

자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문 시스템

(An Electronic System in Automatic Refracto-Keratometer)

성 원[†] 유강민^{**} 박종원^{***}

(Won Seong) (Gang-Min Ryu) (Jong-Won Park)

요약 최근 시각 관련 측정기 개발에 대한 국내의 관심이 높아지고 있다. 이에 본 논문은 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문 소프트웨어와 하드웨어 시스템을 개발하였다. 광학 부문으로부터 나오는 영상을 이용하여 전자 부문 시스템에서 내부 처리를 거친 후 정확한 시각 측정치를 검사자에게 알려 줄 수 있다면 잘못 측정되는 측정 횟수를 잠재적으로 크게 줄일 수 있을 것이다. 전자 부문 시스템은 소프트웨어와 하드웨어의 두 부분으로 나뉘어 개발되었는데, 소프트웨어 부분은 형태학적 필터링과 그레이 레벨의 신호 강조 기술 등을 이용하여 행해짐으로써, 보다 향상된 굴절력 치수를 도출할 수 있게 개발하였고, 하드웨어 부분은 기존의 시스템들과 동일한 기능을 수행함과 동시에 하드웨어의 변경 없이도 소프트웨어의 변경을 자유롭게 행할 수 있도록 구성하여 개발기간을 크게 줄일 수 있고 나아가 응용 확장 등도 용이하다는 장점을 가지게 되었다. 그리하여 전자 부문 시스템은 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 측정을 가능하게 하였다.

키워드 : 시각 영상, 시각 측정기, 굴절력 곡률계, 형태학적 필터링

Abstract Currently, the domestic interests on the development of eyesight related measuring instruments are being increased. So we are developing such an electronic system of Refracto-keratometer, which contains a software and a hardware both. If this system could inform the examiner of the precise eyesight measuring result from the treatment of the image of optical system, then potentially the number of missed measuring results could be reduced. Our electronic system has been developed from the two areas divided into a software and a hardware. The software area was focused on the more exact eyesight measuring results, using morphological filtering methods and gray-leveled signal enhancing techniques. The hardware area is performing the same functions as the existing other systems. Besides, it provides the embedded software with free variables which could reduce the developing duration sharply as well as enlarge many kinds of application-extensions. Therefore, this electronic system has made effective eyesight measurement possible as the result of reducing the differences applied to sophisticated eyesight measurement.

Key words : eyesight image, optical instrument, Refracto-keratometer, morphological filtering

1. 서론

일반적으로 시각 측정시 정확한 굴절력 값과 각막 곡

률 값의 도출에 대한 실패율은 실제적으로 30%를 웃돈다고 한다. 이러한 높은 실패율(miss rate)은 다양한 원인으로부터 기인될 것이다. 이는 측정자의 비숙련도에도 관련이 있을 수 있으나 원래 시각 측정 자체의 어려움에 더 크게 기인한다고 봐야 한다. 심지어 같은 피검자의 경우에도 눈 깜박거림과 집중력 차이, 검사자의 미세한 손떨림 등에도 큰 오차를 불러올 수 있는 것이다. 만약 자동 처리 시스템이 광학 부문으로부터 나오는 영상으로부터 내부적 처리를 통해서 정확한 측정값을 알려 줄 수 있다면 측정 오류를 크게 줄일 수 있을 것이다.

본 전자 부문 시스템은 소프트웨어와 하드웨어의 두

· 본 연구는 BK21 충남대학교 정보통신인력양성사업단의 연구 지원으로 수행되었습니다.

[†] 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
wseong@ce.cnu.ac.kr

^{**} 비회원 : 바츨얼아이테크(주) 연구원
gmryu@crow.cnu.ac.kr

^{***} 중신회원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수
jwpark@crow.cnu.ac.kr

논문접수 : 2002년 4월 17일

심사완료 : 2002년 8월 20일

부분으로 나누어 개발되었다. 시스템의 소프트웨어 부분은 정확한 시각 측정값 도출을 위해서 먼저 광학계로부터 도출되는 영상을 판독하기 용이한 상태로 미리 바뀌 주기 위해서 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다. 이 처리는 열림(opening)처리로서 먼저 광학계로부터 나오는 원 영상에 수축(erosion) 작용을 적용시킨 후 연이어 확장(dilation)을 행하는 것이다. 이를 행함으로써 원 영상을 이루고 있는 각각의 모든 픽셀들이 원래의 영상에서보다는 훨씬 더 원형의 덩어리 형태들로 밀집되게 된다. 이렇게 원형의 덩어리들로 밀집된 영상은 노이즈(noise)들을 많이 포함하고 있는 원래의 영상보다는 그레이-수준 한계(gray-level thresholding) 기법과 신호 강조(signal enhance) 기법 등의 적용이 용이한 상태가 된다. 형태학적 필터링 작용 다음 단계로 행하는 기법인 그레이-수준 한계 신호 강화 기법은 미리 실험으로 구한 그레이 값을 그레이 한계 값으로 삼아 필터링된 영상에서 그 값을 넘어서는 모든 픽셀들을 모두 일정 값의 그레이 값으로 변환시켜주는 과정이다[1]-[3].

본 논문의 전자 부문 하드웨어 시스템은 기존의 시스템들과 하드웨어 구성을 다르게 함으로써 개발 기간 중에 연동되는 소프트웨어의 수정 등을 자유롭게 행할 수 있게 하였다. 이는 개발 기간 중에 소프트웨어와 하드웨어의 개발이 동시에 수행됨으로써 개발 기간을 크게 줄일 수 있다는 것을 말한다. 또한 본 하드웨어 시스템은 구성 요소들의 특성으로 인해서 연동 소프트웨어 변경, 교체, 부가 등의 시스템 확장도 가능하게 개발되었다. 그리하여 본 시스템은 굴절력과 각막 곡률계의 측정 원리를 이용하여 효율적인 시각 측정을 할 수 있었다.

본 논문은 2장에서 기존의 관련 연구에 대해 논하고 3장에서는 전자 부문 소프트웨어 개발에 대해 논하며 4장에서는 전자 부문의 하드웨어 개발에 대해서 논하고 5장에서 소프트웨어와 하드웨어 개발의 결과를 비교하고 알아본다.

2. 기존 관련 연구

2.1 측정 원리

굴절계와 곡률계의 측정 원리는 전자 부문이 아닌 광학 부문과 특별히 관계된 사항으로서 자동 시각 굴절력 곡률계에서는 광학 부문에서 이와 같은 측정 값들의 정보를 함축할 수 있는 화상을 만들고 전자 부문에서 이를 연산, 해석하여 실제 측정값을 도출해 내게 된다.

2.2.1 굴절계 측정 원리[4]-[6]

광원에서 나온 광선속은 피검안의 망막에서 반사된다.

이 때 피검안의 굴절 상태에 따라 정상안에서는 평행 광선속, 근시에서는 수렴 광선속, 원시에서는 발산 광선속으로써 사출된다. 이 피검안으로부터 사출된 광선속은 분할되어, 6개의 덩어리 점으로 되어 TV 카메라에 투영되어 결상된다. 이 6개의 덩어리 점의 좌표 위치를 타원 또는 원으로 계산하여, 굴절력 측정 값인 구면도수(SPH), 난시도수(CYL), 축각도(AX)를 구한다.

2.2.2 각막 곡률계 측정 원리[7]

각막 곡률계 측정 링(Ring) 광원을 피검안의 각막에 투영하면 각막이 가진 각 방향의 곡률 반경 R에 대응한 형 크기의 타원 형태로 반사된다. 이 각막에서의 반사광을 사전에 XY좌표에 위치시켜 놓은 TV 카메라에서 수광하여 그 좌표를 데이터로서 읽는다. 이 데이터를 처리하면 타원의 장경, 반경, 회전각이 구해진다.

이 때 각막의 곡률 반경 R, 링 광의 투영상의 높이 h, 링 광의 투영각도 θ 와의 관계는 (식 1)과 같은 기본 함수 관계가 있고 타원의 장, 단경에 따라 각막의 대, 소 곡률 반경 R을 구할 수 있다.

$$R = \frac{h}{\sin(\theta/2)} \quad (1)$$

또 각막의 곡률 반경 R(mm), 각막의 굴절력 D, 각막의 굴절률 n 사이에는 (식 2)와 같은 함수 관계가 있고 각막의 대, 소 곡률 반경 R에서 각막의 장, 약 굴절력 D를 구할 수 있다.

각막의 동가 굴절률 n은 1.3375, 1.336, 1.332 중에서 선택할 수 있다. 세 값들은 모두 표준으로 정해진 값으로서 어떤 값을 선택하여 사용하여도 된다.

$$D = \frac{1000(n-1)}{R} \quad (2)$$

(식 1)과 (식 2)는 광학계에서 검증된 공식으로서 안경사나 안과 의사와 같은 시각 관련 전문가들이 자동 기기를 사용치 않을 시에는 일일이 수동으로 위 공식들을 사용하여 여러 결과 값들을 얻어야만 했다.

본 연구는 이러한 측정 원리들이 영상부문으로부터 도출되어져 나오는 도형의 형태 정보에 함축되어져 있는 것을 발견하였고 실제 측정에서는 원 또는 타원의 형태로 보여지는 도형의 몇 가지 정보로부터 실험을 통해 증명된 방법으로 측정값을 얻을 수 있다. 보통 도형을 타원으로 간주했을 때 장축과 단축의 길이를 구하고 그 길이를 픽셀당 길이로 계산하여 굴절력 값 등을 계산해 측정값들을 도출해 낼 수 있다.

2.2 자동 시각 굴절력 곡률계 개발 배경

최근 국내의 안과 의원과 안경점에서 사용되고 있는 자동 시각 굴절력 곡률계는 대부분 외국산이다. 자동 굴

굴절력 곡률계는 시각 관련 기기 개발의 어려움으로 인하여 대부분 외국의 한 회사의 제품이 전세계의 90% 이상을 독점하고 있는 실정이다. 여타 다른 몇몇 기업들에서 개발을 시작하였으나 결과가 미미한 실정이다. 이는 단순한 측정 시스템의 국내산 부재만을 얘기하는데 그치는 것이 아니라 앞으로 계속해서 개발되는 시각 관련 측정기 산업의 종속을 의미하는 것이다. 이에 최근에 국내에서도 이러한 시각 측정 기기의 개발을 행하고 있으나 아직까지 완성도 면에서 크게 뒤지는 형편이다. 이에 시각 관련 측정 기기의 개발이 요구되는 실정이다. 그러나, 한 기업의 독점과 기술의 비공개로 인하여 기존의 시스템들에 대한 알고리즘과 측정 원리 등은 거의 알려지지 않은 실정이다. 이에 기존 시스템들의 선수 연구 없이 영상처리 기법을 이용하여 독자적인 시각 굴절력 곡률계를 개발하게 되었다.

3. 전자 부문 소프트웨어 설계

3.1 굴절력 측정 알고리즘

자동 굴절력 곡률계의 광학 부문에서 도출되는 화상은 720×480이다. 그림 1과 같은 이러한 화상은 화상 안에 6개의 덩어리 점들을 가지고 있는 형태인데 6개 각각의 한 점은 가로 세로 30픽셀 정도의 크기로 되어 있고 점의 윤곽은 명확하게 형성되어 있지 않으며 많은 노이즈들도 포함하고 있어서 점과 바탕의 경계가 명확하지 않다. 이 6개의 점들은 원 또는 타원을 형성하는 각 부분들이 되고 이 6개가 이루는 도형의 크기와 위치에 따라서 측정 값이 달라지게 되는 것이다.



그림 1 광학계로부터 나오는 굴절력 부분 화상 예

이 때 광학 부문으로부터 나오는 6개의 덩어리 점들을 포함하고 있는 화상에서 시스템이 처음으로 행하여야 할 일은 먼저 6개의 점들의 정확한 픽셀 좌표를 알아내기 위해서 6개의 덩어리 점들이 위치하고 있다고 추측되는 부분만을 접근하는 것이다. 이러한 ROI

(Region of Interest) 선별은 시스템의 전체 수행 속도에 커다란 영향을 미치는 사항이다. 본 시스템은 이를 다음과 같은 메커니즘으로 수행하였는데, 6개의 점들이 영상의 중심에 위치하므로 영상을 분할하여 영상의 중간줄에 위치하는 수평상의 두 점을 먼저 파악하여 가상의 중점 위치를 파악한 후 그 가상 중점으로부터 아래와 같은 C 프로그램 코드를 이용하여 대략적으로 6점의 ROI 위치를 계산해 낸다. 이 때 계산해 낸 위치는 ROI 중심의 위치 좌표가 된다. 이는 도형을 이루는 6점이 대체적으로 60도의 차이를 두고 구성되어진다는 것에 기반하여 수행되게 된다. 그러나, ROI가 아닌 실제 덩어리 점들의 정확한 중심 위치 좌표는 ROI에서의 여타 테스트 측정 후에 알 수 있게 된다.

```

/* struct Window (
    int x ;
    int y ;
    int module_x ;
    int module_y ;
    int module_size ;
    int module ; // module 존재 여부
)
*/
void set_window_position (IMAGE im, struct Window *ptr,
int i, int j, int distance) {
    ptr->x = (i - ((distance/2)*1.732)) ; .....①
    ptr->y = (j - (distance/2)) ; .....②
    ptr++ ;
    ptr->x = (i - ((distance/2)*1.732)) ;
    ptr->y = (j + (distance/2)) ;
    ptr++ ;
    ptr->x = i ;
    ptr->y = j - distance ;
    ptr++ ;
    ptr->x = i ;
    ptr->y = j + distance ;
    ptr++ ;
    ptr->x = (i + ((distance/2)*1.732)) ;
    ptr->y = (j - (distance/2)) ;
    ptr++ ;
    ptr->x = (i + ((distance/2)*1.732)) ;
    ptr->y = (j + (distance/2)) ;
}

```

위 프로그램 코드의 함수는 6개의 ROI를 자동으로 계산해 내는 일을 수행한다. 이는 임시로 구해진 중점으로부터 6점의 위치를 계산해 내기 위해서 미리 수행되어야만 한다. 함수의 입력 인자들 중 i와 j는 임시 중점의 좌표 값이고 이 들 값들을 이용하여 각각 위치가 다른 6개의 ROI들을 계산해 내게 된다. 프로그램 코드 중 줄 ①과 줄 ②는 6개의 점들 중 왼쪽 위에 위치하는 첫번째 덩어리 점을 측정하고자 하는 ROI의 위치 좌표를 계산하는 식이다. 프로그램 코드 중 1.732는 tan60도의 값이며 distance는 임시 중점으로부터 각각의 ROI

중점까지의 임시 거리이다. 그림 2는 첫번째 ROI의 중점 좌표 (x, y) 를 구하는 것을 설명해 준다. 그림 2에서 세 번째 덩어리점의 대략적인 위치와 임시 중점까지의 거리가 임시 distance값이 되는데, p 는 distance를 반으로 나눈 distance/2가 된다.

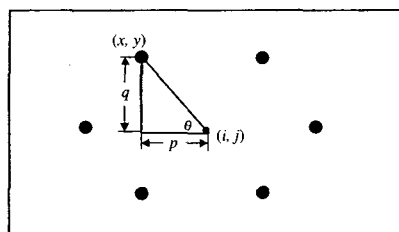
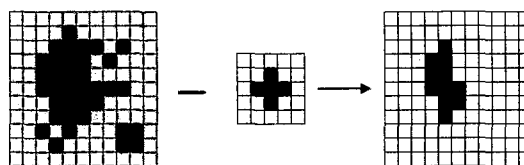


그림 2 자동 ROI 위치 계산법

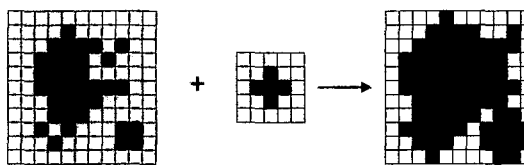
이 때, $\tan\theta$ 즉, $\tan 60$ 도는 q 를 p 로 나눈 q/p 이다. 여기서 q 는 $p \times \tan 60$ 도로 계산되고 이것은 $p \times 1.732$ 즉 (distance/2)×1.732가 된다. 나아가, (x, y) 좌표의 x 좌표값은 임시 중점 i 값에서 q 를 뺀 값으로 계산할 수 있으므로 $x = i - q = i - ((\text{distance}/2) \times 1.732)$ 식으로 표현할 수 있다. y 좌표값은 임시 중점 값 j 에서 p 만큼의 값을 빼서 구할 수 있으므로 $y = j - (\text{distance}/2)$ 가 된다. 이와 같은 방법을 이용하여 나머지 5개 덩어리 점들의 ROI들의 위치 측정도 첫번째 ROI의 중점을 구하는 식과 비슷한 요소들의 조합으로 구할 수 있게 된다. 프로그램 코드에서는 ptr의 값을 하나씩 증가 시킴으로써 첫 번째부터 순서대로 다음 ROI의 좌표값을 구하는 식으로 진행되게 된다.

6개의 ROI가 정해진 후엔 덩어리 점을 이루는 여러 픽셀들 중 필요 없는 노이즈들을 제거하고 필요한 픽셀 선택을 위하여 덩어리점들은 영상처리가 가능한 상태로 변환되어져야 한다[8][9]. 이를 위하여 형태학적 필터링 기법들이 적용될 수 있다. 형태학적 필터링 기법들은 수학적 형태학적 기법에 기반한다. 확장(dilation)과 수축(erosion)이라는 두 기본적인 형태학적 작용이 있는데, 확장은 처리하고자 하는 화상에 템플리트를 가지고 논리적 OR 연산을 행하는 것으로 결과적으로 화상의 형태가 크게 자라게 된다. 그래서, 화상 패턴상에 있는 구멍이나 틈 등은 채워지게 되고 전체 패턴은 커지게 된다. 수축(erosion)은 확장과 같은 동작원리를 지나 처리하고자 하는 화상에 템플리트를 가지고 논리적 AND 연산을 행하는 것으로 결과적으로 화상 패턴의 형태는 작아지게 되고 가장자리의 세부 구조들은 제거된다. 그림 3에서 보여주는 것 같은 화상의 경우에 확장은 처

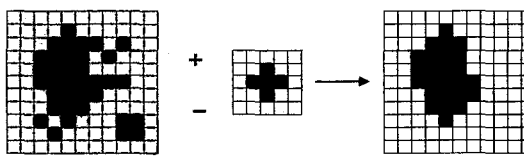
리하고자 하는 화상에 템플리트를 덧씌웠을 때, 일치하는 픽셀이 하나라도 존재한다면 그림 3(b)처럼 템플리트를 이루는 이진 값들을 화상에 덧붙여주는 방식이 되는 것이고 수축의 경우는 처리하고자 하는 화상에 템플리트의 모든 픽셀들이 모두 일치되었을 때에만 그림 3(a)처럼 미리 기준으로 잡아준 픽셀 위치만을 취하게 되는 것이다.



(a) 수축 작용 (Erosion operation)



(b) 확장 작용 (Dilation operation)

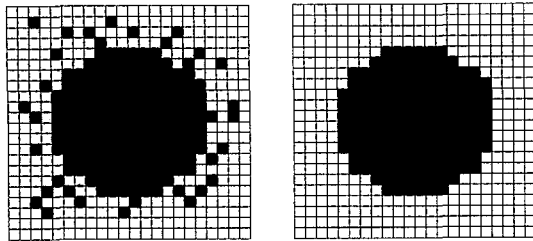


(c) 열림 기능 (Open operation)

그림 3 형태학적 필터링 작용들

확장된 형태학적 작용은 두 가지 기본 형태학적 기능의 연속 수행을 행하는 것인데, 이에는 열림(open) 기능과 닫힘(closed) 기능이 있다. 이 중 열림 기능은 수축 작용을 행한 후 확장 작용을 행하는 것이다. 이 작용은 그림 3(c)처럼 적용 화상의 가장자리 노이즈들과 작은 구조들을 제거하면서도 큰 구조들의 전체 크기와 모양을 유지하게 된다.

본 시스템은 보다 처리가 용이한 상태로 만들기 위해서 먼저 열림(open) 형태학적 필터링 기법을 적용시킨다. 우리는 6개의 덩어리점에, 원 모양의 템플리트를 사용하여 위에서 설명한 열림 형태학적 작용을 행하였고, 6개의 덩어리점 각각의 화상은 수축과 확장 작용을 연속적으로 적용 받게 됨으로써 그림 4와 같이 수축 작용시 가장자리 세부 구조들과 떨어져 있는 노이즈들이 제거되고 확장 작용시 본래의 크기만큼 복원, 확장되면서 구조를 유지하게 된다.



(a) 열림 작용 적용 전 (b) 열림 작용 적용 후

그림 4 열림 작용 적용 전과 후의 덩어리점 예

열림 형태학적 필터링을 행한 후에 얻은 덩어리점 화상은 가장자리에 위치하고 있던 여러 노이즈들이 제거된 상태다. 그러나, 얻어진 덩어리점의 형태는 아직도 정확한 원의 중심을 알려줄 수 있는 상태는 아니다. 왜냐하면, 원래 덩어리점의 크기와 형태를 정확히 알 수 없기 때문이다. 다시 말하면, 우리가 처음부터 처리하고자 하는 덩어리점 화상 자체가 실제로는 그림 5와 같이 상당히 번진(blurred) 현상을 가지고 있으며 다양한 그레이 값들을 포함하고 있다. 그러므로, 원래의 덩어리점 화상에서 노이즈들을 제거한 형태라고 할지라도, 원래의 정확한 위치를 말해주는 것은 무리가 있게 된다. 예를 들면, 그림 5와 같이 덩어리점의 화상을 얻었다고 할 때 어느 그레이값까지를 덩어리점으로 할 것인가의 선택에 따라 덩어리점의 크기와 위치가 달라지고 이는 원하는 덩어리점의 중심값의 차이를 가져오게 된다. 이런 이유로 덩어리점의 크기와 영역을 정확히 구분 지을 수 있는 한계 값을 분명히 정해야 한다.

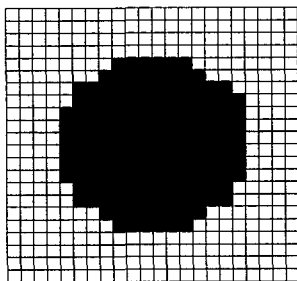


그림 5 여러 그레이값들을 포함하고 있는 덩어리점

덩어리점은 그레이값으로 150에서 255값까지 다양한 값을 포함하고 있게 된다. 그러므로, 원래의 덩어리점의 모양과 크기를 가장 근사하게 도출할 수 있는 그레이값의 선택을 하여야만 했고, 우리는 실험을 통해서 그레이값 150에서 255 사이 중 그레이값 210을 선택할 수 있

었다. 이렇게 구한 덩어리점을 가지고 210 그레이 값보다 더 큰 값을 가지고 있는 덩어리점 안의 픽셀들은 255같은 극단적인 한 값으로 통일시켜 신호를 강조하였다[10][11]. 이는 덩어리점과 비 덩어리점을 명확히 구별하고자 함이고 덩어리점으로 간주된 픽셀들을 한 값으로 통일시켜 신호를 강조함으로써 덩어리점에 대한 영상처리와 연산 적용을 용이하게 하고자 함이다.

다음으로 6개의 덩어리 점들로부터 각각의 중심점을 구한 후 구해진 6개의 덩어리 중심점 픽셀 점들이 만들어내는 도형인 원 또는 타원의 중심점을 구한다. 이 때, 도형의 중심점은 서로 마주보며 존재하는 대각선상의 점들이 이루는 선분들의 교차점으로 정한다. 이렇게 구한 도형의 중심점과 6개의 점들을 이용해서 도형의 장축과 단축을 도출해 내고 이를 이용해서 굴절력과 각막 곡률값 등을 측정 방식에 따라 구한다.

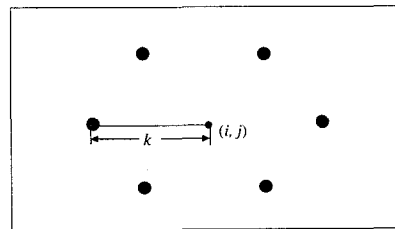


그림 6 굴절력 측정을 거리 측정

굴절력을 측정하기 위해서는 그림 6과 같이 점 (i, j) 로부터 도형인 타원이나 원을 구성하는 한 왼쪽 점까지의 픽셀 환산 길이를 구했을 때, 그 픽셀 길이를 k 라고 가정하고, 사전에 실험으로 도출해 낸 정시안 경우의 지름 픽셀 환산 길이를 m 이라 한다면, $2k$ 의 길이가 m 보다 길면 원시, 짧으면 근시로서 판정하고, $2k$ 에서 m 을 뺀 절대값의 크기에 따라 원시와 근시의 굴절력 도수가 정해진다.

3.2 곡률 측정 알고리즘

그림 7에서 보듯이 눈동자 중앙을 중심으로 링모양의 광원이 존재함을 볼 수 있는데, 광학계에서 피검안의 곡률값의 차이에 따라 링의 크기와 모양을 결정하게 된다. 소프트웨어 시스템은 광학계로부터 도출되어 나온 이러한 화상으로부터 크기와 모양을 파악하여 각막의 대, 소 곡률 반경, 각막의 강, 약 굴절력 등을 구할 수 있게 된다.

광학계로부터 도출되는 곡률계의 화상은 링(ring)의 형상을 하고 있는데, 이를 가지고 실제로 측정하는 것은 링의 장축과 단축의 반의 값으로서 각막의 대, 소 곡률 반경 R 을 구할 수 있다. 나아가, 이를 통해 구한 대, 소

곡률 반경 값을 가지고 측정 원리 식에 대입하여 각막의 강, 약 굴절력 D를 구할 수 있다.



그림 7 광학계로부터의 곡률계 화상 예

여기서 본 시스템은 링 광원을 다루는 새로운 소프트웨어 알고리즘을 특별히 고안하지 않았고 링 광원의 영상도 앞서 소개하였던 굴절력을 구하는 영상처럼 6개의 덩어리 점을 가지고 있다고 그림 8처럼 간주하여 같은 알고리즘을 적용할 수 있도록 변형시켰다. 이 때, 링의 띠를 6개의 덩어리 점으로 되어있는 것처럼 ROI를 가지고 자동으로 접근하는 방식을 제외하면 굴절력을 구하는 방식과 같게 된다. 이는 알고리즘의 간결화와 재사용이라는 이득을 얻을 수 있다.

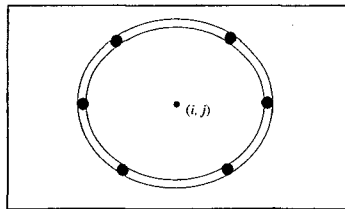


그림 8 링 광원의 변형

그림 9는 소프트웨어의 전체 처리 순서를 보여주고 있다.

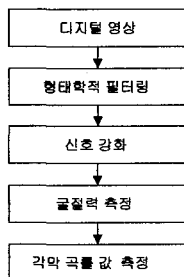


그림 9 소프트웨어의 전체 처리 순서

4. 전자부문 하드웨어 설계

전자 부문 하드웨어는 광학 부문 하드웨어로부터 요

구되는 검사 명령을 받아들여 카메라에 잡힌 영상을 캡처하는 영상 캡처 부분과 캡처된 영상을 처리하기 위해 일시적으로 영상을 저장해 놓는 영상 저장 부분, 그리고 저장된 영상에 대해 특정 측정 알고리즘 즉 전자 부분 소프트웨어를 수행해서 시력과 같은 결과를 도출해 내는 소프트웨어 수행 부분이 있다. 또한 부가적으로 피검자의 시력에 따라 피검자의 수정체가 초점을 맞출 수 있도록 보여주는 영상의 초점거리를 조절해주기 위한 초점 렌즈 이동용 스텝 모터 및 곡률계의 눈동자 영상만을 추출해 내기 위한 조리개 동작용 스텝 모터 제어 부분들이 있다[12][13].

4.1 기존 제품의 하드웨어 분석

본 연구에서는 기존의 제품에서 사용되는 전자 부문 하드웨어를 분석하기 위해 기존 제품 중 M 광학 기업에서 제작, 시판하고 있는 MRK-2000 및 MRK-3100을 분석하였다.

기존 제품의 전자 부문 하드웨어는 크게 여섯 가지 부분으로 분류될 수 있으며 간략한 블록도를 보면 그림 10과 같다.

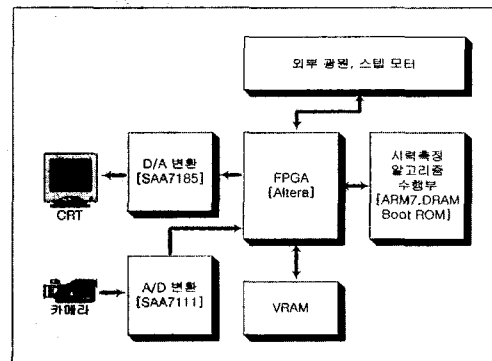


그림 10 MRK-2000, 3100의 블록도

첫 번째 부분은 광학 부문의 카메라에서 받아들여진 피검자의 아날로그 영상을 캡처해서 디지털 영상으로 변환시켜주는 영상 A/D 변환 부분으로 필립스사의 SAA 7111 칩을 사용하고 있다[14].

두 번째 부분은 이러한 디지털 영상을 저장해 둘 수 있는 메모리 부분으로 PC의 VGA 카드에서 널리 사용되는 비디오 램을 사용하고 있다.

세 번째 부분은 이러한 디지털 영상을 처리해서 결과를 산출해 내는 알고리즘 수행 부분으로써 ARM7 계열의 CPU와 범용 D램을 사용하고 있으며 알고리즘을 저장하고 있는 롬으로 구성되어 있다.

그리고 네 번째 부분은 알고리즘 수행 결과와 디지털 영상을 합성하고 이를 다시 아날로그 영상으로 변환하여 CRT쪽으로 디스플레이 해주는 D/A 변환 부분이 있으며 이 부분에는 필립스 사의 SAA7185 칩을 사용하고 있다[15].

마지막으로 각각의 부분들간에 인터페이스를 제어해주고 외부 광원이나 스텝 모터를 제어해주는 기능을 수행하는 부분은 Altera사의 FPGA 칩을 이용해 구현하고 있다.

4.2 하드웨어 구성 방법

본 연구에서는 M 광학의 MRK-3100에서 사용하고 있는 광학 부문 하드웨어를 이용하기 위해 기존의 광원이나 스텝 모터 제어 인터페이스, 그리고 아날로그 영상 데이터에 대한 인터페이스를 그대로 사용하였으며 내부적으로는 x86계열의 범용 CPU를 사용함으로써 일반 범용 운영체제인 Windows, Linux 등을 사용 가능하도록 하였다. 그에 따라 소프트웨어 개발이 더욱 용이해졌으며, 여러 가지 다양한 소프트웨어를 처리할 수 있는 유연성을 가질 수 있게 되었다. 또한 CRT에 계속해서 피검자의 안구 영상을 보여주면서 계산된 결과 값이 안구 영상과 함께 보여질 수 있도록 일반 VGA 제어칩을 사용, 칩의 오버레이 기능을 이용해서 디스플레이하였으며, 곡률계 및 굴절계 쪽의 입력 영상을 캡처하기 위해 별도의 영상 캡처 칩을 사용하고 있다.

본 연구에서 제안하고 있는 하드웨어의 간략한 블록도를 보면 그림 11과 같다.

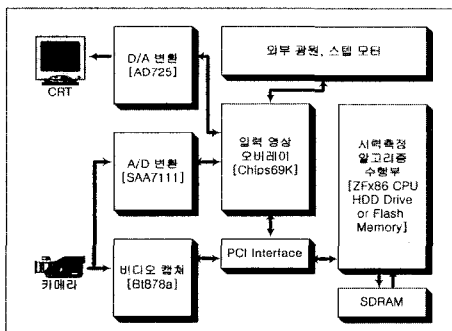


그림 11 제안하는 하드웨어 블록도

제안하는 하드웨어의 구성 및 동작 원리는 다음과 같다. 첫 번째 부분은 A/D 변환 부분과 영상 오버레이 부분으로 광학 부문의 카메라에서 입력된 아날로그 영상을 SAA7111 칩을 통해 A/D 변환한다[14]. 그리고 이 변환된 디지털 영상 데이터 및 시력 측정 후의 최종 디

지탈 결과영상을 오버레이해서 출력하기 위해 일반 노트북이나 LCD 패널용 VGA 제어칩으로 널리 사용되고 있는 Chips and Technologies 사의 CHIPS69000칩을 사용하였다. 이 칩은 2Mbyte의 비디오 램을 내장하고 있어 기존의 전자 부문 하드웨어를 대체할 수 있는 소형 보드 제작에 유리한 점을 갖고 있다[16].

두 번째 부분은 D/A 변환 부분으로 VGA 제어칩에서 출력되는 최종 디지털 결과 영상을 TV CRT에 출력할 수 있도록 아날로그 영상으로 변환해 주는 기능을 수행한다. 이 부분을 구현하기 위해서 TV Encoder 칩인 AD725 칩을 사용하였다[17].

세 번째 부분은 비디오 캡처 부분으로써 입력 영상의 캡처를 위해 일반 TV 수신카드에 많이 사용되고 있는 Bt878a 칩을 사용해 측정 명령이 내려진 순간에 영상을 캡처하고, 이 캡처 화면을 PCI 버스를 통해서 메모리에 저장하는 기능을 수행한다. 또한 부가적으로 Bt878a 칩이 갖고 있는 24개의 GPIO(General Port Input Output)를 이용해서 광학 부문의 광원과 스텝 모터를 제어하게 된다[18].

네 번째 부분은 알고리즘 수행부분으로써 그림 12와 같이 x86계열의 ZFX86 CPU를 이용하여 플래시 메모리나 일반 하드디스크 드라이브에 저장되어 있는 Embedded Linux 기반의 영상처리 알고리즘을 수행하게 된다.

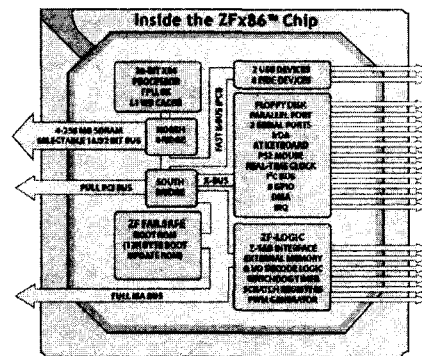


그림 12 ZFX86 CPU 블록도

특히, ZFX86 CPU는 그림 12에서 보는 바와 같이 x86 계열의 32-Bit CPU로서 일반 IBM 계열의 범용 컴퓨터에 구현된 인터페이스를 모두 칩 내에 내장하고 있어 소형 컴퓨터나 특정 목적의 소형장비를 개발하는데 많은 장점을 가지고 있다[19].

본 연구에서 제안된 하드웨어는 기존 제품의 광학 부문에 연결하여 테스트하였으며, 본 테스트에서는 함께 개발된 전자 부문 소프트웨어를 수행시켰으며 입력 영상 처리를 위한 모든 동작을 성공적으로 수행하였다.

본 시스템은 x86 계열의 범용 CPU를 사용하고 있다. 기존의 시스템은 비 x86 계열의 CPU를 사용함으로써 해당 CPU에 맞게 변환된 운영체제나 응용프로그램 외에 일반 개인용 컴퓨터(PC)에서 사용하고 있는 운영체제나 응용프로그램을 사용할 수 없는 환경이다. 또한 기존 시스템의 입출력 장비의 인터페이스 부분은 다른 장비와의 호환성을 갖고 있지 않기 때문에 입출력 장비를 교체할 경우 시스템 보드 전체를 다시 제작해야 하는 불편함을 가지고 있다.

그러나 본 시스템은 범용 CPU를 사용함으로써 일반 개인용 컴퓨터에서 사용하는 운영체제나 응용프로그램을 그대로 사용할 수 있는 개발 환경을 제공하며 기존의 개인용 컴퓨터에서 지원하는 입출력 장비를 대부분 지원하고 있으므로 개발 완료 후 필요 없는 입출력 장비와 인터페이스 부분은 사용하지 않으면 된다.

또한 하드웨어적으로 기존의 시스템에서는 보드의 롬에 삽입된 프로그램을 디버깅하거나 업그레이드 할 경우, 또는 다른 기능을 갖는 프로그램을 추가하고자 할 경우, 일반 범용 시스템에서 새로운 프로그램을 개발하고 개발된 프로그램을 기존 시스템에서 사용한 CPU에 맞도록 고가의 크로스 컴파일러를 이용해 변환시킨 후, 시스템을 정지시키고 시스템 보드의 롬을 롬 라이터와 같은 장비를 이용해서 개선된 프로그램으로 다시 프로그래밍 한 다음, 시스템에 롬을 다시 장착한 후, 구동시키고 테스트 해보는 등의 일련의 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

본 연구에서 사용한 시스템은 이러한 일련의 복잡한 과정 대신 개발 장비 자체가 개발자의 PC 환경과 같은 개발환경을 제공해 주고 있으므로 개발 장비 상에서 프로그래밍을 하고 결과를 그 자리에서 볼 수 있으며 개발 완료된 프로그램을 바로 시스템 보드에 삽입할 수 있다. 또한 보드상에서 개발자의 프로그램을 저장할 수 있는 장치로는 일반 롬이나 콤팩트 플래쉬카드, 일반 하드디스크 등의 다양한 장비를 사용할 수 있다.

이러한 환경을 통해 개발된 본 시스템은 개발자가 프로그램을 구현하고 이를 디버깅한 후 최종 마무리하는 단계까지의 개발기간이 상당히 단축되며, 개발된 시스템 보드에서는 일반 PC에서 사용하는 범용 운영체제나 응용프로그램을 구동시킬 수 있으므로 추후의 프로그램의 개선을 위한 업그레이드 작업 저비용으로 신속하게 수

행할 수 있다. 즉 범용 입출력 장비 대부분을 지원함으로써 메인 보드의 변화 없이 주변 입출력 장비의 변화에 대처 할 수 있으며, 개발자가 일반 시스템에서 개발한 응용프로그램 대부분을 고가의 크로스 컴파일러를 통한 변경 없이 구동시킬 수 있다.

4.3 연동 실험

본 연구에서 제안한 하드웨어는 기존 제품의 광학 부문에 연결하여 테스트하였다. 테스트 환경은 그림13과 같이 접안기 광학부문, ZFx CPU 개발장비 부문 그리고 전자부문 인터페이스 보드로 구성하였으며, 굴절력 곡률계에서의 광학부문은 기존 제품 중에서 입력 영상을 처리하여 시력 측정 알고리즘을 수행하는 전자 부문을 제거한 것으로 제거된 전자 부문은 전자부문 인터페이스 보드 및 본 논문에서 제안한 시스템으로 대체하였다.

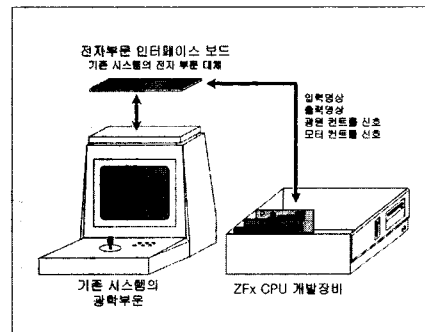


그림 13 인터페이스를 통한 연동 테스트

전자부문 인터페이스 보드는 기존 제품의 광학 부문과 본 논문에서 제안한 전자 부문의 인터페이스를 맞춰주기 위한 것으로 기존 제품과 제안된 시스템 간의 입출력 영상의 전송과 각종 광원 및 스텝모터의 컨트롤 신호 전송, 그리고 사용자의 측정 명령 신호 등을 전송하는 역할을 한다. 마지막으로 ZFx CPU 개발장비는 본 논문에서 제안한 시스템을 구현하기 위해 ZFx86 CPU 및 자체 제작된 CHIPS69000 비디오 카드, Bt878a 비디오 캡처 카드를 PCI슬롯에 장착하고 있으며, SAA7111 A/D 변환 보드를 입력영상 포트 쪽에 장착하고 있다. 본 테스트에서는 함께 개발한 전자 부문 소프트웨어를 수행 시켰으며 입력 영상에 대한 처리 및 시력 측정 결과 영상 출력을 성공적으로 수행하였다.

5. 실험 결과

이 장에서는 본 시스템 상의 메커니즘에 따라 처리된 결과를 기술한다. 본 시스템은 난시 도수 측정 실험에서

는 기존의 시스템과 별다른 차이를 보이지 못했으나 구면도수 측정 실험에서는 기존의 시스템보다 정확성 향상을 보였다.

첫째, 전자부문 소프트웨어의 결과는 구면 도수의 굴절력 측정 실험을 통해서 얻은 결과로써 알 수 있다.

표 1 +5.00 모형안의 구면도수 측정 (단위:디오퍼터)

모형안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
+5.00	+5.00	+5.00	+5.00
+4.50	+4.25	+4.50	+4.50
+4.00	+4.00	+4.00	+4.00
+3.50	+3.50	+3.25	+3.50
+3.00	+2.75	+3.00	+3.00
+2.50	+2.50	+2.50	+2.50
+2.00	+2.00	+2.50	+2.25
+1.50	+1.50	+1.75	+1.50
+1.00	+1.00	+1.00	+1.25
+0.50	+0.75	+0.50	+0.50
+0.25	+0.25	+0.25	+0.25
-0.50	-0.25	-0.50	- 0.50
평균오차	0.08	0.06	0.04

표 1은 구면도수값 +5.00을 가진 모형안(Model eye)을 기준으로 위치시키고 다양한 값으로 변화시킬 수 있는 구면 렌즈들을 덧씌움으로써 얻어낸 결과로서 본 시스템과 기존의 시스템들에 대한 실험 결과이다. 표 1에서 평균오차는 본 시스템, M사, C사의 측정 결과 얻은 구면도수 값과 원래 모형안이 가지고 있는 실제 구면도수 값과의 평균오차이다. 정확한 측정이 어려운 광학 분야에서 크게 고려하지 않아도 될만큼의 미미한 차이를 보이고 있다. 이와 같이 +5.00 구면렌즈 이외의 다른 구면 렌즈들을 이용한 실험에서도 정확성 향상을 보였다.

그림 14는 표 1에서의 값을 얻는 실험을 확장한 결과를 나타낸 것이다. 이 실험은 구면도수값 +5.00의 모형안 대신에 다양한 구면도수값의 모형안들의 평균오차값들을 표시하였다. 여기서, 기존 제품들의 평균오차가 0.064디오퍼터인 반면 본 시스템의 평균오차는 0.039디오퍼터로서 평균 0.025디오퍼터 만큼의 정확성 향상을 보임을 알 수 있다.

그림 15는 측정자가 결과 값을 얻기 위하여 측정 버튼을 누른 후 화면에 결과 값이 도출되는 시간을 측정 한 것이다. 기존 제품들의 반응 시간은 평균 0.8초인 반면 본 시스템의 반응 시간은 평균 0.45초로서 본 시스템

이 기존의 두 제품들에 비해 43.8%의 속도 향상을 보임을 알 수 있었다.

그리하여, 결과적으로 본 시스템의 결과가 기존 제품의 결과값들보다 더 오차가 적고 수행시간도 향상됨을 볼 수 있었다.

전자부문 하드웨어 개발의 결과는 융통성있는 개발 환경의 구축으로 요약할 수 있는데 본 연구에서 제안된 전자 부문 하드웨어는 기존의 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문에 비해 유리한 소프트웨어 개발 환경을 가지게 된다. 개발 기간의 단축뿐만 아니라 추후에 기능 개선 및 새로운 기능의 추가에도 유리한 환경을 제공하게 된다. 예를 들면, 굴절력 곡률계의 개발 시에 하드웨어의 변경 없이도 변경되거나 업그레이드되는 소프트웨어를 편리하게 연동할 수 있고 나아가, 만약 피검자의 안구 반사광 영상을 이용한 새로운 질병 진단 알고리즘 등이 개발될 경우 이를 하드웨어의 개선 없이 소프트웨어의 변경만으로 구현할 수 있다는 것 등이 있다. 이는 개발 기간의 단축뿐만 아니라 다양한 소프트웨어 개발과 확장이라는 점에서도 장점을 가지게 된다. 그리고 환자 관리용 DB프로그램과 같은 시력 측정과 무관한 일반 응용프로그램 등에도 운용할 수 있는 잇점을 가지게 되는 것이다.

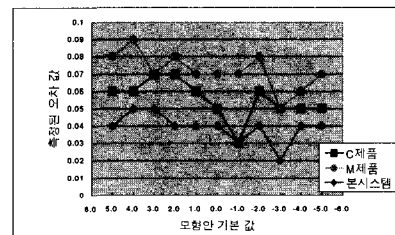


그림 14 평균 오차 측정 결과

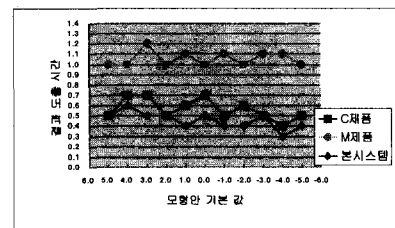


그림 15 시스템 결과 도출 시간 (초)

6. 결론

본 연구는 형태학적 필터링과 그레이-레벨의 신호 강조 기술들을 이용하고 시각 측정 원리를 적용하여 자동

시각 굴절력 곡률계의 전자부분 소프트웨어를 개발하였다. 한 개의 픽셀 차이 등으로 인하여 커다란 측정 차이를 가져올 수 있는 광학 관련 시스템에서 적절한 영상 처리 기법의 적용으로 향상된 결과를 얻었다. 나아가 본 연구는 기존의 자동 시각 굴절력 곡률계들의 전자부분 하드웨어 구성과는 다른 하드웨어 구성을 통해 개발 기간의 단축뿐만 아니라 여타 소프트웨어의 확장 시에 전자부분 하드웨어의 변경 없이 소프트웨어의 교체, 확장만으로 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지게 되었다. 이는 광학 관련 시스템 구성의 새로운 모델을 제시했다는 점에서 의의가 있다고 볼 수 있다.

그러므로, 본 연구에서 개발한 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자부분 시스템은 광학부분 등과 연동되어 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 구면도수 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 측정을 가능하게 하였다.

본 시스템은 정확성 향상과 반응 시간 단축에서 기존의 시스템들보다 향상을 보였다. 그러나, 모형안이 거치대에 정확히 놓이지 않는다거나 실험자의 안구가 정확히 시스템에 밀착되어 있지 않은 경우에는 측정 결과값이 제대로 도출되지 않는 단점을 보였다. 기존 시스템들도 그와 같은 현상을 보이기는 하나 이런 경우 본 시스템의 정확성 우위는 없게 된다. 그러므로, 향후 정확성 향상에 대한 연구를 행함과 동시에 모형안이나 실험자의 안구의 부정확한 위치나 움직임에도 크게 영향을 받지 않도록 하는 알고리즘에 대한 연구가 있어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J.R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, pp. 68 - 115, John Wiley & sons, Inc.
- [2] Howard E. Burdick, Digital Imaging Theory and Application, pp. 153 - 194, McGraw-Hill.
- [3] Scott E. Umbaugh, Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIPtools, pp. 197 - 235, Prentice Hall.
- [4] 성풍주, 옴토메트리 개론 & 안경재료학, 대학서림, 1990.
- [5] 성풍주, 안경 광학 I, 대학서림, 1990.
- [6] 성풍주, "안경광학 II", 대학서림, 1989.
- [7] 김관철, 최신 광학 기기, pp 192 - 211, 신평출판사.
- [8] CANON Service Manual, Canon Publishing.
- [9] Mirae optics company, Auto Refractometer/Keratometer MRK 3100 User's Manual .
- [10] M.L. Giger, et al., Computerized detection of pulmonary nodules in digital chest images: Use of morphological filters in reducing false-positive detections, pp. 861 - 865, Medical Physics, Vol. 17, No.5, Sep/Oct 1990.
- [11] H. Yoshimura, Computerized Scheme for the Detection of Pulmonary Nodules : A Nonlinear Filtering Technique, pp. 124 - 129, INVESTIGATIVE RADIOLOGY, Vol 27, Feb, 1992.
- [12] 미래광학, Auto Ref / Keratometer MRK-2000 서비스 매뉴얼 Revision 2.0, 미래광학.
- [13] 미래광학, Auto Ref/Keratometer MRK-3100 사용설명서 Revision 2.0, 미래광학.
- [14] Philips, SAA7111 Data Sheet, Philips, May, 1998.
- [15] Philips, SAA7185 Data Sheet, Philips, Jul, 1996.
- [16] Chips and Technologies, 69000 HiQVideo™ Accelerator with Integrated Memory Data Sheet, Chips and Technologies, Aug, 1998.
- [17] Analog Device, AD725 Data Sheet, Analog Device.
- [18] Conexant, Fusion™878A Data Sheet, Conexant, Dec, 1999.
- [19] ZF Micro Device, ZFx86™ System-on-Chip Data Book, ZF Micro Device, May, 2001.

성 원

1997년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월 ~ 현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사 과정. 관심분야는 의학영상 처리, 컴퓨터그래픽스

유 강 민

1999년 2월 충남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 2001년 2월 충남대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사) 2001년 3월 ~ 현재 버츄얼아이테크(주) 연구개발팀 연구원. 관심분야는 영상처리, 병렬처리

박 중 원

1979년 2월 충남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1981년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업(전산학 석사). 1991년 8월 한국과학기술원 전산학과 졸업(전산학 박사). 1995년 ~ 현재 충남대학교 공과대학 정보통신공학과 정교수. 관심분야는 영상처리, 병렬처리, 의공학