

항공 영상에서의 인공 지물의 정확한 경계 추출*

최 성 한, 이 쾌 회

서강 대학교 전자공학과 제어공학 연구실

The Extraction of Exact Building Contours in Aerial Images

Sung Han Choi, Kwae Hi Lee

Sogang Univ. Electronic Eng., Robotics Lab.

Abstract

In this paper, an algorithm that finds man-made structures in a graylevel aerial image is proposed to perform stereo matching. An extracted contour of buildings must have a high accuracy in order to get a good feature-based stereo matching result. Therefore this study focuses on the use of edge following in the original image rather than use of ordinary edge filters.

The Algorithm is composed of two main categories; one is to find candidate regions in the whole image and the other is to extract exact contours of each building with each candidate region. The region growing method using the centroid linkage method of variance value is used to find candidate regions of building and the contour line tracing algorithm based on an edge following method is used to extract exact contours.

The result shows that the almost contours of building composed of line segments are extracted.

1. 서 론

비접근 지역에서의 인공 지물(man-made structure)에 대한 조사는 항공 영상이나 위성 영상

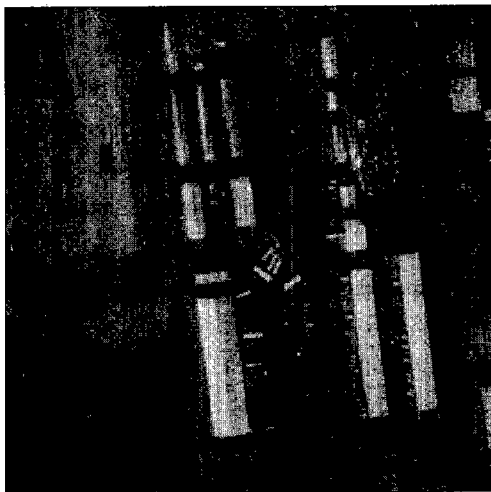
1995년 5월 18일 접수 ; 1995년 6월 20일 수리.

* 본 연구는 1994년도 국방과학연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

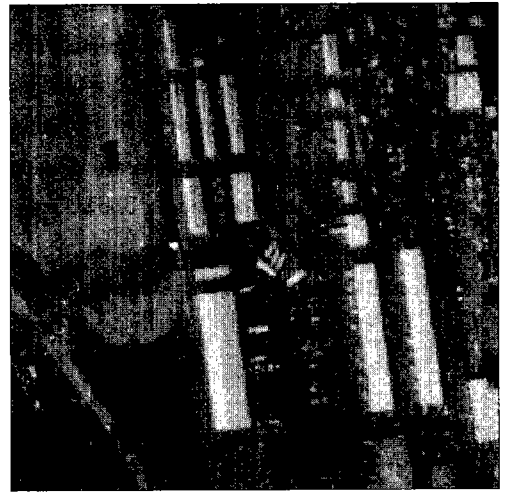
에 대한 의존도가 매우 크다. 항공 영상이나 위성 영상에서 인공 지물의 크기나, 인공 지물의 3차원적인 형태를 추출하기 위해서는 스테레오 영상 정합 기법(stereo matching method)을 주로 사용하고 있고 스테레오 영상 정합 기법에는 크게 영역 기반 정합(area-based matching)과 특징 기반 정합(feature-based matching)의 두 가지로 분류될 수 있는데, 이러한 정합 기법에 의한 인공 지물의 고도 정보 추출은 그 특성상 고도 정보의 불연속성(Sinha 1991)과, 영상상에서 나타나는 단일면 내에서의 특성의 동일화로 인하여 영역 기반 정합으로는 한계성을 지닌다. 영상상에서 나타나는 인공 지물의 일반적인 특징으로는 주로 직선들로 이루어진 다각형의 단일 고도면의 조합으로 이루어진 경우가 대부분이며, 이러한 단일면에 대해서는 동일한 색으로 이루어져 있다. 따라서 직선 성분의 인공 지물의 경계(line edges)가 영상상에서의 인공 지물을 나타내는 가장 중요한 정보로 활용되어야 하며(McKeown Jr. 1990), 인공 지물의 3차원 정보를 추출하는 방법으로는 이러한 직선 성분의 에지들을 특징(feature)으로 하는 특징 기반 정합이 더욱 효과적이다. 그러므로 특징 기반 정합의 수행 과정을 컴퓨터를 이용하여 자동화하기 위해서는 우선적으로 인공 지물의 정확한 경계의 추출이 요구된다.

본 논문에서는 영상상에서의 인공 지물을 자동적으로 추출하는 시스템을 구현하였다. 이 시스템을 구현하는데 있어서 인공 지물의 지붕은 직선으로 이루어진 다각형의 구조를 가지며, 인공 지물의 단일 고도면 내에서는 영상상에서의 밝기값 변화가 비교적 심하지 않다는 전제조건을 사용하였다.

실험에 사용한 영상을 <그림 1>에서 보여주고 있다. 이 영상은 미국 L.A. 공항 주변 건물의



a. 왼쪽 영상



b. 오른쪽 영상

그림 1. 실험에서 사용한 스테레오 항공 영상쌍

일부분을 항공기에서 촬영한 스테레오 영상쌍의 일부분이다. 영상의 크기는 256×256 화소 크기, 256 밝기 단계의 흑백 영상이고 해상도는 약 $1m/pixel$ 이다.

이 영상에서 나타난 인공 지물들은 거의 모두 직사각형 형태의 단순한 모양을 가지고 있으나 영상의 화질면에 있어서는 인공 지물의 경계에 있어서 불확실한 부분이 상당히 존재하고 있다. 그림자가 형성된 인공 지물의 오른쪽과 위쪽 부분은 경계가 뚜렷하나 그 밖의 면에 대해서는 여러 가지 요소에 의해 불확실한 경계를 갖고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 인공 지물의 경계를 추출하는 알고리즘들을 간략히 살펴보고, 3, 4장에서는 본 논문에서 제안한 시스템 전반에 대해서 설명하였다. 3장에서는 화소 단위의 주파수를 계산하여 이 계산된 결과를 이용해, 주파수가 낮은 부분을 영역 확장(region growing) 기법을 통하여 영상 전체에서 인공 지물의 대략적인 후보 영역을 추출하는 과정을 설명하였다. 4장에서는 앞서 추출된 후보 영역을 시작으로 정확한 인공 지물의 경계를 추출하는 과정을 설명한 것으로서, 먼저 개략적인 시스템의 구성과 사용된 에지 추적 기법(edge following method)을 설명하고, 꼭지점에서의 다음 선분의 방향을 예측하기 위한 개선된 정방향 투영에 의한 Hough 변환을 설명하며, 마지막으로 추출된 각 에지 직선 성분을 연결하는 과정을 보였다. 5장에서는 실험 영상에 대해 본 논문에서 제시한 알고리즘을 사용하여 실험한 최종 결과를 보였으며 6장에서 결론을 맺었다.

2. 기존의 알고리즘

인공 지물의 추출을 위한 특징 기반 스테레오 정합 기법을 사용하기 위해서는 인공 지물의 정확한 경계의 추출이 가장 큰 문제로 대두되어 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지는 이를 완벽하게 구현한 알고리즘을 찾아내지 못하고 있는 실정이다. 인간의 시각으로는 영상의 화질이 일정 수준 이상이 되면 인공 지물의 정확한 모양을 추출해 낼 수 있으나 이를 컴퓨터를 통하여 자동적으로 구현하는 데는 상당한 어려움이 따른다. 이는 영상의 취득시 발생하는 양자화 오차, 영상 잡음, 태양 고도에 따른 인공 지물면 사이의 특성 변화 등으로 인해 발생하는 인공 지물 경계의 불확실성에 기인한 것이다.

따라서 인공 지물의 경계를 추출하기 위해 경계에 대한 제한 조건을 임의로 설정한 다음 에지 필터링을 통한 에지를 추출하고, 여러 에지 선분들 중 주어진 제한 조건을 만족시키는 에지 선분만을 선별하여 후처리를 통해 완성된 인공 지물의 경계를 추출하는 방향으로 많은 연구가 진행되어 왔다.

Huertas와 Nevatia(1988)는 필터링으로부터 에지 직선 성분들을 얻어 각각의 성분들을 labeling 한 후 수직으로 교차하는 성분들을 추출하여 인공 지물의 꼭지점을 찾고 교차하는 두 직선에 대해 수평인 직선 성분들을 조사하여 하나의 인공 지물로 인식하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법으로 찾아진 후보들을 그림자를 통하여 최종적으로 검증하는 방법으로 인공 지물의

경계를 추출하였다. 실험 결과에서는 거의 모든 인공 지물들의 경계를 추출했음을 볼 수 있으나 이 방법은 필터링으로 얻어진 에지들을 직선화 하는 과정에서 발생하는 오차로 인해 정확한 인공 지물의 경계는 추출하지 못했다.

Irvin과 McKeown(1989)은 먼저 임계값(thresholding) 기법에 의해 그림자 부분을 추출한 후 이를 이용하여 그림자와 인공 지물의 경계선을 추출, 이를 평행사변형 형태로 만드는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 모든 인공 지물을 평행사변형 형태로 제한하였으므로 인공 지물의 대략적인 위치와 형태만을 제시할 수 있을 뿐, 정확한 인공 지물의 경계와는 상당한 오차를 보이고 있다.

Liow와 Pavlidis(1990)는 인공 지물의 그림자를 기준으로 하는 정확한 인공 지물의 경계면을 추출하는 두 가지 시스템을 제안하였는데 하나는 그림자가 있는 인공 지물면의 에지를 먼저 추출하고 이를 기초로 영역 확장 기법과 에지 추출 기법을 병행하는 방법이고, 다른 하나는 split-and-merge 영역 확장 기법을 사용하여 인공 지물의 영역을 추출한 후 이 영역의 경계를 직선화 하는 방법을 사용하였다. 이 알고리즘은 인공 지물 지붕면의 밝기값의 변화가 매우 작은 영상에 대해서 비교적 정확한 인공 지물의 경계를 추출하였다.

Shufelt와 McKeown(1993)은 위의 기법들을 종합하여 영상상에서의 인공 지물의 추출을 피하였으나 역시 정확한 인공 지물의 경계를 추출하는데는 실패했다.

Christopher Jaynes, Frank Stolle와 Roberts Collins(1994)는 5×5 창틀을 이용하여 꼭지점을 추출한 다음 꼭지점 사이의 직선을 Boldt 알고리즘을 이용하여 추출하게 된다. 직선과 꼭지점이 추출되면 꼭지점과 직선 사이의 관계 그래프를 이용해 직사각형 인공 지물을 추출하였다. 실험 결과에서는 비교적 해상도가 좋은 항공 영상을 사용하였기 때문에 대부분의 직사각형 인공 지물이 추출되었음을 볼 수 있으나, 이 알고리즘은 인공 지물의 형태가 직사각형으로 제한되었고, 꼭지점이 추출되지 않은 경우에 대한 해결이 어렵다는 단점을 지니고 있다.

일반적인 에지 필터링 기법(edge filtering method)을 적용시킬 경우 실내 영상에서는 비교적 좋은 결과를 보이나 자연 지형이 포함된 항공 영상 또는 위성 영상에 적용하게 될 경우에는 필요치 않은 에지 화소들이 함께 생성된다. 또한 일반적인 에지 필터링 기법은 전처리(pre-processing) 과정에서 필수적으로 평활화(smoothing) 과정을 포함하고 있으므로 추출된 에지 화소와 실제 인공 지물의 경계 사이의 오차를 내포할 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 Liow와 Pavlidis가 제안한 두 번째 방법을 기본 모델로 삼았다. Liow와 Pavlidis는 영역 확장 기법을 통해 얻은 경계를 그대로 사용하였으나 제안한 알고리즘에서는 영역 확장 기법을 통해 추출된 영역은 단지 인공 지물의 후보 영역으로만 사용하였다. 즉, 추출된 후보 영역의 위치와 형태에 크게 의존하지 않고, 이 후보 영역을 중심으로 에지 추적 기법을 응용하여 임의의 형태를 갖는 인공 지물에 대한 정확한 경계를 재 추출하는 방법으로 추출된 인공 지물 경계에 대한 신뢰도를 향상 시켰다.

3. 인공 지물 후보 영역의 추출

일반적인 인공 지물의 지붕 형태는 직선 성분으로 이루어진 다각형 형태로 이루어져 있으며 단일 고도면에 대해서는 비교적 동일한 색상을 지니고 있다. 따라서 이를 이용하여 영상상에서의 화소의 밝기값 변화가 작은 부분을 검출, 이를 인공 지물의 후보 영역으로 사용하였다. 기존의 알고리즘중 에지를 이용하는 것은 영상의 전체 영역에서 에지 추출, 에지의 직선화(linearization), 연결(linking), 확인의 작업들이 이루어지므로 수행 시간이나 메모리의 이용 면에서 비효율적인 측면이 있으나 본 논문에서 제안한 알고리즘은 후보 영역을 선정하여 이 후보 영역에 대해서만 에지 추적을 수행하므로 수행 속도 면에서나 메모리의 활용 면에서 상당한 효율성을 지니고 있다. 또한 인공 지물이 아닌 부분을 인공 지물로 인식하는 오류를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다.

3.1 Centriod Linkage 분산값을 이용한 영역 확장

영역 확장 기법은 밝기값의 차이가 작은 화소군을 하나의 영역으로 묶어 주는 알고리즘이다. 그러나 이것을 화소 단위로 수행할 경우에는 화소 단위의 잡음 성분으로 인해 불필요한 영역의 분할이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 centriod linkage 기법(Haralick, Shapiro 1992)을 사용하여 이와 같은 불필요한 영역의 분할을 제한하고자 하였다.

Centriod Linkage 기법은 <그림 2>와 같이 중심 화소와 함께 인접 화소들의 정보를 중심 화소에 대응시키는 방법이다. 여기서는 3×3 창틀(window)내의 분산값(variance)을 계산, 이를 중심 화소에 대응시켰다.

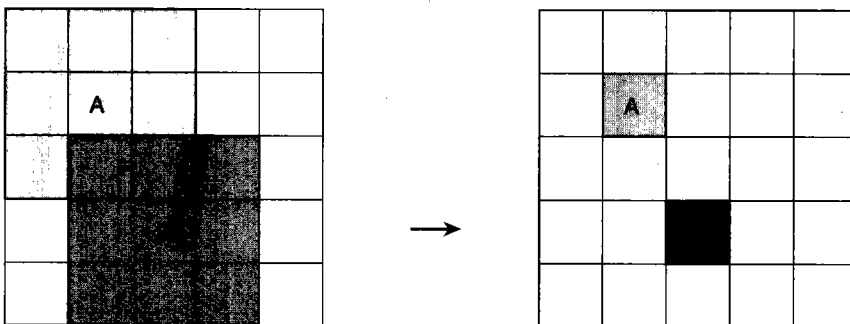


그림 2. Centriod Linkage Method (3×3 window)

$$V(x,y) = \sum_{(r,c) \in R} [I(r,c) - \frac{1}{N} \sum_{(r,c) \in R} I(r,c)]^2 \dots\dots\dots(1)$$

(R : 중심 화소에 인접한 화소의 집합)

이러한 분산값을 이용한 영역 확장 기법을 통하여 그림 3과 같이 영상 내에서 저주파(low frequency) 성분을 갖는 영역들을 추출하여 이것을 인공 지물의 후보 영역으로 사용하였다.

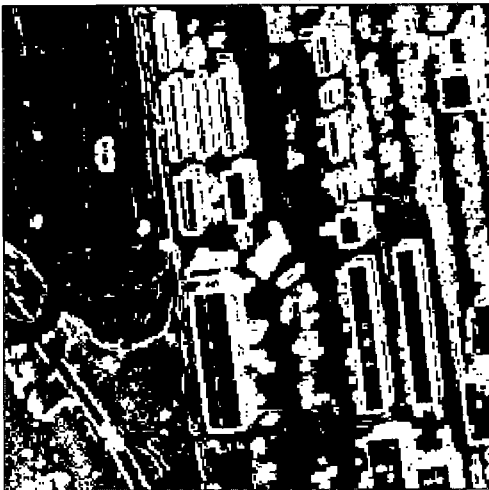
에지 추적 기법을 이용하여 인공 지물의 형태를 추출하기 위해서는 대략 10×10 화소의 영역 이상이 되어야만 한다. 또한 밝기값의 차이가 작은 지표면에 대해서도 매우 넓은 영역이 후보로 선정되므로, 이들 후보 영역 중에서 미세 영역(10화소 미만)이나 전체 영상의 크기에 비해 상당히 큰 영역은 인공 지물의 영역이 아니라고 판단하여 후처리를 통해 후보 영역에서 제외시켰다.

〈그림 3〉에서 오른쪽 항공 영상에 대해 위의 알고리즘을 수행한 결과를 보여주고 있다.

3.2 각 영역 특성의 정보화

추출된 각 후보 영역들은 추후 인공 지물의 정확한 경계를 추출하는데 유용한 자료로 활용된다.

〈그림 3.b〉 영상을 각 영역별로 순차적 numbering한 후보 영역 자료를 저장하게 된다. 이 자료를 바탕으로 각 영역의 특성들을 테이블화 하여 저장하게 되는데, 본 논문에서 사용한 각 후



a. 영역 확장 수행 결과 영상



b. 최종 후보 영상

그림 3. 후보 영역 추출 과정

보 영역의 특성으로는 영역의 화소수, 분산 및 평균 밝기값, 영상상에서의 영역의 위치(x 좌표의 최대 최소값, y 좌표의 최대 최소값 중심 화소의 위치)를 사용하였다.

위의 알고리즘을 통해 얻은 후보 영역은 인공 지물 영역의 밝기값의 변화가 작은 경우에는 인공 지물의 형태와 유사해지나 그렇지 못한 경우에는 인공 지물의 형태를 크게 벗어나게 된다. 따라서 본 논문에서는 얻어진 인공 지물 후보 영역은 단지 대략적인 시작점의 결정과 에지 경로 추적시의 보조적인 수단으로 활용되었다.

4. 인공 지물의 경계 추출 과정

4.1 전체적인 시스템의 구성

〈그림 4〉는 영상상에서 인공 지물을 추출하는 전체 시스템의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 이전 단계에서 얻은 각각의 후보 영역과 영역별 특성은 전체 시스템의 전 과정에서 이용된다.

4.2 에지 경로 추적

에지 경로 추적은 인공 지물의 기준선 검출 및 다른 직선 성분의 추출에 활용된다. 여기서는 시작점을 알고 있다는 가정 하에서 하나의 직선 성분을 검출하는 알고리즘에 대해 설명한다.

4.2.1 창틀 형태의 결정 및 창틀의 진행 방향

본 논문에서는 인공 지물의 지붕은 직선 성분들로 이루어져 있다는 가정을 하였다. 따라서 에지의 경로 추적(edge following)도 직선 형태의 에지에 알맞게 이루어져야 한다. 에지 경로 추적은 〈그림 5〉와 같이 1차원의 창틀을 사용하여 창틀 방향과 수직 방향으로 진행하며 에지 화소들을 하나씩 추출하는 알고리즘이다. 추적시에는 창틀의 중심을 이전의 에지 화소로 이동시키는 것이 필요하다.

에지 추적에 사용되는 창틀은 이론적으로는 에지 선분의 접선 방향에 수직인 형태가 가장 좋다. 그러나 양자화된 디지털 영상에서는 구현의 편의를 위해 〈그림 5.b〉와 같이 x 방향, y 방향 두 종류의 창틀을 사용한다(Sauer 1991). 〈그림 6〉은 a 와 같은 에지 선분이 있을 때의 x 축, y 축 각 방향으로의 밝기값 변화를 나타낸 그림이다. 에지 선분이 x 축과 이루는 각을 α 라 하고 y 축과 이루는 각을 β 라 하면 〈그림 6〉에서는 $\beta > \alpha$ 이므로 y 축 방향의 창틀을 사용하는 것이 에지점을 추출하는데 더욱 효과적이다.

창틀의 사용 규칙은 다음과 같다.

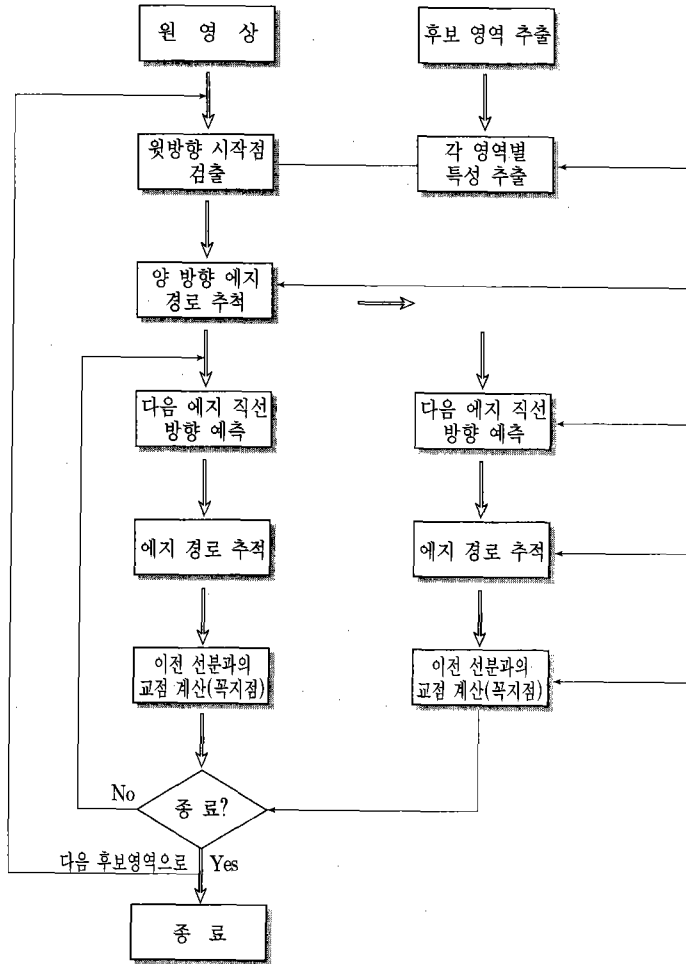
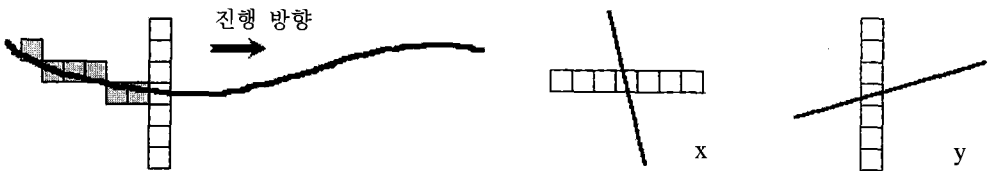


그림 4. 전체적인 시스템의 구성



a. 에지 추적알고리즘의 개요

b. 창틀의 종류

그림 5. 에지 경로 추적 기법의 개요와 창틀의 종류

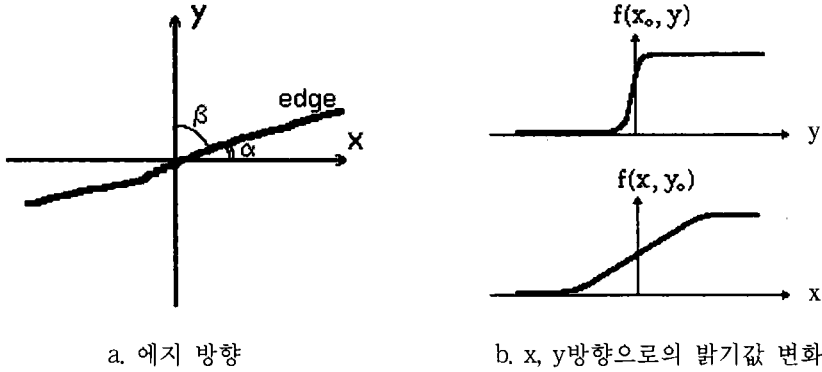


그림 6. 에지의 방향과 각 축 방향으로의 밝기값 변화.

$$\beta > \alpha \rightarrow f'(x_0, 0) > f'(0, y_0) : y \text{ 방향 창틀} \dots \dots \dots (2)$$

$$\beta < \alpha \rightarrow f'(x_0, 0) < f'(0, y_0) : x \text{ 방향 창틀} \dots \dots \dots (3)$$

인공 지물의 경계는 직선으로 이루어졌다고 가정했으므로 하나의 경계선에 대해서는 한 방향의 창틀을 계속적으로 사용하게 된다. 그러나 꼭지점으로부터 다음의 연속되는 에지 선분의 방향은 이전의 에지 선분 방향과 서로 독립적이므로 다음의 에지 선분 방향을 미리 예측하는 것이 필요하다.

4.2.2 제안한 에지 추적 알고리즘

창틀의 종류와 진행 방향이 결정되면 <그림 7>과 같이 제안한 알고리즘의 수행을 통하여 한 에지 선분에 대한 에지 추적을 수행한다. 이때는 이전 단계에서 추출한 인공 지물 후보 영역을 참고 자료로서 이용하게 된다.

가장 먼저 수행되는 과정은 이전에 추출된 에지점들을 이용하여 최소 자승법(least square method)에 의해 직선의 방정식을 계산하여 추출될 다음의 에지점을 예측한다. 창틀 내에서의 에지점 추출은 식 (4)와 같이 밝기값의 차이를 계산하여 가장 큰 값을 갖는 점을 에지점으로 판단한다.

$$g(i) = \text{sign} * f(i) - \text{sign} * f(i+1)$$

$$S(i) = \text{MAX}_i [g(i)] \dots \dots \dots (4)$$

(f : 창틀 내의 화소 밝기값, S : 에지의 밝기값, sign = +1 or -1)

이 식에서 sign 은 부호를 결정하는 변수로서 인공 지물 영역과 주위 영역의 밝기에 의해 결

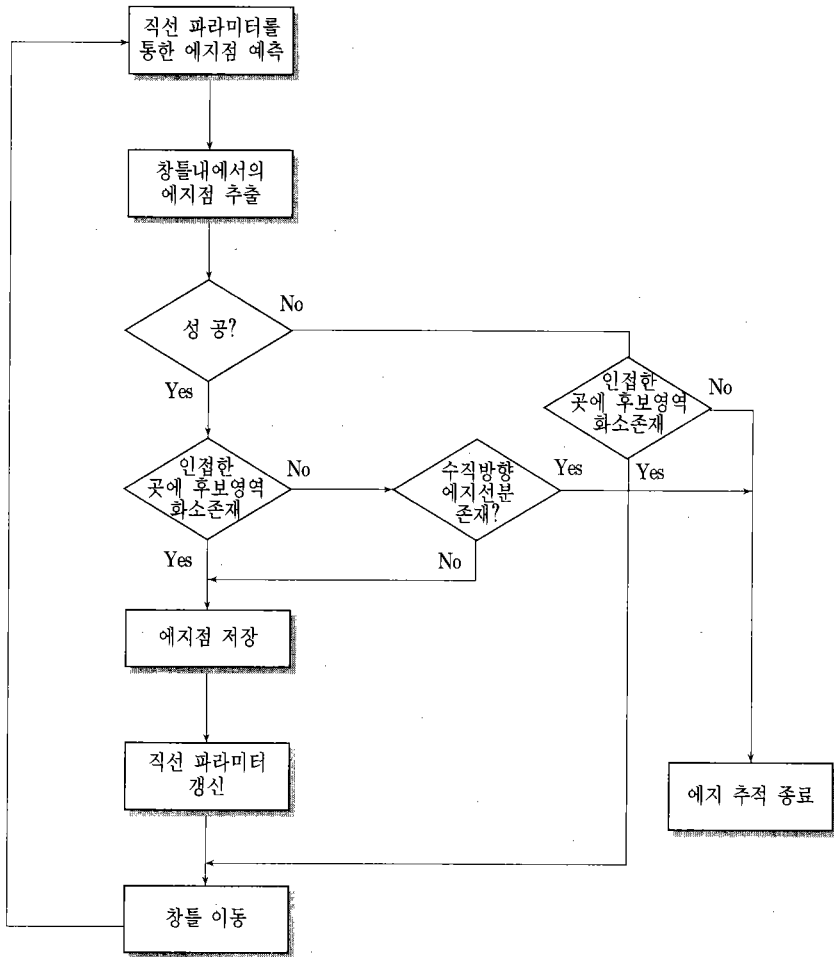


그림 7. 직선 성분 추출 알고리즘의 개요

정된다. 이 부호화 변수는 인공 지물의 에지 부분에서 $g(i)$ 값을 항상 양수로 만들어 주게 된다. 이 부호화 변수는 같은 직선 에지 내의 탐색에서는 항상 같은 부호를 갖는다. 따라서 탐색 초기에 부호를 결정해 주는 것이 필요하다.

창틀 내에서의 밝기 차이를 계산하여 이 값들 중 최대값을 갖는 위치를 에지점이라고 판단할 수 있다. 그러나, $S(i)$ 가 임계치보다 작은 값일 경우에는 에지 탐색에 실패했다고 간주한다.

일단 에지점 추출에 성공하는 경우에는 인공 지물 영역 쪽의 에지 직선과 수직 방향으로 어느 정도 가까운 곳에 그 영역의 후보 영역 화소가 존재하는지를 검사하여, 만약 존재한다면 추출된 에지점을 저장하고 다음 화소로 창틀을 이동시킨다. 후보 영역 화소가 존재하지 않는 경

우에는 현재 추적된 에지 직선의 수직 방향의 에지를 조사하게 된다. 일반적인 인공 지물의 각 변이 이루는 각은 수직이므로 꼭지점 부근에서는 수직 방향의 에지가 존재하게 된다. 따라서 이러한 수직 방향의 에지가 존재하면 이 점은 꼭지점으로 판단할 수 있으므로 에지 추적을 멈추게 된다.

창틀 내의 에지점 추출에 실패하는 경우에는 인접한 곳에 후보 영역 화소가 존재하는지를 앞서 설명한 방법으로 조사하여, 존재할 경우에는 잡음에 의한 영향이라고 판단하고 다음 화소로 창틀을 이동시킨다. 그러나 존재하지 않을 경우에는 에지 추적을 종료한다.

새로운 에지점을 추출한 경우에는 이전의 화소들과 함께 저장되고 저장된 화소가 3개 이상일 경우에는 이 화소들을 이용하여 최소 자승법을 이용하여 직선의 파라미터를 재 추출하게 된다.

4.3 인공 지물 기준선 검출

각 후보 영역을 기준으로 최초의 에지 직선을 추출하는 과정이 바로 기준선 검출 과정이다. 이 기준선의 정확한 추출 여부는 인공 지물의 정확한 경계를 추출하는 관건이 된다. 기준선 검출시에는 각 후보 영역과 그 특성값 이외의 어떠한 정보도 가지고 있지 않으므로 다른 에지 직선을 추출하는 경우보다 엄격한 제한 조건이 주어져야 한다. 따라서 인공 지물의 각 면중 에지가 가장 뚜렷하게 나타난 것을 기준선으로 정하여야만 영상상에서의 인공 지물 추출률을 높일 수 있다. 그러나 위의 정보만으로는 어떠한 면이 에지의 특성을 가장 강하게 지니고 있는지를 예측하는 것은 불가능하다. 그러나 항공 영상 또는 위성 영상에서는 반드시 태양 각도에 의해서 발생하는 인공 지물의 그림자가 나타나게 되며, 이 그림자가 발생하는 면은 인공 지물과 그 주변을 가장 확실하게 구별시켜 에지의 특성이 잘 나타나게 된다. 따라서 이러한 그림자가 발생하는 면을 초기 기준선 검출 방향으로 삼는 것이 가장 좋은 결과를 유도할 수 있다. 실험에서 사용한 영상에서 그림자는 인공 지물의 오른쪽 면과 윗면을 따라 나타나고 있으므로 본 논문에서는 윗방향을 기준선 검출의 방향으로 설정하였다.

이전 단계에서 추출된 후보 영역은 일반적으로 실제 인공 지물의 영역 전체를 포함하지 않고 그보다 좁은 영역을 형성하고 있다. 따라서 후보 영역 상의 한 점에서 윗 방향의 추적을 통하여 인공 지물의 각 변중 가장 위쪽에 위치하는 변상의 한 점을 추출하고, 이것을 시작점(seed)으로 하여 앞에서 설명한 에지 추적 기법을 적용하여 에지 직선을 추출하게 된다. 이때 사용되는 창틀의 방향은 y 방향 창틀이 사용되며 시작점을 중심으로 양 방향으로의 에지 추적을 수행해야 한다.

이렇게 추출되는 에지점들을 이용하여 최소 자승법에 의해 직선의 파라미터를 계산하고, 각 끝점이 저장되어 이 양 끝점들은 진행되는 다음의 에지 직선 성분을 예측하는데 중심점으로써 활용된다.

만약 어느 정도 윗 방향으로 진행해도 시작점이 나타나지 않거나 추출된 총 에지점의 수가 일정 개수 이상이 되지 않으면 이 후보 영역은 인공 지물의 영역이 아니라고 판단하고 다음의

후보 영역으로 이동하게 된다.

4.4 에지 진행 방향 예측

본 논문에서 사용한 에지 경로 추적 알고리즘은 인공 지물의 꼭지점을 만나면 종료된다. 만약 인공 지물이 직사각형의 형태만을 갖는다고 가정하면, 현재 추출된 직선 성분의 방향으로 다음의 직선 성분의 방향을 예측할 수 있으나 여기서는 임의의 형태의 인공 지물 추출을 목적으로 하고 있으므로 꼭지점을 중심으로 이웃하는 두 에지 직선 성분의 방향성이 서로 독립적이다. 따라서 꼭지점에서는 에지 진행 방향과 창틀의 방향을 새로이 갱신해야 한다.

〈그림 8〉에서 보면 먼저 x 방향의 창틀을 사용하여 y^+ 방향으로 에지를 추적해 나아간다. 이 창틀이 꼭지점 부근에 다다르면 x 방향의 창틀로는 다음의 에지 화소들을 추출하지 못하므로 y 방향의 창틀을 사용하여 창틀의 진행 방향을 x^+ 로 변경해야만 올바른 에지 화소점들의 추적이 가능해진다. 따라서 다음의 에지 직선 방향의 예측이 필수적이다. 물론 이것은 앞에서 얻은 인공 지물의 후보 영역을 이용해 얻을 수 있으나 본 논문에서는 이 후보 영역의 신뢰성이 낮다고 판단하고 개선된 정방향 투영 Hough 변환(최성한, 엄기문, 이쾌희 1995)을 이용하여 다음의 에지 진행 방향을 예측하였다. 이 알고리즘은 에지 영상으로부터 직선 파라미터를 얻는 기존의 방법과 달리 원영상으로부터 직접 직선 파라미터를 얻는 방법으로써 비교적 정확한 결과를 얻는다.

Hough 변환은 일반적으로 영상 전체에 걸쳐 수행할 경우 상당한 수행 시간이 요구된다. 그

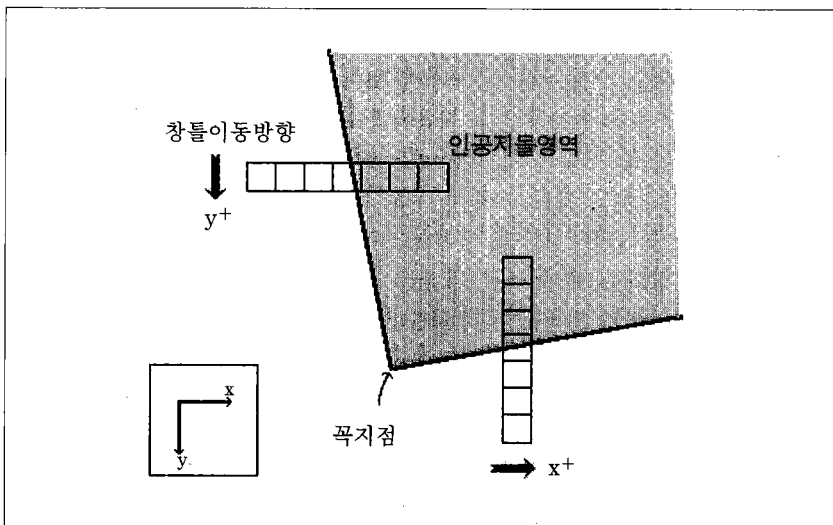


그림 8. 창틀의 선정과 창틀의 이동 방향

러나 여기서는 꼭지점을 중심으로 좁은 영역에서의 직선 성분의 에지만을 고려하므로 적당한 크기의 정사각형 형태의 창틀을 사용, 이 창틀 내에서 위에서 설명한 Hough 변환을 <그림 9>와 같이 수행하였다. 창틀의 크기는 15×15를 사용했으며 불필요한 직선 성분의 영향을 줄이기 위해 창틀의 위치는 꼭지점을 중심으로 하지 않고 꼭지점에서 가까운 인공 지물의 후보 영역 화소 방향으로 수 화소만큼 이동된 지점을 창틀의 중심으로 정하고 Hough 변환시의 원점은 추적된 에지 직선 성분의 중점을 사용하였다. 또한 현재까지 진행되어 찾아진 에지 직선 성분이

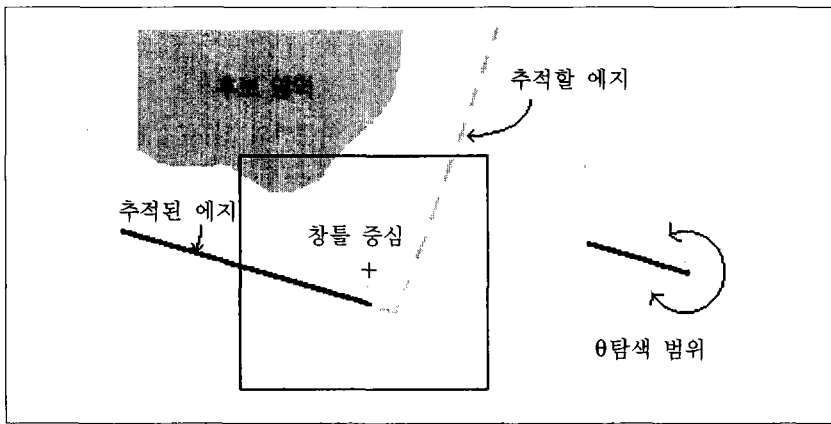
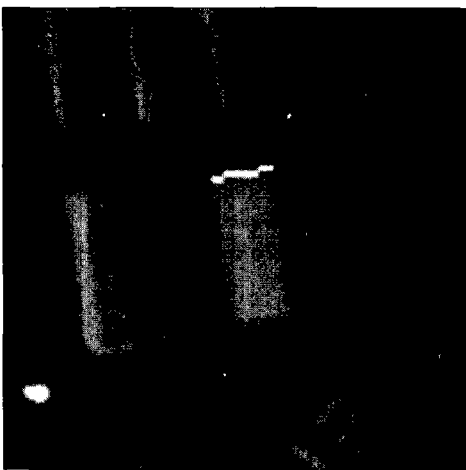
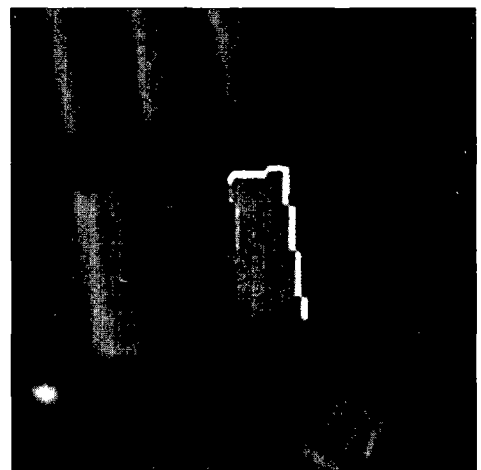


그림 9. Hough 변환시 창틀의 위치와 탐색 범위



a. 오른쪽 선분 예측



b. 왼쪽 선분 예측

그림 10. 다음 에지 진행 방향 예측

추출되는 것을 방지하기 위해 θ 의 범위를 제한하였으며 θ 의 간격은 0.1 radian, 중심으로부터의 거리 d 는 0에서 6까지 1화소 단위로 변환을 수행하였다.

〈그림 10〉은 실제 항공 영상에서의 한 인공 지물에 대해서 에지 진행 방향을 예측한 결과를 보여주는 것으로서 백색 선은 이미 추출된 직선 에지 선분을 나타내며 흑색 선은 개선된 정방향 투영 Hough 변환을 통하여 예측된 다음 직선 성분이다. a는 기준선 추출 후에 오른쪽 끝점으로부터 다음의 에지 방향을 예측한 결과이고, b는 기준선의 왼쪽 끝점에서 다음의 에지 방향을 예측한 결과이다.

4.5 그 밖의 에지 직선 성분 검출

하나의 후보 영역에 대해 먼저 기준선이 검출되면 기준선의 양 끝점을 시작으로 각각 에지 추적을 통해 다음의 에지 직선 성분을 추출해야 한다. 물론 한 방향, 예를 들어 후보 영역을 중심으로 반시계 방향으로 진행하면서 각각의 인공 지물을 구성하는 직선 성분들을 찾을 수 있으나 진행중에 영상상에서 에지의 불확실성으로 인하여 에지 추적이 중도에서 멈추게 되면 그 인공 지물을 추출하는데 실패하게 된다. 따라서 이러한 위험성을 줄이기 위하여 기준선에 대해서는 양 방향의 직선 성분을 추출하고 반시계 방향으로 진행하며 직선 성분을 추출하면서 기준선

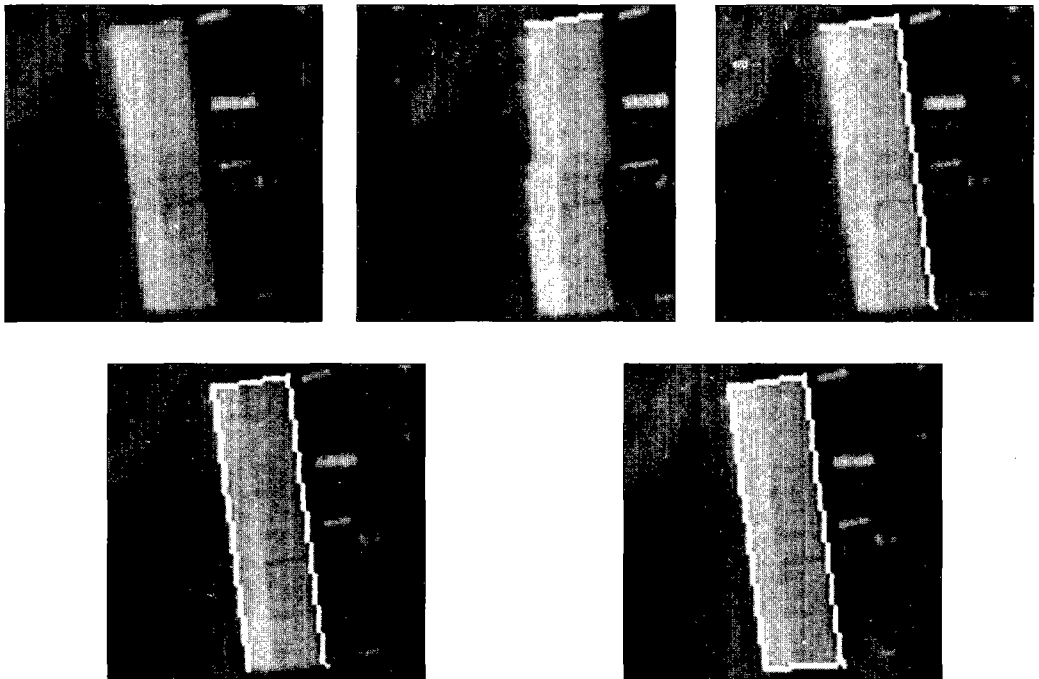


그림 11. 인공 지물의 각 직선 성분 추출 과정

에 대한 오른쪽 직선 성분의 끝점과 만나게 되는지를 확인한다. 만약 만날 경우에는 인공 지물의 추출이 성공한 것으로 판단하고 완료하게 되며 다음의 후보 영역으로 이동한다.

기준선 검출 과정에서 얻어진 양 끝점을 중심으로 다음의 에지 직선을 얻기 위해 앞에서 설명한 진행 방향 예측을 통해 대략적인 진행 방향과 그에 따르는 창틀의 종류와 진행 방향을 설정하게 된다. 기준선 검출 과정이나 다른 직선 성분 검출시 직선의 끝점은 인공 지물의 꼭지점과 정확하게 일치할 필요는 없다. 대략 5 화소 미만의 거리 차이를 가지고 있다면 에지 진행 방향 예측 과정상에서 Hough 변환시 거리 d 를 0에서 6화소까지 수행하므로 시작점을 검출할 수가 있기 때문이다. 이렇게 진행 방향의 예측을 통하여 시작점을 추출하게 되면 식 (4)의 $sigm$ 값을 얻게 되고, 앞서 설명한 에지 추적 알고리즘을 통하여 에지 화소들을 얻게 된다. 그러나 이 시작점이 인공 지물의 꼭지점과 일치할 경우는 창틀 내에서의 에지점 추출에 실패할 가능성이 항상 존재한다. 이는 창틀의 방향이 x 축, y 축 두 가지이므로 꼭지점 부근에서 둘 이상의 에지점을 추출하게 될 경우가 발생하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 진행 방향으로 어느 정도 이동된 위치에서 시작점을 선택하여 $sigm$ 값을 추출하고 양방향으로 진행하는 기법을 사용하여 이러한 위험성을 배제하였다.

<그림 11>은 직사각형 형태의 하나의 인공 지물에 대해 각 직선 에지 선분을 추출하는 과정을 나타낸 것이다.

5. 실험 결과

<그림 12>는 centroid linkage 분산값을 이용 영역 확장 알고리즘을 사용하여 얻은 후보 영역



a. 왼쪽 영상

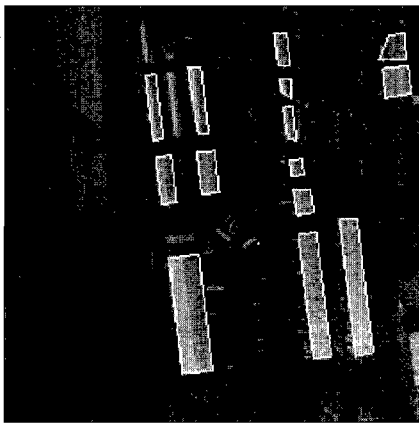


b. 오른쪽 영상

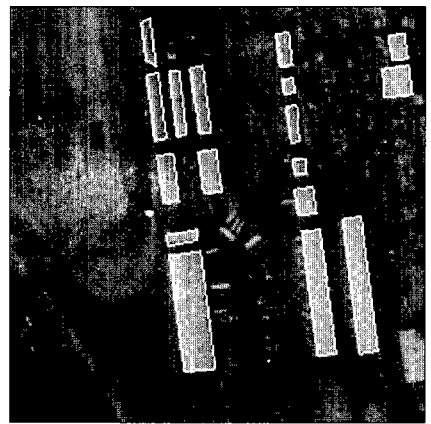
그림 12. 영상 내의 후보 영역

을 원 영상에 겹친 영상이다. 흰색으로 보이는 부분이 각각의 후보 영역을 의미한다. 인공 지물 중에는 지붕의 형태가 삼각형 꼴로서 가운데 부분이 높고 양쪽으로 갈수록 낮아지는 것들이 많이 존재하는데 이 인공 지물들은 가운데의 모서리 부분에서 밝기값의 변화가 존재하여 하나의 영역으로 확장하지 못하는 경우가 발생했고, 또 어떤 것은 인공 지물 영역 내에서 하나의 후보 영역도 찾지 못하는 경우도 발생하였다.

〈그림 13〉은 제안한 알고리즘을 통해 추출된 최종 영상이다. 오른쪽 영상에 대해서는 모든 인공 지물의 추출에 성공했으나 왼쪽 영상에 대해서는 3개의 인공 지물에 대해 경계를 추출하지 못했다. 추출에 실패한 가장 윗부분에 위치한 인공 지물은 후보 영역 추출의 실패로 기인된 것이고 그 바로 아래에 위치한 인공 지물은 후보 영역의 추출에서 원 형태와의 차이가 크게 벌어져 시작점조차 찾지 못했다.



a. 왼쪽 영상



b. 오른쪽 영상

그림 13. 최종 결과 영상

표 1. 수행 결과

	왼쪽 영상	오른쪽 영상
최초 후보 영역 수	616	403
최종 후보 영역 수	53	53
영상상의 인공지물 수	17	17
후보영역에 포함된 인공지물수	16	17
후보영역에 포함되지 않은 인공지물 수	1	0
추출에 성공한 인공지물 수	14	17
추출에 실패한 인공지물 수	3	0

표 2. 수행 시간 비교

	왼쪽 영상	오른쪽 영상
Canny Edge Filter ($\sigma=0.5$, windowsize=7)	10.2 초	10.2 초
Canny Edge Filter ($\sigma=0.7$, windowsize=9)	15.4 초	15.4 초
제안한 알고리즘	12.9 초	12.3 초

(IBM-PC Pentium 90Mhz 사용)

표 1에서는 두 영상에 대한 알고리즘의 수행 결과를 요약하였다. 표 2에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 수행 시간을 비교하기 위해 인공 지물 추출의 전처리 단계로 널리 사용되는 canny 에지 필터(Canny 1986)의 수행 시간과 비교하였다. canny 에지 필터의 수행 시간은 평활화 과정에서 사용되는 σ 상수에 비례하는 윈도우 크기에 의해 결정된다. 결과를 비교해 보면 제안한 알고리즘이 σ 값이 0.5인 경우와 σ 값이 0.7인 경우의 중간 정도의 수행 시간을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 canny 에지 필터를 사용할 경우 σ 값을 1.0정도로 사용한다. 따라서 제안한 알고리즘의 수행 시간이 상당히 빠른 것을 볼 수 있다.

6. 결론 및 추후 과제

본 논문에서 제안한 알고리즘은 에지 영상을 이용하지 않고 원영상에서 경계를 구성하고 있는 화소점들을 직접 탐색함으로써 최종적으로 얻어지는 직선 파라미터의 신뢰도를 상당히 높일 수 있다. 또한 후보 영역 주위에서만 탐색을 시행하므로 수행 시간면에서 상당한 이점을 지니고 있다. 제안한 알고리즘을 항공 영상에 적용시킨 결과, 길이가 어느 정도 긴 모서리에 대해서는 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었으나 길이가 짧은 선분에 대해서는 정확도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 인공 지물의 후보 영역을 찾지 못할 경우와 찾아진 후보 영역의 형태가 원래의 인공 지물의 형태와 크게 달라질 경우 추출에 실패하는 단점을 지니고 있다.

추후 과제로는 후보 영역 추출 알고리즘의 보완과 함께 기준선 검출시 특정한 방향이 아닌 여러 방향에서 수행하여 각각 추출된 직선 성분들을 병합하는 방법으로 후보 영역에 대한 독립성을 증대시켜야 할 것이다. 또한 최종적으로 추출된 직선 성분들에 대해 거시적인 시각에서의 직선 파라미터를 보정하는 후처리가 필요할 것이다.

7. 참고 문헌

- A. Huertas and R. Nevatia, "Detecting Buildings in Aerial Image," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* Vol. 41, pp. 131-152, 1988.
- Jefferey A. Shufelt and David M. McKeown, Jr., "Fusion of Monocular Cues to Detect Man-Made Structures in Aerial Imagery," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing Image Understanding*, Vol. 57, No. 3, pp. 307-330, 1993.
- John Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 679-698, Nov. 1986.
- Ken Sauer, "Enhancement of Low Bit Rate Coded Image Using Edge Detection & Estimation," *Graphical Models & Image Processing*, vol. 53, no 1, pp. 52-62, 1991.
- R. Bruce Irvin and David M. McKeown Jr., "Toward Automatic Cartographic Feature Extraction," *Mapping and Spatial Modelling for Navigation*, NATO ASI Series, Vol.F65 pp.495-520, 1990.
- R. Collins, C. Jaynes, and F. Stolle, "Task Driven Perceptual Organization for Extraction of Rooftop Polygon," *Proceedings of Image Understanding Workshop*, vol. 1, Nov. 1994.
- Robert M. Haralick & Linda G. Shapiro, 'Computer & Robot Vision.' Addison Wesley, 1992, pp. 477-482, 532-535.
- Sarvajit S.Sinha, "Automatic Reconstruction of Buildings from Aerial Imagery," *SPIE Vol.1468 Applications of Artificial Intelligence*, pp.698-709, 1991.
- Y. Liow and T. Pvlidis, "Use of Shadows for Extracting Buildings in Aerial Images," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* Vol. 49, pp. 242-277, 1990.
- 최 성한, 엄 기문, 이 쾌희, "밝기값 영상에서의 개선된 정방향 투영 Hough 변환에 의한 직선 추출," 제7회 영상처리및 이해에 관한 워크샵, pp. 59-63, 1995.