 망막의 두께를 측정할 수 있다. 망막에 레이저를 투사하는 장치, APD 광센서를 이용한 망막 영상화 장치, 다채널 고속 A/D 변환 장치 및 PCI 인터페이스를 개발하였다. polygon mirror와 galvano mirror를 이용하여 HeNe 레이저 빔을 각각 수평방향과 수직방향으로 주사하여 이미지 평면을 만들어 망막에 투사하였다. APD 어레이 광센서를 이용하여 각 층별로 나타나는 망막영상을 획득하였으며, 이를 실시간으로 A/D 변환하여 PCI 버스를 통해 컴퓨터로 전송하였다.

Abstract

In order to measure the retina thickness, the retina photographing system and the multi-channel high speed image data acquisition system is developed. This system requires the optical processing techniques and the high speed image processing techniques. The HeNe laser beam is projected the retina in artificial eye and then we sensed the reflected laser signal using APD array. The laser projection system on retina using optical instruments is implemented. In order to project the plane laser beam on retina, laser photographing system used the polygon mirror for horizontal scanning and the galvano mirror for vertical scanning. We acquired retina images in each channel of APD array, transferred computer using PCI interface the image data after real-time A/D converting.

Key words : APD array, Retina, Thickness, Pci

I. 서 론

영상처리에서는 사람이 인지할 수 있는 사진뿐만 아니라 다중 센서 등에서 취득된 신호 자료도 처리 대상으로 사용하고 있으며, 최근에는 레이저를 이용한 3차원 범위 영상, 여러 개의 카메라로부터 얻어진 입체 영상, 다중 센서에서 얻어진 다중 대역 영상에 대한 연구가 활발히 진

행중이다.

인간의 눈은 사물을 인식하고, 판단하는데 있어서 가장 중요한 요소이며, 특히 망막의 손상에 의한 시력상실은 회복하기 매우 어렵다. 따라서, 망막질환을 조기에 발견하고 치료하는 것이 매우 중요하다.

망막은 사진기의 필름에 해당하기 때문에 망막의 표면이 균일하지 않으면 정상적으로 사물을 인식하는 것이 불가능해진다. 이러한 망막 표면의 불균일 현상은 망막에 질환이 있는 경우에 발생한다. 따라서 망막 두께의 상태를 파악하는 것은 망막질환 진단에 중요한 단서가 된다.

*한려대학교 멀티미디어정보통신공학과
접수 일자 : 2003. 9. 29 수정 완료 : 2003. 12. 26
논문 번호 : 2003-4-13

현재 망막두께 측정 방법은 레이저 빔을 안구의 망막에 투사한 후, 반사되어 되돌아오는 레이저 빔의 양을 센서를 통해 전기적인 신호로 변환하여 영상신호로 얻을 수 있다. 2차원 영상으로 표현하는 방법은 많이 활용되고 있으나, 실시간으로 3차원 영상을 구성하여 망막두께를 측정하는 기술 개발은 매우 미흡한 실정이다. 현재 임상에서 이용하고 있는 망막 영상화 장치는 RTA(retina thickness analyzer), SLO(scanning laser ophthalmoscope), OCT(optical coherence tomography) 및 HRT(heidelberg retinal tomography) 등이 있으며, 이들은 2차원 영상처리 장치로서 진단과 치료에 이용하고 있다. RTA는 망막의 전면에 반사되는 빛과 후면에서 반사되는 빛의 거리를 분석하여 망막의 두께에 대한 등고선을 나타내며, SLO는 레이저 광선을 1차원적으로 조사하여 얻어진 정보를 이용한다. OCT는 망막의 단면을 2차원 선상에 그래프 형태로 표현하며, HRT는 망막 전면의 굴곡 형태만을 보여준다. 기존의 장비의 문제점을 분석하고 3차원 망막 영상을 만들어 내는 광학장치를 개발하고 망막으로부터 반사되는 레이저를 전기적인 영상신호로 변환하는 장치를 개발하였다.

망막 두께 측정을 위한 3차원 영상을 획득하기 위해서는 다채널 고속 A/D 변환기술 및 전송기술이 필요하다. 실시간으로 망막의 두께를 측정하기 위하여 레이저를 이용한 망막 영상화 및 망막 영상 획득 장치를 개발하였다. 다채널 A/D 변환기 및 PCI 인터페이스를 개발하여 컴퓨터로 망막 영상을 전송하고 3차원 영상을 만들기 위한 장치를 개발하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 망막두께 측정을 위한 영상 획득장치의 구성 및 전반적인 시스템 개발내용을 간략하게 설명하며, III장에서는 버스방식에 의한 실시간 다채널 A/D 변환장치개발에 대하여 소개하고, IV에서는 실험한 결과를 보인다. 마지막으로 V장에서는 결론 및 차후 연구에 대하여 서술한다.

II. 망막두께 측정을 위한 영상 획득 장치

안구는 망막, 수정체, 유리체, 공막 및 각막 등으로 이루어져 있다. 이 중에서 안과질환의 가장 많은 부분을 차지하는 것은 망막이다. 망막은 거의 투명한 막으로 170~500[μm]의 두께를 가진 입체적인 조직이다. 망막에 부종이 발생하면 두꺼워지거나 얇아지며, 이러한 망막의 두께 변화를 입체적으로 측정하면 망막질환을 발견하는 것이 용이해진다

레이저를 이용한 3차원 망막 영상화 장치는 그림1과 같다. 레이저 발생장치로부터 발생한 레이저 빔(HeNe)은 초점 조절용 직각 평면 거울을 이용하여 망막에 조사되는 레이저 빔의 초점거리를 맞춘다. 초점 조절용 거울을 통과한 레이저 빔은 평면 거울을 거쳐 3600[rpm]으로 회전하는 24면체 거울인 polygon mirror에 의해 조사됨으로

서 수평주사선을 형성한다. 수평주사된 레이저 빔을 60[Hz]로 상하운동을 하는 galvano mirror에 스캔시켜 만든 평면 레이저 빔은 이중 프리즘을 통해 안구의 망막에 투사한다. 망막에 입사된 레이저 빔이 반사되어 되돌아오는 반사 레이저 빔은 이중 프리즘에 의해 입사 레이저 빔과 구분되며, 입사경로의 역으로 되돌아와 광센서에 입력된다. 여기서 반사 레이저 신호를 감지하기 위하여 사용한 광센서는 독일의 Silicon Sensor사의 APD(Avalanche Photo Diode) array이며[1,2,3], 이것을 통해 망막의 각 층을 분리한다. Galvano mirror, polygon mirror, 이중 프리즘 및 반사경 등을 통해서 선형 빔을 평면 빔으로 변환하여 망막에 투사하고 이의 역과정을 통해서 평면 빔은 선형 레이저 빔으로써 APD array에 주사되어 전기적인 영상신호를 얻을 수 있다. 특히 APD array의 광센서 배열은 망막을 바라보는 화각을 이용으로써 망막의 두께를 영상화할 수 있도록 한다. APD array 센서에서 얻어진 전기적인 신호는 polygon과 galvano mirror의 모터 구동신호를 각각 수평 및 수직동기신호로 하는 동기신호와 합성하여 비디오 신호 형식으로 전환되며 망막의 각 층에 대한 비디오 신호를 얻는다.

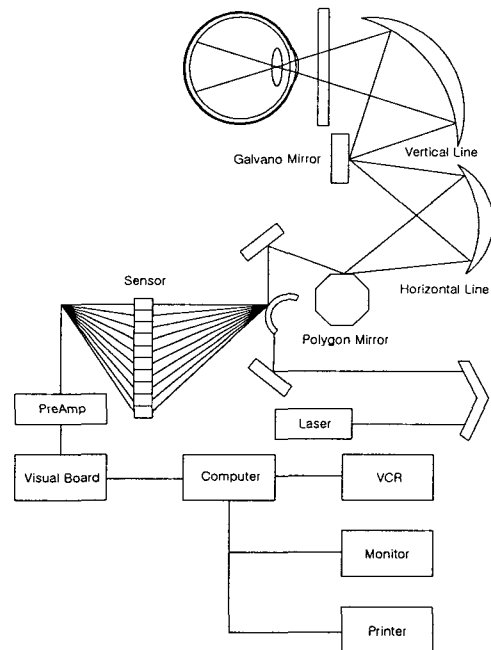


그림 1. 망막영상을 얻기 위한 시스템 구성도
Fig. 1. The block diagram for retina image acquisition

안구의 망막에 투사할 수 있는 레이저는 HeNe, Argon 또는 적외선 레이저 등이 사용될 수 있으며, 본 연구에서는 그림 2에 보인 바와 같은 HeNe 레이저 발생장치를 사용하였다.

컴퓨터 인터페이스는 영상 획득장치에서 취득한 영상 데이터를 컴퓨터로 전송하기 위하여 PCI 버스를 이용하였으며, 실시간 전송을 위하여 DMA 기능을 가진 P1x

Technology사의 PCI9054를 이용하였다[4,5,6,7,8]. 전송된 데이터는 컴퓨터 모니터에 디스플레이 기능을 수행하며, 필요에 따라 컴퓨터에 파일로 저장할 수 있도록 설계하였다. 본 연구에서 구현한 영상획득을 위한 시스템 블록 다이어그램을 그림 3에 나타내었다.

이 시스템의 동작제어는 PCI 마스터 인터페이스 방식으로 사용자가 제어할 수 있으며, Visual C++을 이용하여 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 윈도우 프로그래밍으로 구현하였다.

PCI9054는 PCI 버스와 사용자 인터페이스 버스를 연결하는 것으로 외부 메모리 입출력에 매우 편리하다. 32비트 크기의 데이터 버스 입출력이 가능하며, 32비트의 외부 주소 버스를 제공한다. 특히 DMA 기능을 갖고 있기 때문에 실시간 데이터 전송이 가능하다.

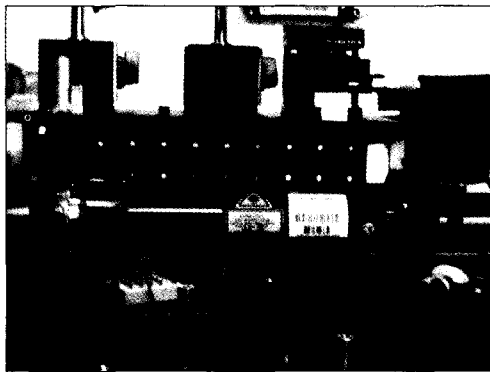


그림 2. HeNe 레이저 발생장치

Fig. 2. The experimental system to generate the HeNe laser

에서는 초고속 다채널 A/D 변환을 구현하기 위하여 각 채널당 A/D변환기와 프레임 메모리를 할당하여 초고속 데이터 변환이 가능하도록 하였으며, 버스 방식에 의하여 각 채널의 동작을 제어함으로써 실시간 처리가 가능하도록 하였다. 제어회로는 VHDL로 프로그래밍하여 단순화시켰다[9,10,11].

센서부에서 얻어진 영상신호와 polygon motor 및 galvano motor의 구동부에서 사용한 수평 및 수직 동기신호는 A/D 변환기와 프레임 메모리의 제어신호로 이용한다. 시스템의 기본 클럭은 24.576[MHz]를 사용하며, A/D 변환기의 샘플링 주파수, 프레임 메모리의 주소, 메모리 쓰기 인에이블 신호, A/D 출력 인에이블 신호 등 시스템 동작에 필요 제어신호를 만든다.

컴퓨터 사용자 프로그램에서 A/D변환 시작 신호를 인가하면 시스템은 리셋신호를 만든다. 이 리셋신호는 시스템을 초기화한다. 리셋신호에 의해 시스템이 초기화되면 수직 동기신호로부터 한 프레임의 영상신호를 받아들일 수 있는 A/D 출력 인에이블 신호를 만든다. 주소버스 신호는 수평 및 수직 동기신호에 동기화 되어 주소를 발생한다. 시스템 클럭으로부터 얻어진 A/D 변환 샘플링 클럭은 주소버스 발생기의 클럭으로 인가되어 동기화된다.

주소버스 발생기는 프레임 메모리의 주소를 지정하며 지정된 메모리 주소에 A/D 변환된 영상데이터가 기록된다. 이때 A/D 변환기의 데이터 출력은 해당 주소버스 신호, 메모리 선택 신호와 출력 인에이블 신호에 의해 기록된다. 그림 4는 VHDL 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 얻어진 결과를 나타낸 것이며, CPLD에 프로그래밍하여 사용하였다. Clock 신호는 시스템의 기본 클럭이며, h_sync, v_sync는 각각 수평 및 수직 동기신호를 나타낸 것이다. Reset 신호는 컴퓨터 사용자가 A/D 변환 시작을 알리는 신호를 인가할 때 발생하는 시스템 리셋신호이다. A[8..0]과 B[7..0] 버스신호는 프레임 메모리의 열과 행 주소를 의미한다. SRAM_CS와 WR_EN는 메모리 선택 신호와 쓰기 인에이블 신호이다. 또한 ADC_OE는 A/D 변환기의 데이터 버스의 출력을 제어하는 신호이다.

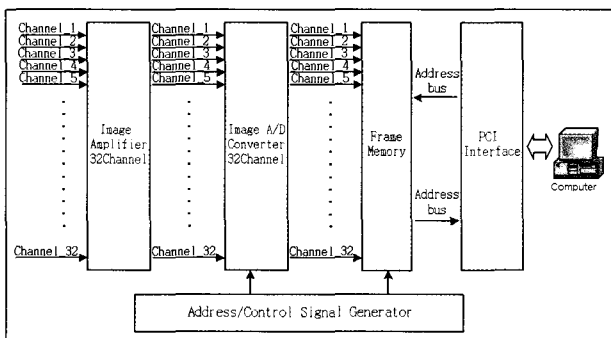


그림 3. 32채널 고속 데이터 획득 시스템

Fig. 3. 32-channel high-speed data acquisition system

III. 버스방식에 의한 실시간 다채널 A/D 변환장치

촬영한 영상으로부터 3차원 영상을 얻기 위한 영상데이터는 대용량 데이터이다. 영상신호를 A/D 변환하여 얻어진 대용량의 데이터를 고속 전송하기 위해서는 매우 정밀한 데이터 획득 및 전송 시스템이 필요하다. 본 논문

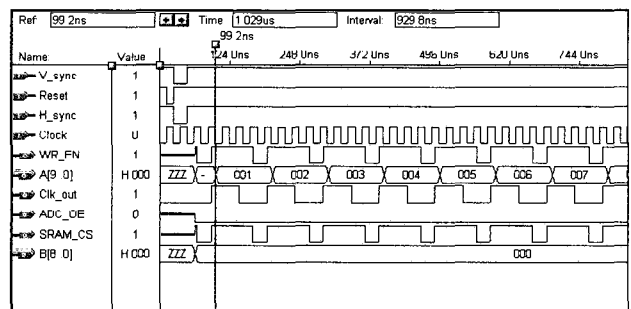


그림 4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

Fig. 4. The simulation results

IV. 실험 및 검토

망막에 레이저를 투사한 후 반사되어 돌아오는 신호를 APD array 센서를 이용하여 전기적인 영상신호로 변환한다. APD 센서는 구동전압이 최대 300[V]로써 암전류(dark current)가 5[nA]이며 최대 250[nA]의 전류를 출력한다. 구동전압의 가감을 통하여 APD 센서의 수광감도를 조절한다. 망막에 투사하는 레이저 빔이 강하면 망막을 손상하기 때문에 아주 약하게 투사하여 얻은 신호를 증폭해야한다. 이때 센서의 출력신호는 수십[nA] 범위 내에서 변화한다. 따라서 센서의 출력신호를 A/D 변환기에 적합한 신호범위로 증폭하기 위하여 고효율 전류 증폭기를 사용한다.

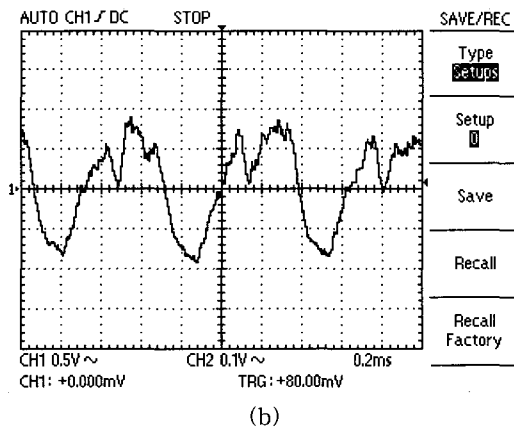
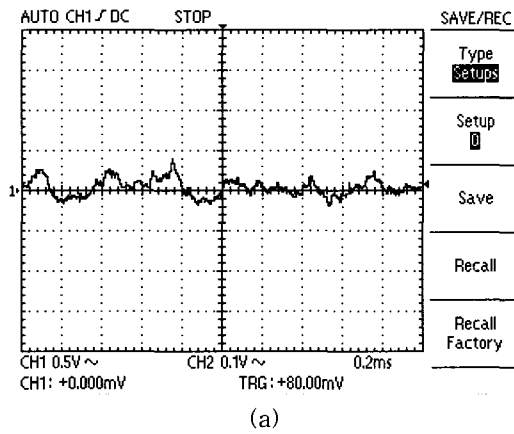


그림 5. APD array 센서 증폭기의 시험 출력신호
 Fig. 5. The test output signal of APD array sensor amplifier

그림 5는 인공 안구에 레이저 빔을 투사하였을 때 APD 센서 증폭기의 출력을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 레이저 빔을 차단하였을 때 출력신호를 나타낸 것이며, 그림 5(b)는 레이저 빔이 인공 안구에 투사되었을 때 출력신호를 보인 것이다. APD 센서에 공급하는 anode 전압을 증가시키면 센서의 감도는 증가한다. 레이저 빔의

투사량을 조절하면서 센서의 감도를 조정하였으며, anode 공급전압의 적정값은 -197[V]이다. 센서의 감도를 조정할 때는 galvano motor와 polygon motor의 회전속도를 낮추고 하였다.

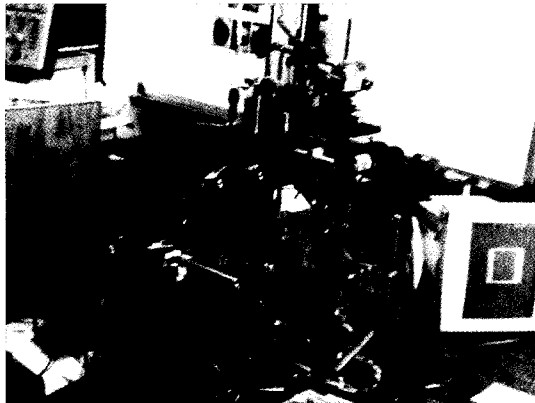
32채널 고속 데이터 획득 보드와 컴퓨터의 인터페이스는 PCI 버스를 이용하였으며 PCI 버스 제어는 Plx Technology사의 PLX9054를 이용하였다. 32비트 데이터 버스와 어드레스를 제공하며 PCI 버스 클록은 33[MHz]로 동작한다. PCI 버스의 최대 전송율은 132[MB/sec]로써 PCI 버스트 및 DMA 전송을 가능하게 한다. PCI 9054 로컬 버스는 50[MHz]로 동작하며, 외부 CPU와 메모리 등 주변 장치를 간단하게 연결해 준다. PLX9054는 PCI 버스와 사용자 인터페이스 버스를 연결하는 것으로 외부 메모리를 입출력하기에 매우 편리하다. 또한 8, 16, 32 비트 크기의 데이터 버스 입출력이 가능하며 32비트의 외부 주소 버스를 제공하기 때문에 대용량 데이터를 입출력 할 수 있다.

PCI 버스는 사용자가 응용을 쉽게 할 수 있도록 새로운 인터페이스를 추가한 전체적인 모듈 형태를 가진다. 이것을 이용하여 사용자는 원하는 디바이스에 인터페이스를 구현할 수 있다. PCI 마스터 기능과 타겟 기능의 두 기능 관점에서 보면 마스터 방식으로 시스템을 구현했을 때 회로 구성은 복잡하고 어렵지만, 기능성, 효율성 등에 있어서 매우 우수하다. 버스 마스터 방식은 본 논문의 특성에 맞는 고속, 대용량의 데이터 전송 처리 환경에 적합하다.

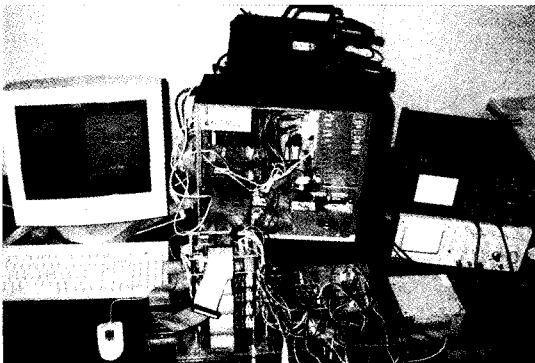
타겟 방식으로 시스템을 구현했을 때에는 DMA 기능을 사용할 수 없기 때문에 CPU 자원을 많이 사용함으로써 CPU가 타겟 시스템에 종속되는 결과로 나타난다. 따라서, I/O 전송속도가 마스터에 비해 급격히 저하되기 때문에 영상데이터와 같은 대용량의 데이터를 입출력할 때 부적합하다. 이러한 결과는 타겟 방식은 CPU가 직접적으로 입출력을 담당하기 때문에 발생한다. 그러나, 버스 마스터에 의한 영상 데이터 전송은 I/O 디바이스가 버스 마스터로써 버스를 제어하고 직접 메모리를 액세스하기 때문에 CPU의 성능 저하를 최소화하므로 멀티태스킹 환경에서 적합하다.

PCI 9054는 고수준의 성능을 가졌으며 이를 이용하여 다채널 A/D 변환 보드의 프레임 메모리에 각각 저장된 영상 데이터를 PCI 버스 방식을 이용하여 컴퓨터로 고속 입출력이 가능하고 33[MHz]의 PCI 버스 클록을 이용할 때 최대 132[MB/sec]의 PCI 버스트 전송을 가능하게 한다. 본 실험에서는 8비트 계조도 영상을 얻고자 하므로 32비트 데이터 버스가 1사이클 동작할 때 4개 채널의 데이터를 액세스하도록 설계하여 최대 전송능력을 528[MB/sec]까지 증대시켜 최대한 고속 데이터 전송이 가능하도록 하였으며, 촬영된 영상 데이터를 실시간 영상 처리 할 수 있도록 시스템 구현을 하였다. PCI 인터페이스를 통한 다채널 A/D 변환장치의 제어 및 망막영상을 촬영하여 영상 데이터로 변환하였다. 그림 6은 본 연구에

서 개발한 전체 실험 장치를 보인 것으로써 그림 6(a)는 HeNe 레이저를 망막에 투사하여 망막영상을 형상화하는 광학 실험장치이며, 그림 6(b)는 광학 실험장치의 APD 센서의 32채널로부터 검출된 망막영상을 A/D 변환하여 컴퓨터로 전송하기 위한 실험장치를 보인 것이다.



(a)



(b)

그림 6. 망막영상 촬영 및 다채널 영상 획득장치
Fig. 6. The retina image photographing and multi channel image acquisition experimental system

V. 결 론

여러 분야에서 촬영한 아날로그 영상정보를 디지털화하여 3차원 영상을 얻기 위해서는 피사체의 각 점에서 촬영한 영상신호를 다채널의 A/D변환기로 변환하여 컴퓨터에 고속으로 전송할 수 있는 고도의 영상처리 기술이 요구되고 있다. 기존의 2차원 망막영상으로는 망막에 관한 질환에 대하여 정확한 판단을 할 수 없으나, 본 연구에서 개발한 망막영상 촬영 및 다채널 고속 영상 데이터 획득 시스템은 망막질환 치료에 크게 기여할 수 있다. 특히 본 연구에서 개발한 시스템은 의료영상과 같은 특수한 분야뿐만 아니라, 산업분야의 3차원 영상의 형상화, 깊이 측정 등과 같은 고도의 영상 신호처리 기술에 기여할 수 있다.

향후 개발한 시스템에 3차원 영상 디스플레이 및 두께 측정 프로그램을 완성시키고, 제품화 과정을 통하여

상품화한다면, 국내 수요 및 해외수출에 크게 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] "Avalanche Photodiode Array", Silicon Sensor Co., Oct. 2002.
- [2] "Amplifier Module M7279", Hamamatsu Co, Sep. 2001.
- [3] "Photodiodes", Hamamatsu Co, Oct. 1999.
- [4] "PCI 버스 해설과 인터페이스 카드 설계", 국제테크노 정보연구소, 2002
- [5] "PCI System Architecture", by Tom Shanley and Don Anderson, Mind share Inc, USA
- [6] "PCI Hardware and Software, Architecture & Design", by Edward Solari and George Willse, Anna books
- [7] "PCI9054 Data Book", PLX Technology, Jan. 2000.
- [8] "PLX SDK Software Development Kit, Programming Reference Manual", PLX Technology, Mar. 2001.
- [9] Chan, Pak, and Samiha Mourad, "Digital System Design Using Field Programmable Gate Arrays", Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, 1994
- [10] Kevin Skahill, "VHDL for PROGRAMMABLE LOGIC", Addison Wesley, 1996
- [11] Coppola, A., A., and J. Lewis. "VHDL for Programmable Logic Devices", Programmable Logic Devices Conference, Santa Clara, Calif. March 1993



양 근 호(Keun-Ho Yang)

正會員

1989년 전북대학교 전자공학과(공학사)

1991년 전북대학교 전자공학과(공학석사)

1999년 전북대학교 전자공학과(공학박사)

1995~현재 한려대학교 멀티미디어

정보통신공학과

관심분야 : 영상신호처리 및 영상통신, 의료영상처리, 디지털신호처리 및 응용