

그림자영향 소거를 통한 아스팔트 도로 경계추출에 관한 연구

윤 공 현[†]

연세대학교 건설공학연구소

A Study on the Asphalt Road Boundary Extraction Using Shadow Effect Removal

Kong-Hyun Yun[†]

Construction Engineering Research Institute, Yonsei University

Abstract : High-resolution aerial color image offers great possibilities for geometric and semantic information for spatial data generation. However, shadow casts by buildings and trees in high-density urban areas obscure much of the information in the image giving rise to potentially inaccurate classification and inexact feature extraction. Though many researches have been implemented for solving shadow casts, few studies have been carried out about the extraction of features hindered by shadows from aerial color images in urban areas. This paper presents a asphalt road boundary extraction technique that combines information from aerial color image and LIDAR (LIght Detection And Ranging) data. The following steps have been performed to remove shadow effects and to extract road boundary from the image. First, the shadow regions of the aerial color image are precisely located using LIDAR DSM (Digital Surface Model) and solar positions. Second, shadow regions assumed as road are corrected by shadow path reconstruction algorithms. After that, asphalt road boundary extraction is implemented by segmentation and edge detection. Finally, asphalt road boundary lines are extracted as vector data by vectorization technique. The experimental results showed that this approach was effective and great potential advantages.

Key Words : Aerial Color Image, Boundary Extraction, Shadow Path Reconstruction.

요약 : 고해상도 컬러항공영상은 공간정보생성을 위한 지형의 상세한 정량적 및 정성적 정보를 제공해준다. 하지만 도심지역에서 빌딩 또는 숲에 의한 그림자의 발생으로 인하여 지물 추출 및 분류시 부정확한 결과를 초래 시킬 수 있다. 현재까지 그림자 효과에 대한 여러 연구가 이뤄졌으나 도심지에서 그림자의 발생으로 야기된 분광정보 왜곡의 문제점을 해결하여 도로추출에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 컬러항공사진과 LIDAR(LIght Detection and Ranging) 고도 자료를 이용하여 아스팔트 도로 경계선을 추출하는 기법을 제안하였다. 구체적으로 그림자 영역을 LIDAR자료로부터 생성된 DSM(Digital Surface Model)과 태양각으로부터 추출하였다. 그 후 도로영역추출기법, 경계선 검출기법을 통하여 도로의 경계를 추출하였으며 이 자료를 벡터화하므로써 GIS 벡터의 선분 자료로 생성하였다. 본 연구의 실험결과 제안된 방법은 그림자의 영향을 소거하여 원활한 아스팔트 도로의 경계를 추출하는데 있어서 효과적임을 알 수 있었다.

2006년 2월 28일 접수 ; 2006년 4월 8일 수리.

[†] 교신저자: 윤공현(ykh1207@yonsei.ac.kr)

1. 서론

측량학자들은 처음 항공영상이 취득된 이후 영상으로부터 정량적 및 정성적 정보를 추출하기 위한 많은 시도를 해오고 있다. 1900년대 중반 프랑스 육군 공병부대가 처음으로 항공사진을 대상으로 대상물에 대한 정보 취득 및 매핑을 처음 시도한 이후 사진측량 및 원격탐측 분야의 눈부신 발전은 컬러필름의 개발, 새로운 탑재기의 발명 그리고 끊임없는 실험 장비들의 개선으로 인하여 가능하게 되었다(유복모, 2003; Wolf and Dewitt, 2000). 특히 고해상도 위성영상 및 컬러 항공사진의 등장으로 인하여 복잡한 도심지에서 지상의 주요한 지물의 추출에 관한 연구가 많이 진행되어 오고 있다(손홍규 외, 2004; Gong and Wang, 2004). 하지만 도심지역은 산악지나 농경지와 달리 고층건물의 밀집 분포로 인하여 정보를 추출하는데 어려움이 크다. 특히 그림자의 발생으로 인한 원래 분광정보의 왜곡현상 때문에 이에 대한 적절한 처리 방법이 요구된다.

일반적으로 그림자는 태양으로부터 받은 광선이 지형의 기복이나 또는 지상에 빌딩, 숲과 과 같은 지물들에 의하여 지상에서 차단되어 발생하는 것으로 정의할 수 있다(Paul, 2005). 실제 태양의 방사파가 지상에 도달되는 경로는 상당히 복잡하다. 실제 건물에 의해 발생된 그림자 영역도 태양의 방사파에 대해 직접적으로 차단되긴 하지만 여러 경로를 통하여 파가 도달한다(Itten and Meyer, 1993). 이러한 이유로 실제 촬영된 영상에서 건물에 의해 발생된 그림자 지역은 그림자가 발생하지 않는 동일한 지물에 비하여 밝기값이 상당히 낮게 나타나지만 적어도 0의 값은 아니다. 발생된 그림자의 크기는 크게 두 가지 요소에 의하여 좌우된다. 첫 번째, 건물의 높이이다. 즉 건물의 높이가 크면 클수록 발생하는 영역은 커지게 된다. 두 번째, 영상 취득시간에 따른 태양의 고도각에 따라 그림자의 크기의 차이가 발생된다. 즉 겨울과 같은 낮은 태양고도각을 갖는 경우 그림자의 길이는 길어지게 된다. 다음 Fig. 1은 건물에 의해 발생하는 그림자의 길이에 대한 간략화된 모식도이다.

그림자 및 건물에 의해 왜곡되거나 폐색된 영역을 주 대상으로 하여 지상의 도로를 추출하는 연구는 해외에서 일부 그 성과가 발표되었다. Snakes 기법에 의한 반자동 지물추출 기법(Semi-Automatic Feature Extraction

by Snakes; SAFES)과 “Zip-Lock” 기법이 대표적인 적용기법으로 알려져 있다(Trinder and Li, 1995; Neuenschwader *et al.* 1995). SAFES 기법은 추출한 도로에 대하여 2가지의 가정사항을 충족시켜야 한다. 첫 번째는 도로의 중앙선이 일정한 곡률반경을 가질 것. 두 번째, 추출한 도로의 폭이 일정한 요건을 갖추어야 한다. “Zip-Lock” 기법은 SAFES 기법에서 도로추출을 위한 시작점의 위치를 자동화 시키는 방법이 추가된 변형된 기법이다. 하지만 이러한 기법들은 도로의 주변 지형이 비교적 단순한 산악지형 또는 농경지에 적합하며 도심지의 고층건물이 밀집되어 있는 지역에서 적용하기에는 그 능력이 아직 부족한 것으로 나타나 있다(Neuenschwader *et al.*, 1995).

본 연구에서는 도심지의 컬러항공영상에서 나타나는 있는 아스팔트 도로의 추출을 시도하였는데 건물에 의해 발생된 그림자의 영향을 제거하고 분할(segmentation) 기법, edge 검출기법을 통하여 실제 아스팔트 도로의 경계선을 정확히 추출한 후 edge 추적기법을 통하여 디지털 영상에 나타난 도로의 영상소들을 GIS 자료로 활용하기 위한 벡터자료로 생성하였다. 단 본 연구에서는

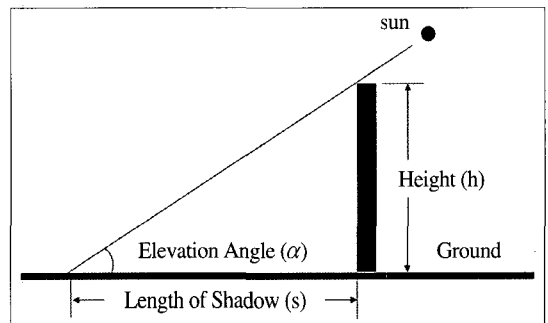


Fig. 1. The geometry between height, elevation angle and length of shadow at fixed azimuth angle.

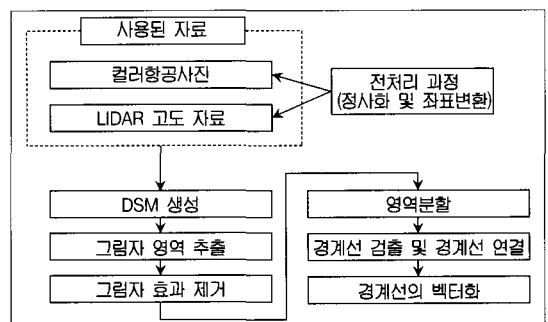


Fig. 2. Schematic diagram of the proposed algorithm.

아스팔트 도로를 제외한 기타 작은 도로는 제외하였다. 본 연구의 전체 흐름은 아래 Fig. 2와 같다.

2. 그림자 영향 제거 알고리즘

Stockham(1972)에 의하면 영상은 두 가지 주요한 요소 즉, 사물에 비치는 입사광량과 반사되는 광양으로 구성되어 있다는 것으로 파악되었다. 그 이론에 따르면 영상은 $I_{ij} = r_{ij} \cdot L_{ij}$ 와 같이 두 가지 요소의 곱으로 수학적으로 표현할 수 있다. L_{ij} 는 입사광량을 나타내며 r_{ij} 은 사물의 반사함수를 나타낸다. 이 식을 좀 더 발전시켜서 그림자에 의하여 어두워진 영상은 $I_{ij} = \alpha_{ij} \cdot r_{ij} \cdot L_{ij}$ 으로 표현할 수 있다. 이 식에서 α_{ij} 는 감쇠 요인(attenuation factor)이며, 영상에서 그림자의 영향을 제거하기 위해서는 α_{ij} 의 값을 계산해야 한다.

본 연구는 위해서 식 $I_{ij} = \alpha_{ij} \cdot r_{ij} \cdot L_{ij}$ 은 다음 아래와 같이 수정될 수 있다.

$$\frac{I}{\alpha_{ij}} = r_{ij}L_{ij} \quad (1)$$

$$\frac{I}{\alpha_{ij}} = I - I(1 - \frac{1}{\alpha_{ij}}) \quad (2)$$

$$I - I(1 - \frac{1}{\alpha_{ij}}) = r_{ij}L_{ij} \quad (3)$$

$$I - k = r_{ij}L_{ij} \quad (4)$$

$$I - k = I \quad (5)$$

식 (5)는 방사정보(radiometric information)가 손상되지 않은 값을 이용하여 방사왜곡이 발생된 영상의 값을 보정 할 수 있다는 의미이다. 식(5)에서는 보정계수를 k 라 정의하였으며 영상내의 주요 지형지물에 대한 보정 계수를 산출하여 그림자가 존재하는 동일 지형지물의 대하여 보정하므로써 그 영향을 제거할 수 있다.

$$O_{R,G,B}(x, y) = I_{R,G,B}(x, y) + \alpha \quad (6)$$

$$\alpha = I_{R,G,B}(x, y) - I_{R,G,B}(x, y) \quad (7)$$

단, $O_{R,G,B}^{(x,y)}$: 결과영상에 대한 각 밴드의 DN 값
 $I_{R,G,B}^{(x,y)}$: 입력영상에 대한 각 밴드의 DN 값
 $I_{R,G,B}^{(m)}$: 각 밴드별 기준영역의 평균값
 $I_{R,G,B}^{(m)}$: 각 밴드별 대상영역의 평균값

3. 대상 지역 및 자료

본 연구에서 사용된 자료는 경기도 성남지역의 컬러 항공사진, LIDAR 자료 그리고 보조자료로서 항공사진의 정사화를 위한 기준점 취득원인 1:1,000 축척의 수치지도이다. 컬러항공사진은 1/5,000 축척으로 2002년 12월 10일 오전 11:19분경에 촬영되었으며 촬영된 항공사진은 50 μ m의 해상도로 스캐닝하였으며 실제 지상의 해상력은 25cm이다. 또한 다른 자료와 좌표체계를 통일시키기 위해서 항공영상은 수치지도를 이용하여 정사영상을 생성하였으며 생성된 정사영상들을 모자이크하여 본 실험에 가장 적합한 지역을 선택하였고 수평 정확도는 대략 0.75m이다. Fig. 3에서 보는 것처럼 대상지역은 고층 아파트, 나무, 도로, 잔디 및 기타의 요소로 구성되어 있는데 촬영시점이 겨울인 시기로 오른쪽 부분의 도로에 그림자가 길게 발생되어 있다. LIDAR는 지상의 건물 등을 포함한 표면을 묘사하는 정보를 제공하는 시스템으로서 2004년 4월 4일에 Optech 회사의 ALTM1020 시스템으로 대상지역의 자료를 취득하였다. 이 시스템은 5kHz 레이저 빔도율이며 지표면을 약 800m 상공에서 $\pm 9^\circ$ 의 정사각으로 스캔되었다. 점밀도는 2.8point/m²이며 수직위치 정확도는 0.15m, 수평위치 정확도는 0.5m로 알려져 있다(Cowen *et al.*, 2000).

4. 실험 및 결과

1) DSM의 생성

그림자 영역을 정확히 추출하기 위한 단계로서 본 연구에서 정확한 DSM 자료의 생성이 필요하다 이를 위하여 LIDAR의 고도 원자료를 0.5m 간격으로 Kriging 보간방법으로 정밀한 DSM을 생성하였다. 또한 그림자 영역 추출을 위해서는 DSM 뿐만 아니라 사진촬영당시의 정확한 태양각을 계산하여야 한다. 본 연구의 대상지역의 지리좌표는 동경 127° 6′ 58″이며, 위도는 북위 37° 22′ 01″이다. 미국 NOAA에 제시된 식에 따라 계산된 결과 태양의 고도각은 29.793°이었으며 방위각은 179.389°이었다(National Oceanic Atmospheric Administration, NW, Washington, 2004). 이 결과를 바탕으로 Fig. 1



Fig. 3. Aerial color image of study area.

에서 제시된 건물의 높이, 고도각 그리고 그림자의 길이에 대한 기하학적인 관계식에 의해 다음 아래 Fig. 4와 같은 그림자 영역을 추출 할 수 있었다. Fig. 4에서 검정색으로 보이는 부분은 그림자 영역이다. Fig. 3의 원영상에서 발생된 그림자의 위치와 영역과 비교하여 볼 때 상당히 유사한 결과를 보여주고 있다.

2) 그림자 영향 제거

2장의 제안된 식 (7)에 의하여 본 연구 대상지역에 대하여 그림자 영향을 제거하였다. 그림자로 나타나 그 영

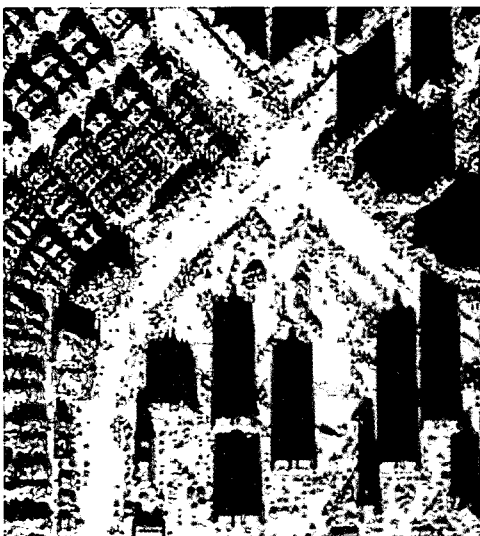


Fig. 4. Shadow regions represented by black tone.

향의 제거가 필요한 영역(아스팔트 도로)을 대상영역으로 설정하였으며 그림자가 존재하지 않는 아스팔트 도로를 기준영역으로 설정하였다. 대상영역 및 기준영역은 10×10 영상소 크기를 가지며 실험자가 직접 영역의 위치를 선정하였다. 아래 Table 1은 각 영역에 대하여 Red, Green, Blue 밴드에 대한 평균 및 표준편차를 보여주고 있다. 그 결과 각 밴드에 따라 그림자 영역에 대한 제거 계수값의 차이가 다르게 나타났으며 그린밴드에서 가장 크게 차이가 났으며 Blue밴드에서 상대적으로 그 차이가 작음을 보여주었다.

다음 Fig. 5는 Table 1에 나타난 통계값을 이용하여 그림자 영향을 제거하여 생성된 영상이다. 아스팔트 도로의 영역에서는 시각적으로 판단 해 보았을 때 상당히 보정이 잘되어 있음을 판단 할 수 있었다. 다만, 아스팔트 도로를 제외한 다른 비포장 도로, 숲, 기타 지물의 그림자 영향 제거 효과는 다소 낮게 보이지만, 본 연구의 목적은 최종적으로 아스팔트 도로의 추출에 주안점을 두고 보정을 하였기 때문에 문제가 되지 않는다고 판단된다.

Table 1. Mean and standard deviation of shadow and non-shadow road regions in asphalt road feature.

구 분	그림자(shadow)		비 그림자(Non-Shadow)	
	평균	표준편차	평균	표준편차
Blue 밴드	118.55	20.27	196.50	19.65
Green 밴드	97.14	19.18	214.75	15.24
Red 밴드	67.94	16.54	199.14	13.97



Fig. 5. Shadow-free image.

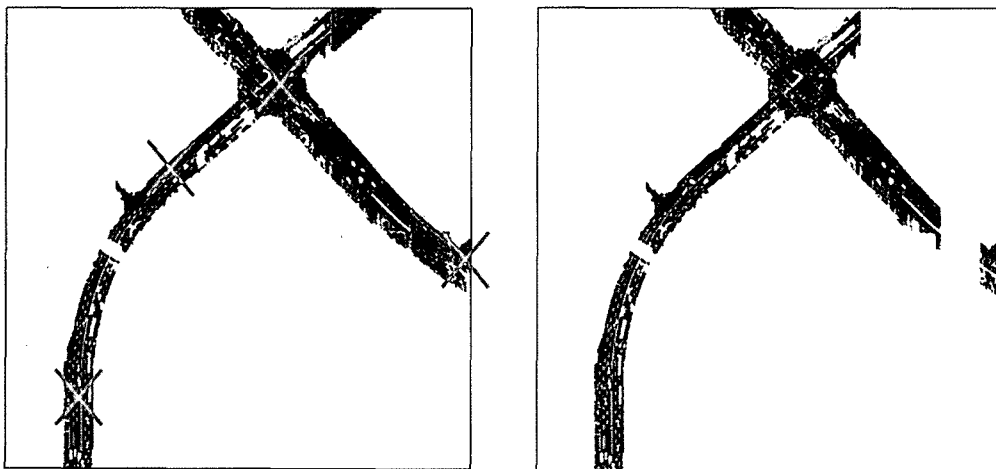
3) 영역확장기법

본 연구의 단계는 그림자 영향이 제거된 영상에 대하여 도로의 영역을 추출하는 과정이다. 이 과정에서는 여러 가지 많은 방법이 시도될 수 있으나 본 연구에서는 영역확장기법(region growing segmentation)을 사용하였다. 영역확장기법은 디지털 영상에서 정성 및 정량적인 정보를 이용하여 균등한 영역끼리 분리하는 방법이다(Gozalez and woods, 1992). 다른 분할 기법과는 달리 영역확장분할 기법은 균질한 영역을 찾기 위해 지정된 시작점(seed points)으로부터 공간적 및 스펙트럴 거리로부터 가깝다고 여겨지는 영역을 주변으로 확장하여 분할하는 기법이다. 본 연구에서는 Fig. 6(a)에서 X 표시를 한 4개의 시작점을 선택하여 영역분할을 통한 아스팔트 도로의 추출을 시도하였다. 가장 이상적인 도로의 경우에는 한 개의 시작점으로도 분할이 시도 될 수 있지만 본 영상에서 나타난 도로의 특성을 감안하여 4개를 선택하였다. Fig. 3에서 보듯이 본 대상 지역이 아스팔트 도로는 가운데 상부 교차로를 중심으로 좌측하단과 나머지 4개 방향의 도로의 스펙트럴 특성이 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 도로의 포장 상태 및 시점에 따라 발생된 것으로 판단된다. 또한 좌측 가운데 도로에는 지상에 흰색의 횡단보도가 나타나 있으며 기존의 도로의 스펙트럴 특성을 압도하여 한 개의 시작점으로 분할 경우 같은 도로가 하나의 영역으로 추출되지

않았기 때문에 총 4개의 시작점을 사용하였다. 다음 아래 Fig. 6(a)-(b)는 그림자 영향 제거 이전과 이후의 영상에 대하여 동일한 시작점으로 영역분할 한 결과를 보여주고 있다. 단 Fig. 6(b)의 결과는 그림자 영향 제거가 이루어진 영상을 대상으로 처리한 결과이며 시작점은 우측 중앙부분을 제외한 동일한 3개점을 사용하였다.

4) 아스팔트 도로 경계 추출

도로의 경계선을 추출하기 위하여 아스팔트 도로 영역이 추출된 영상에 대하여 경계선 검출 기법인 Canny edge 검출방법을 사용하였다(Canny, 1986). 다음 Fig. 7은 경계선 검출 결과를 보여주고 있는데 대체적으로 도로의 경계선들이 거의 끊기지 않고 잘 검출이 되어 양호한 결과를 보여주고 있다. 다만 아스팔트 도로 내부에 존재하는 차량과 그에 따른 그림자의 발생, 중앙화단, 도로 위의 흰색 차선 및 횡단보도 표시 등으로 인하여 불필요한 edge들이 상당히 발생되어 있다. 또한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 아스팔트 도로의 경계선의 일부는 완벽하게 이어진 상태가 아닌 일부 경계선 edge들이 검출되지 못한 부분도 보여주고 있다. 이 결과로도 디지털 영상에서 상당한 수준으로 경계선이 검출되었다고 볼 수 있지만 GIS 자료의 활용을 위한 벡터 자료로 사용될 경우 불필요한 도로 내부의 edge와 도로의 끊긴 부분을 연결 처리해야만 한다. 이러한 문제점은 Fig. 7의 결과 영상에



(a) segmentation before removal

(b) segmentation after removal

Fig. 6. The results of region growing method.

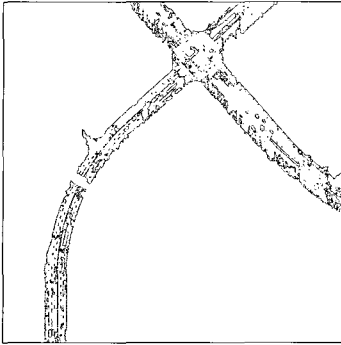


Fig. 7. The results of edge detection.

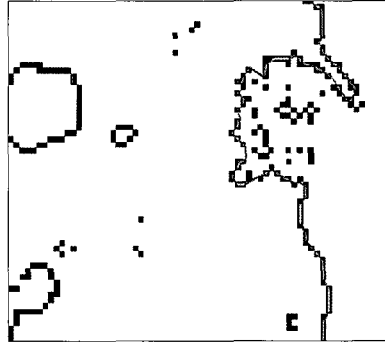


Fig. 8. Vectorization through tracking edge image.

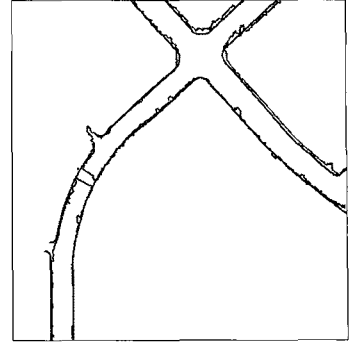


Fig. 9. Extracted asphalt road boundary compared with digital map.

서 도로의 경계선의 한 edge를 선택하여 방향성을 이용하여 끊겨진 도로의 경계선을 이을 수 있는 edge 추적 알고리즘을 이용하여 경계선을 벡터 선분으로 추출하였다. Fig. 9는 최종 벡터화된 아스팔트 도로를 보여주고 있으며 이 성과를 수치지도상의 도로와 중첩하여 비교하여 도시하였다. 대체적으로 도로의 경계선이 수치지도의 도로를 기준으로 5-25cm 이내의 수평오차를 보여주고 있다. 또한 도로의 가로수에 의한 그림자 영향이 발생된 일부 아스팔트 지역이 영역분할 기법을 통한 도로 영역의 추출에 포함되지 않은 부분이 존재하여 불규칙한 도로의 경계선도 보여주고 있다. 그리고 영상의 좌측 중앙 부분에는 원영상에서 흰색 횡단보도가 표시된 지역은 도로의 영역으로서 추출되지 않았다.

5. 결론

항공영상이나 원격탐사영상에서 도로를 추출할 수 있는 여러 가지 기법들은 현재까지 많이 제시 되어 있다. 하지만 대부분의 알고리즘들이 고층건물 및 기타 지형에 다양한 지물들에 둘러쌓여 있는 도심지역의 도로에 대한 추출에 한계점을 보여 왔다. 본 연구에서는 아스팔트 도로추출을 하는데 있어서 그림자가 발생한 도로의 영역을 직접적으로 그림자 영향 제거 알고리즘을 사용하여 보정하므로써 이러한 문제점을 극복하였다. 또한 실험 단계에서 edge 경계선 검출기법, edge 추적 기법에 의한 벡터화를 통하여 영상에서 도로의 경계선을 끊기지 않고 추출하였으며 이 성과를 수치지도의 도로 레이어 생성 및 갱신의 활용 가능성을 보여주었다.

향후 본 연구는 자동화 기법을 통하여 아스팔트 도로 뿐만 아니라 기타 도로 및 도시 전체 지역에 대한 적용 가능성을 넓혀야 할 것이며 또한 LIDAR 자료를 통한 매우 정밀한 DSM 제작 기법도 더불어 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 손홍규, 송영선, 김기홍, 윤공현, 2004. GIS와 SAR 영상을 연계한 근 실시간 홍수지역 분석, 한국방재학회논문집, 4(4): 35-42.
- 유복모, 2003. 현대디지털사진측량학, 피어슨에듀케이션코리아.
- Canny, J., 1986. A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6): 679-698.
- Cowen, D. J., J. R. Jensen, C. Hendrix, M. E. Hodgson, and S. R. Schill., 2000. A GIS-Assisted rail construction econometric model that incorporates LiDAR data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(11): 1323-1328.
- Gong, P. and J. Wang, 1997. Road network extraction from high resolution airborne digital camera data, *Geographic Information Sciences*, 3(1-2): 51-59.
- Gonzalez, R. C. and R. E. Woods, 1992. *Digital image processing*, Addison-Wesley, New York.

- Itten, K. I. and P. Meyer, 1993. Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous forested areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31(4): 764-770.
- Neuenschwander, W., P. Fua, G. Szekely, and O. Kubler, 1995. From zip lock snakes to Velcro surfaces, *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images* (A. Gruen, O. Kubler, and P. Agouris, editors), Birkhauser Verlag Basel, 105-114.
- Paul M. D., 2005. Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(2): 169-177.
- Stockham, T. G., Jr. 1972. Image processing in the context of a visual model. *Proceeding of the IEEE*, 60(7): 828-842.
- Trinder, J. and H.H. Li, 1995. Semi-Automatic Feature Extraction by Snakes, *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images* (A. Gruen, O. Kubler, and P. Agouris, editors), Birkhauser Verlag Basel, 95-104.
- Wolf, P. R. and B. A. Dewitt, 2000. *Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS*, Third Edition, McGraw Hill, Boston, Massachusetts.
- <http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/calcdetails.html>, National Oceanic Atmospheric Administration, NW, Washington, (last date accessed: 21 May 2004).