도로교통안전점검차량을 이용한 도로의 자동도면화 생성 연구

The Study on an Automated Generation Method of Road Drawings using Road Survey Vehicle

이 준 석 Lee, Jun Seok
윤 덕 근 Yun, Duk Geun
박 재 홍 Park, Jae Hong

공간정보연구원 연구원 (E-mail : jaslee@lx.or.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실 · 교신저자 (E-mail : dkyun@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 (E-mail : jhpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to develop a automate road mapping system using ARASEO(Automated Road Analysis and Safety Evaluation TOol) for road management.

METHODS : The road survey van named ARASEO(Automated Road Analysis and Safety Evaluation TOol) was used to generate highway drawings for Korea National Road number 37 automatically. In order to generate the highway drawings for purpose of road management, it is required to acquired the information for highway alignment, road width and road facilities such as safety barrier and road sign. Therefore the survey van acquired and analyzed the road width, median and guardrail data using rear side laser sensor of ARASEO and recognized the traffic control sign and chevron sign using foreside camera images. Also the highway alignment which is the basic information for highway drawing can be analyzed by acquisition the every 1m positional and attitude data using GPU and IMU sensor and developed algorithm. Finally, in this research the CAD based drawing software was developed to draw highway drawing using the analysis result from ARASEO.

RESULTS : This study showed the comparison result of the surveyed road width and drawing data. To make the drawing of the road, we made the Autocad ARX program witch run in CAD menu interface.

CONCLUSIONS : Using this program we can create the road center line, every 500m horizontal and vertical ground plan drawing automatically.

Keywords

road safety analysis, road mapping, laser sensor, GPS, IMU

Corresponding Author : Yun, Duk Geun, Senior Researcher
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283,
Goyangdae-ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0159 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : dkyun@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 14, 2013 Revised Oct. 14, 2013 Accepted Aug. 4, 2014

1. 서론

현재까지 국내·외의 도로안전성 분석 연구 수행에 있어서 도로 기하구조 정보는 대부분 도면을 이용하여 분석하였으나 모든 도로에 도면이 존재하는 것은 아니며, 도면이 존재하는 구간에도 도로 선형 개량이나 덧씌우

기 공사 등으로 인해 도면과 실제 도로 기하구조 정보가 다른 경우가 존재한다. 현재 국내의 모든 도로에 도로대장이 구축되어 있지는 않고 지방도 등에서는 도면이 없는 구간이 대부분인 실정이다. 도면이 없는 구간에 대하여 다시 측량용역을 발주하여 도로대장을 위한 도면을 만드는 작업은 많은 비용과 노력이 필요하다. 도면화를

위한 전통적 방법으로는 토탈스테이션이나 GPS를 사용한 노선측량방법과 항공사진 측량방법이 있으나 비용과 시간적인 측면에 어려움이 있어 모든 도로에 도면화 작업을 수행하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 도면화를 자동화하기 위하여 차량에 각종 센서를 부착하여 측량하는 모바일 매핑 시스템(Mobile Mapping System; MMS)을 이용하는 연구가 최근에 활성화되고 있지만 도로의 선형이나, 도로 시설물의 위치, 종류 등을 확인하는 수준으로 도로를 자동으로 도면화하지는 못하였다.

MMS 차량을 이용하여 도로 시설물의 위치를 갱신하고 도면화하는 작업은 위치측정 관련 센서, 레이저 센서, 동기화 센서 등 관련 센서를 통합하고 자동으로 데이터를 취득하고, 이를 도면으로 제작하고 출력하는 복잡한 과정이며 자동화가 힘든 작업이다. 현재의 MMS 시스템은 대부분 후처리에 의한 작업에 의존하고 있으며 도로의 자동도면화 시스템은 아직 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 도로형상의 도면화 과정에서 레이저를 이용하여 자동으로 도로폭과 중앙분리대, 가드레일, 도로표지판 등의 위치와 종류를 취득하고 이를 CAD 기반위에서 작동하는 자동도면화하는 S/W의 제작과정과 이에 대한 도면과의 검증을 연구하였다.

레이저 센서를 이용하여 도로의 형상을 자동으로 추출하려는 국내외의 연구는 그동안 여러 차례 있어왔다. 레이저를 이용하여 도로의 형상을 파악하는 연구에 대하여는 이수암(2007) 등은 회전식 레이저를 이용하여 도로의 형상을 히스토그램을 이용하여 자동으로 추출하는 연구를 하였으며, Axelsson(1999)은 TIN과 고도를 이용하여 지표면을 추출하는 방식을 제안하였으며 어느 정도의 임계치를 주어 지표면의 높이 조건에 부합하는 점들을 지표면으로 결정하는 방식을 사용하였다. 한국건설기술연구원(2007)에서는 회전식 레이저를 이용하여 도로시설물의 한쪽 단면을 측정하여 미리 지정된 도로시설물의 패턴과 비교하여 도로시설물을 삽입하는 도면화 시스템을 만드는 연구를 하였다. 현재 대부분의 레이저 센서를 이용한 도로형상 도면화 시스템은 고가의 상용 레이저 시스템을 사용하며, 데이터 용량이 큰 포인트클라우드를 저장하였다가 수작업에 의한 후처리로 이것을 이용하여 벡터라이징하는 작업을 수행하고 있다. 이것은 비용과 시간이 많이 드는 작업이며, 도로관리측면에서의 도면을 생성하기보다 도로시설물의 정보를 수작업으로 수집, 분석하고, 이를 DB화 한다는 점에서 도로를 생성한다고 볼 수는 없다. 그러나 도로관리측면에서 시설물의 정보

를 DB화할 뿐 아니라 도면형태로 출력을 하여 관리하는 것이 현장에서 필요하기 때문에 본 연구에서는 저가의 레이저를 이용하여 필요한 도로폭 데이터만 위치와 함께 자동으로 저장하여 선형화하고 이러한 데이터를 자동으로 도면화하는 방법에 대한 연구를 진행하였다.

2. 레이저를 이용한 도면화용 도로정보 취득 방법

본 연구에 사용된 측정 MMS 장비는 도로의 정보를 수집하고 자동으로 안전을 점검할 수 있는 장비인 '아라서'(ARASEO, Automated Road Analysis and Safety Evaluation TOol) 장비를 이용하였으며 도로폭 취득을 위한 센서는 다음과 같다.

Table 1. ARASEO Sensor for Road Width Acquisition

Positioning Sensor	GPS	Novatel SPAN-SE
	IMU	Novatel IMU-FSAS
Road Width Acquisition Sensor	Leaser scanner	LMS291
	Laser Scanner Synchronizing	MOXA Uport 1250I
Synchronizing Sensor	Realtime Module	NI cRio-9014
	DMI Sensor	UMS-DMI

Fig. 1 Curb Recognition Using Laser Scanner

Fig. 2 Road Width Acquisition Using Laser Scanner

Fig. 3 Road Width Surveying Using Laser Scanner

본 차량에는 도로폭을 위한 레이저센서는 차량 뒤편의 전동 지그 시스템을 이용하여 측정 시에만 밖으로 돌출하여 측정하는 시스템이다. 차량 후면의 좌우편에 Sick사의 LMS 291 레이저 2대를 설치하였으며 180°의 스캔영역을 초당 약 5섹션의 데이터로 측정한다. 일반적인 레이저 포인트클라우드는 1시간을 취득하면 수십 기가바이트의 큰 용량이지만 필요한 데이터만 위치 정보와 함께 저장하고 나머지는 버리는 구조로 3MB/km 정도의 용량으로 가능하게 하였다.

본 연구에 사용된 위치추적센서인 GPS-IMU(Global Positioning System - Inertial Measurement Unit)는 200Hz의 데이터 로깅이 가능하며 차량의 거리계(DMI ; Distance Measurement Instrument)의 트리거 신호를 이용하여 특별한 후처리가 없이도 정밀하게 1m마다의 위치정보를 실시간으로 로깅이 가능하다. GPS의 위치보정을 위해서 SBAS(Satellite Based Augmentation System, 위성기반 오차보정시스템)을 사용하였으며 실시간으로 RMSE(Root Mean Square Error) $\pm 1m$ 이내의 측정이 가능하다.

도로폭은 스캐너의 패턴을 분석하여 도로의 연석이나 가드레일, 중앙분리대 유무를 측정하였으며, 도로의 단차를 이용하여 임계값 이상으로 변동이 있으면 도로폭으로 인식을 하였다. 본 연구에서는 연석의 높이를 고려하여 20cm 이상의 단차가 있거나 급격한 하향 경사가 있을 때를 도로폭의 경계로 인식하였다.

차량의 뒤쪽 좌우편의 레이저는 하드웨어적인 동기화 장치를 통하여 동기화가 이루어지며 실시간으로 좌

우편 경계까지의 좌표를 구하여 도로폭을 측정하였다. 측정된 도로폭의 정확도를 확인하기 위하여 가평~현리의 국도 37호선 약 6.4km구간에 대하여 실제 도로폭을 구하여 도면과 비교하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4 The Deviations of Surveyed Road Width and Drawing Road Width

Fig. 4에서 레이저를 이용하여 폭을 측정할 때 차량의 노이즈가 발생하며 이것을 제거하기 위하여 좌우편으로 지나가는 차량을 필터링하는 알고리즘이 필요하다. 이를 위하여 좌우편의 탐지시간이 2초 미만이거나 거리가 너무 짧으면 차량으로 인식하였으며, 이러한 차량을 필터링하여 걸러낸 데이터의 개수는 본 구간에서는 약 1,087개였다. 차량의 노이즈를 제거하면 약 83.62%의 데이터를 확인가능하였으며 이것을 이용하면 연석이 존재하는 도로상에서는 RMSE $\pm 0.1m$ 의 정확도로 도로폭을 측정할 수 있었다.

3. MMS를 이용하여 취득된 정보에 대한 도면화 방법

도면화를 위해서는 도로의 평면, 종단, 횡단선형을 구해야 하며 이것은 차량의 GPS-IMU와 동기화장치를 통하여 얻어지는 정밀한 차량의 위치를 이용하여 계산하였다. 종단은 차량의 GPS의 높이를 기준으로 계산하였으며 GPS의 높이는 장거리 측정 시에도 높이의 기준을 일정하게 하기 위하여 타원체 높이를 기준으로 계산하였고 차량의 경위도와 높이, roll, pitch, heading과 같은 차량의 자세정보를 이용하여 평면, 종단, 횡단선형

을 구하였다. CAD의 도면화를 위해서는 CAD의 여러 함수와 기능의 이용이 가능한 Autocad ARX를 활용한 프로그램을 만들었으며 Autocad의 메뉴상에 “도면화”라는 메뉴를 통해서 다음과 같은 기능을 구현하였다.

도면화를 위해서는 먼저 MMS 차량으로부터 불러온 데이터에 대한 가공이 필요하다. 도면화는 도로중심선에 대하여 생성이 필요하지만 차량에서는 도로 편도 데이터만 측정이 가능하며 차량에서 얻어진 양방향 편도 데이터를 이용하여 도로의 중심선을 생성하고, 그 생성된 중심선에 대하여 1m씩의 도로중심점을 추출하였으

Fig. 5 Road Automatic Drawing Function in Autocad

Fig. 6 Road Alignment Calculation and Drawing Process

며 이것을 이용하여 평면선형, 종단선형을 선형알고리즘을 이용하여 자동으로 추정하였다.

직선분석 알고리즘은 직선구간 입력데이터를 순서대로 입력하여 NL개의 직선방정식을 산출하고, 이들 직선방정식의 이웃하는 직선방정식들 간에 교점을 구해 IP를 추출하였다.

직선방정식($Y=aX+b$) 추출하기 위해서는 직선 그룹 데이터의 x , y 좌표 데이터를 이용하여 계산하며 a 와 b 는 다음과 같이 정의된다.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$\bar{x}$, $\bar{y}$ 는 각각 x 좌표와 y 좌표의 평균

두 직선구간 $Y=a_1X+b_1$ 와 $Y=a_2X+b_2$ 의 IP 좌표 (x , y)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{1}{-a_1 + a_2} (b_1 - b_2)$$

$$y = \frac{1}{-a_1 + a_2} (a_2 b_1 - a_1 b_2) \quad (2)$$

원곡선 분석 알고리즘은 원곡선 구간 입력데이터에 최적합하는 원곡선방정식을 산출함으로써 데이터를 일반화하고, 원곡선의 반경 및 중심좌표를 산출하는데 목적이 있다. 원곡선 방정식 $(x - X_m)^2 + (y - Y_m)^2 = R^2$ 을 추출하기 위해서는 원곡선 그룹데이터의 n 개의 x , y 좌표 데이터 중, 세점을 이용하여 $n-2$ 개의 원 방정식을 생성하고 그 결과, $n-2$ 개의 중심좌표(X_m , Y_m)와 곡선 반경(R)을 평균하여 일반식을 산출했다.

완화곡선 분석 알고리즘에서는 이미 산출된 직선방정식과 원곡선방정식을 이용하여 클로소이드 파라미터를 산출하였다. 이웃하는 직선방정식과 원곡선방정식의 이정량을 산출하여 완화곡선의 길이를 구하고, 구해진 완화곡선의 길이를 클로소이드 파라미터 산정식에 대입하여 클로소이드 파라미터를 산출할 수 있다. 완화곡선 분석 알고리즘은 이정량(S)을 계산하여 클로소이드 파라미터(A)를 구하였다. 직선구간과 중심좌표가(X_m , Y_m)이고 곡선반경이 R 로 표현되는 원곡선구간 사이의 클로소이드 파라미터를 구하기 위하

여 다음과 같은 방식으로 클로소이드 파라미터를 구하였다.

먼저 이정량 S_1 은 다음과 같다.

$$S_1 = \sqrt{(x_1 - X_m)^2 + (y_1 - Y_m)^2} - R \quad (3)$$

이때,

$$x_1 = -\frac{a_1}{a_1^2 + 1} (b_1 - \frac{1}{a_1} X_m - Y_m)$$

$$y_1 = \frac{a_1}{a_1^2 + 1} (\frac{b_1}{a_1} + X_m + a_1 Y_m)$$

그 다음으로 이정량 $S_1 > 0.2$ 이면 완화곡선이 존재한다고 판단하고 다음 공식에 의해 클로소이드 파라미터(A)를 구할 수 있다.

$$A = \sqrt{R \cdot L} \quad (4)$$

이때, A : 클로소이드 곡선의 파라미터

L : 클로소이드 곡선의 길이

R : 단곡선의 곡선반경

평면선형 분석을 위해서는 IMU의 Heading값을 사용하였으며 노이즈를 제거한 후에 Heading의 표준편차 0.025를 기준으로 직선/곡선부를 판단하고 곡선부에서는 CAD의 곡률반경 함수기능을 이용하여 곡선반경을 구하였다.

종단경사를 추출하기 위해서는 GPS 데이터의 타원체 높이를 이용하였으며 이동평균 값을 이용하여 필터링하고 종단경사를 산출하고 종단경사의 표준편차 0.1을 이용하여 종단직선/곡선부를 판단하였다. 횡단경사 추출을 위해서는 IMU의 roll 값을 사용하며 이동평균 값을 이용하여 필터링을 하고 편경사를 산출한다. 표준편차 0.06 값을 이용하여 직선과 곡선부를 판단하였으며 주행선형을 판단하고 도면화하는 과정은 Fig. 7과 같다.

레이저센서를 이용하여 도로폭과 중앙분리대, 가드레일, 사면 여부를 파악하며 전방 카메라를 통하여 도로표지판을 후처리를 통하여 인식하여 위치 및 종류를 저장하고 차로폭의 길이를 실시간으로 저장하였다. 이러한 데이터를 바탕으로 도로의 도면화를 50m마다의 종평면도, 20m마다의 횡단도 등을 작성하는 프로그램을 작성하였다.

Fig. 7 Road Automatic Drawing Menu in Autocad

다양한 조사환경을 관리하기 위하여 조사의 헤더 정보를 바탕으로 프로젝트 별로 관리를 하며 자세한 도면화의 세부기능은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Main Function of Drawing

Drawing Item
Horizontal Alignment Estimation
Horizontal Alignment Placement
Vertical Alignment Estimation
Vertical Alignment Placement
Road Cross Section Making
Road Cross Section Placement
Object Modeling
Drawing Making
Report Generation

MMS 차량을 이용하여 저장되는 데이터는 GPS-IMU의 경위도 형태로 저장되며 이것을 직각좌표계의 도면으로 처리하기 위해서는 직각좌표계로 변환해야 한다. 본 연구에서는 Proj라는 오픈 소스 프로그램을 이용한 DLL(Dynamic Link Library)을 이용하여 캐드상에서 바로 GPS의 WGS84좌표계를 GRS80의 TM 신중부좌표계로 좌표변환을 실시했으며 축척계수는 1.0을 사용하였다.

CAD상에서 만든 도면화 기능을 이용하여 평면선형과 종단선형을 추정하는 화면은 Fig. 8과 같다.

Fig. 8 Automatic Estimation of Horizontal and Vertical Alignment

이러한 과정을 통하여 도면화하는 프로그램은 Fig. 9와 같다. 이 창을 통하여 선형정보, 종단정보, 시설물 정보

Fig. 9 Drawing S/W User Interface

보 등의 파일을 지정하며 이 창을 통하여 종평면도, 횡단도 등의 도면화 명령을 실행하며, 도면화과정을 통하여 만들어진 종평면도 및 횡단도는 Fig. 10, Fig. 11과 같다.

Fig. 10 Road Vertical and Horizontal Drawing Result

Fig. 11 Road Cross Section with Drawing Function

취득된 정보를 이용하여 도면화 프로그램으로 도로 도면을 생성한 정확도의 경우 국도 37호선에서 평면곡선반경 오차율 5% 이내, 종단경사의 경우 절대 값 차이 0.2% 이내, 교통안전 표지판의 위치 오차는 1m 이내, 차로폭 정확도 95% 이상, 도로폭 정확도 90% 이상으로 나타났다. 이는 지방부 연석이 존재하는 왕복 4차로 국도의 본선에 대한 정확도이며, 지방도 왕복 2차로 등에 대해서는 정확도가 다르게 나타날 수 있다. 교차로와 진·출입로 여부 등에 대해서는 현재 연구를 진행하고 있어 본 연구에서는 반영하지 않았다.

이러한 도면화를 이용하면 도면이 없는 곳의 도로안전점검을 위한 기초데이터와 안전점검의 기초자료로 활

용이 가능하다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도로교통안전점검을 위한 분석차량인 ARASEO 차량을 이용하여 국도 37호선 가평~현리 구간을 주행하였으며 이 지점에 대한 자동도면화를 연구하였다. 도면화를 위하여 후방의 좌우측 레이저를 통하여 도로폭과 가드레일, 중분대 유무를 실시간으로 측정하였다. 전방의 카메라를 이용하여 도로표지판의 위치와 종류를 자동으로 후처리로 인식하고, GPS-IMU와 DMI를 이용하여 정밀한 1m마다의 위치를 기록하였다. 본 조사를 통하여 실시간으로 얻어진 도로폭과 도면과의 비교결과 차량이 없는 구간의 데이터는 83.62%이었으며 RMSE $\pm 0.1m$ 의 정확도로 도로폭을 측정할 수 있었다.

이러한 자료를 이용하여 도면화하는 S/W를 Autocad상의 ARX프로그램으로 구현하였으며 이는 CAD상에서 메뉴를 통하여 작동을 하며, 이 도면화 프로그램을 통하여 도로의 중심선을 생성하고, 주행한 도로에 대한 50m마다의 도로의 종평면도, 횡단도를 자동으로 작성하였다.

이 시스템을 이용하여 도면이 없는 도로의 안전성 분석 자료로 활용할 수 있으며, 노선설계를 위하여 도면이 없는 도로의 개략적인 측량을 위하여 유용하게 사용될 수 있다.

앞서 언급한 것처럼 본 연구에서는 지방부 왕복 4차로 연석이 존재하는 국도의 본선구간에만 적용한 결과로, 연석이 존재하지 않는 왕복 2차로 도로에 대해서는 도로폭에 대한 정확도는 현재 연구를 진행하고 있어, 본 연구에서는 그 결과를 제외하였다.

또 교통량이 많은 도시부 도로에 대해서는 도로의 경계선 자동인식에 한계가 존재하여 측량 후 실내 수작업으로 도로폭을 인식하는 방법을 추천하고 있으며, 본 장비를 이용하여 도로폭을 자동으로 추출 가능한 정도의 임계교통량 또한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 본선을 중심으로 도면화를 수행하였고, 교차로나 진·출입부에 대한 도면화의 경우 본 연구에 활용한 레이저 스캐너보다 정밀한 형태의 장비가 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 자동도면화 부분에 대해서 또한 향후 연구과제로 제안하고자 한다

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업(13부처-임무,

도로조사장비 및 성과확산 방안에 관한 연구)의 연구비 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- Korea Institute of Construction Technology. 2007, Next Generation Road Safety Surveying Vehicle for Road Traffic Safety Analysis, 15-16.
- Korea Institute of Construction Technology. 2007, Road Safety Analysis Vehicle, 9-10.
- Lee Suam. 2007, Road Surface Extraction Using Vehicle Attached Rotational Laser Scanner. The Korean Society of Remote Sensing, pp. 105-108
- Peter Axelsson(1999), Processing of laser scanner data-algorithms and applications, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol. 54. pp. 138-147
- Proj.4 - Cartographic Projections Library, <http://trac.osgeo.org/proj/>
- Shin MinChol. 2006. Traffic Sign Recognition Using Color Information and Neural Networks, Inha University master's thesis.