

연구논문

## 도로 노면표지를 이용한 3차원 도로정보 자동추출

# Automatic Extraction of 3-Dimensional Road Information Using Road Pavement Markings

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

Kim, Jin-Gon · Han, Dong-Yeub · Yu, Ki-Yun · Kim, Yong-II

### 要 旨

본 연구에서는 도로 노면표지를 이용하여 도심지에서 3차원 도로정보를 자동으로 취득하기 위한 기술을 제안하였다. 제안된 방법은 다음의 주요 3단계로 구성되어 있다. 첫 단계는 두 장의 항공사진에 나타난 도로 노면표지를 추출하는 것이고, 두 번째는 추출된 노면표지 중 동일한 표지를 매칭하는 것이다. 마지막 단계는 항공사진의 외부표정요소를 이용하여 노면표지의 3차원 위치좌표를 얻는 것이다. 마지막 단계는 공선조건식을 사용하여 수행될 수 있기 때문에, 본 연구에서는 처음 두 단계에 연구의 초점을 맞추었다. 차로 경계선을 추출하기 위해 노면표지의 형상 정보와 공간 관계를 이용하였고, 템플릿 매칭을 추가적으로 사용하여 방향표시를 추출하였다. 그리고 도로의 3차원 위치정보를 취득하기 위해 도로 노면표지에 적합한 관계형 매칭(relational matching)기법을 사용하였다. 추출정확도는 시각적인 평가를 통해 수행하였고, 위치정확도는 수치사진 측량시스템을 통해 얻은 참조자료와 비교를 통해 수행하였다.

**핵심어** : 3차원 도로정보, 자동추출, 관계형 매칭, 항공사진

### Abstract

In this paper, we suggest an automatic technique to obtain 3-D road information in complex urban areas using road pavement markings. This method is composed of following three main steps. The first step is extracting the pavement markings from aerial images, the second one is matching the same pavement markings in two aerial images, and the last one is obtaining the 3-D coordinates of those using EOP(exterior orientation parameters) of aerial images. Here, we focus on the first and second step because the last step can be performed by using the well known collinearity condition equation. We used geometric properties and spatial relationships of the pavement markings to extract the lane line markings on the images and extracted arrow lane markings additionally using template matching. And then, we obtained 3-D coordinates of the road using relational matching for the pavement markings. In order to evaluate the accuracy of extraction, we did a visual inspection and compared the result of this technique with those measured by digital photogrammetric system.

**Keywords** : 3-dimensional road information, automatic extraction, relational matching, aerial image

## 1. 서 론

차량항법시스템(Car Navigation System)은 수치도로 지도, GPS(Global Positioning System), 항법소프트웨어가 내장된 차량용 단말기를 통해 운전자의 현재 위치를 전자지도상에 나타내며, 목적지까지의 최단경로, 최적경로 등을 안내함으로써 운전자가 쉽고 편안하게 주행할 수 있도록 지원하는 서비스를 말한다. CNS의 핵심

요소중 하나인 수치도로지도(Digital Road Map)는 대부분 2차원의 형태로 제공되고 있으며, 제한된 하드웨어환경으로 인해 정확한 위치정보를 제공해 주지 못하고 있다.

현재, 도로 정보를 제공하는 CNS, 텔레메틱스 등에서의 도로 위치정보 취득은 기존에 수동으로 구축된 수치지형도를 이용하여 1차적으로 생성한 후, 주로 사용자들의 수정요청을 기반으로 GPS 등의 장비를 이용한 현장 측량을 통해 지속적으로 갱신되고 있으며, 차량 주행안

2004년 11월 18일 접수, 2004년 12월 3일 채택

\* 주저자, 서울대학교 지구환경시스템 공학부 석사과정 (jamgon27@sun.ac.kr)

\*\* 서울대학교 지구환경시스템 공학부 박사수료 (hkyon@criemail.net)

\*\*\* 서울대학교 지구환경시스템 공학부 조교수 (kiyun@snu.ac.kr)

\*\*\*\* 서울대학교 지구환경시스템 공학부 부교수 (yik@plaza.snu.ac.kr)

내를 위한 방향 정보는 현장답사를 통해 수동으로 구축되고 있다. 이러한 정보 취득방법은 빠르게 변화하는 도시환경을 제대로 반영하지 못할 뿐 아니라, 모든 도로의 정보를 신속하고 정확하게 제공하기 어렵다는 한계를 가지고 있다. 특히, 미래의 3차원 CNS나 무인자동운전시스템 등을 실현하기 위해서는 하드웨어의 발달과 더불어 자동으로 정확한 도로정보를 추출하기 위한 방법이 개발되어야 한다.

도로의 정보를 추출하기 위한 기존의 연구들은 영상의 종류, 자동화 여부, 대상지역에 따라 구분될 수 있다. 영상의 종류로는 고해상도 위성영상(공간 해상도 약 1~10m)과 항공사진(공간 해상도 약 0.5~1m 이내)이 주로 사용되었으며, 자동화 여부에 따라 자동, 반자동 추출기법이 연구되었고, 대상지역의 복잡성에 따라 도심지역과 비도심지역에 대한 개별적인 연구가 진행되어 왔다.

반자동 기법으로는 Gruen(1997)이 동적프로그래밍과 LSB-Snakes기법을 이용하여 도로를 추출하는 방법을 제안하였고, 박성란(2001)은 사용자에 의해 주어진 도로의 초기위치와 템플릿 매칭 기법을 이용하여 도로를 추적하였다. 안기원(2001)은 도로 후보영역에 선형추적알고리즘을 적용하여 도로의 경계선 성분을 추출하는 방법을 제안하였다. 자동화 기법으로는 Trinder(1998)가 도로에 대한 기하학적, 방사학적 정보를 이용하는 지식기반의 도로추출 방법을 제안하였으며, Laptev(2000)은 저해상도 영상과 고해상도 영상에서 추출된 도로 성분을 융합(fusion)하였다. Zhang(2000)은 수치지도, DSM(Digital Surface Model), DTM(Digital Terrain Model) 등의 기존 지리정보를 이용하여 도로추출의 신뢰도와 성공률을 향상시켰다. Hinz(1999, 2003)는 도심지역과 비도심지역의 배경정보(semantic model)를 구분하여 도로를 추출하는 방법과 여러 장의 항공사진을 이용하여 도로 추출의 성공률을 높이는 방법을 발표하였다.

지금까지 수행된 많은 연구들은 비교적 지형이 단순한 비도심지역을 대상으로 진행되었으며, 도심지역의 경우도 복잡하지 않은 지역 위주로 연구가 수행되었으며, 3차원 도로정보 보다는 2차원 도로정보 추출이 주된 연구 주제가 되어 왔다. 도로 추출의 성공률과 신뢰도를 높이기 위해 기존에 구축된 도로정보를 이용하는 방법 등이 제안되었으나 신도시지역이나 도로가 신설되는 지역에서는 적용이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 고층 건물, 가로수, 차량이 많이 존재하는 복잡한 대도시 중심부의 직선도로를 대상으로 도로 노면표지의 기하학적 특징을 이용하여 자동으로 도로정보를 추출하는 방법을 제안하였으며, 도로의 3차원 모델링을 위해 도로 노면표지에 관계형 매칭기법을

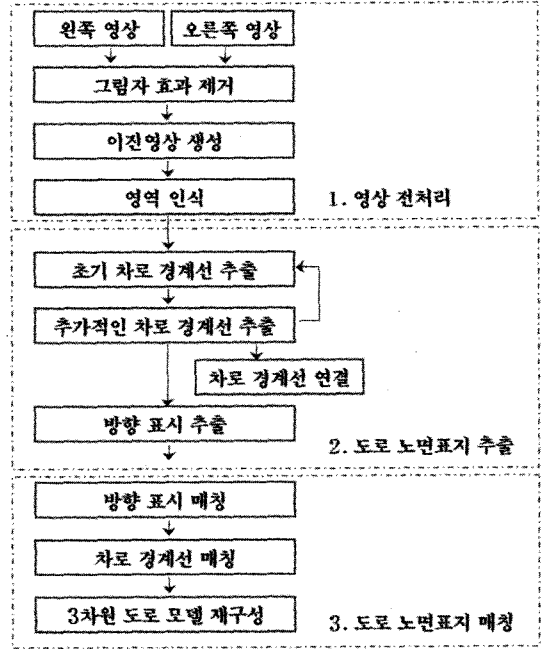


그림 1. 연구 흐름도

적용하였다. 3차원 도로정보 추출과정은 도로 노면표지 추출을 위한 영상의 전처리과정, 도로 노면표지를 추출하는 과정 그리고 입체영상에서 추출된 노면표지를 매칭하는 과정으로 구성되어 있다(그림 1).

## 2. 도로 노면표지 추출

### 2.1 도로 노면표지의 특징과 영상 전처리

교통상의 안전과 원활한 소통을 도모하기 위한 도로 노면표지는 도로교통법<sup>1)</sup>에 의해 형상과 배치 등의 규격이 정해져 있고, 아스팔트 노면에서 도로 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 백색 또는 황색과 같은 밝은 색의 도로를 사용하도록 규정되어 있다. 이러한 노면표지의 특징은 영상에서 노면표지를 쉽게 구분해줄 수 있기 때문에 노면표지를 통한 도로 정보추출에 주요한 정보로 활용될 수 있다. 그러나 복잡한 도심지의 경우, 건물, 가로수, 자동차로 인해 도로에 그림자가 많이 나타난다. 도로 노면에 그림자가 생기면 노면과 노면표지의 밝기값 차이를 줄여 노면표지의 추출을 어렵게 할 수 있으므로 이러한 효과를 제거하기 위해 모폴로지 연산자(morphology operator)중 하나인 top-hat 필터를 적용하였다(Gonzalez,

1) 도로교통법시행규칙 제3조 안전표지

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).

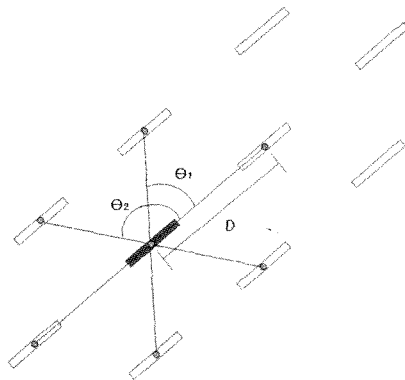
2.2 도로 노면표지 추출

2.2.1 차로 경계선 추출

도로 노면표지는 차로 경계선, 중앙선, 유도표시, 방향표시 등 여러 종류가 있다. 본 연구에서는, 도로에서 가장 많이 나타나는 차로 경계선을 추출하고 추출된 결과를 이용하여 다른 종류의 노면표지를 순차적으로 추출하였다.

첫 단계로, 도로교통법에 규정된 차로 경계선의 장축과 단축의 길이정보와 영상의 축척을 이용하여 이진영상에서 차로 경계선의 후보개체를 추출하고, 이들을 인접성을 기준으로 그룹화하였다. 직선도로 위에 있는 차로 경계선들은 동일한 방향성을 가지고 있다는 특징을 이용하여 그룹 내에 차로 경계선이 아닌 개체를 제거하였다. 다음 단계에서 각각의 그룹은 개체들의 공간 관계를 비교하여 차로 경계선 그룹을 구분하였다.

영상전처리 과정에서 전역 임계값(global threshold)을 이용한 이진영상 생성으로 일부 차로 경계선이 개체로 인식되지 못하는 경우가 발생한다. 인식되지 못한 차로 경계선은 이미 추출된 차로 경계선에서 위치를 추정한 후에, 추정된 위치를 포함하는 일정한 윈도우 내에서 자동으로 결정된 임계값(Otsu, 1979)을 이용하여 추출할



- : 차로 경계선
- : 차로 경계선의 중심
- D : 중심사이의 거리
- $\theta$  : 중심을 연결한 선들의 방향차

그림 2. 차로 경계선의 공간 관계

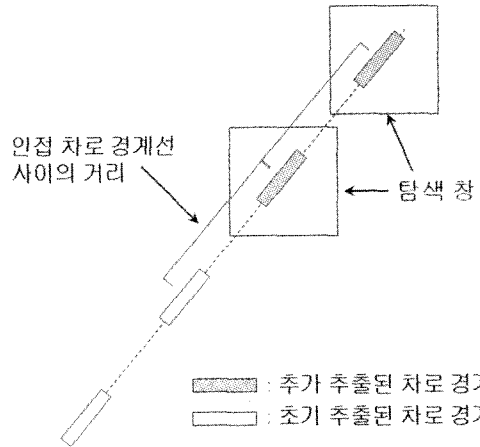


그림 3. 국부 임계값에 의한 차로 경계선 추가 추출

수 있다(그림 3). 이러한 과정을 반복적으로 수행하면 자동차 또는 도로 주변 구조물에 의해 가려진 차로 경계선을 제외한 대부분의 차로 경계선을 추출할 수 있다.

2.2.2 방향표시 추출

도로 주행 중 운전자에게 진행방향정보를 알려주는 방향표시는 차로 경계선처럼 단순한 형상을 가지고 있지 않고, 공간 관계도 불규칙적이기 때문에 표시의 장·단축 길이와 공간 관계만으로는 추출이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 방향표시 추출을 위한 방법으로 템플릿 매칭 기법을 적용하였다. 템플릿 매칭 기법을 영상의 전체 영역에 대해 적용하면 높은 연산비용이 소요되므로 차로 경계선 추출 결과를 이용하여 도로 영역을 설정하고 도로 영역 내에 존재하는 방향표시 후보개체를 선정하였다. 또한, 후보개체에 대한 템플릿 매칭 수행시 개체의 방향과 축척을 이용하여 변수를 제한하여 연산비용을 최소화하였다. 이와 같은 과정을 통하여 방향표시의 종류와 주행방향의 정보를 획득하였다. 실험에서 사용된 방향표시 템플릿은 그림 4와 같다.

3. 차로 경계선 연결

차로 정보를 얻고, 도로의 중앙선과 길가장자리 구역선을 추정하기 위해서는 차로 경계선의 연결(linking)과

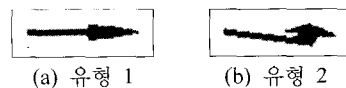


그림 4. 두 종류의 방향표시 템플릿

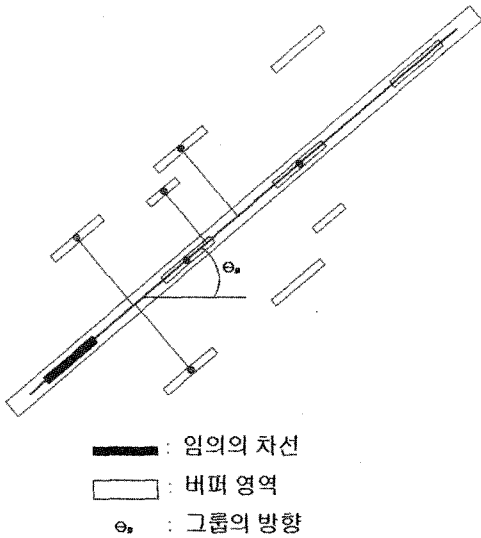


그림 5. 동일 차로의 차로 경계선 그룹화

정이 필요하다. 동일 차로를 구분하는 차로 경계선들은 그룹의 방향을 이용하여 생성된 직선 방정식과 차로 경계선 중심간의 거리가 일정한 범위 내에 존재한다는 것을 이용하여 연결과정을 수행하였다. 연결된 차로 경계선은 최소제곱조정을 통해 직선방정식으로 표현된다.

#### 4. 도로 노면표지 매칭 알고리즘

도로의 3차원 위치정보를 획득하기 위해서는 도로 노면표지간의 정확한 매칭이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 관계형 매칭을 적용하여 도로 노면표지의 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(Vosselman, 1992). 도로 노면표지는 영상처리를 통해 노면표지의 형상 정보 및 관계 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 방향표시 매칭

차로 경계선은 규칙적인 공간 관계를 가지고 있기 때문에 잘못된 매칭이 수행되기 쉽다. 따라서 불규칙적인 공간 관계를 보이는 방향표시를 먼저 매칭하고, 그 결과를 이용하여 차로 경계선의 매칭을 수행하게 된다. 방향

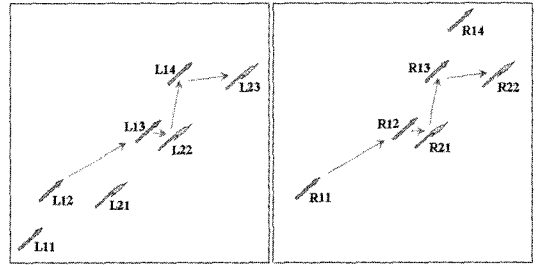


그림 6. 방향 표시의 매칭 알고리즘

표시의 매칭과정은 다음과 같다.

- ① 각각의 영상에서 유사한 방향성을 가지는 객체의 그룹을 선택
- ② 선택된 그룹의 개체를 x 또는 y축을 기준으로 정렬
- ③ 각 그룹에서 임의의 한 개체를 선택. 이때, 선택된 개체는 실제세계에서 동일한 개체라 가정
- ④ 그림 6에서처럼 거리와 방향을 비교하여 동일한 개체 탐색, 이때, 거리와 방향 유사성은 식 (1), (2)를 통해 평가

$$K = \frac{\min(D_L, D_R)}{\max(D_L, D_R)} \quad (0 \leq K \leq 1) > K_{threshold} \quad (1)$$

$$\Delta\theta = |\theta_L - \theta_R| \quad (0 \leq \theta \leq 180) < \Delta\theta_{threshold} \quad (2)$$

여기서, D : 두 개체의 중심간의 거리

θ : 개체의 중심을 연결한 직선과 수평선이 이루는 각

- ⑤ 나머지 개체에 대하여 ③, ④의 과정을 반복
- ⑥ 유사한 방향성을 가지는 다른 그룹들과 ② ~ ⑤의 과정을 수행
- ⑦ 방향표시간의 매칭쌍 수를 비교하여 가장 많은 수를 보이는 경우로 최종 매칭결과를 표현

##### 4.2 차로 경계선 매칭

불규칙한 공간 관계를 가지는 방향표시의 매칭이 수행되면, 그 결과를 이용하여 차로 경계선의 매칭을 수행한다. 차로 경계선의 매칭과정은 다음과 같다.

- ① 한 영상에서 각각의 매칭된 방향표시를 중심으로 인접한 차로 경계선과의 그룹화를 수행(그림 7(a))
- ② 각각의 그룹은 다른 영상에서 동일한 방향표시를 찾은 후에, 인접 차로 경계선과의 거리와 방향을 비교하여 매칭을 수행
- ③ 방향표시가 없는 도로는 ②에서 매칭이 수행된 결과와 가장 인접한 차로 경계선을 찾아 매칭을 수행하고 매칭된 차로 경계선을 기준으로 방향표시 매

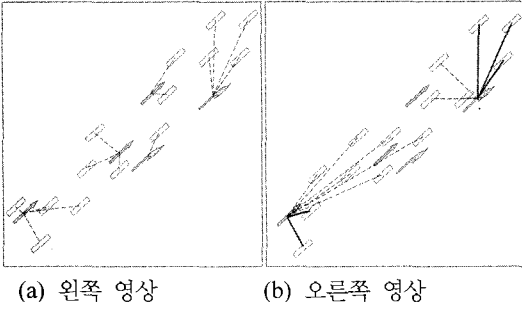


그림 7. 차로 경계선의 매칭 알고리즘

칭 알고리즘 방식으로 매칭을 수행

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 노면표지 중심점의 3차원 위치를 구할 수 있다. 식 (1)과 식 (2)의 공선조건식의 해는 최소제곱조정에 의해 구해진다.

$$x_p = -f \frac{m_{11}(X_p - X_0) + m_{12}(Y_p - Y_0) + m_{13}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \quad (3)$$

$$y_p = -f \frac{m_{21}(X_p - X_0) + m_{22}(Y_p - Y_0) + m_{23}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \quad (4)$$

- $m_{11} = \cos \phi \cos \chi$
- $m_{12} = \sin \omega \sin \phi \cos \chi + \cos \omega \sin \chi$
- $m_{13} = -\cos \omega \sin \phi \cos \chi + \sin \omega \sin \chi$
- $m_{21} = -\cos \phi \sin \chi$
- $m_{22} = -\sin \omega \sin \phi \sin \chi + \cos \omega \cos \chi$
- $m_{23} = \cos \omega \sin \phi \sin \chi + \sin \omega \cos \chi$
- $m_{31} = \sin \phi$
- $m_{32} = -\sin \omega \cos \phi$
- $m_{33} = \cos \omega \cos \phi$

$f$ : 카메라 초점거리  
 $\omega, \phi, \chi, X_0, Y_0, Z_0$ : 카메라의 외부표정요소  
 $x_p, y_p$ :  $p$ 점의 사진좌표  
 $X_p, Y_p, Z_p$ :  $P$ 점의 지상좌표

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

5. 실험결과

실험대상 지역은 서울시 중구 서울역과 남대문을 연결하는 도로 주변지역으로써, 사용된 대축척 항공사진에는 다양한 도로 노면표지가 존재하며, 건물과 가로수, 자동차에 의한 그림자와 폐색이 많이 존재한다(그림 8).

전처리 과정에서 사용되는 top-hat 필터를 생성하기 위해서는 구성요소(Structuring Elements)의 크기와 모양을 결정해야 하는데, 이 때 구성요소의 크기는 추출할 대상체보다 커야 한다(Eckstein, 1999). 본 연구에서는 차로 경계선의 방향이 일정하지 않기 때문에 원형의 구성요소를 사용하였으며, 원형의 반지름은 도로교통법의 규정된 차로 경계선 크기를 근거하여 35화소로 결정하였다.

그림 9(a)는 top-hat 필터를 적용한 결과 영상으로 그림자로 가려진 지역의 도로 노면표지와 노면과의 색의 차이가 증가한 것을 확인할 수 있다. 전역 임계값을 적용

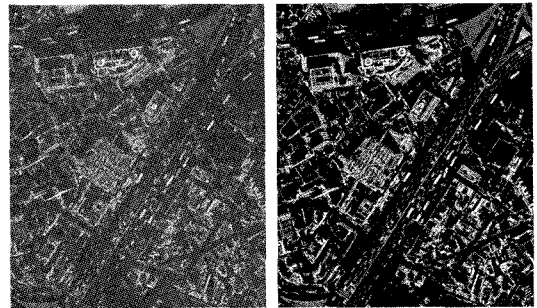


그림 8. 고해상도 항공영상 : 서울 중구

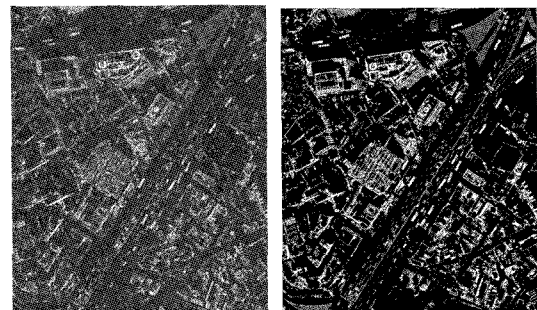
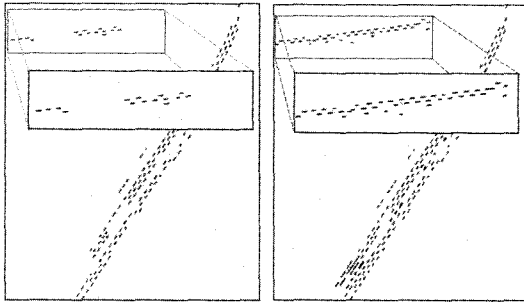


그림 9. 영상 전처리 - 오른쪽 영상



(a) 초기 차로 경계선 추출 (b) 추가 차로 경계선 추출

그림 10. 차로 경계선의 추가 추출 결과

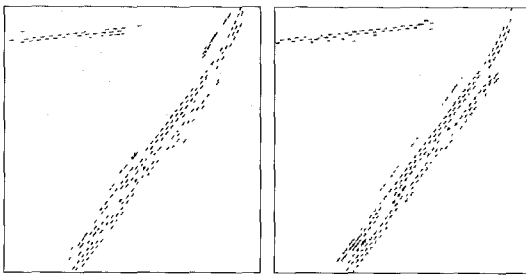
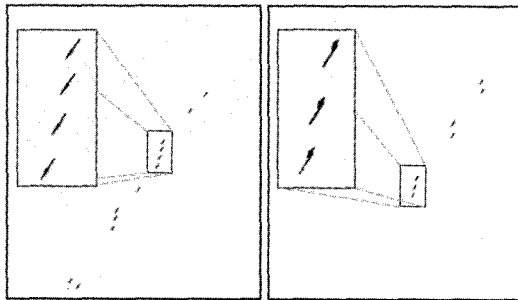


그림 11. 차로 경계선의 최종 추출결과



(a) 유형 1

(b) 유형 2

그림 12. 방향표시의 최종 추출결과 - 오른쪽 영상

한 그림 10(a)는 일부지역에서 차로 경계선이 추출되지 않음을 보여주고 있다. 추가적인 차로 경계선 추출과정을 통해 그림 10(b)의 결과를 얻을 수 있다.

그림 11과 그림 12는 노면표지의 최종 추출 결과이고, 그림 12는 추출된 방향표시를 확대하여 좌측상단에 나타내었다.

노면표지의 추출정확도와 매칭정확도는 시각적인 비교를 통해 수행하였고, 수치사진 측량시스템으로 취득된 참조자료와 추출된 위치의 평균제곱근오차(RMSE)로 3차원 위치정확도를 평가하였다. 추출정확도는 영상에서

시각적으로 구분 가능한 노면표지의 수에 대한 추출된 노면표지의 수의 비로 정확도를 평가하였다.

두 영상에는 211(좌)-214(우)개의 차로 경계선이 존재한다. 본 알고리즘을 통해 201-237개가 추출되었으며, 이중 46-40개의 차로 경계선이 아닌 개체가 오추출되었다. 오추출된 개체의 대부분은 중앙선과 길 가장자리 구역선의 일부가 차로 경계선으로 추출된 경우이다. 좌측 영상이 우측영상에 비해 추출정확도가 낮은 이유는 좌측 영상이 영상취득과정에서 많은 잡음을 포함되었기 때문이다. 향후, 도로 중앙선 추출하고 길 가장자리 구역선 추정을 하여 얻은 결과와 위치를 비교하면 오추출된 개체를 제거할 수 있으며, 디지털 항공카메라를 통해 영상을 취득할 경우 잡음에 의한 영향을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

방향표시 추출에서는 표시의 형상 조건과 템플릿 매칭 기법을 사용하여 그림 12의 결과를 획득하였다. 실험결과에서 오추출된 사례는 발생하지 않았지만, 자동차, 가로수, 가로등 등의 의한 부분폐쇄 또는 부분그림자로 인해 일부가 추출되지 않았다. 방향표시는 추출이 불가능한 경우를 제거하면 높은 추출 정확도를 보이고 있다. 그러나 방향표시의 추출에 있어 더 중요한 요소는 수행시간의 최소화이다. 본 연구에서는 차로 경계선의 추출 결과를 이용하여 방향표시의 후보개체를 선정하고 템플릿 매칭 수행시 변수를 제한함으로써 연산비용을 최소화하였다. Pentium-4(1.4Ghz) PC에서 matlab으로 실험을 수행한 결과, 44개의 후보개체에 대해 약 1분정도의 연산시간이 소요되었다.

노면표지를 추출한 후 차로를 구분하기 위해 차로 경계선을 자동으로 연결시켰다(그림 13). 차로를 연결한 직선들의 거리를 비교함으로써 추후 도로의 중앙선과 길 가장자리 구역선을 추출 또는 추정할 수 있을 것이다.

표 1은 방향표시간의 매칭쌍 수를 계산한 것으로 가장 많은 매칭쌍을 보이는 방향표시가 실제계의 동일한 개체

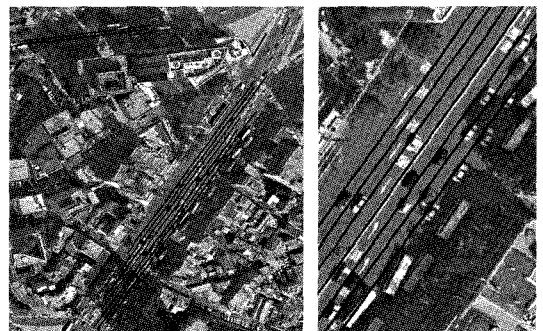


그림 13. 차로 경계선의 자동 연결

임을 알 수 있다. 표 2는 두 종류의 방향표시의 최종 매칭 결과이다. 이 결과를 이용하여 차로 경계선의 매칭을 수행하게 된다. 매칭 알고리즘을 통해 방향표시 10개와 차로 경계선 119개가 매칭되었으며, 중앙선 부분의 오추출된 개체 중 한 개가 잘못 매칭되는 결과를 보였다. 앞에서 언급했듯이 도로 중앙선의 추출이 선행되면 잘못 매칭된 개체는 제거가 가능할 것으로 판단된다.

취득된 도로의 3차원 위치좌표와 참조용으로 취득한 도로 위치정보의 RMSE는 0.19m의 값을 보였다. 참조용 데이터와 큰 위치차를 보이는 도로 중심은 도로의 끝

부분에 실선형의 차로 경계선 부분과 도로 중앙선 부분에서 발생하였다. 이러한 오차는 도로가 평평하다는 특성을 이용하여 높이값의 변화를 계산하여 추가로 제거할 수 있다. 그림 14는 본 실험에서 얻은 차로 경계선 중심의 3차원 위치를 LiDAR 데이터와 중첩하여 시각적으로 비교한 것이다.

### 6. 결론 및 향후 연구 방안

본 연구에서는 항공사진에 나타난 도로 노면표지를 이용하여 3차원 도로정보를 자동으로 취득하기 위한 방법을 제안하고 정확도를 평가하였다. 도로 노면표지는 도로교통법에 의해 형상과 배치가 규정되어 있기 때문에 노면표지의 기하학적 특징을 사전 정보로 이용한 노면표지의 추출 가능성을 확인하였다. 또한, 관계형 매칭 기법을 이용함으로써 보다 정확한 3차원 도로 위치좌표의 계산이 가능하였다. 제안된 기법은 기존의 방법을 통해 도로 추출이 어렵던 복잡한 대도시 지역에 대해 적용 가능할 뿐 아니라 도로 노면표지가 존재하는 비도시지역에도 적용 가능하며, 위치정보뿐 아니라 도로 주행에 도움을 줄 수 있는 차선정보 및 방향안내 정보 등을 추출할 수 있다는 점에서 의의를 가진다.

본 연구에서는 직선형 도로에 적합한 알고리즘을 제안하였기에 곡선형 도로에 적용 가능한 알고리즘 개발이 향후 연구되어야 한다. 또한, 다양한 유형의 방향표시를 적용한 결과분석이 필요하며 중앙선, 길 가장자리 구역선, 정지선 등과 같은 추가적인 도로정보 추출을 통해 보다 다양한 도로 정보 제공이 되어야 한다.

표 1. 매칭쌍 탐색결과

ID_L \ ID_R	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

표 2. 방향표시의 매칭 결과

ID_L	ID_R	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



그림 14. 최종 결과와 LiDAR 데이터의 중첩

### 참고문헌

1. 안기원, 서두천, 신석호, 2001, "KVR-1000 인공위성 화상데이터로부터 도시지역 도로의 반자동 추출", 대한토목학회, 제 21권, 제 4-D호, pp. 529-536.
2. A. Gruen, Li. H, 1997 "Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes", PE &RS, ASPRS, Vol. 63, No. 8, pp. 985-995.
3. Chunsun Zhang, Emmanuel Batsavias, Armin, Gruen, 2001, "Knowledge-Based Image Analysis for 3D Road Reconstruction", Asian Journal of Geoinformatics, ARSRIN, Vol. 1, No. 4, pp. 3-14.
4. George Vosselman, 1992, Relational matching, Springer-Verlag, pp. 43.
5. I. Laptev, H.Mayer, T.Lindeberg, W.Eckstein, C.Steger, A. Baumgartner, 2000. "Automatic Extraction of Roads from Aerial Images Based on scale space and snakes", Machine Vision and Applications, Springer-Verlag Heidelberg, Vol.

- 12, pp. 23-31.
6. John C. Trinder, Yangdong Wang, 1998, "Automatic Road Extraction from Aerial Images", *Digital Signal Processing* 8, Academic press, pp. 215-224.
  7. N. Otsu, 1979, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66.
  8. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 2002, *Digital Image processing Second Edition*, Prentice Hall Inc., pp. 66-67, 557-558.
  9. Seung-Ran Park, Taejung Park, 2001, "Semi-Automatic Road Extraction Algorithm from IKONOS Images Using Template Matching", *Proc. ACRS 2001*, ACRS, Vol. 2, pp. 1209-1213
  10. Stefan Hinz, Albert Baumgartner, 2003, "Automatic Extraction of Urban Road Networks from Multi-View Aerial imagery", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 58, Issues 1-2, pp. 83-98.
  11. 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*, SMATI, pp. 7-27.
  12. W. Eckstein and O. Munkelt, 1999, "Extracting objects from digital terrain models", *Proc. SPIE 2572*, SPIE, pp. 43-51.