

차로분리선을 이용한 도시지역 도로의 반자동 추출

Semi-Automatic Urban Road Extraction using Lane Separation Line

양성철 · 한동엽 · 김민석 · 김용일

Sungchul Yang · Dongyeob Han · Minsuk Kim · Yongil Kim

서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실

scyang2@snu.ac.kr · hkyon@cricmail.net · ohyeh27@snu.ac.kr · yik@snu.ac.kr

요 약

급속한 도시화와 교통 수요의 증가로 인해 각종 도로 정보가 빠르게 변화하고 있어 이에 대한 정보들의 추출, 수정 또는 보완의 중요성이 커지고 있다. 도로 정보 및 도로 파손 상태 정보를 이용하면 도로를 효율적이고 경제적으로 유지 관리할 수 있고, 수치지도 및 GIS 분석의 입력자료로서 사용될 수 있다. 본 연구에서는 분당지역의 항공사진을 이용하여 반자동으로 도로를 추출하였다. 항공사진에 탑햇 필터(top-hat filter)를 적용하고 적절한 임계값을 설정하여 후보 개체를 선택하고 모양 유사성을 고려하여 차로분리선만을 선택함으로써 효율적으로 차로분리선을 추출하였다. 추출된 차로분리선을 연결하고 중심선을 구함으로써 도심지역의 도로를 추출할 수 있었다.

1. 서론

도시지역에서는 급속한 변화와 교통에 대한 수요의 증가로 인하여 도로의 신설과 도로 선형의 변경이 많아지는 등 도로정보가 빠르게 변화하고 있기 때문에 도로 관련 지도가 이미 제작되어 있더라도 수정 또는 보완의 필요성이 있다. 그러나, 지상측량을 통하여 도로 정보를 갱신하는 데에는 많은 경제적, 시간적 어려움이 있고 위성영상을 이

용하는 경우에는 중앙선, 횡단보도 등 다양한 도로정보를 추출할 수 없는 단점이 있다. 이에 비해 항공사진을 이용한다면 도로뿐만 아니라 여러 가지 도로정보도 추출이 가능해 효율적이고 정확한 지형공간정보 자료를 생성할 수 있다.

일반적으로 영상에서 도로를 추출하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 우선 영상에서 화소값 차이를 이용하여 추출하며, 두 번째 방법은 도로를 평행한 경계를 갖는

대상으로 인식하고 선형을 추출하는 것이고, 마지막 방법은 영상을 하나의 함수로 가정하고 그것의 기하학적 성질을 이용하여 선형을 추출하는 것이다. 항공사진에서 도로를 추출하기 위한 방법은 대상영상이 도시지역인지 농촌지역인지에 따라 달라지는데 농촌지역에서 도로를 추출하기 위해 도로의 선형과 배경과의 차이를 구별하기 위한 모델이 제안되었으며 Marr의 이론에 근거한 방법이 제안되기도 했다. 이 방법은 경계탐지와 연결을 위한 1차 영상처리과정과 도로 구조를 형성하기 위한 2차 영상처리과정, 도로를 인식하기 위한 3차 영상처리과정으로 구성된다. 도시지역에서는 도로의 의미론적 모델에 기반한 추출이 시행되었는데 여기서는 영상을 네 개의 context로 세분하여 추출을 시행하였다.

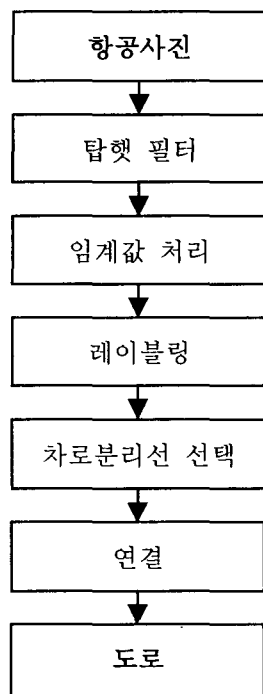


그림 1. 연구흐름도

본 연구에서는 항공사진에 탐헛 필터를 적용하여 차로분리선을 잘 구별되도록 하고 임계치 처리하여 이진영상으로 바꾼 다음 적절한 차로분리선만을 선택하였다. 선택된 차로분리선을 연결하여 도로를 추출하였으며 결과의 정확도에 절대적으로 영향을 미치는 차로분리선의 추출정확도와 추출된 도로의 위치 정확도를 계산하여 결과를 평가하였다.

2. 노면표지 추출

2.1 탐헛 필터

항공사진에서 차로분리선을 추출하는데 있어서 가장 중요한 것은 배경에서 차로분리선을 효과적으로 구분하는 것이다. 그러기 위해서 경계추출, 선추출, 임계치 적용 등 여러 가지 방법이 있으나 다양한 형태의 지형지물 때문에 차로분리선만을 구분해내는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 영상내의 물체의 기하학적인 구조를 다루는 비선형 영상처리인 수리형태학 연산을 사용하였다. 영상처리시에 사용되는 구조요소는 영상처리가 가능하도록 사전에 설정된 템플릿으로서 정사각형, 원형, 다이아몬드형 등 다양한 형태가 있다. 본 연구에서는 추출하고자 하는 대상인 차로분리선의 방향이 일정치 않으므로 원형의 구조요소를 사용하였다.

즉, 원형의 구조요소를 사용한 비선형 필터인 탐헛 필터를 적용하여 추출하고자 하는 차로분리선과 배경영상과의 차이를 보다 뚜렷하게 하였다. 탐헛 필터는 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 $f_{open}(x)$ 는 개방연산을 나타낸다. 따라서 탐헛 필터의 결과

인 y 는 추출하고자 하는 개체를 포함하게 되며 배경은 제거된다.

$$y = f(x) - f_{open}(x) \quad (1)$$

2.2 임계값 처리

항공사진에 탐헛 필터를 적용한 결과는 그레이레벨의 영상이므로 영상내에서 대상의 특성만을 분석하기에 용이하지 않지만 영상을 이진화하면 추출된 개체를 구분하기가 쉬워진다. 영상을 이진화하기 위해서 적절한 임계값을 설정하여 영상을 분할하는 방법이 주로 사용되는데 여기서 임계값을 결정하는 것이 이 기법의 핵심이라 할 수 있다. 본 연구에서는 Otsu가 제안한 영상분할을 화소 클래스로의 분류 문제로 간주하는 방법을 사용하였다. 이 방법에서 첫째 클래스는 임계값 이하의 화소값 집합이고, 둘째 클래스는 임계값보다 큰 화소값 집합으로 정의되며 이때, 각 클래스는 그들 간의 분리도를 최대로 하면서, 각 클래스의 면적은 최소로 하는 최적 임계값에 의해 분류된다. Otsu는 클래스에 대한 분리도 측정기법으로 클래스 사이의 분산을 이용했는데 이는 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (2)$$

여기서, $p_i = \frac{n_i}{N}$: 확률분포

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k p_i : 0\text{번째 누적모멘트}$$

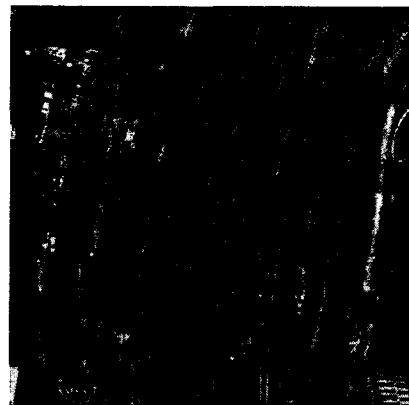
$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i \cdot p_i : 1\text{번째 누적모멘트}$$

$$\mu_T = \sum_{i=1}^L i \cdot p_i : \text{총평균 단계}$$

위 식을 사용하여 두 클래스 사이의 분산은 초기 임계값을 1에서 시작하여 p_{\max}^{-1} 까지 반복계산하게 된다. 이때 최대의 분산을 갖는 화소값이 최적 임계값이 된다. 이 방법이 갖는 가장 큰 장점은 영상에 존재하는 대상 물체 및 배경, 그리고 그와 관련하여 발생할 수 있는 노이즈에 대한 히스토그램의 모델링이 필요없다는 것이다.



(a) 대상영역



(b) 탐헛 필터를 적용한 영상



(c) 임계값 처리한 영상



(d) 추출된 개체들에 레이블링을 한 영상

그림 2. 영상처리한 결과

2.3 차로분리선 선택

임계값 처리를 한 영상에서 추출된 개체들에 레이블링을 한 후 차로분리선의 기하학적 조건을 사용하여 선택하면 건물과 기타 개체들을 제외한 차로 분리선만을 추출할 수 있다. 경찰청 「노면표지 설치 표준도」에 따르면 일반도로에서 차로분리선은 그림처럼 길이 3m, 폭 0.15m이며, 사용된 항공사진의 공간해상력이 약 0.1m이므로 차로분리선은 60개의 화소로 나타날 것이다.

본 연구에서는 레이블링된 영상내 각 개체중 면적이 35보다 크고 100보다 작으며 장축 길이가 28보다 크고 42보다 작은 개체만을 선택하였다. 항공사진의 특성 때문에 차로분리선의 화소수는 다음 표와 같이 나타나나 항공사진에 탐헛 필터를 적용하고 임계값 처리를 하는 과정에서 실제 화소수보다 영상내 차로분리선의 화소수가 많아지는 경향이 나타났으므로 계산값보다 높은 값을 사용하였다.

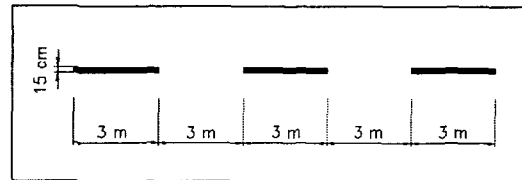


그림 3. 차로분리선 설계 기준

표 1. 사용된 면적, 장축길이

	이론적인 값		사용된 값	
	면적	장축길이	면적	장축길이
최소	28	28	35	28
최대	96	32	100	42

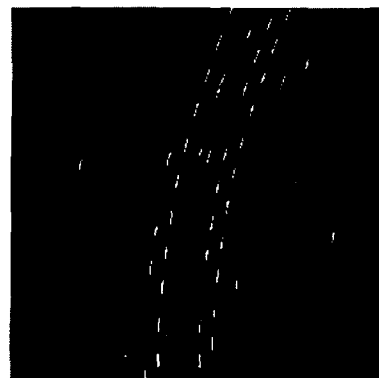


그림 4. 선택된 차로분리선

3. 도로 추출

3.1 연결

선택된 차로분리선들은 직사각형 형태로 이들의 도심을 연결하면 잘못 선택된 개체들을 제거할 수 있다. 우선 선택된 차로분리선들의 도심과 방향성을 계산해야 하는데, 이 중 방향성은 그림 5에서 보듯이 x축과 타원체가 이루는 각이다.



그림 5. 개체의 방향성

위의 방법으로 선택된 차로분리선들은 각각 방향각(θ)을 갖게 된다. 선택된 차로분리선들을 연결하기 위해 초기점에서 가장 가까운 차로분리선의 도심을 검색한다. 두 차로분리선을 연결하고 그 각을 (θ_L)이라고 한 뒤 초기 차로분리선의 방향각(θ_1)과의 차이를 구하고, 연결선과 다음 차로분리선의 방향각(θ_2)과의 차이를 구하여 두 값이 설정된 임계값보다 작으면 검색된 차로분리선과 초기 차로분리선을 연결한다. 이 과정을 반복하여 차로분리선만을 추출할 수 있었다.

$$|\theta_2 - \theta_L| \leq T \quad \text{and} \quad |\theta_1 - \theta_L| \leq T \quad (3)$$

일반적으로 도시지역에서 도로의 중심은 차로분리선들의 중심부에 존재하므로 본 연구에서는 추출된 차로분리선들의 중심선을 구하여 그림 7과 같이 도로를 추출하였다.

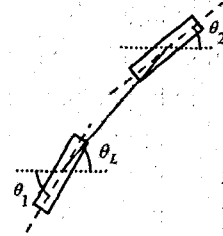


그림 6. 노면표지 간의 위상 관계

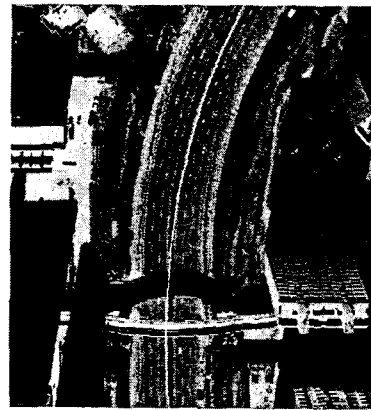


그림 7. 추출된 도로

3.2 정확도평가

본 연구의 도로추출은 차로분리선이 얼마나 정확하게 추출되는가에 달려있다. 차로분리선만을 효과적으로 추출할 수 있다면 도로를 추출하는 것은 수월할 것이다. 그러므로 정확도 평가는 추출된 차로분리선과 실제 차로분리선의 개수를 비교하는 정량적 평가 방법을 사용하였다. 대상영상내의 차로분리선은 42개였고, 추출된 차로분리선은 34개였으므로 차로분리선 추출의 정확도는 81%이다. 또한 추출된 도로와 실제 도로의 중심선과의 위치 오차는 평균 6.4화소였다.

4. 결론

본 연구에서는 항공사진에 탐헛 필터를 적용하여 차로분리선을 추출하고 기하학적 특징을 고려하여 선택한 후 연결하여 도로를 추출하였다. 일반적으로 영상의 화소값의 특성을 이용하여 추출하는 방법이나 경계탐지를 이용하여 추출하는 방법은 고해상도의 항공사진에 적용할 경우 복잡한 지형지물 때문에 도로의 추출이 어려운 단점이 있었다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법은 도시의 도로상에만 존재하는 특정개체를 찾아 이를 연결하는 방법을 사용함으로써 우수한 결과를 나타내었다. 특히, 추출된 도로뿐만 아니라 도로 상의 노면표지까지 우수하게 추출할 수 있다는 것을 이용하면 도로에 관한 종합적인 정보 데이터베이스를 구축할 수도 있을 것이다. 즉, 도로와 노면표지의 좌회전, 우회전, 유턴 등의 표지를 데이터베이스화함으로써 GIS에 필요한 입력자료로 사용이 가능하다. 또한 적절한 임계값의 적용으로 추출된 노면표지와 추출하지 못한 노면표지를 구분한다면 노면표지 보수 등 도로 유지관리에 필요한 자료로 사용될 수도 있을 것이다. 그러나 노면표지마다 기하학적 특성이 달라 모든 노면표지를 추출하는 것이 쉽지 않으며 건물, 가로수 등에 의한 폐색영역에서 노면표지의 추출이 어렵다는 단점이 있었다. 자동차나 건물에 의해 폐색된 영역에서 추출하지 못했던 노면 표지는 중앙선을 중심으로 노면 표지의 대칭성 및 일정 거리에 그려진 노면 표지의 주기성을 추론하여 추가될 수 있다고 본다.

본 알고리즘은 지형지물이 많아 추출하기 어려운 도시 도로에서 사용하기에 적절한 방법이며 성능에 절대적으로 영향을 미치는 노면표지의 추출을 효과적으로 수행한다면 결과의 향상에 크게 영향을 미칠 것이다.

참고 문헌

- A. K. Jain, *Fundamental of Digital Image Processing*, Prentice Hall, p.p 342~356, 1989
- C. Steger, "An Unbiased Detector of Curvilinear Structures," *IEEE Transaction on Pattern analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, p.p 113~125, 1998
- J. C. Trinder and Y. Wang, "Automatic Road Extraction from Aerial Images," *Digital Signal Processing*, vol. 8, Issue 4, p.p 215~224, 1998
- N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, p.p 62~66, 1979
- S. Hinz and Albert Baumgartner, "Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 58, Issues 1-2, p.p 83~98, 2003
- M. A. Branch, T. F. Coleman, and Y. Li, "A Subspace, Interior, and Conjugate Gradient Method for Large-Scale Bound-Constrained Minimization Problems," *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol. 21, no. 1, p.p. 1~23, 1999