

공간정보에 기반한 도로 데이터 자동생성 방법

Automatic Generation Method of Road Data based on Spatial Information

주인학*, 최경호**, 유재준***, 황태현****, 이종훈*****

In-Hak Joo, Kyoung-Ho Choi, Jae-Jun Yoo, Tae-Hyun Hwang, Jong-Hun Lee

요약 효율적인 도로정보의 구축은 GIS에서 가장 중요한 주제이다. 본 논문에서는 도로정보를 자동으로 생성, 구축하기 위하여 모바일 매핑 기술과 영상인식 기술을 결합한 방법을 제안하였다. 모바일 매핑 시스템은 CCD 카메라, GPS, INS를 장착한 차량의 형태를 가지며, 취득한 영상에 나타난 공간객체의 좌표를 사진측량기법을 이용하여 계산한다. 모바일 매핑 시스템에 의한 공간객체 좌표추출과 데이터 구축은 자동화되지 않아 시간이 많이 드는 단점이 있다. 도로의 자동 인식은 영상인식 분야에서도 자동주행차량에 대한 연구의 형태로 진행되어 왔다. 그러나 영상인식에 기반한 방법들은 도로 차선에 적용할 경우 차선의 굵기, 차량에 의한 가려짐, 좋지 않은 날씨와 조명 등 실제의 도로나 도로변의 다양한 예외상황 때문에 원하는 결과를 얻기 힘든 경우가 많다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 모바일 매핑 시스템으로부터 획득된 GPS/INS 데이터 및 영상인식 기술을 모두 이용한 자동 도로데이터 생성방법을 제안하였다. 영상에 나타난 도로 차선의 3차원좌표로부터 영상에서 객체가 나타날 위치를 추정하기 위한 방법을 고안하였으며, 이러한 방법은 도로 차선을 찾기 위한 복잡한 영상처리 과정을 대폭 줄일 수 있다. 예외상황 때문에 도로차선을 추출하지 못한 경우에는 스플라인 인터플레이션에 의하여 값을 얻는다. 인터플레이션은 교차로나 급격한 변화 지점에 따라 구분된 도로 구간 단위로 이루어진다. 본 논문에서는 제안된 객체좌표 추정방법과 인터플레이션 기법에 대한 실험 및 결과를 제시하였다.

ABSTRACT VEfficient generation of road data is one of the most important issues in GIS (Geographic Information System). In this paper, we propose a hybrid approach for automatic generation of road data by combining mobile mapping and image processing techniques. Mobile mapping systems have a form of vehicle equipped with CCD camera, GPS, and INS. They can calculate absolute position of objects that appear in acquired image by photogrammetry, but it is labor-intensive and time-consuming. Automatic road detection methods have been studied also by image processing technology. However, the methods are likely to fail because of obstacles and exceptive conditions in the real world. To overcome the problems, we suggest a hybrid method for automatic road generation, by exploiting both GPS/INS data acquired by mobile mapping system and image processing algorithms. We design an estimator to estimate 3-D coordinates of road line and corresponding location in an image. The estimation process reduces complicated image processing operations that find road line. The missing coordinates of road line due to failure of estimation are obtained by cubic spline interpolation. The interpolation is done piecewise, separated by rapid change such as road intersection. We present experimental results of the suggested estimation and interpolation methods with image sequences acquired by mobile mapping system, and show that the methods are effective in generation of road data.

키워드 : GIS, 도로생성, 영상, 모바일매핑시스템, 4S-Van, 추정, 인터플레이션

1. 서론

지리정보시스템(GIS: Geographic Information

- * 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 선임연구원
- ** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 선임연구원
- *** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 연구원
- **** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 연구원
- ***** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 센터장

System)에서는 많은 양의 공간데이터를 다루기 때문에 효율적으로 공간데이터를 생성하고 갱신하는 방법이 매우 중요한 연구주제이다. 공간데이터의 생성은 일반적으로 매우 많은 비용을 필요로 한다. 공간데이터를 생성하고 갱신하기 위하여 현장측량, 위성영상, 항공사진, 모바일 매핑 등 많은 방법이 개발되어 왔다. 현장측량은 정확한 정보를 얻을 수 있으나 시간과 비용이 매우 많이 소요되며, 항공사진을 이용하는 방법은 상대적으로 작은 객체의 세밀한 정보를 얻기 힘들다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모바일 매핑이 공간데이터를 생성하는 효율적인 방법으로 각광받고 있다. 모바일 매핑 시스템에서는 공간정보를 포함한 영상 또는 비디오를 수집하고 이로부터 영상처리 및 사진측량 기법을 사용하여 영상에 나타난 공간객체의 위치정보를 계산한다.

모바일 매핑 시스템은 보통 CCD 카메라, Global Positioning System(GPS), Inertial Navigation System(INS) 등의 센서를 탑재한 차량의 형태로 실현되어 도로를 주행하며 영상 또는 비디오 및 차량의 위치/자세정보를 수집한다. 그러나 모바일 매핑 시스템에 의한 공간데이터 생성 과정은 많은 양의 데이터에 대하여는 다소 시간이 많이 걸리기 쉽다. 따라서 수집된 영상 데이터로부터 공간객체를 자동으로 생성하여 구축하는 방법이 필요하다.

영상으로부터 공간객체를 자동으로 탐색하여 정보를 추출하는 방법은 주로 도로에 대하여 연구되어 왔다. 모바일 매핑 시스템을 사용하여 영상 시퀀스로부터 도로변차선과 중앙선을 추출하는 방법은 [1],[2]에서 연구된 바 있다. 모바일 매핑 분야뿐만 아니라 영상처리와 컴퓨터비전 분야에서도 도로의 자동인식이 연구되고 있으며, 실시간 도로 인식에 의한 차량의 자동주행에 대한 연구로 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 주로 실시간 차량주행을 위한 상대위치 정보의 추출에 중점을 두고 있으며 절대좌표가 요구되는 공간데이터 생성 분야에는 직접적으로 적용되기 힘들다. 영상처리와 컴퓨터 비전 기술에 기반한 접근방법의 또 다른 문제점은 실제 세계에 존재하는 다양한 예외상황이다. 실제 예외상황으로는 영상 노이즈를 포함하여 차선의 일부 결손, 차선을 안보이게 하는 주차된 또는 주행중인 차량, 일정하지 않은 날씨나 조명 조건, 교차로 부근에서 끊어진 도로차선 등 다양한 유형이 있다. 이러한 예외상황은 영상처리에 기반한 차선 자동인식을 불가능 또는 매우 어렵게 하며 잘못된 결과를 산출하게 할 수 있다. 영상인식 기술 단독으로는 자동화된 방법으로 도로데이터 생성이 매우 어렵기 때문

에, 이러한 문제점은 영상인식 기술에 대한 보완적인 기술의 도입을 요구한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 GPS/INS 기반의 위치결정 기술과 영상처리 알고리즘들을 결합한 도로정보 자동 생성 방법을 제안한다. 이를 위하여 영상에서 도로 인식이 실패할 경우에 이를 추정해주는 추정 방법을 도입하였으며 이로 인하여 복잡한 영상처리 과정을 상당부분 줄일 수 있다. 또한 예외상황에 의하여 추정 방법에 의한 도로인식이 실패한 경우에 도로 전체에 대하여 입력에 성공한 데이터들로부터 인터플레이션을 사용하여 누락된 값을 구하는 방법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 모바일 매핑 시스템과 도로인식에 대한 영상처리 기술 등 관련된 내용에 대하여 소개하고 3장에서 도로 자동 생성을 위하여 제시한 추정 모델과 인터플레이션 방법을 제시한다. 4장에서는 제안한 방법의 실험결과를 간단히 소개하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 차량 자동주행을 위한 도로 자동 인식

도로를 인식하여 주행하는 방법은 컴퓨터 비전과 로보틱스 등의 분야에서 연구되는 주요 주제이며 Carnegie-Mellon Navlab에서 수행한 연구[3]가 이 분야에서 가장 주목할 만하다. [3]에서는 도로인식과 주행, 장애물 탐지와 회피 등에 대한 비전 알고리즘을 제시하였다. 영상의 칼라와 텍스처 정보로부터 도로 영역과 정보가 효과적으로 추출될 수 있다. 도로영역과 도로가 아닌 영역을 인식하기 위하여 주어진 영상 시퀀스로부터 노이즈 제거, 칼라 분류, 확률 계산 등을 수행한다. 그 결과로 도로와 도로가 아닌곳을 표현하는 각 픽셀의 컨피던스 값을 계산하고 도로 영역을 구분한다. 도로 인식과 자동주행에 대한 다른 연구는 [4]에 소개되어 있다. [4]에서는 정확한 실시간 절대 위치를 측정하기 위하여 DGPS가 사용되었으나, 차량 외부의 공간데이터를 생성하고 구축하기 위한 것이 아니라 자동 차량주행을 위한 위치 추정을 위하여 사용되었다.

2.2 모바일 매핑 시스템

모바일 매핑 시스템은 다양한 센서가 통합되어 공간객체의 3차원 위치를 구하는 통합환경으로, 공간데이터의 생성, 구축, 갱신을 위한 수단으로 각광받고 있다[5]. 모바일 매핑 시스템은 보통 차량에 GPS,

INS, CCD 카메라 등의 센서를 탑재하여 구성되며, 주행중에 GPS와 INS가 차량의 위치와 자세정보를 수집하는 동시에 카메라로 영상 또는 비디오를 촬영한다. 위치정보, 자세정보, 영상정보가 수집되면 공간데이터는 영상에서 브라우징되며 사진측량 방법을 사용하는 소프트웨어에 의하여 3차원 위치를 계산한다. 대표적인 모바일 매핑 시스템으로는 Ohio 주립대학의 GPSVan(6), Lambda Tech International사의 GPSVision(7), Transmap사의 On-Sight(8) 등이 있다. 국내에서는 ETRI에서 개발중인 4S-Van(9)이 있다.

모바일 매핑 시스템은 영상 및 카메라의 위치/자세 정보로부터 공간데이터를 빠르고 정확하게 생성할 수 있다. 수집된 스테레오영상에 나타나는 공간객체의 3차원 위치는 카메라의 위치/자세정보로부터 사진측량 기법에 의하여 계산된다. 모바일 매핑 시스템의 센서 중 GPS는 차량의 위치를 장시간 안정적으로 제공할 수 있으나 장애물 등에 의하여 수신되지 못하는 경우가 있으며, INS는 GPS값을 구하지 못하는 경우에도 차량의 속도와 자세를 구할 수 있으나 오차가 시간에 따라 누적되는 단점이 있다. GPS와 INS는 이러한 상호보완적인 오차 특성을 가지고 있기 때문에 통합되어 사용됨으로써 보다 정확한 항법시스템을 구성하는 방법을 취하고 있다.

3. 도로 데이터 자동 생성 방법

이 장에서는 도로 데이터의 자동 생성을 위한 방법 및 이를 위하여 제안된 추정 방법과 인터플레이션 방법을 소개한다.

3.1 데이터 수집

도로 데이터 자동 생성을 위한 데이터 수집도구로는 4S-Van(9)을 활용한다. 4S-Van에 의하여 차량주행 중에 영상 시퀀스 및 영상 시퀀스의 각 영상에 해당하는 카메라의 위치/자세정보를 수집한다. 도로를 주행하며 수집한 영상 시퀀스는 도로 이를 단위로 구분되고 관리된다. 데이터 수집의 첫 단계는 self-calibration이며, 여기서 카메라 렌즈의 초점거리, 주점위치, 렌즈왜곡계수 등이 결정된다. 이러한 값들은 외부표정요소의 계산에 중요하며 필수적이다. 이 과정에는 좌표가 알려진 지상 고정점 측량에 의한 카메라 자세보정이 포함된다. 이러한 과정을 거친 뒤에 4S-Van이 도로를 주행하며 도로와 도로변을 촬영하여 영상 시퀀스를 수집한다. 본 논문에서는 영상의

수집 간격은 1초로 정하여졌으며 GPS와 INS 수집 데이터로부터 GPS/INS 통합과정을 거쳐 각 영상에 해당하는 카메라 외부표정요소(위치와 자세 정보)가 영상수집 시간과 동기화되어 계산된다. 카메라에 의하여 수집되는 영상의 크기는 1392*1040 이다.

3.2 추정 모델을 이용한 도로 데이터 자동생성 방법

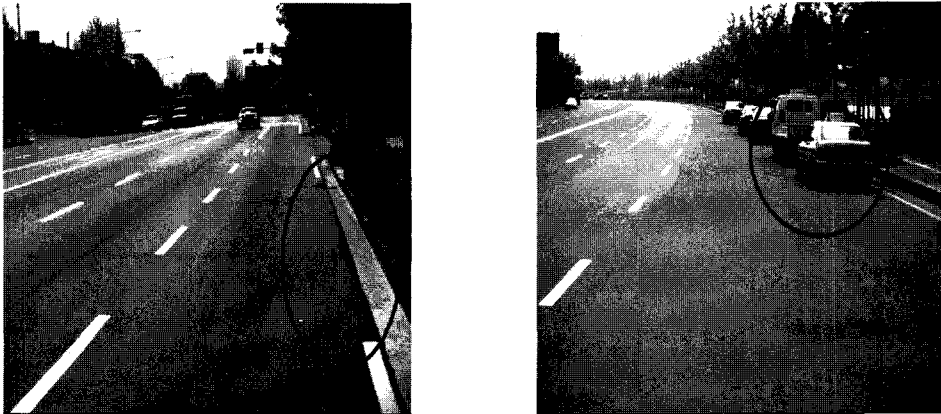
본 논문에서 제안한 도로 데이터 자동생성은 수집된 모든 영상에 대하여, 도로중앙선 또는 도로변차선에 대하여 에지를 인식하고, 에지를 구성하는 픽셀을 1개 선택하고, 그 픽셀에 해당하는 실제세계에서의 위치를 계산하여, 계산된 점들을 연결하여 라인스트링을 구성함으로써 이루어진다. 에지 인식 알고리즘은 다양하게 연구되어 왔으며 예를 들어 [10]에 소개된 방법들이 있다. 에지 인식 알고리즘들은 정상적인 환경에서는 영상으로부터 에지를 쉽게 인식할 수 있으나, 실제 도로를 주행하며 촬영한 영상에는 에지 인식을 어렵거나 불가능하게 하는 많은 방해요소 및 예외상황이 있다. 도로를 촬영한 영상에서 차선을 인식하기 어렵게 하는 예외상황으로는 영상 잡음을 포함하여, 차선의 끊어진 곳, 차선을 가리고 있는 이동중인 또는 주차된 차량, 좋지 않은 날씨나 조명 조건, 교차로 부근에서 차선의 일시적 끊어짐 등이 있다. 에지 인식 알고리즘은 이러한 경우 정상적으로 수행되기 힘들다. <그림 1>은 도로 차선의 에지를 인식하기 어렵게 하는 상황을 예시한다. 또한, 영상에서 모든 에지를 성공적으로 인식한다고 하여도 인식된 에지 중에 차선을 나타내는 것이 어느 것인지 판단하기도 어렵다. 이러한 판단은 수동으로 결정되거나 더 복잡한 영상 인식 알고리즘을 필요로 한다.

본 논문에서는 도로 에지에 속하는 픽셀의 위치를 추정하고 따라서 복잡한 영상인식 과정을 상당부분 생략할 수 있는 방법을 제안하였다. 한 영상에 대하여, 이전 영상정보 및 영상취득시의 위치/자세 정보를 이용하여 픽셀의 위치를 추정하였다. 아래의 논의에서 제안된 방법은 도로변 차선(이하 차선이라 함)에 대하여 설명되었으며, 중앙선의 경우도 거의 동일한 방법으로 처리될 수 있다.

에지 인식 및 인식된 에지로부터 픽셀 선택

먼저, 수집된 각 영상에 대하여 다음 영상처리 연산을 수행한다.

- 영상을 8비트 그레이스케일로 변환한다.
- 영상의 밝기 조절을 위하여 스트레칭 연산을 수행한다.
- 영상을 이진화한다(threshold 값은 픽셀값의 평



〈그림 1〉 도로 차선 인식을 방해하는 실제조건의 예

균+분산으로 한다)

- 수직잡음을 제거하기 위하여 erosion 연산을 수행한다.
- 에지 인식을 위하여 Laplacian 연산을 수행한다.

일단 에지가 인식되면 인식된 에지들 중에 차선에 해당하는 에지를 선택하여야 한다. 이러한 연산은 도로 scene에 해당하는 지식이 없을 경우 매우 복잡한 영상인식 알고리즘을 필요로 하기 때문에, 본 방법에서는 첫번째 영상에 한하여 차선에 해당하는 에지 중 한 픽셀을 수동으로 선택하는 방법을 취한다. 두번째 이후 영상부터는 제안하는 추정방법에 의하여 차선에 해당하는 에지 중 픽셀 하나를 결정한다.

3차원 지상좌표 계산

스테레오 영상의 집합을 V 라고 하고, i 번째의 왼쪽과 오른쪽 영상(원본 영상에서 영상처리된 에지 영상)을 각각 L_i 와 R_i 라고 한다. 그리고 영상 R_i 에서 선택된 픽셀을 p_{ri} 라고 한다. 그러면 L_i 에서 p_{ri} 에 해당되는(p_{ri} 와 같은 위치를 표현하는) 픽셀을 스테레오매칭 기법에 의하여 선택할 수 있으며 이를 p_{li} 라고 한다. i 번째의 영상이 촬영될 때의 왼쪽과 오른쪽 카메라의 절대좌표를 각각 G_{li} 와 G_{ri} 라 하고 왼쪽과 오른쪽 카메라의 자세를 각각 A_{li} 와 A_{ri} 라 한다. 그러면 p_{li} , p_{ri} , G_{li} , G_{ri} , A_{li} , A_{ri} 로부터 그 픽셀에 해당하는 지상좌표를 사진측량 기법에 의하여 계산할 수 있으며, 이를 P_i 라고 나타낸다.

추정 방법

다음 영상에서의 픽셀 위치, 즉 P_i 에 대한 추정 방법을 제안한다. 추정 방법은 영상이 촬영될 때의 카메라의 위치/자세정보를 이용한다. 실제 상황에서는 영

상촬영에 대한 방해요소 때문에 P_i 가 각 영상별로 독립적으로 결정될 경우 구하지 못하거나 잘못된 값을 구하는 경우가 대부분이다. 따라서 도로를 구성하는 좌표를 영상마다 하나씩 구하기 위해서는 P_i 에 대한 추정 방법이 필수적이다.

P_i 를 추정하는 중요한 사항은 이전 영상 P_{i-1} 과 영상촬영 차량, 좀더 자세히는 영상촬영 카메라의 위치/자세를 이용하는 것이다. 카메라의 위치/자세 값의 주목적은 영상 픽셀로부터 실제좌표를 구하는 것이지만, 제안한 추정 방법에서도 효율적으로 이용될 수 있다. 추정 방법의 첫번째 단계는 각 영상에 대하여 지상좌표계에 대한 차량의 방향을 구하는 것이다. 영상 수집 시에 차량의 GPS 데이터로부터 각 영상에 대한 yaw 값이 측정된다. yaw 값은 GPS 안테나의 속도 벡터에 대한 arctangent로 정의된다.

$$yaw_i = \arctan\left(\frac{Gy_i - Gy_{i-1}}{Gx_i - Gx_{i-1}}\right) \quad (1)$$

G_i 는 i 번째 영상촬영시 카메라의 위치이고 Gx_i 와 Gy_i 는 G_i 의 x 와 y 좌표이다.

추정방법을 유도하는 다음의 과정에서는 오른쪽 영상에 대하여 픽셀을 결정하는 방법을 논의하며 왼쪽 영상에서의 픽셀은 스테레오매칭에 의하여 결정한다. 따라서 이후 논의에서는 오른쪽 카메라만을 논의하기로 하며 별도로 언급하지 않는 이상 G_{ri} 를 G_i 로 나타내기로 한다. P_i 의 x 와 y 좌표를 Px_i 와 Py_i 라고 할 때, 주어진 P_i 에 대하여 P_i 와 G_i 를 연결하는 선분을 그린다(그림2 참조). 그러면 선분의 길이는

$$d_i = \sqrt{(Gx_i - Px_i)^2 + (Gy_i - Py_i)^2} \quad (2)$$

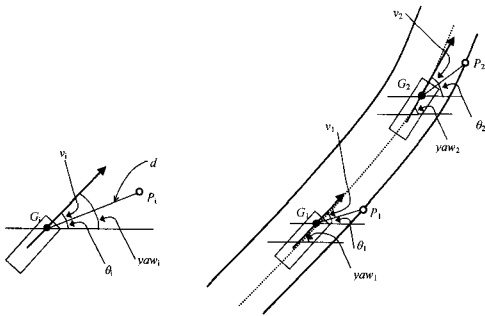
로 나타낼 수 있으며 이 선분이 x축의 양의 방향과 이루는 각을 다음과 같이 정의한다.

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{Gy_i - Py_i}{Gx_i - Px_i}\right) \quad (3)$$

Pi와 Gi를 연결하는 선분의 viewing angle을 다음과 같이 정의한다.

$$v_i = yaw_i - \theta_i \quad (4)$$

이러한 변수들간의 관계는 그림2에서 볼 수 있다.



〈그림 2〉 정의된 변수들간의 관계

차량(4S-Van)이 차선과 평행하게 진행한다고 가정하고, 영상마다 차선에서 선택되는 픽셀이 거의 같은 위치에서 선택된다고 가정하자. 즉 첫번째 영상에서 수동으로 선택된 픽셀의 위치가 픽셀좌표계에서(m, n)이라고 하면 두번째 영상에서도(m,n) 근처에서 픽셀이 선택된다고 하자. 이러한 가정들은 모든 영상에 대하여 (2)와 (4)가 거의 일정하다는 것을 의미한다. 즉 차량 진행방향에 대하여 카메라의 위치와 차선의 선택된 지점간의 거리와 각도가 거의 일정하다는 것이다. 이러한 가정하에 (4)값은 다음 영상에서도 변화하지 않으며 따라서

$$yaw_i - \theta_i = yaw_{i+1} - \theta_{i+1} \quad (5)$$

이 된다. 다음 영상에서 Gi+1과 Pi+1을 연결하는 선분에 대한 각(3) 값은 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$\theta_{i+1} = \theta_i = yaw_i + yaw_{i+1} \quad (6)$$

(6) 값이 결정되면 (2)가 일정하다는 가정하에 Pi+1의 위치(x와 y좌표)을 다음과 같이 계산하여 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} Px_{i+1} &= Gx_{i+1} + d_i \sin \theta_{i+1} \\ Py_{i+1} &= Gy_{i+1} + d_i \cos \theta_{i+1} \end{aligned}$$

(7)

즉 위에서 언급한 가정이 성립하고 Gi, Gi+1 값이 제공되면 Pi+1은 바로 앞 영상의 Pi 값으로부터 추정될 수 있다.

이러한 사실을 이용하여, 자세한 추정 과정은 다음과 같이 진행된다. 먼저 첫번째 영상 L1과 R1에 대하여 에지 인식 알고리즘 및 수동 선택에 의하여 P1이 계산된다. 다음으로는 추정식 (7)에 의하여 L2와 R2에 대하여 P2가 추정된다. 추정된 P2(P'2라고 표기함)는 사진측량기법에 의하여 픽셀 좌표 p'12와 p'r2로 변환된다. 두번째 영상 L2와 R2에서 차선에 해당하는 픽셀의 선택은 p'12와 p'r2와의 비교에 의하여 이루어진다. 오른쪽 영상 R2에서 p'r2와 가장 가까운 픽셀이 선택되며(p'r이라고 표기함) 픽셀좌표계상에서 p'r2와 p'r간의 거리가 미리 정의된 값보다 작으면 p'r이 차선을 나타내는 에지의 일부분인지 아닌지를 검사한다. 위의 검사가 성공하면 p'r이 차선을 나타내는 적합한 픽셀이라고 판단하고 p'r2라고 하며 이에 의하여 p12를 구하고 다시 P2를 구한다. 그렇지 않은 경우(p'r2 근처에서 에지가 발견되지 않은 경우)는 차선이 보이지 않는 등의 예외상황이며 다음 두 방법 중 하나를 수행한다.

- 추정된 P'2를 P2로 사용하고 다음으로 진행된다.
- P2를 결정하지 않고 진행한 뒤 나중에 인터플레이션으로 구한다.

두번째 방법을 적용한 경우 비록 P2를 결정하지 않더라도 다음(세번째) 영상에서 추정식(7)을 적용할 때 P2가 필요하므로 P'2를 임시로 세번째 영상의 추정식에 대한 입력값으로 사용한다. 이 과정을 모든 영상에 대하여 차례로 반복하여, Pi의 집합(일부는 결정되지 않은 상태일 수도 있음)을 구하여 연결하면 차선을 나타내는 라인스트링을 얻을 수 있다.

3.3 구하지 못한 차선 데이터를 인터플레이션

위에서 언급한 추정식은 두 가지 가정에 기반하고 있기 때문에, 직선이고 거의 일정한 도로 구간에서는 잘 적용되지만 급격한 변화가 있는 구간에서는 적용되지 못하기 쉽다. 또한 도로에 거의 변화가 없다고 하여도 차선의 일시적 끊김이나 주차된 차량에 의하여 보이지 않는 경우, 조명이나 날씨의 영향 등 방해요인에 따라 차선 데이터를 얻기 힘든 경우가 많다. 이러한 경우는 p'ri 근처에 에지가 발견되지 않으므로 pri를 결정하기 힘들며 따라서 추정된 P'로부터 Pi를 구하지 못하는 경우가 많아진다.

구하지 못한 P_i 를 결정하는 접근방법은 도로 구간을 수학적 함수로 모델링하고 누락된 P_i 값들을 인터플레이션하는 것이다. 실세계에서 도로는 복잡한 형태를 가지지만 짧은 구간은 직선, 스플라인 등의 형태로 표현될 수 있다. 실패한 경우를 제외한 구하여진 값으로부터 도로를 모델링하고 구하지 못한 값은 인터플레이션으로 구한다. 곡선 모델링을 위한 가장 잘 알려진 모델은 스플라인이다. 스플라인을 사용한 인터플레이션을 사용하면 모든 입력점을 통과하며 연속적이고 smooth한 곡선을 구할 수 있다. 본 논문에서는 구하지 못한 점을 인터플레이션하기 위하여 큐빅 스플라인을 사용하였다. 실세계에서 도로에는 교차로 등 연속적이고 smooth하지 않은 부분이 있고 이러한 부분까지 스플라인으로 인터플레이션하면 안되기 때문에 도로를 구간으로 나누고 구간별로 인터플레이션을 수행하였다. 구간은 교차로 등에서 도로의 급격한 변화에 의하여 분리되어야 한다.

이러한 인터플레이션을 위한 도로 구간 분리를 자동으로 수행하는 방법을 다음과 같이 제안한다. 도로구간 분리를 위한 점을 탐지하기 위하여 yaw 데이터를 다시 이용한다. 먼저 다음 식으로 정의되는 시간에 대한 yaw 값의 증가율을 구한다.

$$yawRate = \frac{dy}{dt} \quad (8)$$

Yaw 값의 증가율에 의하여 이 값의 절대값이 미리 정의된 한계값보다 크면 이 지점에서 도로가 분리되어야 한다고 판단한다. 한계값은 주로 차량의 속도에 따라 결정되며 다른 요소도 일부 포함될 수 있다. 본 논문에서는 한계값을 실험적으로 0.2 radian/second로 결정하였다.

도로가 분리되면 각 구간 내의 구해진 점들을 다음과 같이 시간, 즉 i 에 의한 parametric equation으로 표현한다.

$$\begin{aligned} P_{x_i} &= f(i) \\ P_{y_i} &= g(i) \end{aligned} \quad (9)$$

(9)로부터 값을 구한 모든 (P_{x_i}, P_{y_i}) 를 통과하는 인터플레이션 곡선을 계산하고 이로부터 값을 구하지 못한 모든 (P_{x_i}, P_{y_i}) 의 값을 계산한다.

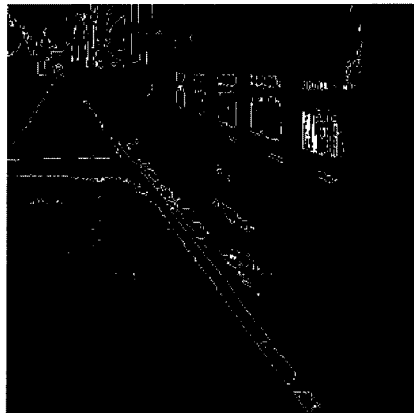
4. 실험

이 장에서는 제안한 방법에 대한 실험 및 결과를 간단히 소개한다. 실험을 위한 영상 시퀀스는 대전지역에서 촬영되었으며 1초간격으로 수집된 93장의 영상

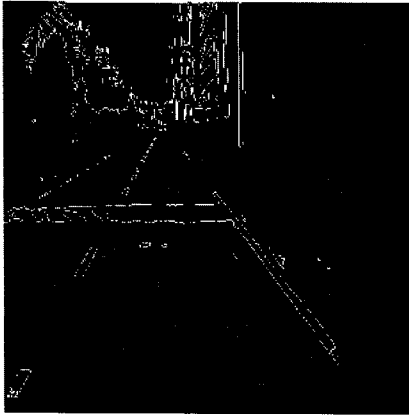
으로 구성된다. 영상에 해당하는 위치/자세정보는 4S-Van에 의하여 수집되고 처리되었다.

4.1 영상처리에 의한 도로 에지 인식

에지 인식을 위한 영상처리 및 영상인식은 총 5단계로 수행되었다(3.2참조). 그림3은 원본 영상과 에지 인식 결과영상의 예를 보여준다. 3장에서 살펴본 방법대로, 첫번째 영상에 대하여는 수동으로 픽셀을 선택하였고, 추정식 (7)을 이용하여 추정된 P'_i 를 다음 영상에서 픽셀좌표계로 변환하여 픽셀을 선택하였다. <그림 4>는 추정된 점을 다음 영상에 출력한 그림이다. 차선을 나타내는 픽셀은 추정된 픽셀 근처에서 결정되고 다시 이를 3차원 지상좌표로 변환하였다. 변환된 점은 나중에 라인 스트링을 구성할 데이터로서 저장되고 다음 영상을 위한 추정식을 다시 계산하였다. 이러한 과정은 나머지 영상들에 대하여도 반복적으로 적용되었다.

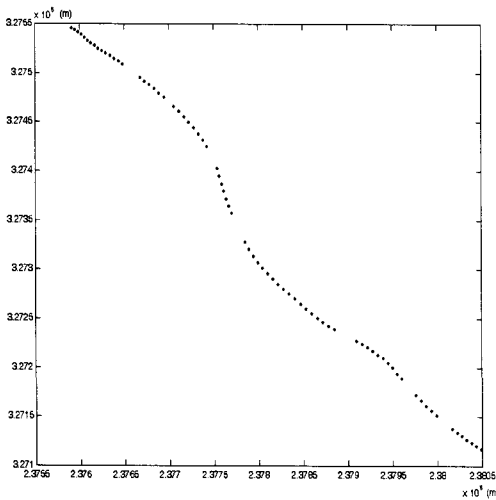


<그림 3> 원본 영상과 에지 인식의 결과인 에지 영상



〈그림 4〉 추정된 점을 픽셀좌표로 변환하여 출력

본 실험에서는 P_i 의 계산이 실패한 경우는 값을 결정하지 않은 채로 전체 P_i 의 집합을 얻었다. P_i 의 집합을 얻은 결과는 〈그림 5〉와 같다. 실험에 사용된 영상 집합에 대하여, 추정식이 성공한 비율은 약 80% 정도이다. 이 비율은 추정방법의 성능이라기보다는 차선을 인식하기 위한 조건의 난이도를 나타낸다.

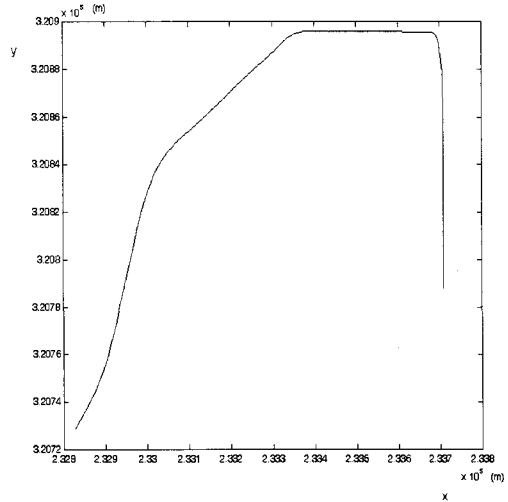


〈그림 5〉 계산되어 얻어진 P_i 점들

4.2 도로 구간 분리

〈그림 6〉은 대전의 다른 지역에서 수집된, 교차로에서의 급격한 변화가 포함된 도로의 궤적을 나타내고 있다. 도로 구간 분리를 위하여 (1)과 (8) 값을 매 시간단위에 대하여 측정하였다(그림7). 〈그림 7〉에서 (8)이 정의된 한계값보다 높은 값을 가지는 경우가 있

으므로 이 점(그림6에서 궤적이 90도로 꺾어진 부분)에서 도로 구간을 분리해야 한다고 결정할 수 있다.



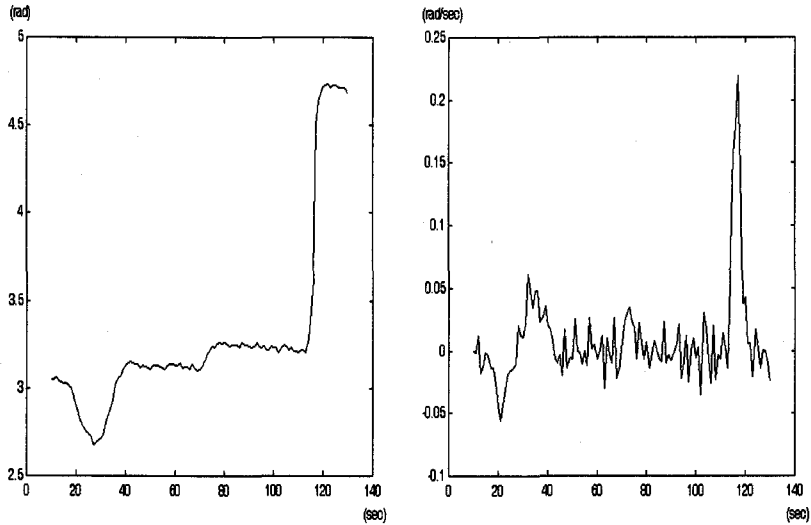
〈그림 6〉 급격한 변화를 가지는 도로 데이터

4.3 구하지 못한 값의 인터플레이션

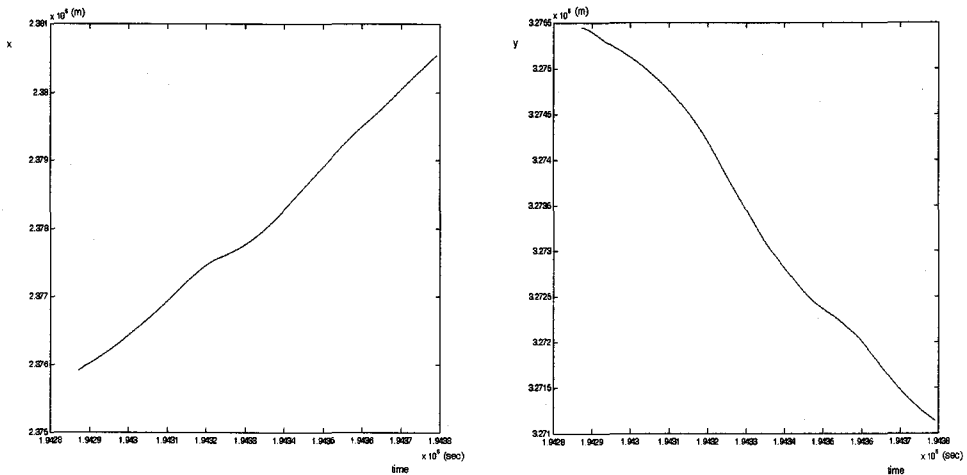
구하지 못한 P_i 값들을 인터플레이션하기 위하여 큐빅 스플라인 인터플레이션 방법이 사용되었다. P_i 값의 x 와 y 좌표는 함수관계가 아니므로, x 와 y 를 파라미터 t (시간)에 대한 함수로 간주하고 각각 스플라인 인터플레이션을 적용하였다. 〈그림 8〉은 주어진 데이터로부터 x 와 y 를 각각 시간 t 에 대하여 스플라인 인터플레이션한 곡선이다. P_i 점을 구하지 못한 시간 t 에 대하여 x 와 y 좌표를 각각 구한 뒤 그 값들을 xy 평면에 나타냄으로써(그림 9) 원하는 점들을 구하여 도로 데이터의 생성을 완성하였다.

5. 결론

GIS에서 효과적인 데이터의 생성과 구축은 중요한 주제 중의 하나이다. 본 논문에서는 공간정보에 기반한 도로 데이터의 자동 구축 방법을 제안하였다. 영상 처리만에 기반한 도로 인식은 실세계에서의 많은 예외 상황이나 방해물 때문에 실패하기 쉽다는 문제점을 해결하고 도로 데이터를 효과적으로 생성하기 위하여, 기존의 영상처리 기술과 모바일 매핑 시스템을 결합한 방법을 제안하였다. 영상으로부터 도로를 나타내는 픽셀을 결정하고 이를 지상좌표로 변환하기 위하여, 영상 획득시에 같이 수집된 차량, 즉 카메라의 위치/자세



〈그림 7〉 그림 6의 데이터에 대한 yaw와 yawRate 값



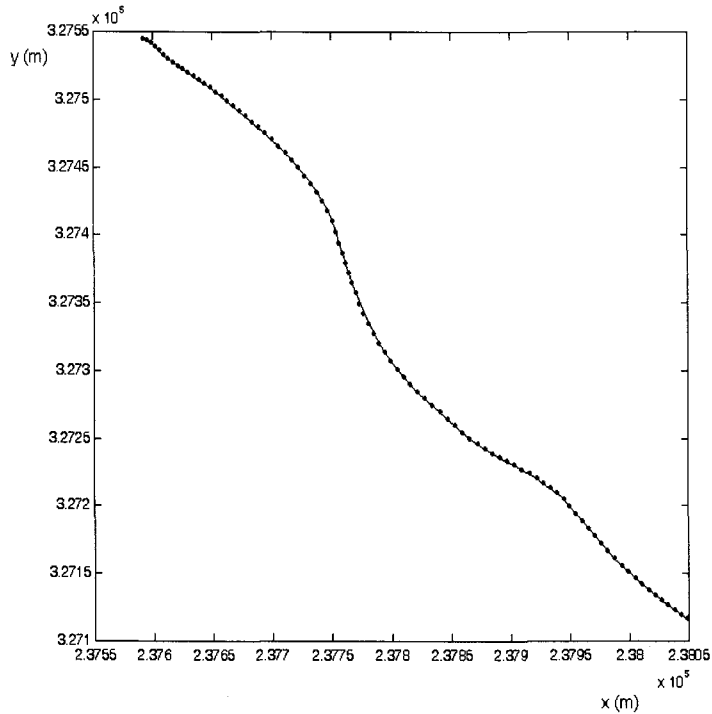
〈그림 8〉 시간에 대한 x와 y의 인터플레이션

정보를 이용하는 추정 방법을 설계하였다. 이러한 위치/자세정보에 기반한 추정방법을 사용함으로써 각 영상에서 도로를 나타내는 픽셀을 결정하기 위한 복잡한 에지 인식 등의 영상처리 연산을 줄일 수 있었다.

또한, 각 영상에 대하여 한점씩 추출하여 도로 데이터를 구축한 후에, 도로상황이나 추정의 실패 등으로 구하지 못한 값들에 대하여는 큐빅 스플라인에 의하여 인터플레이션하여 값을 얻었다. 실제의 도로를 짧은 구간으로 나누었을 경우 직선이나 스플라인으로 근사할 수 있다는 가정하에, 도로를 급격한 변화가 없는

구간으로 분리하고 각각에 대하여 인터플레이션을 수행하였다. 추정과 인터플레이션에 의한 이러한 방법은 도로 생성을 빠르고 효과적이고 자동적으로 수행할 수 있게 해준다. 제안된 방법의 적합성을 판단하기 위하여 실제 수집된 데이터로부터 실험을 하였으며, 실제 상황에서 자동으로 도로 데이터 구축을 가능하게 하고 효율을 높일 수 있었다.

향후의 연구 주제 및 방향은 다음과 같은 것들이 있다. 본 논문에서는 도로에 한하여 자동 구축 방법을 제안하였으나, 건물이나 도로시설물 등 다른 공간객체



〈그림 9〉 인터폴레이션된 Pi 점들(도로 데이터 구성 점들)

에 대하여도 적용될 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 공간객체들은 영상에서 인식하기도 도로보다 더 힘들고 도로의 경우에서와 같은 가정보도 거의 없기 때문에 더 발전된 기술이 필요하다고 하겠다. 그리고 제안한 방법을 도로 데이터 생성 뿐만 아니라 기존 도로 데이터에 대한 비교 및 갱신에도 적용할 수 있는 방안이 요구된다. 또한 이러한 방법이 수행될 모바일 매핑 시스템의 성능이 제안한 방법의 성능에 가장 중요한 요소이므로 더 정확한 모바일 매핑 시스템에서 적용될 수 있도록 연구가 진행될 예정이다.

참고문헌

- [1] He, G. P., Novak, K., and Tang, W.: The Accuracy of Features Positioned with the GPSVan. Symp. ISPRS Comm. II Symposium, Vol. 30, Part 2 (1994) 480-486
- [2] Tao, C., R. Li and M.A. Chapman: A Model Driven Approach for Extraction of Road Line Features Using Stereo Image

Sequences from A Mobile Mapping System., ASPRS/ACSM proceedings, (1996)

- [3] Charles Thrope, Martial H. Hebert, Takeo Kanade, and Steven A. Shafer: Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Navlab. IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, No. 3 (1988) 362-373
- [4] Manabu Omae and Takehiko Fujioka: DGPS-based Position Measurement and Steering Control for Automatic Driving. Proceedings of the American Control Conference, San Diego, California. (1999) 3686-3690
- [5] Li, R.: Mobile Mapping - An Emerging Technology for Spatial Data Acquisition, Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.63, No.9. (1997) 1085-1092
- [6] He, G. and K. Novak: Automatic Analysis of Highway Features from Digital Stereo-Images.

Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXIX, part B3 (1992) 119-124

[7] <http://www.lambdatech.com>

[8] <http://www.transmap.com>

[9] ETRI: 공간정보 연계기술 지원사업 연차보고서 (2002) 249-302

[10] Ioannis Pitas: Digital Image Processing Algorithms. Prentice Hall (1993)



주 인 학

1992년 연세대학교 졸업(학사)
1994년 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업(석사)
2000년 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업(박사)
2000년~현재 한국전자통신연구원

공간정보기술센터 선임연구원

관심분야: GIS, 공간데이터베이스, 4S, LBS 등



최 경 호

1989년 인하대학교 졸업(학사)
1991년 인하대학교 전자공학과 졸업(석사)
2002년 University of Washington, Seattle 전기공학과 졸업(박사)

1991년~현재 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 선임연구원

관심분야: 멀티미디어 시스템, 비디오/오디오 코딩, 비디오GIS, LBS 등



유 재 준

2000년 숭실대학교 졸업(학사)
2002년 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
2002년~현재 한국전자통신연구원
공간정보기술센터 연구원

관심분야: 데이터베이스 시스템, 분산 처리 시스템, GIS, LBS 등



황 태 현

1996년 인하대학교 졸업(학사)
1998년 인하대학교 전자공학과 졸업(석사)
2002년~현재 한국전자통신연구원
공간정보기술센터 연구원
관심분야: 비디오 인덱싱, 영상신호 처리, GIS, LBS 등



이 종 훈

1981년 연세대학교 토목공학 전공(학사)
1984년 연세대학교 항공사진측정 및 원격탐사 전공(공학석사)
1987년 Cornell University 원격탐사 및 GIS 전공(공학석사)

1990년 Cornell University 원격탐사 및 GIS 전공(공학박사)

1990년 7월~현재 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 센터장

관심분야: GIS, 공간데이터베이스, 4S, LBS 등