

# 항공사진에 나타난 도로 노면표식을 위한 관계형 매칭 기법에 관한 연구

## A Study on the Relational Matching Method for Road Pavement Markings in Aerial Images

김진곤\* · 한동엽\*\* · 유기윤\*\*\* · 김용일\*\*\*\*

Kim, Jin Gon · Han, Dong yup · Yu, Ki Yun · Kim, Yong Il

\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정(jamgon27@snu.ac.kr)

\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정(hkyon@cricmail.net)

\*\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 조 교 수(kiyun@snu.ac.kr)

\*\*\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 부 교 수(yik@plaza.snu.ac.kr)

### 요 지

항공사진을 이용하여 도로의 3차원 위치정보를 취득하기 위해서는 도로지역에 대한 정확한 매칭 기법이 필요하다. 본 연구에서는 도로 노면표식의 형상정보와 공간관계를 이용하여 도로 노면표식을 추출하고, 추출된 노면표식의 공간관계를 비교하여 입체항공영상에서 매칭을 수행하는 즉, 관계형 매칭 기법을 제안하였다. 관계형 매칭은 개체에 대한 고수준의 묘사와 부정확한 매칭에 대한 해결책이 요구되어 진다. 또한 최종 결과물에 대한 충분한 검증이 필요로 한다. 본 연구에서는 도로 노면표식의 형상정보를 계산하여 개체를 묘사하였고, 부정확한 매칭에 대한 해결책을 제안하였으며, 도로지역이 평평하다는 성질을 이용하여 최종결과에 대한 검증을 수행하였다. 본 연구의 정확도는 시각적인 평가와 수치사진 측량시스템을 통해 얻은 참고자료와의 비교를 통해 수행하였다.

### ABSTRACT

To obtain the 3-D coordinates of the urban roads from aerial images, the accurate matching technique in road areas is required. In this paper, we suggest the relational matching method that is performed by comparison of relationships of road pavement markings after they are extracted from aerial images using geometric properties and spatial relationships of the pavement markings. Relational matching requires not only high level description of features but also the solution for inexact matching problems. In addition, it needs a lot of tests for the reliable final result. In this research, we described features as calculating geometric properties of the pavement markings, suggested the solution for inexact matching problems, and performed tests to decide whether the result is acceptable or not, which use the property that road areas are flat. In order to evaluate the accuracy of matching, we made a visual evaluation and compared the result of this technique with those measured by analytical photogrammetry.

핵심용어(Keywords) : 3차원 도로 위치정보, 관계형 매칭(relational matching), 항공사진

### 1. 서론

Telematics와 CNS(Car Navigation system)

등은 위치추적장치와 무선이동통신 기술을 기반으로 운전자에게 도로관련 정보를 제공함으로써 안전하고 편안한 주행을 돕는 서

비스를 말한다. 현재, 이러한 서비스에서 제공되는 도로정보는 2차원 정보에서 3차원 정보로 넘어가고 있다. 3차원 도로정보를 취득하기 위한 방법으로 모바일 매핑 시스템(Mobile mapping system)을 이용하는 방법과 수치지도와 라이다(LiDAR) 데이터를 이용하는 방법 등이 제안되고 있다. 본 연구에서는 빠르게 변하는 도심지의 도로환경을 반영하기 위해 항공사진에 나타난 도로 노면표식을 이용하여 3차원 도로정보를 자동으로 취득하는 방법은 제안하였다.

항공사진, 위성영상과 같은 영상을 이용한 기존의 도로위치정보 추출관련 연구들은 추출방법의 자동화여부, 대상지역 그리고 도로의 2, 3차원 정보여부에 따라 구분될 수 있다. Gruen(1997)는 동적프로그래밍과 LSB-Snakes기법을 이용하여 반자동으로 도로를 추출하는 방법을 제안하였고, Trinder(1998)는 도로에 대한 기하학적, 방사학적 정보를 이용하는 지식기반의 도로추출 방법을 제안하였으며, Hinz(1999; 2003)는 도심지역과 비도심지역의 배경정보(semantic model)를 구분하여 도로를 추출하는 방법과 여러 장의 항공사진을 이용하여 도로 추출의 성공률을 높이는 방법을 발표하였다. Zhang(2000)은 경계선 매칭 기법과 수치지도, DSM(Digital Surface Model), DTM(Digital Terrain Model) 등의 기존 지리정보를 이용하여 도로의 3차원 정보를 추출하는 방법을 제안하였다.

지금까지 수행된 많은 연구들은 비교적 지형이 단순한 비도심지역을 대상으로 진행되었으며, 도심지역의 경우도 복잡하지 않은 지역 위주로 연구가 수행되었다. 기존에 구축된 도로정보를 이용하는 경우, 기존 도로를 수정하는 측면에서는 성공률과 신뢰도가 높지만, 신규 도로의 추출에는 한계를 보이고 있다. 또한, 지금까지는 3차원 도로 정보 추출보다는 2차원 도로정보추출에 관한 연구가 많이 수행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 고층 건물, 가로수, 차량이 많이 존재하는 복잡한 대도시 중심부의 직선도로를 대상으로 도로 노면표식의 기하학적 특징을 이용하여 자동으로

도로정보를 추출하는 방법과 도로의 3차원 모델링을 위한 도로 노면표식의 관계형 매칭기법을 제안하였다. 3차원 도로위치정보 추출과정은 도로 노면표식 추출을 위한 영상의 전처리과정, 도로 노면표식을 추출하는 과정 그리고 입체영상에서 추출된 도로 표식을 매칭하는 과정으로 구성되어 있다 (Figure 1).

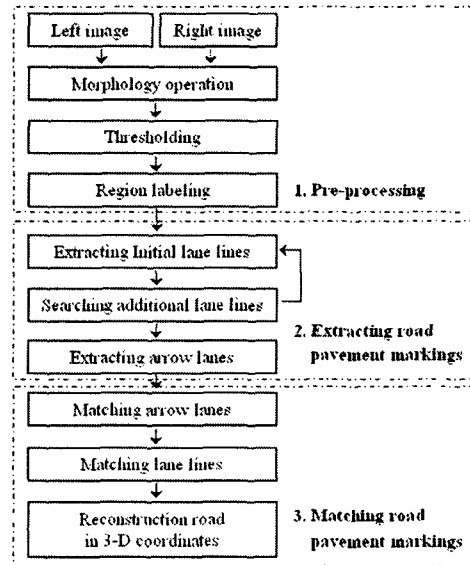


Figure 1. Flow chart of 3-D road information extraction

## 2. 도로 노면표식 추출

### 2.1 도로 노면표식의 특징과 영상 전처리

도로 노면표식은 도로교통법에 의해 형상과 배치가 규정되어 있고, 주행자가 쉽게 인식할 수 있도록 흰색 또는 노란색과 같은 밝은 색을 가지는 특징이 있다. 이러한 노면표식의 특징은 흑백영상에서 노면표식을 추출하기 위한 주요한 정보로 활용될 수 있다. 그러나 복잡한 도심지의 경우, 건물, 가로수, 자동차로 인해 도로에 그림자가 많이 나타난다. 그림자는 노면과 노면표식의 밝기값 차이를 줄여 표식의 추출을 어렵게 할 수 있으므로 이러한 효과를 제거하기 위해 top-hat 필터를 적용하였다(Gonzalez, 2002). 또한, 영상의 다양한 개체를 인식하기 위해 필터링된 영상을 이진영상으로 변환(Otsu,

1979)하고 영역 레이블링(region labeling)을 통해 각 개체를 구분하였다(Gonzalez, 2002).

## 2.2 도로 노면표식 추출

### 2.2.1 차로분리선 추출

도로 노면표식은 차로분리선, 중앙선, 차량유도선, 방향안내표식 등 여러 종류가 있다. 본 연구에서는, 도로에서 가장 많이 나타나는 차로분리선을 추출하고 추출된 결과를 이용하여 다른 종류의 노면표식을 순차적으로 추출하였다.

첫 단계로, 도로교통법에 규정된 차로분리선의 장축과 단축의 길이정보와 영상의 축척을 이용하여 이진영상에서 차로분리선의 후보개체를 추출하고, 이들을 인접성을 기준으로 그룹화한다. 직선도로 위에 있는 차선들은 동일한 방향성을 가지고 있다는 특징을 이용하여 그룹 내에 차선이 아닌 개체를 분리해 낸다. 다음 단계에서 각각의 그룹은 개체들의 공간 관계를 비교하여 차로분리선 그룹을 분리해 낸다.

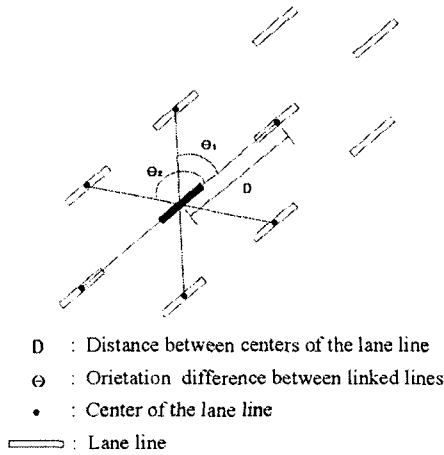


Figure 2. Spatial relationship of the lane line

영상전처리 과정에서 전역 임계값(global threshold)을 이용한 이진영상 생성으로 일부 차로분리선이 개체로 인식하지 못하는 경우가 발생한다. 인식되지 못한 차로분리선은 이미 추출된 차로분리선에서 위치를 추정한 후에, 추정된 위치를 포함하는 일정한 윈도우 내에서 자동으로 결정된 임계값

(Otsu, 1979)을 이용하여 추출할 수 있다 (Figure 3 참고). 이러한 과정을 반복적으로 수행하면 자동차 또는 도로 주변 구조물에 의해 가려진 차선을 제외한 대부분의 차선을 추출할 수 있다.

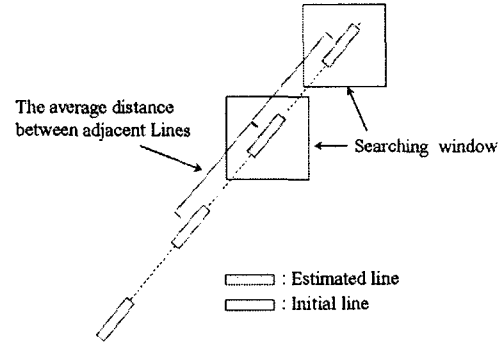


Figure 3. Estimation of lane lines by local thresholding

### 2.2.2 방향표식 추출

차로분리선은 규칙적인 분포패턴을 가지고 있기 때문에 잘못된 매칭을 수행할 수 있다. 그러므로 불규칙 분포패턴을 가지는 방향표식을 추출하여 매칭의 문제점을 해결하였다. 방향표식은 표식의 장·단축 길이와 공간 관계만으로는 추출이 어렵기 때문에 템플릿 매칭 기법을 적용하여 추출하였다. 템플릿 매칭 기법을 영상의 전체 영역에 대해 적용하면 높은 연산비용이 소요된다. 따라서 차로분리선 추출의 결과를 이용하여 도로의 탐색영역을 설정하고 탐색영역 내에 방향표식 후보개체를 추출한 후에 추출된 후보개체에 템플릿 매칭을 수행하여 연산비용을 최소화하였다. 실험에서 사용된 방향표식 템플릿은 Figure 4와 같다.

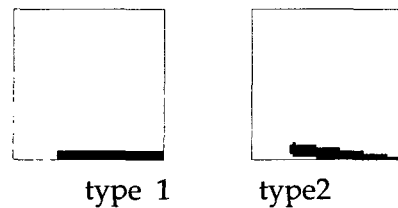


Figure 4. Two types of arrow lane marking template

#### 4. 도로 노면표식 매칭 알고리즘

도로의 3차원 위치정보를 획득하기 위해서는 도로 노면표식간의 정확한 매칭이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 도로 노면표식 매칭에 적합한 관계형 매칭 알고리즘을 제안함으로써 도로의 3차원 위치 정보를 획득하였다. 관계형 매칭 알고리즘을 수행하기 위해서는 고수준의 데이터 묘사와 부정확한 매칭의 문제점을 해결할 수 있어야 하며, 최종 결과에 대한 충분한 검증이 이루어져야 한다. 도로 노면표식의 경우, 영상처리를 통해 차선의 형상 정보를 취득할 수 있고, 급격한 높이 변화가 없는 평탄한 지형에 위치하기 때문에 촬영위치의 이동으로 인한 모양과 거리의 변형이 거의 발생하지 않는 장점을 가진다. 이러한 도로의 특성은 추정된 3차원 도로 위치에서 매칭 결과를 검증할 수 있는 정보로 사용될 수 있다.

##### 4.1 방향표식 매칭

불규칙적인 공간 관계를 보이는 방향표식을 먼저 매칭하고, 그 결과를 이용하여 차로분리선의 매칭을 수행하게 된다. 방향표식의 매칭과정은 다음과 같다.

- ① 각각의 영상에서 유사한 방향성을 가지는 객체의 그룹을 선택한다.
- ② 선택된 그룹의 개체를 x 또는 y축을 기준으로 정렬한다.
- ③ 각 그룹에서 임의의 한 개체를 선택한다. 이때, 선택된 개체는 실세계에서 동일한 개체라 가정한다.
- ④ Figure 6에서처럼 거리와 방향을 비교하여 동일한 개체를 찾아간다.
- ⑤ 나머지 개체에 대하여 ③, ④의 과정을 반복한다.
- ⑥ 유사한 방향성을 가지는 다른 그룹과 비교과정을 수행한다.
- ⑦ 방향표식간의 매칭쌍 수를 비교하여 가장 많은 수를 보이는 경우로 최종 매칭결과를 나타낸다.

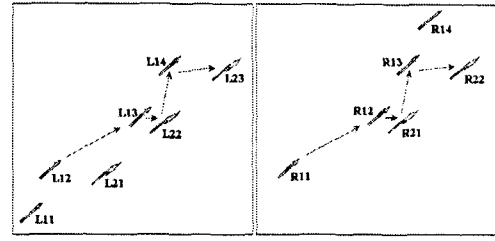


Figure 6. Matching algorithm of arrow lane markings

##### 4.2 차로분리선 매칭

방향표식의 매칭 결과를 이용하여 차로분리선의 매칭을 수행한다. 차로분리선의 매칭과정은 다음과 같다.

- ① 한 영상에서 각각의 매칭된 방향표식을 중심으로 인접한 차로분리선과의 그룹화를 수행한다.  
(Figure 7의 좌측영상 참조).
- ② 각각의 그룹은 다른 영상에서 동일한 방향표식을 찾은 후에, 인접 차로분리선과의 거리와 방향을 비교하여 매칭을 수행한다.
- ③ 방향표식이 없는 도로의 경우는 ②에서 매칭이 수행된 결과와 가장 인접한 차로분리선을 찾아 방향표식 매칭 알고리즘 방식으로 매칭을 수행한다.

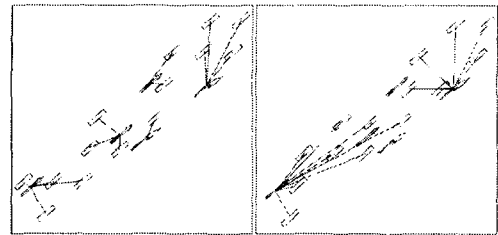


Figure 7. Matching algorithm of lane line markings

입체항공사진은 촬영위치의 차이로 인해 지형이 조금씩 왜곡되어 있기 때문에 인접한 개체들 간에 거리와 방향이 비교되는 것이 가장 중요하다.

##### 4.3 3차원 도로 위치 정보 획득

공선조건식과 영상의 외부표정요소(Exterior Orientation Parameter)를 이용하여 매칭된 노면표식 중심점의 3차원 위치를 구한다.

도로의 표면은 평평하고 연속적이기 때문에 높이값에서 큰 편차를 보이는 오차들을 추가적으로 제거할 수 있다.

### 5. 실험결과

실험대상 지역은 서울시 중구 서울역과 남대문을 연결하는 도로 주변지역으로서, 사용된 대축척 항공사진에는 다양한 도로 노면표식이 존재하며, 건물과 가로수, 자동차에 의해 그림자와 폐색이 많이 존재한다 (Figure 8 참조).



Figure 8. Aerial images(left, right) - Joonggu, Seoul in Korea

전처리 과정에서 사용되는 top-hat 필터의 구성요소(Structuring Elements) 모양은 차로분리선의 방향이 일정하지 않기 때문에 원형을 사용하였고, 크기는 대상체보다 큰 (Eckstein, 1999) 20(pixel)로 결정하였다.

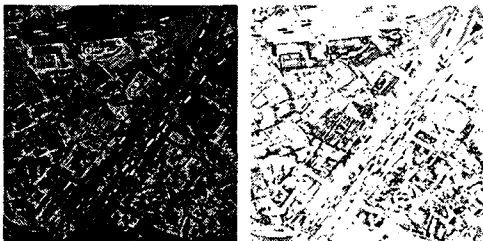


Figure 9. Top-hat filtered image(left) and binary image(right) - right aerial image

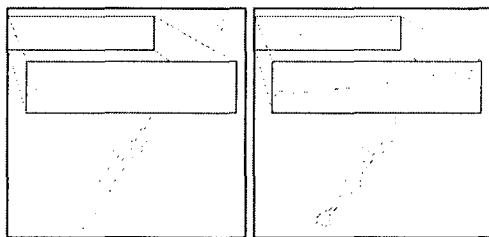


Figure 10. Initially extracted lane lines(left) and finally extracted lane lines(right)

Figure 9의 좌측 영상은 top-hat 필터를 적용한 결과 영상으로 그림자로 가려진 지역의 도로 노면표식과 노면과의 색의 차이가 커진 것을 확인할 수 있다. 전역 임계값을 적용한 Figure 10의 왼쪽 영상은 일부지역에서 노면표식이 추출되지 않음을 보여주고 있다. 추가적인 차로분리선 추출과정을 통해 Figure 10의 오른쪽과 같은 결과를 얻을 수 있다.

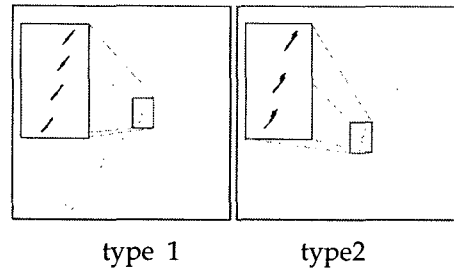


Figure 11. Result of extracting arrow lane markings - right aerial image

Figure 11과 Figure 12는 노면표식의 최종 추출 결과이고, Figure 11는 추출된 방향표식을 확대하여 좌측상단에 나타내었다.

ID <sub>R</sub> \ ID <sub>L</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	5	3	5	10	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	5	3	3	3	10	3	3	3	3	3
4	3	3	3	4	3	3	5	10	3	3	3	3
5	3	3	3	3	5	3	3	5	10	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3	3	3	5	10	3	3
7	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	10
8	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	5
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Table 1. Counting result to decide final matching pairs

Table 1은 방향표식간의 매칭쌍 수를 계산한 것으로 가장 많은 매칭쌍을 보이는 방향표식이 실제세계의 동일한 개체임을 알 수 있다. Table 2는 두 종류의 방향표식의 최종 매칭 결과이다. 이 결과를 이용하여 차로분리선의 매칭을 수행하게 된다.

ID_left	ID_right	type
2	4	1
3	7	1
4	8	1
5	9	1
6	10	1
7	12	1
1	2	2
2	3	2
3	5	2
4	6	2

Table 2. Matching result of arrow lane markings

	Number of markings
Matched arrow lane markings (type1 + type2)	6+4
Errors of matched arrow lane markings	0
Matched lane line markings	119
Errors of matched lane line markings	1
Accuracy of matching road markings	$(119+10-1)/(199+10) = 99.22\%$

Table 3. Accuracy of matching algorithm

Table 3은 추출된 노면표식의 매칭 정확도를 나타낸 것이다. 매칭과정에서 발생한 한 개의 오차는 도로 중앙선의 일부가 차로분리선으로 추출되면서 생긴 것으로 향후 도로 중앙선의 추출과정을 통해 제거가 가능할 것으로 판단된다.

취득된 도로의 3차원 위치좌표와 수치사진측량시스템을 통해 참조용으로 취득한 도로 위치정보의 RMSE는 0.19m의 값을 보였다. Figure 13은 도로의 높이 변화를 나타낸 것으로 오른쪽 끝부분에 4개의 도로 중심이 큰 편차를 보이는 것을 확인할 수 있다.

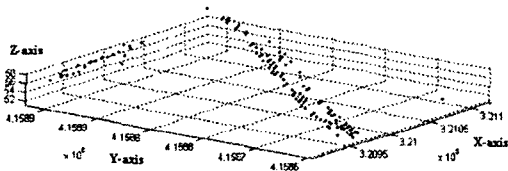


Figure 12. 3-dimensional coordinates of the road

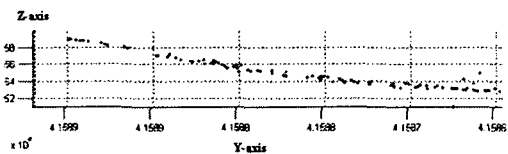


Figure 13. Change of the altitude of the road

이는 도로 끝부분의 차로분리선이 긴 직선으로된 부분과 도로 중앙선 부분에서 발생한 것이다. 이러한 오차는 도로의 높이값의 변화를 계산하여 추가로 제거할 수 있다. Figure 14는 본 실험에서 얻은 도로 차로분리선 중심의 3차원 위치를 LiDAR 데이터와 중첩한 것으로 양호한 추출 결과를 확인할 수 있다.



Figure 14. Overlay of the final result and LiDAR data

## 6. 결론 및 향후 연구 방안

본 연구에서는 도로의 3차원 위치정보를 취득을 위해 항공사진에 나타난 도로 노면표식을 이용한 관계형 매칭방법을 제안하였다. 도로가 평평한 곳에 위치한다는 특성은 항공사진에서 노면표식의 쉽고, 정확한 매칭을 가능하게 해 주었다. 본 연구에서는 복잡한 도심지의 직선도로에서 도로 노면표식을 추출하고 매칭기법을 적용하였다. 향후, 곡선도로의 도로 노면표식을 추출하여 본 연구의 매칭기법을 적용할 계획이며, 현재 도로의 위치정보 뿐만 아니라 차선, 중앙선, 도로경계선 정보 및 방향안내정보 등을 추가적으로 취득하기 위한 연구가 진행 중에 있다.

## 참고문헌

A. Gruen, Li. H (1997) Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 63. No. 8, pp. 985-995

- Chunsun Zhang, Emmanuel Batsavias, Armin Gruen (2001), Knowledge-Based Image Analysis for 3D Road Reconstruction, *Asian Journal of Geoinformatics*, Vol. 1, No. 4, pp.3-14
- John C. Trinder, Yangdong Wang (1998), Automatic Road Extraction from Aerial Images, *Digital Signal Processing* 8. pp. 215-224
- N. Otsu (1979), A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, No. 1, pp.62-66
- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods (2002), *Digital Image processing Second Edition*, Prentice Hall Inc., New Jersey, pp. 66-67, 557-558.
- Stefan Hinz, Albert Baumgartner (2003), Automatic Extraction of Urban Road Networks from Multi-View Aerial imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 58, Issues 1-2, pp. 83-98
- Stefan Hinz, Albert Baumgartner, Carsten Steger, Helmut Mayer, W.Eckstein, H.Ebner, and B.Radig (1999), Road Extraction in Rural and Urban Areas, *SMATI '99*, München, pp. 7-27
- W. Eckstein and O. Munkelt (1999), Extracting objects from digital terrain models, *Proc. SPIE* 2572, SPIE, pp.43-51