

# 항공영상으로부터 에지 맵의 체인코드 추적에 의한 선소추출

## Line Segments Extraction by using Chain Code Tracking of Edge Map from Aerial Images

\*이규원, \*\*우동민

\*Kyu-won Lee, and \*\*Dong-min Woo

\*대전대학교 정보통신공학과, \*\*명지대학교 정보공학과

### 요 약

고해상도의 항공영상으로부터 3차원 와이어프레임(wire-frame) 구성을 위한 새로운 선소 추출 알고리즘을 제안하였다. 본 연구의 목적은 기존의 방식들의 문제점인 라인 불일치 문제, 에지부분의 Blurring 문제 등을 고려하여 보다 정밀하고 효과적인 선소를 추출하는데 있다. 먼저 항공영상으로부터 에지맵을 추출한 후, 에지 점들의 체인 코드 추적을 수행하고 에지 강도와 방향성분을 고려한 선소의 추출을 행하였다. 에지맵의 추출은 Smith가 제안한 SUSAN(Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) 알고리즘을 이용하였다. 제안한 알고리즘은 다음의 4 단계로 구성된다. 에지 맵의 체인코드 추적 결과에 기반하여 비선소 후보점을 감소시키기 위한 수평/수직/대각 성분 제거, 인접점 제거, 각도 일치점 제거, 선소를 이루는 시작점 및 끝점 검출 등의 과정을 통하여 선소추출을 행하였다. 제안한 알고리즘과 기존의 Boldt 알고리즘을 비교한 결과 제안한 알고리즘이 건물을 이루고 있는 주요 선소를 더욱 충실히 찾아냈고 불필요한 선소는 적게 찾아냄을 확인하였다.

### Abstract

A new algorithm is proposed for the extraction of line segments to construct 3D wire-frame models of building from the high-resolution aerial images. The purpose of this study is the accurate and effective extraction of line segments, considering the problems such as discordance of lines and blurred edges existing in the conventional methods. Using the edge map extracted from aerial images, chain code tracking of edges was performed. Then, we extract the line segments considering the strength of edges and the direction of them. SUSAN (Smallest Uni-valued Segment Assimilating Nucleus) algorithm proposed by Smith was used to extract an edge map. The proposed algorithm consists of 4 steps: removal of the horizontal, vertical and diagonal components of edges to reduce non-candidate point of line segments based on the chain code tracking of the edge map, removal of contiguous points, removal of the same angle points, and the extraction of the start and end points to be line segments. By comparing the proposed algorithm with Boldt algorithm, better results were obtained regarding the extraction of the representative line segments of buildings, having relatively less extraction of unnecessary line segments.

**Key words** : 선소, 세그먼트, 3D, 체인코드, 에지

### 1. 서 론

인공위성 기술이 발달함에 따라 고해상도의 지형영상의 획득이 가능하게 되었고, 우리나라에서도 자체 위성 개발 중인 아리랑 2호 등에 의해 고해상도의 위성영상의 확보가 가능해 지게 되었다. 따라서 도시공학, 토목, 지형, 군사 등의 각종 응용분야에 있어서 매우 중요하게 사용될 수 있는 인공지물의 3차원 정보 획득이 가능해 졌다. 본 연구의 목적은 서로 다른 시점에서 취득된 고해상도의 스테레오 영상으로부터

터 인공지물 구조의 3차원 정보를 자동으로 복원하기 위한 선소의 추출을 행하는데 있다. 기존의 방법으로는 Boldt 알고리즘<sup>[1]</sup>, Shen-Castan 알고리즘<sup>[2]</sup>, Linear Isotropic Diffusion Filter(LIDF)<sup>[3][4]</sup>, Nonlinear Isotropic Diffusion Filter(NIDF)<sup>[5]</sup> 등의 방법이 있으나, 라인 불일치 문제, 에지부분의 Blurring이 되는 문제, Smooth한 에지 문제 등의 문제점이 있었다.

Boldt 알고리즘은 다수의 항공영상으로부터 rooftop을 추출하는 시스템으로, 선소를 추출하는 Line Extraction 부와 추출된 선으로부터 2D rooftop polygon을 추출하는 부분으로 구성된다. 선소추출 전 단계에 에지를 추출하여 인지체계의 원리에 의하여 선소를 추출한다. 본 알고리즘의 가장 중요한 부분은 계층적인 그룹핑 처리이다. 계층적인 그룹핑 처리의 이점 중의 하나는 계산 시간을 절약할 수 있다는데 있다. 상위 계층으로 갈수록 토큰의 수는 줄어들어 linking을 위해 고려해야할 선의 수가 줄어들기 때문이다. 그러나 정확도가 떨어지는 단점이 있다<sup>[1]</sup>.

Shen과 Castan은 에지 탐지를 위해 최적 함수를 제안하

\* : 교신저자

접수일자 : 2005년 8월 31일

완료일자 : 2005년 10월 19일

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

본 논문은 2005년도 대전대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.

었고, 이 필터가 Canny의 필터보다 SNR비가 더 좋게 얻어지고, 더 좋은 국부성을 제공한다고 주장한다. 본 알고리즘에서 사용한 재귀 필터링은 컨볼루션의 속도를 향상시켰다. 따라서 이 방법은 에지를 추출하는데 걸리는 시간이 다른 방법보다 덜 걸리는 장점이 있다. 그러나 저해상도에서 에지를 추출했을 때는 결과가 좋지 않은 문제점이 있다<sup>[2]</sup>. LIDF 기법을 사용하는 알고리즘에는 Canny<sup>[3]</sup>, Iijima<sup>[4]</sup> 등이 제안한 방법 등이 있다. LIDF는 영상내의 피크(peak) 잡음 제거를 위하여 Gaussian을 사용하는데 Gaussian을 사용하게 되었을 때의 문제점은 잡음뿐만 아니라 에지 부분까지 blurring 시킬 수도 있으며, 저해상도 영상을 대상으로 수행했을 때 에지의 위치가 변하는 결과를 얻게 된다. 인공물의 기하학적 재구성을 위해서는 추출된 에지의 위치가 정확해야 한다. 그러나 위의 방법들은 3-D 재구성의 일환으로서 사용되는 전처리 과정인 선 추출 방법에 적용하는데 있어서 불일치 문제점과 에지 부분에서 blurring이 되는 문제점이 있다. Perona-Malik 방법<sup>[5]</sup>은 NIDF의 대표적인 방법이다. NIDF에서는 물체들 사이(경계면) 부분에서 blurring 시키는 것보다 물체 내부를 blurring을 시켜서 정확한 에지를 영상 내에서 추출하게 한다. NIDF에 관련된 영상을 얻기 위해서는 물체의 지역 내부의 상세한 부분을 smooth하게 만들고, 원래 물체의 에지를 유지해야 한다. 하지만 각 스케일에서 물체와 물체의 경계 면을 미리 알 수 있는 방법이 없다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 연산량 및 구조정보의 보존성에 있어서 뛰어난 성능을 보이는 SUSAN 알고리즘을 이용하여 에지를 추출한 뒤 수평/수직/대각 성분 제거, 인접점 제거, 각도 일치점 제거, 시작점 및 끝점 검출 등의 과정을 통하여 선소추출을 행하였다. 알고리즘 수행결과 인공지물을 이루는 선소들이 비교적 양호하게 검출되었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선소추출 알고리즘을 기술한다. 3장에서는 실험 및 결과 고찰을 4장에서는 결론과 함께 향후 개선 방향에 대하여 기술한다.

## 2. 선소 추출

### 2.1 Edge Map 추출

본 논문에서 선소추출을 위한 Edge Map의 검출은 Smith 등이 제안한 SUSAN( Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) 알고리즘을 사용하였다<sup>[6]</sup>. SUSAN 알고리즘은 단일의 정의된 커널을 이용하여 에지 검출, 구석점 검출, 잡음제거 등 다양한 저 수준 영상처리(low level processing)를 실현할 수 있으며, 에지 검출에 있어서도 매우 훌륭한 검출 성능을 보인다. 특히, 부동 소수점 연산 없이 마스크 연산만으로 에지를 결정하므로 알고리즘의 구현이 용이하고 고속연산이 가능하다.

### 2.2 수평/수직/대각 성분 제거

그림1과 같이 인접 점과의 개수가 2개이고 이 중심점에 대한 인접 점들의 X좌표 차이 값이 0이고 Y좌표 차이 값이 0이 아니라면 이 3점의 관계는 수직이다. 또한 X좌표 차이 값이 0이 아니고 Y좌표 차이 값이 0이 라면 이 3점의 관계는 수평이다. 이때 이 점의 인접 점의 수(카운터 값)를 0으로 세팅한다(인접 점의 수가 0이라면 제거된 점으로 간주한다).

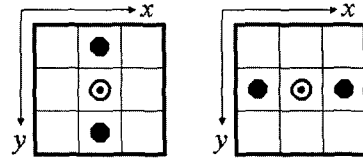


그림 1. 수평/수직 성분 제거

또, 그림2와 같이 인접 점과의 개수가 2개이고 X좌표의 값이 현재 점보다 작고 Y좌표의 값이 현재 점보다 작으며 다른 하나의 점의 X좌표의 값이 현재 점보다 크고 Y좌표의 값이 현재 점보다 크면 좌경사 대각선이며 인접 점의 수를 0으로 한다. 또 다른 X좌표의 값이 현재 점보다 크고 Y좌표의 값이 현재 점보다 작으며 다른 하나의 점의 X좌표의 값이 현재 점보다 작고 Y좌표의 값이 현재 점보다 크면 우경사 대각선이며 인접 점의 수를 0으로 한다.

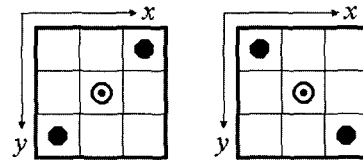


그림 2. 대각 성분 제거

### 2.3 인접점 제거

그림3과 같이 인접 점의 개수가 2개이고 두개의 점 중 하나라도 삭제된 점이 아니라면 현재 중심점을 삭제한다.(카운터 값을 0으로 세팅한다)

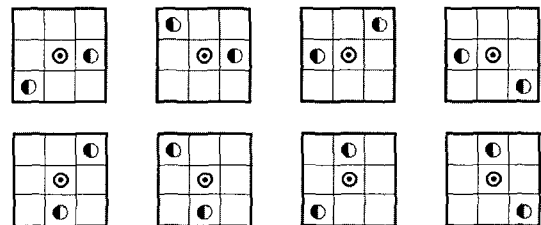


그림 3. 인접점 제거

### 2.4 각도일치점 제거

그림4와 같은 직선성분의 선이 있을 때 첫 번째 시작점 P<sub>1</sub>에서 카운터 값이 0이 아닌 포인터가 나올 때 까지 인접 점을 검색하여 두 번째 후보 변곡점 P<sub>2</sub>를 찾는다. 역시 두 번째 포인터 P<sub>2</sub>부터 다음 인접 점을 찾아 역시 카운터 값이 0이 아닌 포인터 P<sub>3</sub>가 나오면 중앙포인터를 기준으로 선분 기울기의 변화를 조사하여 사이각 a<sub>1</sub>의 기울기가 임계값 이하이면 하나의 선분으로 인지하고 중앙포인터를 제거한다. 다시 두 번째 시작점 P<sub>3</sub>에서 두 번째 포인터 P<sub>4</sub>를 찾고 다음 인접 점인 P<sub>5</sub>를 찾는다. 또, 중앙포인터를 기준으로 선분 기울기를 조사하여 사이각 a<sub>2</sub>의 기울기를 구한다. 그림 4의 예에서 a<sub>2</sub>는 임계값 이상이므로 두 개의 선분으로 인지하게 된다. 그리고 인지된 마지막 포인터는 중앙 포인터로 사용하지 않는다.

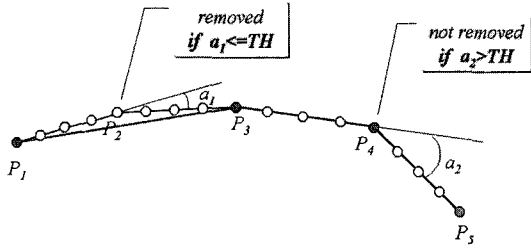


그림 4. 각도일치점 제거

2.5 시작점과 끝점 검색

카운트 값이 0이 아닌 포인터를 찾아 하나의 인접 점을 따라가 포인터의 카운트 값이 0이 아닌 점이 나올 때 까지 계속해서 인접 점을 추적한다. 이때 카운트 값이 0이 아닌 포인터가 발견되면 검색을 시작한 포인터를 선분의 시작점으로 보고 인접 점을 따라가 찾아낸 포인터를 선분의 끝점으로 본다. 이때 이 정보를 리스트 구조에 저장하며, 시작점과 또 다른 시작점이 같고 역시 끝점이 같은 2개의 선분이 검출되면 같은 선분으로 인지하며, 또한 시작점과 또 다른 선분의 끝점, 끝점과 다른 선분의 시작점이 같으면 이 또한 같은 선분으로 인지하여 중복 저장하지 않는다. 예를 들어, 그림5와 같은 영상이 있을 때 시작점과 끝점을 찾는 순서는 번호순과 같다. 처음 리스트구조상에 최상단의 시작점 P1이 검출되므로 검색단계 (1)의 시작점 P1을 시작으로 인접 점을 따라가 삭제되지 않은 점(카운트가 0이 아닌 점) P2가 나올 때 까지 검색해 나간다. 처음으로 나오는 점의 인접 점 P2의 수(카운트 값)가 3이며 이는 삭제된 점이 아니므로 끝점이 된다. 이를 선분리스트 상에 추가시킨다. 다음으로 검색단계 (2)의 시작점 P3가 최상단에 있으므로 포인터 리스트 상에 2번째에 위치한다. 따라서 (2)의 시작점 P3를 시작으로 인접 점을 따라가 삭제되지 않은 점 P2를 찾아 이를 끝점으로 하고 선분리스트 상에 추가시킨다. 세 번째로 검색단계 (3)의 시작점 P2가 최상단에 있으므로 인접 점을 따라가 삭제되지 않은 점을 찾아 이를 끝점으로 하고 리스트 상에 추가해야 하나, 이는 1번 선분과 동일한 선분이므로 리스트 상에 추가하지 않는다. 이러한 방법으로 모든 포인터를 기준으로 인접 점을 따라가 최종 끝점을 찾아 모든 선분을 리스트에 추가시킨다. 이러한 과정을 거쳐 선분의 시작점과 끝점을 연결해 선소를 추출하게 된다.

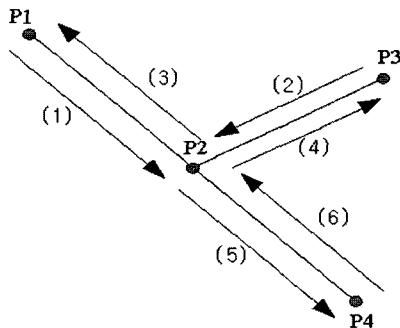


그림 5. 시작점과 끝점의 검색

3. 실험 및 결과고찰

항공영상으로부터 SUSAN 알고리즘을 이용하여 에지를

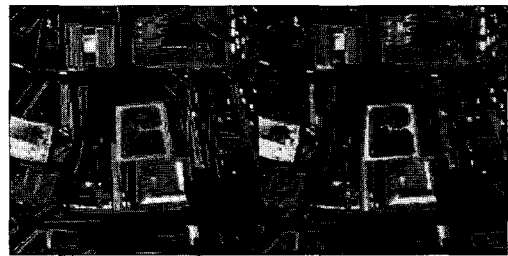
추출한 뒤 수평/수직/대각 성분 제거, 인접점 제거, 각도 일치점 제거, 시작점 및 끝점 검출 등의 과정을 통하여 선소추출을 행하였다. 그림6, 그림7은 기존의 알고리즘 중에 비교적 뛰어난 Boldt 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하기 위해 256x256 픽셀 크기의 항공영상1, 항공영상2의 원 영상에 선소를 추출한 영상을 오버레이(Overlay)한 결과를 보여 준다. 그림6 과 그림 7 에 나타난 바와 같이 Boldt 알고리즘은 주요건물 이외에 불필요한 선소들을 많이 찾아낸데 비해 제안한 알고리즘은 주요건물을 이루고 있는 선소를 더욱 충실히 찾아냈고 불필요한 선소는 적게 찾아냈다. 그리고 영상과 선소의 정확성과 일치성에 있어서도 제안한 알고리즘이 더 나은 결과를 보였다.



(a) (b)

그림 6. 항공영상 1

- (a) Boldt 알고리즘에 의한 선소추출
- (b) 제안한 알고리즘에 의한 선소추출



(a) (b)

그림 7. 항공영상2

- (a) Boldt 알고리즘에 의한 선소추출
- (b) 제안한 알고리즘에 의한 선소추출

또, 그림6과 그림7의 영상에 나타난 선소추출의 결과를 정량적인 수치로 비교하기 위하여 주요 구조물을 이루고 있는 선소를 수동으로 추출한 Ground Truth 선소 영상을 제작하고 (a)영상과 (b)영상을 비교하여 오차율을 구하였다. 오차에 대한 판단은 선소추출의 전단계인 에지추출의 결과에서 에지 위치의 국부성(locality) 이 상이한 점을 고려하여 수동으로 추출한 Ground Truth 선소의 화소위치에서 2 화소 이내에 위치하면 일치하는 것으로 간주하고 이를 벗어나면 False 로 판단한다. 오차율은 다음과 같은 두 가지 형태로 나타낸다.

- ▶ False Positive : 주요건물을 제외한 추가로 추출된 선소의 오차율  
(추가추출화소수/영상의 유효화소수)
- ▶ False Negative : 주요건물의 선소 중 추출하지 못한 선소의 오차율  
(미추출화소수/영상의 유효화소수)

여기서 유효화소수란 구조물의 단절이 발생하는 영상의 가로, 세로방향의 가장자리를 제외시킨 화소수를 의미한다.

표 1은 그림6의 영상(a)와 영상(b)를 Ground Truth 선소 영상과 비교한 오차율의 결과이다. 표1의 오차율을 보면 기존의 Boldt 알고리즘의 False Positive는 5.85%이었는데 반해 제안한 알고리즘의 False Positive는 5.42%로 0.43%의 오차감소율을 보였다. 또, 기존의 Boldt 알고리즘의 False Negative는 1.37%이었는데 반해 제안한 알고리즘의 False Negative는 1.03%로 0.35%의 오차감소율을 보였다.

표 1. 항공영상1의 선소추출 오차율 비교

	Boldt 알고리즘의 오차율	제안한 알고리즘의 오차율	오차 감소율
False Positive	3348/57200 (5.85%)	3101/57200 (5.42%)	0.43%
False Negative	785/57200 (1.37%)	587/57200 (1.03%)	0.35%

표2는 그림7의 (a)영상과 (b)영상을 모의영상과 비교한 오차율의 결과이다. 표2의 오차율을 보면 기존의 Boldt 알고리즘의 False Positive는 9.81%이었는데 반해 제안한 알고리즘의 False Positive는 7.94%로 1.87%의 오차감소율을 보였다. 또, 기존의 Boldt 알고리즘의 False Negative는 1.37%이었는데 반해 제안한 알고리즘의 False Negative는 1.16%로 0.21%의 오차감소율을 보였다.

표 2. 항공영상2의 선소추출 오차율 비교

	Boldt 알고리즘의 오차율	제안한 알고리즘의 오차율	오차 감소율
False Positive	4943/50350 (9.81%)	3999/50350 (7.94%)	1.87%
False Negative	690/50350 (1.37%)	583/50350 (1.16%)	0.21%

그림8, 그림9는 제안한 알고리즘을 고해상도의 1024 x 1024 픽셀 크기의 항공영상을 이용하여 선소를 추출한 결과이다. 그림8은 산업지역을 보여주는 항공영상이다. 산업지역의 영상은 인공지물의 구조가 단순하고 건물 주변에 복잡한 양상을 띠는 구조물들이 비교적 적으므로 건물을 이루는 선소가 양호하게 검출 되었다. 그러나 그림자에 의한 에지로부터 선소가 추출되는 문제점이 보인다. 그림9는 주거지역의 항공영상이다. 주거지역의 영상은 산업지역의 영상에 비해 인공지물의 구조가 복잡하고 건물주변에 나무나 자동차등의 복잡한 양상의 구조물들이 많이 보인다. 때문에 그림자에 의한 에지뿐만 아니라 건물 주변의 복잡한 양상을 띠는 구조물에 의한 에지로부터 선소의 단절 현상이 발생하였다.

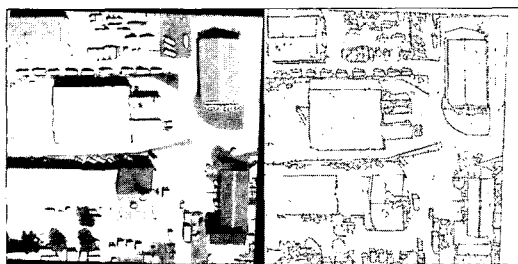


그림 8. 산업지역의 항공영상  
(a) 원영상 (b) 선소추출영상



그림 9. 주거지역의 항공영상  
(a) 원영상 (b) 선소추출영상

## 5. 결 론

본 논문에서는 서로 다른 시점에서 취득된 고해상도의 스테레오 영상으로부터 인공지물 구조의 3차원 정보를 자동으로 복원하기 위한 선소의 추출을 행하였다. SUSAN 알고리즘을 이용하여 에지를 추출한 뒤 선소추출을 위하여 에지 화소들에 대한 수평/수직/대각 성분 제거, 인접점 제거, 각도 일치점 제거, 시작점 및 끝점 검출 등의 과정을 수행하였다. 기존의 Boldt 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교한 결과 제안한 알고리즘이 주요건물을 이루고 있는 선소를 더욱 충실히 찾아냈고 불필요한 선소는 적게 검출하였다. 또한, 건물의 3D 재구성에 있어서 가장 중요한 부분인 영상과 선소의 정확성과 일치성 또한 제안한 알고리즘이 더 나은 결과를 보였다. 제안한 알고리즘의 정확한 분석을 위하여 고해상도의 산업지역의 항공영상과 주거지역의 항공영상의 두 가지 영상으로 실험을 행한 결과, 산업지역의 영상은 인공지물의 구조가 단순하고 건물 주변에 복잡한 양상을 띠는 구조물들이 비교적 적으므로 건물을 이루는 선소가 양호하게 검출 되었다. 그러나 그림자에 의한 에지로부터 선소가 추출되는 문제점이 있었다. 그리고 주거지역의 영상은 산업지역의 영상에 비해 인공지물의 구조가 복잡하고 건물주변에 나무나 자동차등의 복잡한 양상의 구조물들이 많기 때문에 그림자에 의한 에지뿐만 아니라 건물 주변의 복잡한 양상을 띠는 구조물에 의한 에지로부터 선소의 단절 현상이 발생하였다. 이와 같은 현상은 선소추출 알고리즘 자체로는 해결하기 어려운 요소이므로 영상의 영역특성, 색정보 등을 부가적으로 고려하여 개선될 수 있을 것으로 기대한다. 향후, 선소 간 강도 및 각도 유사성 및 건물의 구조정보를 고려한다면 보다 개선된 성능의 선소추출이 가능할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Boldt, R. Weiss, and E. Riseman, "Token-based extraction of straight lines," IEEE Trans. Systems Man Cybernet. Vol.19, No.6, 1989, 1581-1594
- [2] J. R. Parker, "Algorithms for Image Processing and Computer Vision," 1997
- [3] J. Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. on PAMI, Vol.8, pp. 679-698, 1986.
- [4] T. Iijima, "Basic theory of pattern normalization,"

Bulletin of the Electro-technical laboratory, Vol. 26, 268-388, 1962

- [5] P. Perona, J. Malik "Scale-space and edge detection using an isotropic diffusion," IEEE Trans. on PAMI Vol.12, No.7, 1990, pp.629-639.
- [6] S.M. Smith and J.M. Brady, "SUSAN a new approach to low level image processing," Intl. Journal of Computer Vision, Vol.23, No.1, pp.45-78, May 1997



**우등민(Dong-Min Woo)**

1980년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사  
 1987년 2월 : 미국 Case Western Reserve Univ. 공학박사  
 1987년~1990년 : (주)LG산전연구소 선임 연구원

1997년~1998년 : 미국 Univ. of Massachusetts 객원연구원  
 1990년~현재 : 명지대 정보공학과 교수

관심분야 : 영상처리, 로봇비전, 패턴인식, 컴퓨터 영상해석  
 Phone : 031-330-6752  
 E-mail : dmwoo@mju.ac.kr

**저 자 소 개**



**이규원(Kyu-Won Lee)**

1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사  
 1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 박사  
 1988년 2월~1989년 : 8월(주)LG산전연구소 연구원  
 1989년 9월~2000년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2003년 7월~2004년 7월 : 미국 Univ. of Massachusetts 객원연구원  
 2000년 2월~현재 : 대전대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야 : 영상처리, Motion Analysis, Visual Surveillance, ITS (Intelligent Transport System)  
 Phone : 042-280-2558  
 Fax : 042-280-2559  
 E-mail : kwlee@dju.ac.kr