

## 정밀한 3차원 데이터를 얻기 위한 확대경 사용에 관한 연구

차국찬\*

### A study of using the magnifying lens to detect the detail 3D data

Kuk-Chan Cha\*

#### 요약

레이저를 이용하는 거리 기반법은 상세한 3D 데이터를 얻기 쉬운 반면 영상 기반법은 그렇지 않다. 영상 기반법에서 상세한 데이터를 얻기 위해 확대경을 채용하는 새로운 방법이 본 논문에서 제시된다. 확대경은 스테레오 비전 시스템에서의 disparity를 증폭시키고 disparity의 증폭은 깊이 해상도를 증가시킨다. 확대경을 통해서 disparity가 증폭됨을 수학적으로, 실험적으로 증명하고 확대경으로 얻은 상세 데이터로 원 3D 데이터를 개선시키는 방법을 제시한다.

#### Abstract

The range-based method is easy to get the 3D data in detail, but the image-based is not. In this paper, employing the magnifying lens, the new approach to get the 3D data in detail is suggested. The magnifying lens amplifies the disparity in stereo vision system and the amplification of disparity is to increase the resolution of the depth. We mathematically and experimentally verifies the fact to amplify the disparity and suggests the method to improve the original 3D data with the detail 3D data.

▶ Keyword : 3D reconstruction, magnifying lens, image-based modeling, stereo vision

---

• 제1저자 : 차국찬  
• 접수일 : 2006.04.26, 심사일 : 2006.05.13, 심사완료일 : 2006.06.1  
\* 건양대학교 컴퓨터공학과

## I. 서론

컴퓨터 비전은 영상으로부터 3차원 데이터를 얻고자 하는 것이다. 영상 외의 부가적인 요소를 사용하는 능동적인 방법과 영상만을 사용하는 수동적인 방법이 있다[1]. 능동적 방법 중 레이저를 이용하는 거리기반 영상은 데이터를 세밀하게 구성할 수 있는 반면 대상체의 크기와 속도가 느린 것이 단점이다. 영상 기반의 3차원 데이터 취득법은 세밀하게 데이터를 구성하는 것은 어렵지만 크기나 속도면에서 거리기반 영상보다 우위에 있다.

3차원 데이터 구성에서 영상기반(image-based)과 거리기반(range-based)의 장단점은 다음과 같다[2].

### 1. image-based modeling

- 장점 :
  - .큰 물체에 대한 3차원 데이터를 구성하는 것이 쉽다.
  - .shading과 색상으로 물체면의 텍스처어를 세밀하게 나타낼 수 있다.
- 단점:
  - .이주 작은 물체 혹은 물체의 세밀한 부분에 대한 3차원 데이터를 얻기 어렵다.

### 2. range-based modeling

- 장점:
  - .물체의 세밀한 부분까지 데이터를 얻기 쉽다.
- 단점:
  - .덩치가 큰 물체에 대한 3차원 데이터를 한 번에 구성하기 어렵고, 시간이 많이 걸린다.

이와 같은 상반된 장·단점 때문에 자동 네비게이션 분야에서는 두 센서를 동시에 사용하고 있다.

본 논문에서는 확대경과 같은 보조기구를 동원하여 능동적으로 영상기반의 단점을 극복하고자 한다. 확대경을 통하여 대상체의 특정부위를 2배, 4배 확대시켜 더욱 상세한 영상을 얻을 수 있고, 그 영상으로부터 정밀한 3차원 데이터를 얻을 수 있다.

양안입체시의 경우 카메라로부터 물체까지의 깊이는 두 영상간의 disparity 차이로 나타난다[3]. disparity 차는 궁극적으로 화소 수의 차이이므로 확대경을 통하면 영상과 함께 disparity도 증폭된다. 증폭된 disparity는 깊이 해상도를 증가시키므로 좀 더 상세한 3D 데이터를 얻을 수 있

다. 확대된 영상으로부터 얻은 정밀한 데이터를 원 영상으로부터의 3D 데이터와 교체하면 좀 더 충실한 3차원 데이터를 구성할 수 있다. 본 논문에서는 대상체 내에서 복잡한 영역만을 확대하여 세밀한 3차원 데이터를 얻고, 그 상세 데이터로 원 데이터를 보강하는 방법을 제공한다[4].

2장에서는 양안입체시와 확대경의 광학적 특성을, 3장에서는 정밀한 3차원 데이터 구축 과정을, 4장에서는 실험 및 고찰을 설명한다.

## II. 양안입체시와 확대경의 광학적 특성

### 2.1 확대경의 광학적 특성[5]

<그림 1>은 확대경의 촬상과정을 나타낸 것이고 사람 눈의 경우 25cm 정도의 거리에 초점을 잘 맞춘다. 확대경은 허상(y')을 형성하는 것이고, 허상을 만드는 장치의 확대율은 물체와 상의 크기 비(M)이다.

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{Z}{z} \dots\dots\dots (2.1)$$

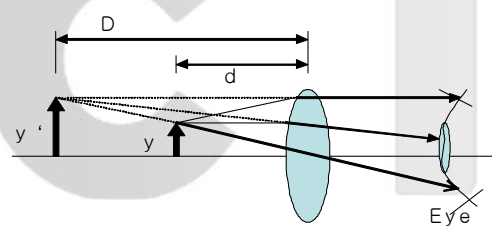


그림 1. 확대경의 촬상계  
Fig. 1. the imaging system of the magnifying lens

식 (2.1)에서 z1과 z2의 확대율을 통한 깊이 Z1, Z2사이에서의 깊이 변화는

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = M(z_2 - z_1) = M\Delta z \dots\dots\dots (2.2)$$

이다. 식(2.2)로부터 확대경을 통하면 두 물체간의 거리는 더욱 멀어짐을 알 수 있다.

2.2 확대된 양안영상에서의 disparity 증폭

<그림 2>의  $\triangle PMCl$ 와  $\triangle PILCl$ 로부터

$$\frac{x}{z} = \frac{x'_l}{f} \dots\dots\dots (23)$$

<그림 2>의  $\triangle PNCr$ 과  $\triangle PrRCr$ 로부터

$$\frac{x-b}{z} = \frac{x'_r}{f} \dots\dots\dots (24)$$

를 얻을 수 있다. 위 두 식을 합치면

$$z = \frac{bf}{(x'_l - x'_r)} = \frac{bf}{d} \dots\dots\dots (25)$$

이 유도된다. 여기서  $b$ 는 baseline의 길이,  $f$ 는 focal length,  $d$ 는 disparity를 나타낸다. 식 (2.2)에 식 (2.5)를 대입하면

$$\begin{aligned} \Delta Z = Z_2 - Z_1 &= M \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) bf \dots\dots\dots (26) \\ &= M \frac{(d_1 - d_2)}{d_1 d_2} bf \end{aligned}$$

이 된다. disparity 차이( $d_1 - d_2$ )는  $Mbf/d_1d_2$ 만큼 확대된다. 식(2.5)에서  $b$ 와  $f$ 가 기지이면 disparity로부터 깊이  $z$ 를 계산할 수 있다. 대개의 경우 disparity 값은 픽셀의 수로 결정되므로 픽셀 수를 늘리면 깊이 해상도를 높일 수 있다. 확대경으로 disparity를 크게 해 픽셀 수를 늘려 깊이 해상도를 높이고자 하는 것이 본 논문의 목적이다.

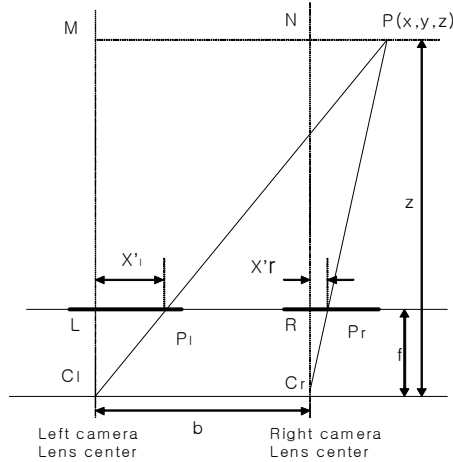


그림 2. 양안입체시 구성  
Fig.2 The stereo vision system

양안입체시에서 disparity 차는 화소수의 차이이므로 영상을 확대했을 때 화소수가 증가할 것이고 증가된 화소수 간의 차이 또한 증가할 것이다. <그림 3>과 같이 실험 장치를 구성하여 5cm 간격의 막대를 촬영했다. <그림 4(a), (b)>는 5cm 간격의 막대를 확대경 없이, 확대경으로 찍은 것이다. <그림 4(a)>에서 막대간의 간격이 멀수록 좁아지는 원근현상이 뚜렷하지만 <그림 4(b)>의 확대 영상에서 이 같은 현상은 반대로 나타남을 관찰할 수 있다. 맨 뒷줄의 막대 간격이 더욱 넓어지므로 disparity 또한 증가할 것이라고 직관할 수 있다. <그림 5>는 <그림 4>의 왼쪽과 오른쪽 영상을 비교하여 얻은 disparity가 깊이에 따라 변하는 disparity 증감을 그래프로 그린 것이다. <그림 5>의 C-D 점은 앞에서부터 4번째 막대(D)의 disparity에서 3번째 막대(C)의 disparity를 뺀 것으로 <그림 4(a)>의 원 영상에서 C-D변화는 오히려 감소한 반면 확대영상은 더 증가했다. 다소 떨어져 있는 물체의 경우 원 영상에서는 disparity 차가 잘 드러나지 않지만 확대 영상에서 더욱 잘 나타나게 됨을 알 수 있다.

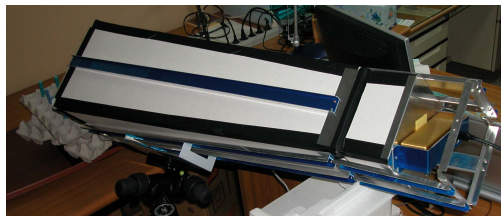


그림 3. 확대영상 취득 장치  
Fig. 3 The system to get the magnified image

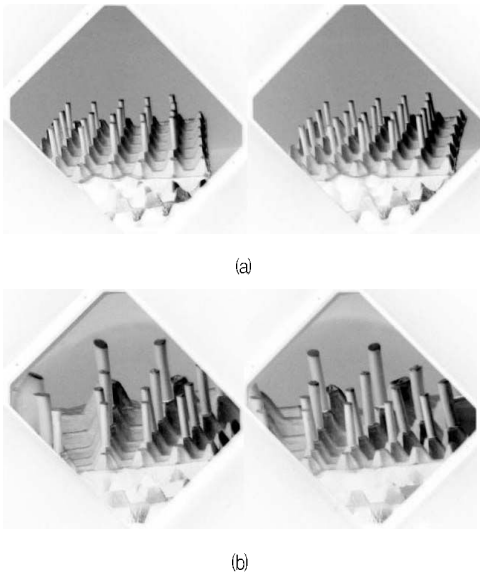


그림 4. (a)확대경 없는 영상, (b)확대경 영상  
Fig. 4 (a) non-magnified image, (b) the magnified image

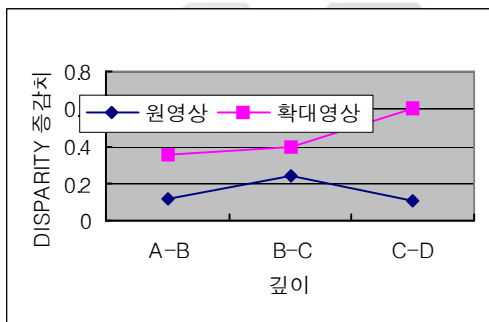


그림 5. Disparity 증감치 그래프  
Fig. 5 The graph of the increase and decrease

### III. 정밀한 3차원 데이터 구축

일반적으로 물체의 구조는 단순한 것과 복잡한 것이 혼재되어 있다. <그림 6(a)>의 눈 주위나 입가의 구조는 다소 복잡한 편으로 수동적인 비전 방법으로 3차원 영상을 취득할 때 데이터 취득이 어려운 영역이다. 이 영역을 확대경으로 확대한 영상을 처리하여 3차원 데이터를 얻고, 얻은 3차원 데이터를 원 데이터에 삽입하고자 하는 것이 본 논문의 목적이다.

#### 3.1 확대할 영역 파악

확대할 영역에 대한 판단은 일정 영역에서의 영상의 복잡도로서 판단한다. 물체 표면이 복잡할수록 명암변화의 빈도수가 높고 에지 선분의 개수가 많다.

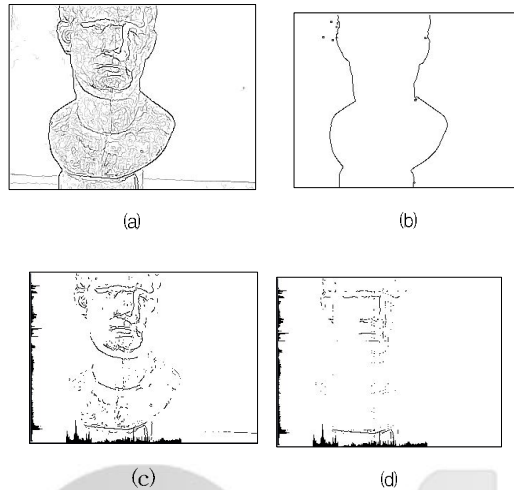


그림 6. (a) canny 에지영상, (b) 윤곽선, (c) x, y축 히스토그램과 필터된 영상, (d) 히스토그램 빈도수가 100이상의 영상  
Fig. 6 (a) the canny's edge image, (b) the contour, (c) the fitted image and the histogram of x and y axis, (d) the image the frequency of histogram is more than 10.

<그림 9(a)>의 대상체에 대해서 <그림 6(a)>는 canny 필터하여 영상의 에지를 구한 것이고, <그림 6(b)>는 <그림 6(a)>에서 윤곽선을 제거한 것이다. <그림 6(c)>의 x, y축의 막대는 canny 필터 된 값이 특정 값 이상인 것의 히스토그램이다[6]. <그림 6(d)>는 x, y 히스토그램에서 빈도수 10 이하인 것을 <그림 6(c)>에서 제거한 것이다. <그림 6(d)>에 나타난 영역이 물체에서 다소 복잡한 구조를 띤 영역으로 확대가 필요한 부분이다.

#### 3.2 3차원 상세 데이터 생성

<그림 6(d)> 위치의 양안 확대 영상을 처리하여 3차원 상세 데이터를 구한다. <그림 7(b)>는 <그림 7(a)>와 같이 눈 주변의 확대영상을 스테레오 처리하여 3D 데이터를 얻은 것이다. <그림 8 (a), (b)>는 입 주변을 확대경으로 확대하여 얻은 3D 데이터이다.

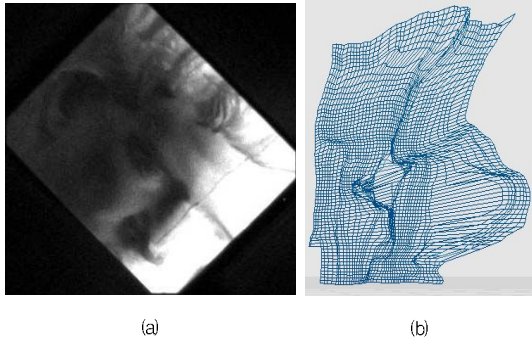


그림 7.(a)눈주변 확대영상, (b) 3D 데이터  
Fig. 7 (a) the magnified image at the eye, (b) the 3D data

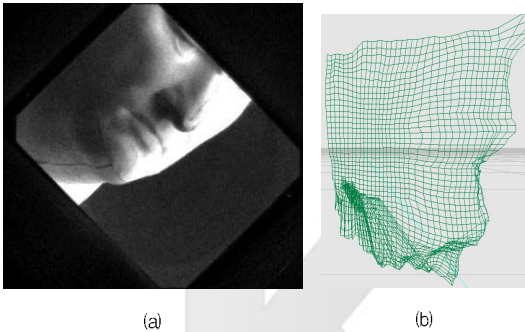


그림 8 (a) 입 주변 확대영상, (b) 3D 데이터  
Fig. 8 (a) The magnified image at the mouse, (b) the 3D data

### 3.3 데이터 정합

확대경을 사용하여 특정 부분의 3차원 데이터를 상세히 얻는 과정에서 크기 변환이 생긴다. 확대되는 정도는 식 (2.1)로부터 얻을 수 있고 확대경 구입 후 측정하는 것이 가능하다. <그림 10>은 원 데이터와 상세데이터의 한 단면을 도시한 것이고 상세 데이터는 0.68배된 것이다. 크기를 축소하면 3차원 공간상에서 약간의 전이가 생기지만 영상 전체를 스캔해서 찾을 정도는 아니고 <그림 6(d)>에서 구한 영역 주변에서 발생한다.

3차원 데이터의 정합을 하기 전 삽입하려는 부분이 원 데이터의 어떤 영역을 확대한 것인지 찾아야 한다. 3차원 데이터를 비교하여 찾는 것은 상당히 복잡한 여러 문제들을 수반하므로 본 논문에서는 원 그레이 영상과 확대영상으로 부터 얻은 3차원 데이터에 텍스처를 입힌 그레이 영상을 비교하여 찾는다. 확대영상에서는 물체의 전이와 회전은 없고

단지 크기 변환만 생기므로 확대된 영상을 템플릿으로 해서 원 영상에서의 위치를 파악하는 것은 어렵지 않다[7].

템플릿은 확대된 영상에서 얻은 3차원 데이터<그림 7(b)>에 텍스처를 입힌 그레이 영상<그림 9(b)>을 사용하고, 원 영상<그림 9(a)>의 그레이 값과 비교하여 식(3.1)이 최소가 되는 위치를 찾는다.

$$e = \sum_{i,j} d_{i,j} \dots\dots\dots (3.1)$$

유클리드 거리  $d_{i,j}$ 는 템플릿과 원영상과의 그레이 값의 차이이다. <그림 11(a)>는 <그림 7(b)>의 대응영역을 구한 것이고, <그림 11(b)>는 <그림 8(b)>의 대응영역을 구한 것이다. <그림 12>는 원 데이터에 상세 데이터를 삽입한 것이다. 데이터 삽입할 때 가장자리에서 생기는 계단현상은 큐빅 스플라인으로 처리하여 부드럽게 삽입되도록 했다[8].

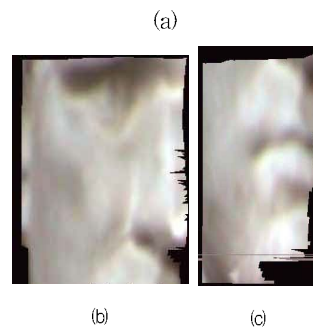
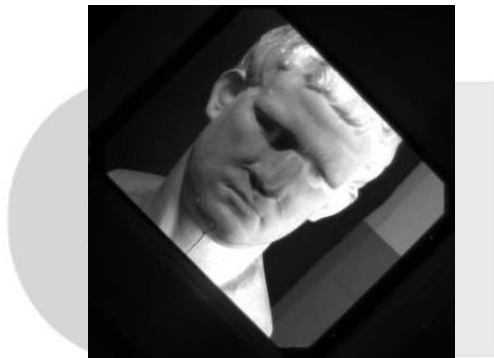


그림 9. (a) 그레이 영상,(b) 눈 주변,(c) 입 주변  
Fig. 9 (a) The gray image, (b) at the eye, (c) at the mouse

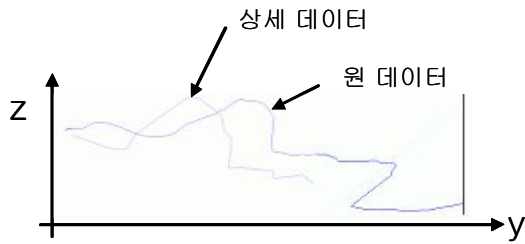


그림 10. 3차원 데이터의 한 단면  
Fig. 10 The segment of the 3D data

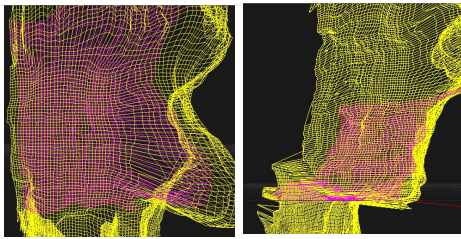


그림 11. (a) 눈 주변 정합 (b) 입 주변 정합

Fig. 11 (a) the matching at the eye, (b) the matching of the mouse



그림 12. 재구성된 3차원 데이터  
Fig. 12 The 3D data reconstructed

#### IV. 시스템 구성 및 실험

본 논문에서는 실험을 위해 <그림 13>과 같이 실험 장치를 구성했다. 실험 순서는 <그림 14>와 같이 3차원 거친 데이터를 획득하고, 확대영역을 정하여 그 영역에 대한 3차원 상세 데이터를 BumbleBee로부터 얻는다. 그리고 최종적으로 상세 데이터를 원 데이터에 삽입하여 전체 3차원 데이터를 완성한다. 본 실험은 펜티엄4 1.5G, 512M의 windows 환경하에 OpenGL로 프로그래밍[9] 되었으며 스테레오 카메라는 PointGray사의 BumbleBee를 사용했다 [10][11].

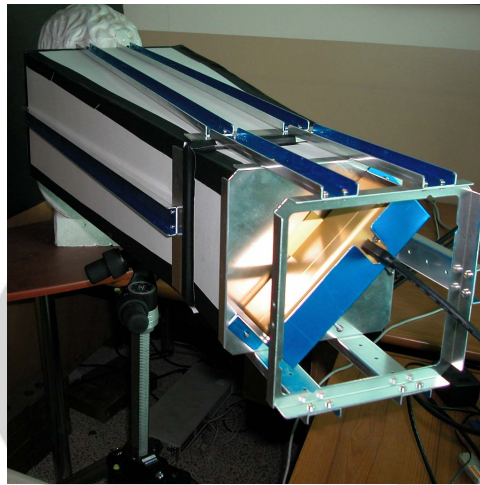


그림 13. 실험 장치 시스템  
Fig. 13 the experimental system

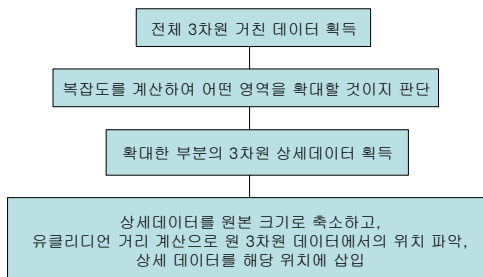


그림 14. 3차원 상세 데이터 구성 절차  
Fig. 14 the flowchart of getting the 3D detail data

image-based modeling의 단점을 보완하기 위해서 확대경을 사용하는 것은 대상 물체의 외면 구조에 더욱 충실한 3차원 데이터를 구성할 수 있는 것이 장점이다. 그러나 확대경을 사용할 때 확대경 표면에서 반사되는 빛을 적절히 차단하여 확대된 대상체가 영향을 받지 않도록 실험 환경을 잘 갖추어야 하고 확대시키는 정도에 따라 확대영상 전체가 어두워지므로 조명을 잘 조정해야 한다.

## V. 결론

본 논문에서는 3차원 데이터 재구성 방법인 image-based modeling의 단점을 보완하고자 확대경을 사용하는 능동적인 방법을 제안했고, 확대경을 통하면 스테레오 정합의 핵인 disparity 값이 증폭됨을 수식과 실험으로 증명해보였다.

확대경을 이용해서 특정 부분의 3차원 상세 데이터를 확보하여 거친 원 데이터를 보완함으로써 대상 물체의 모양에 더욱 충실한 3차원 데이터를 구성했다.

현재 확대경 표면의 난반사로 3차원 정보를 잘 수집 못하는 경우가 빈번히 발생하므로 주변광을 차단할 수 있도록 암실을 구성해서 그것을 해결할 수 있는 기구적 혹은 알고리즘적 접근이 향후 필요하다. 제안된 알고리즘이 사람 얼굴과 같은 실영상에 적용될 수 있도록 개선되어야 하고, 확대경의 배율을 높여 더 작은 물체의 3차원 데이터를 확보할 수 있도록 하는 연구가 향후 더욱 진행되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] R. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck, "Machine Vision", McGRAW-HILL, 1995
- [2] S. F. El-Hakim, J.A. Beraldin, and M. Picard, "Detailed 3D Reconstruction of Monuments using Multiple Techniques," ISPRS-CIPA Workshop, Corfu, Greece, pp. 13-18, Sept. 2002
- [3] S. Theodoridis and K. Koutroubas, "Pattern Recognition", Academic Press, 1999
- [4] 차국찬, "상세한 3차원 데이터를 얻기 위한 확대경 사용에 관한 연구", 제18회 신초처리합동학술대회, 제18권 1호, pp209, 2005,10
- [5] F. A. Jenkins, H.E. White, "Fundamental Optics," McGRAW-HILL, 1957

- [6] 권준식 외, "디지털 영상처리 이론 및 응용", 에드텍, 1994
- [7] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992
- [8] 조동섭, 한동현, "컴퓨터 그래픽스", 홍릉과학출판사, 1998
- [9] M. Woo, J. Neider, T. Davis, and D. Shreiner, "OpenGL Programming Guid third Edition", Addison Wesley, 2000
- [10] "TRICLOPS SDK V3.1 User's guide and command reference", PointGrey Research, 2003
- [11] 정성태, "조명변화에 견고한 얼굴특징 추출", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제10권6호, pp1-8, 2005, 12

## 저자 소개

### 차국찬



1985년: 중앙대학교 전자공학과 학사  
 1987년: 중앙대학교 제어정보공학 석사  
 1992년: 중앙대학교 정보공학 박사  
 1992년 - 현재: 건양대학교  
 컴퓨터공학과 부교수

관심분야: 컴퓨터 비전, 컴퓨터  
 그래픽스