철도노선관리에서의 LIDAR 데이터 기반의 3차원 궤적 모델 생성 및 적용

3D Track Models Generation and Applications Based on LiDAR Data for Railway Route Management

연 상호* 이 영대**

Yeon, Sang-Ho Lee, Young-Dae

Abstract

The visual implementation of 3-dimensional national environment is focused by the requirement and importance in the fields such as, national development plan, telecommunication facility deployment plan, railway construction, construction engineering, spatial city development, safety and disaster prevention engineering. The currently used DEM system using contour lines, which embodies national geographic information based on the 2-D digital maps and facility information has limitation in implementation in reproducing the 3-D spatial city. Moreover, this method often neglects the altitude of the rail way infrastructure which has narrow width and long length. There it is needed to apply laser measurement technique in the spatial target object to obtain accuracy. Currently, the LiDAR data which combines the laser measurement skill and GPS has been introduced to obtain high resolution accuracy in the altitude measurement. In this paper, we first investigate the LiDAR based researches in advanced foreign countries, then we propose data a generation scheme and an algorithm for the optimal manage and synthesis of railway facility system in our 3-D spatial terrain information. For this object, LiDAR based height data transformed to DEM, and the realtime unification of the vector via digital image mapping and raster via exactness evaluation is transformed to make it possible to trace the model of generated 3-dimensional railway model with long distance for 3D tract model generation.

국문요약

3차원 국토환경의 디지털기반의 가시화는 국토계획 및 통신설비계획, 철도건설, 건축, 입체적인 도시공간정보시스템 구현, 안전 및 방재 등에서 많은 필요와 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 현재 국가지리정보 사업으로 완성된 2차원적인 지도정보와 시설정보를 3차원의 도시공간으로 재현하기 위하여 기존의 등고선을 이용한 DEM 방식은 많은 한계를 가지고 있으며, 특히, 철도와 같은 노선 폭이 좁고 길이가 길어서 궤적 관리가 어려운 작은 구조물의 경우에는 그 고도모델이 무시되기 쉬우므로, 레이저 측량기술을 이용한 공간대상물에 대한 높은 정확도 취득이 크게 필요한 실정이다. 최근에는 레이저 측량기술과 GPS를 결합한 고밀도 고정도의 높이 값을 얻을 수 있는 LiDAR Data의 획득으로 그러한 한계를 극복하고 있는 추세이다. 비교적 LiDAR 관련 연구가 활발한 해외 선진기술을 연구하고 우리 실정에 적합한 3차원 지형 및 철도시설의 분석이 가능하도록 데이터의 생성기법 및 알고리즘을 개발하여 3차원 공간에서의 최적의 노선관리가 가능하도록 하였다. 이를 위하여 LiDAR Data

를 중심으로 하는 높이 값을 DEM으로 변환하고, 디지털 영상의 매칭 및 정확도 평가 등을 통한 벡터와 래스터의 실시간 통합 및 전환으로 장거리 노선에서의 3차원 철도 모델의 생성을 통한 추적관리가 가능하도록 하였다.

---

*세명대학교 토목공학과, 정회원
E-mail:yshsmu@semyung.ac.kr
Tel:043)649-1333 FAX:043)649-1778
**세명대학교 정보통신학부

1. 연구배경 및 목적

오늘날 항공기 레이져 스캐닝은 지형도 제작을 위하여 가장 앞선 기술로 높이 자료를 자동 수집하기 위한 솔루션으로 떠오르고 있다. 이러한 새로운 첨단기술은 기존의 평면개념의 매핑시스템은 한 단계 상승된 입체적인 디지털 영상으로의 전환이 바로 LIDAR로서 바뀌기 시작한 것이다. 공중에서의 레이져 전파에 의한 고밀도의 수직거리 데이터의 자동수집은 기존에 사용해오던 벡터지도를 손쉽게 래스터 영상으로 전환하여 바로 고밀도의 수직거리, 즉 높이와 매칭을 시킬 수만 있다면 3차원 영상지도의 생성 뿐만 아니라 새롭게 발견하는 지구를 만날 수가 있는 것이다. 대부분 도심의 지하철을 제외하고는 단거리 보다는 장거리 노선을 이루고 있는 철도의 선로는 도심지를 출발하여 목적지에 이르는 동안 수십킬로에서 수천킬로에 이르는 지구를 횡단하면서 궤도 위를 달리고 있다.

최근에는 도시와 도시를 연결하는 확장하려는 복선 철도 노선은 철도 선로설계 및 시공기술의 발달로 인하여 기존의 노선에 이어 확장하기 보다는 대부분 비교적 민원의 마찰이 적은 외곽 및 산악으로의 우회 선로를 선호하고 있어서 선로의 궤적을 추적하고 관리하기 위한 새로운 방법을 필요로 하고 있는 실정이다. 미국이나 캐나다와 같이 동서로 수천 킬로를 횡단하는 열차의 선로를 주기적으로 3차원공간에서 영상으로 보여주고 상태를 확인하여 관리하기 위하여 인공위성과 같은 특별한 원격탐지 정보원을 필요로 하고 있으며, 여기에 선로추적과 상황파악을 위한 GPS/GIS의 결합된 시스템을 활용할 수 있게 되었다.

작년 8월 미국 연방철도청에서 연구결과로 제시한 모바일 궤도측량및 추적시스템은 웹환경에서 선로를 위성영상 또는 항공사진으로 수집하여 기하학적 위치 보정 후에 선로의 노선경로를 중첩시켜 볼 수 있게 하였으며, 여기에 GPS 측량기술을 결합하여 변화하는 속도에 다른 궤도의 선로좌표를 수센티미터이내의 정확도로 측정할 수 있는 방안을 제시하였다.(RR06-17, 2006.10, US Transportation Agency)

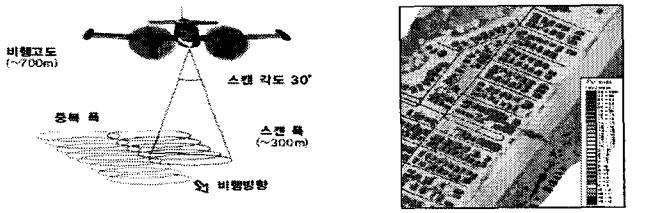
실제 운행하는 철도선로의 경로 추적은 수시로 변화하는 이동 위치를 추적하여 다양한 여러 가지의 철도선로의 지형적 변화를 동시에 파악하여 관리할 수 있는 솔루션이 될 수 있으므로 이미 확보된 지형공간정보와의 적절한 통합에 의한 데이터의 수집과 갱신을 통하여 웹 GIS 환경에서 서비스가 가능할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 철도 선로관리를 위한 모바일 측량 방법을 분석하여 2차원의 선로궤적을 추적하고 이를 3차원 공간에서 구현할 수 있는 방법과 단계적 절차를 추가적으로 제시하여 이동 가능한 3차원 실제 공간에서의 선로를 재현하여 확인할 수 있는 모델을 생성하여 응용할 수 있는 또 다른 방안을 제시하고자 한다.

2. LiDAR 측량의 원리 및 적용

LiDAR (LIght Detection And Ranging)는 Laser, 즉 RADAR(RAdio Detection And Ranging)를 의미하는 것으로서 레이저와 이의 반사파를 받아들이는 Receiver system의 결합체이다. 이것은 ALS (Aerial Laser Scanning)로도 불리는데, 광범위한 RADAR의 Radio wave보다는 좁은 펄스 또는 빛의 빔을 이용하는 점이 RADAR와의 차이점이다. 이 LiDAR 시스템은 항공기로부터 지상에 레이저 펄스를 보내고 반사파의 속도와 강도를 측정함으로서 작동한다. 이것의 항공기에서 물체까지의 거리측량 원리는 식 (1)과 같다.

Distance =(speed of light time of flight)/2--------(1)

즉, 레이저가 광 펄스를 생성하면 물체를 반사하고 돌아온 반사파가 리시브 시스템으로 들어온다. 이때 고속계산기가 출발 펄스와 반사 펄스 사이의 비행시간을 계산하여 거리로 환산한다. 이로부터 DEM은 각 발사파와 동조하는 항공기의 정확한 위치와 방향 그리고 각 레이저 펄스의 비행거리를 보간 함으로써 생성된다. 이때 항공기의 위치는 GPS (Global Positioning System)와 INS (Inertia Navigation System)를 통합하여 사용함으로써 계산된다. 측정된 대표적인 자료들인 Land-form profile과 LiDAR data를 모두 사용할 수 있는데, 측량자료는 X, Y, Z의 3차원 좌표를 가지는 포인터 커버리지로 저장되며 이 후 에 TIN (Triangular Irregular Network)으로 변환하여 최종적으로 DEM을 생성할 수 있다. 그림 1은 (a) LiDAR 측량기술의 개념적 모식도와 (b) 측량결과의 예를 보여주고 있다. (a)와 같이 지표를 스캔하는 원리는 항공사진 측량과 유사하며, (b)의 경우에는 기존의 DEM에서 표현이 불가능한 건물의 지붕들이 DEM으로 표현이 가능함을 알 수 있다.(그림1)



(a) LIDAR 측정기구의 설명 (b) DEM, Wrightsville Beach 1997

그림 1. LiDAR 시스템의 개념도와 측정의 예

LiDAR 측량 자료의 사용을 위한 정확도를 검정하기 위한 수단으로서, GPS, INS에 의해 모든 레이저 자료가 정위치로 보정되어도 대상지역의 측량 주축을 따라 check points를 설정하고 기존의 측량기술로 측정해야 한다. 최종적으로 필터링 과정을 거쳐 다양한 포인터들의 등급이 분리될 수 있다. 예를 들어 식생자료는 Ground layer data에서 분리될 수 있으며, 건물, 전기선 등이 필터링 기법으로 분리될 수 있다. 이로부터 LiDAR 측량의 결과물은 DEM, 수치정사지도, 수로노선지도, 홍수위험지도, 산림정보지도, 식물지도, 도로노선지도 등 다양하다. 그림 3은 (a) 도화원도, (b) 항공사진, (c) 지표물체를 제거한 LiDAR DEM, (d) 지표 건물을 가진 LiDAR DEM의 예를 나타낸다. (그림4) 따라서 모든 레이저 자료는 ASCII (X,Y,Z) 좌표 자료로 저장되며, 이것은 GIS와 CAD 등의 응용 소프트웨어에서 목적에 맞게 사용될 수 있다.

RADAR와 비슷한 개념인 LiDAR는 레이저 빔과 펄스를 사용하여 플랫폼에서 물체까지의 거리를 측정하는 것으로서, 나무꼭대기, 전기선, 탑, 건물, 지표 등 모든 지상의 물체들을 측량할 수 있을 뿐만 아니라 소프트웨어로 분석이 가능하다.

3. 철도선로관리에서의 3차원 궤도 선로 생성 사례

3.1 DEM/3D 영상과의 궤도선로 계획

지형에 대한 수치표고모형(DEM)은 지형도 또는 수치지도, 현장에서의 고저차 측량, 입체사진측량 및 해석 등으로부터 얻어진 등고선을 대상지역에 대한 표고분포를 수치적으로 표현한 것이므로 본 연구대상지역은 제천에서 단양에 이르는 중앙선 복선 경로에 대한 DEM을 생성하여 중앙선과 태백선의 복선 궤도를 영상위에 매칭시켜 표현하였다. (연상호, 2005)

그림2. DEM 영상과 과 복선로 궤도 중첩

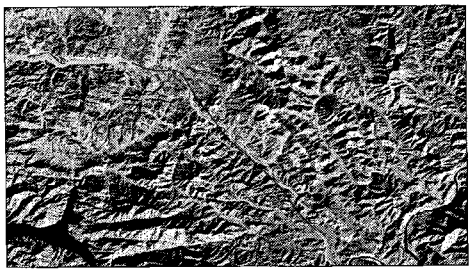


그림3. 위성영상과 복선로 궤도 중첩

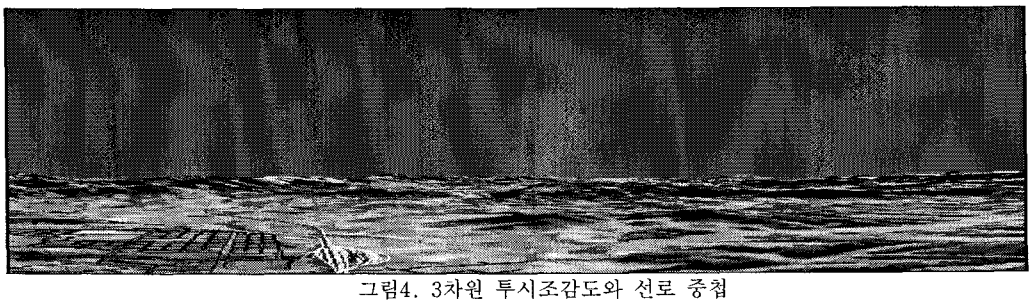


그림4. 3차원 투시조감도와 선로 중첩

3.2 모바일 철도선로 지상지하(GPS/GPR) 관측

미국 서부버지니아에서 현재 운행 중인 철도선로를 GPS와 GPR을 이용하여 웹 환경의 GIS와 호환이 되도록 하여 선로 표면과 지하를 통시에 관측하도록 한 것이다. 즉 GPS에의하여 실시간으로 위치정보를 수록하도록 하고 이동하면서 GPR에 의해 운행 중인 선로궤적의 지하에 대한 정보를 수록하도록 하였다. (그림5-그림8 참조)

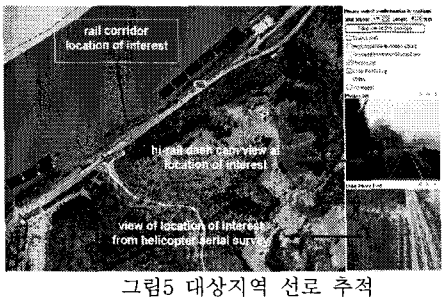


그림5 대상지역 선로 추적

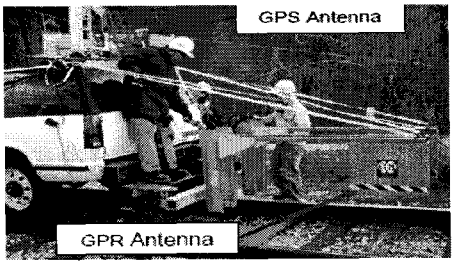


그림6. 선로 조사차위의 GPS/GPR 설치

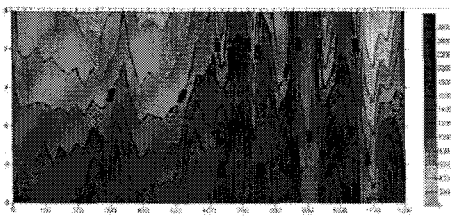


그림7 GPS에 의한 표고분포도

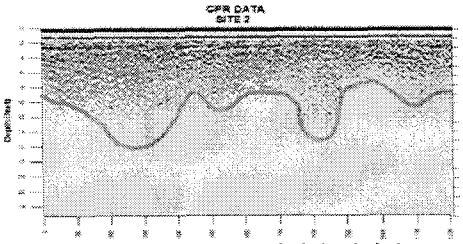


그림8 GPR에 의한 선로 아래의 지질분포도

3.3 LiDAR 관측 영상의 다양한 적용

가장 정도가 높으면서도 손쉽게 이용할 수 있는 LiDAR에 의한 높이 값의 취득은 가장 손쉽게 활용할 수 있으면서도 가장 정도가 높은 수직 위치 값을 얻을 수 있으므로, 그 활용성과 기동성면에서 매우 탁월한 첨단 측량시스템으로 평가되고 있다. 우리나라에서도 이러한 레이져 측량 및 첨단 영상시스템으로 다양하게 활용도가 크게 증가하고 있다. 즉 철도선로 예정지에 대한 사전조사 및 분석을 위하여 LiDAR에 의한 표고데이터를 사전에 수집하여 기 조사된 지형도와 위성영상 등을 조합하여 3차원 영상으로 생성한 후에 철도선로 및 궤적을 매칭하여 최적의 예정선로를 결정할 수 있다. 본 연구에서는 LiDAR 3차원 영상을 분야별로 다양하게 생성하여 활용할 수 있는 실험적인 연구를 한 것이다.(그림9-그림14 참조)

그림9. 레이져 측량에 의한 산림분석 영상도

그림10 LiDAR 측량에 의한 경기장 영상도

그림11 위성영상과 LiDAR의 중첩 영상 조감도

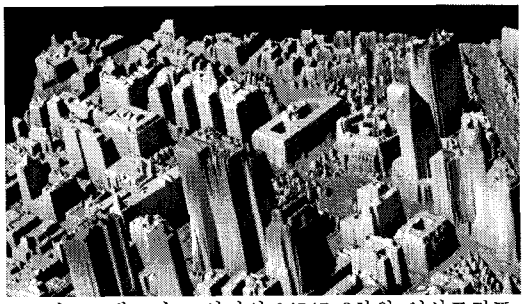


그림12. 대도시 도심지의 LiDAR 3차원 영상조감도

그림13. 개발예정지역의 LiDAR 위사영상

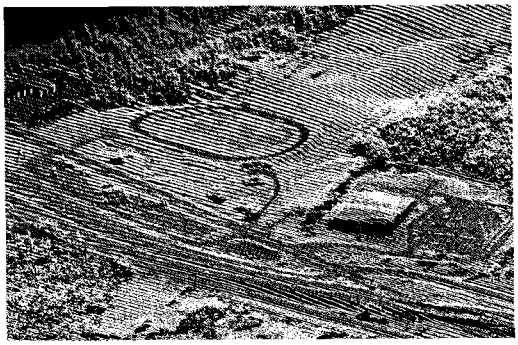


그림14 개발예정지역의 LIDAR DEM 분포도

4. 결 론

철도선로를 3차원공간에서 궤도를 추적하기 위한 고밀도 높이 값을 얻어낼 수 있는 항공기를 이용한 Lidar측량방식은 현재 활발하게 진행하고 있는 디지털 유비쿼터스 국토정보

사업에서도 매우 필요로 하는 첨단기술이다. 특히 산림이나 빌딩이 밀집되어 있는 지역의 상세한 높이 값을 레이져 방식으로 수집하여 실시간으로 영상 변환하여 활용할 수 있게 되어 이동하는 교통수단과의 연계를 통하여 평면이 아닌 입체공간에서의 실제적인 설계와 공사를 과학적으로 진행하며 관리 할 수 있게 되었다. 따라서 현재의 공간정보 구축을 위하여 전 국토와 도시에 대한 DEM 및 DSM 정보 구축을 위한 최적의 솔루션이 될 수 있을 것으로 보인다. 아직은 많은 연구가 각 응용분야에서 진행되지 못하고 있지만 점차로 레이져 측량기가 산업과 재해 방지를 위하여 급속히 확대되고 있어 2차원 평면의 지도 및 영상과의 결합에 의한 3차원영상 콘텐츠로서 많은 정보를 제공 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 연상호, 이영욱(2005), "공간정보를 이용한 복선 철도 노선 선정에서의 3차원 지형분석 및 모델링" 한국콘텐츠학회 논문지 제 5권 제6호, pp. 248-254.
2. 연상호(2004), "국토조사 및 설계에서의 3차원 투시조감도 생성 및 지형 시뮬레이션 연구", 한국지적학회지 제20권 제2호 pp. 61-68.
3. 김형태, 심용운, 박승룡, 김용일(2002), "LIDAR데이터를 이용한 수치정사사진의 제작", 한국측량학회지, 제 20권 제2호, pp. 137-143.
4. 최윤수, 한상득, 위광재(2002), 도화원도를 이용한 LIDAR DEM의 정확도 평가, 한국측량학회지, 제 20권 제2호, pp. 127-136.
6. Albert, C.P.Lo and Yeung, K. W., 2002,Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, Prentice Hall.
7. http://www.optech.on.ca/aboutlaser.htm#hydro
8. http://www.lidar.co.uk
9. 송연경(2005), Direct Georeferencing에 의한 LiDAR 자료와 CCD 영상의 융합과 적용기법, 동아대학교 박사학위 논문
10. F. Rottensteiner and Ch. Briese, Automatic Generation of Building Models from LiDAR data and the Integration of aerial images, ISPRS, Vol. XXXIV, Dresden, 2003