

지상 레이저 매핑시스템 구현을 위한 4S-Van 시스템 설계

김성백*, 이승용*, 김민수**

The design of 4S-Van for implementation of ground-laser mapping system

Seong-Baek Kim*, Seung-Yong Lee*, Min-Soo Kim**

요 약

본 연구에서는 레이저 매핑 시스템 구현을 위한 4S-Van 시스템의 설계에 대해 논하였다. 레이저 센서는 대상물의 3차원값을 기존의 사진측량에 비해 정확하고 빠르게 측정가능한 센서이다. 4S-Van 에 장착된 레이저의 광의 발사위치와 방향을 결정하기 위해 약결합 방식의 (D)GPS/INS 통합 알고리즘을 사용하였다. 레이저 매핑을 실현하기 위한 기초적이고 예비적인 실험으로서 현 시스템에 장착된 센서를 고려하여 (D)GPS/INS 통합 알고리즘의 성능테스트와 장착된 CCD 카메라의 보정을 위해 근거리 사진측량 기법중의 하나인 self-calibration 기법을 통해 외부표정요소와 내부표정요소를 획득하였다. 3대의 레이저 스캐너를 동시에 작동시켜 데이터간의 상호보정을 통해 정밀도 향상을 시도하였다. 향후 레이저 데이터와 CCD 영상을 통해 확보된 질감 정보를 이용하여 컴퓨터 공간상에 지형지물에 대해 3차원 시각화 및 도시모델링 구축에 활용할 계획이다.

Abstract : In this study, the design of 4S-Van system is discussed for the implementation of laser mapping system. Laser device is fast and accurate sensor that acquires 3D road and surface data. The orientation laser sensor is determined by loosely coupled (D)GPS/INS integration. Considering current system architecture, (D)GPS/INS integration is performed for performance analysis of direct georeferencing and self-calibration is performed for interior and exterior orientation and displacement. We utilized 3 laser sensors for compensation and performance improvement. 3D surface data from laser scanner and texture image from CCD camera can be used to implement 3D visualization.

* 한국전자통신연구원 4S 통합기술연구팀 연구원

** 한국전자통신연구원 4S 통합기술연구팀 팀장

1. 서론

다양한 지형지물, 교통정보 및 도로시설물 정보는 신속하고 정확하게 취득되어야 하며 경제적이고 효율적으로 갱신 및 관리가 이루어져야 한다. 4S-Van은 4S 기술을 바탕으로 현장에서 GIS 데이터를 신속하고 정확하게 직접 획득할 수 있는 시스템이며 3차원 시각 정보를 제공하기 위해 모바일 레이저 장비를 부착하여 도심 지역의 공간데이터를 컴퓨터 공간상에 재현하여 도심지역의 모델링, 교통상태 파악 및 건물의 복원작업 등과 같은 분야에 응용될 수 있다(한국 전자통신 연구원 2002). 기존의 사진측량과정에서는 날씨의 영향이나 복잡한 기준점 측량과정 등의 단점이 있으며 정지(static) 레이저 스캐닝 시스템은 기동성이 약한 단점이 있다(한창대 2000). 따라서 4S-Van에 장착된 모바일 레이저(mobile laser)를 이용하여 정확하고 빠르게 대상물의 3차원 형상 정보 측정 가능하다. 4S-Van은 레이저 데이터의 3차원 정보 복원과 정밀도를 향상시키기 위해 3대의 모바일 레이저를 장착하였다. 4S-Van을 통해 구축된 3차원 레이저 데이터를 통해 가상현실, 차량항법, 컴퓨터 게임, 항만, 철도, 도로 및 도심지 모델링과 같은 분야에 응용될 수 있다.

본 연구의 2장에서는 현재 시스템 관련 연구 동향, 3장은 레이저 매핑 구현을 위한 4S-Van 시스템의 구성도, 4장에서는 레이저 스캐너의 외부 표정 요소 제공을 위한 (D)GPS/INS 통합, 레이저 매핑 및 기하보정 알고리즘에 대해 살펴보고 5

장에서는 각 서브 시스템별 실험결과를 제시하겠다. 6장에서 마지막으로 결론 및 레이저 매핑을 위한 향후과제에 대해 논의할 것이다.

2. 관련 연구

2.1 (D)GPS/INS 통합기술

(D)GPS/INS 통합 시스템에 대해서 GPS 운영 초기부터 많은 연구가 수행되었다(Kaplan 1996). 통합 방식에는 여러 가지로 구분할 수 있는데 가장 대표적인 것이 통합이 되는 단계와 자료에 따라서 GPS 의사거리와 의사거리율을 이용하거나 반송파를 이용하여 하나의 통합된 해를 구하는 강결합(tightly coupled method) 방식과 GPS와 INS에서 각각의 해를 구하고 2개의 정보를 통합하여 좀더 좀더 향상된 통합해를 구하는 약결합(loosely coupled method) 방식으로 나눌 수 있다(Brown & Hwang 1997).

약결합은 GPS 항법해 자체를 이용하기 때문에, 모듈화 방식으로 간단하게 구현할 수 있으나, 측정치 잡음으로 모델링되는 GPS 항법해 오차 공분산의 상관성(correlation)을 고려하기 어렵기 때문에 준최적(suboptimal)의 결합해를 얻는다. 반면 강결합 방식은 위성갯수가 부족할 때 가용성 면에서 장점을 가지며, 항체의 동적 특성을 좀더 반영해 줄 수 있다. 그러나 강결합은 약결합에 비해 가시위성의 갯수에 따라 계산량이 증가하는 단점이 있다(Jekele 2001). 결국 (D)GPS/INS 통합 시스

템의 정밀도는 GPS 정밀도에 좌우되므로 더욱 정밀한 (D)GPS를 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 통합 시스템은 고정밀의 속도, 위치 및 자세정보를 제공할 수 있으며 이를 통해 기존에 항법해의 가용성으로 인해 제약이 있었던 분야에 항법 시스템으로서 광범위하게 적용될 수 있다(한광훈 2001).

2.2 국내 연구동향

수치 사진 측량과 GPS를 이용한 실시간 사진 측량시스템 개발에 대한 연구는 1996년부터 2000년까지 석곡 관측 과학기술 연구원에서 수행하였다. 연구의 목적은 CCD 카메라, GPS 및 INS를 탑재하여 도로 및 시설물에 대한 위치정보와 속성 정보를 취득하여 수치지도의 신속한 갱신 과정을 수행할 수 있으며, 도로 시설물에 대한 정보를 용이하게 취득할 수 있는 이동형 측량 시스템이었다. 기존의 수치사진 측량기법과 GPS를 이용하여 대상물의 3차원 정보를 제공하는 사진 측량 시스템의 경우 하드웨어 구성 및 소프트웨어 구성면에서 미흡한 면이 있었지만 우리나라 최초로 제작된 이동식 도면화 체계(mobile mapping system) 라는 점에서 큰 의미를 부여할 수 있다. 4S-Van 연구와 더불어 2000년부터 3년 동안 교통 개발 연구원 및 인하대학교에서 수행하고 있는 도로시설물 DB 작성을 위한 수치사진기록 차량(digital photologging) 시스템이 있다. 수치사진기록 차량은 도로 시설물의 영상 자료로 도로 및 도로 시설물 신설 및 보안을 위한 정보원으로 활용하여 교통시설의

효율적 운영 및 관리와 예산의 효율적 사용을 목적으로 하고 있다.

2.3 해외 연구동향

미국은 이미 1970년대부터 사진기록차량(photologging vehicle)을 이용하여 도로 시설물을 조사하는 연구가 시작하였다. 초기의 목적은 철도, 고속도로 등의 교통에 관한 정보를 수집하고 위치를 결정하기 위하여 개발하였다. 미국 오하이오 대학의 지도 제작 센터(the center of mapping)는 교통과 도시계획에 필요한 GIS 자료가 신속한 갱신과 고품질의 공간자료를 필요로 한다는 것을 인식하고 GPSVan을 개발하였다. GPSVan은 주행속도를 유지하면서 시설물 위치좌표, 이정표 및 도로좌표를 수치지도 상에 매칭시켜 시설물 관리와 유지등의 용도로 사용되고 있다.

캐나다는 Visat Van을 고속도로의 유지보수와 도시계획에 필요한 건물의 측량 등에 사용하고 있다. 이 시스템은 종전의 항공측량이나 위성측량으로 얻어지던 자료 정확도의 한계를 극복하고 토탈스테이션(total station)등을 이용한 지상측량을 대체하기 위하여 개발되었다.

독일은 CDSS(car-driven survey system)을 개발하여 시속 100Km의 고속 주행시에도 위치정보를 얻을 수 있는 시스템을 개발하였다. 호주는 멜버른 대학이 철로의 유지보수 등을 위하여 철도 측량 시스템을 개발하였다. 일본은 CCD 카메라와 레이저 측량 장비를 GPS에 조합하여 도로 포장 등 실제 토목공사에 활용하고 있다(한국전자통신연구원 2001).

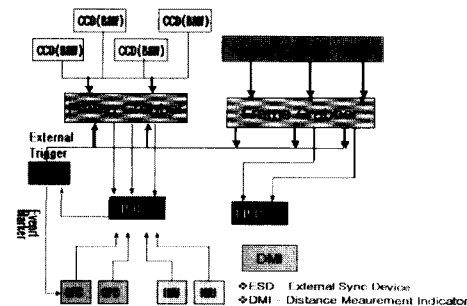
2.4 4S-Van

4S-Van은 일반 차량에 이미지 획득 장치로서 CCD 카메라, Laser Scanner, Video Camera를 장착하고 위치 정보 획득 장치로서는 (D)GPS 수신기, IMU(Inertial Measurement Unit) 및 DMI(Distance Measurement Indicator)를 탑재하여 주행과 동시에 도로와 관련된 각종 시설물 현황이나 기타 속성정보를 실시간으로 자동 취득 및 갱신할 수 있는 이동식 도면화 체계(mobile mapping system)이다. 4S-Van은 GPS 측량 기술, 차량항법 기술, 사진 측량학 기술 등이 복합적으로 연계된 최신의 시스템으로서 미국, 케나다 등의 GPS-Van, Visat -Van등과 유사한 기능 및 모바일 레이저 장치를 장착함으로써 기존의 장비와 차별화를 시도하였다. 4S-Van 활용분야에 따라 분류하면 도로의 안전, 계획, 유지, 관리 및 교통량정보 등 ITS와 관련된 분야에 적용되는 시스템과 지형지물의 정보획득, 지도 제작, 도시계획 및 3D 도시 모델링 등 GIS에 적용되는 시스템이다. 또한 무선통신을 이용하여 실시간으로 정보를 제공할 수 있는 환경을 갖추고 있다(한국전자통신연구원 2002).

3. 4S-Van 구성

4S-Van 시스템은 차량 지붕 위에 레이저 스캐너와 CCD 카메라를 설치할 수 있는 견고한 프레임에 장착해 고정시키며 해당 프레임에 레이저 스캐너, CCD 카메라, IMU를 장착하기 위해 탈 부착식의 마

운트를 제작 설치하였다. CCD, IMU 및 레이저 스캐너를 통한 데이터를 외부동기화장치(ESD)에서 공급된 신호에 따라 저장된다. GPS 신호가 단절되는 경우에는 주행거리계(DMI)와 INS의 통합 정보를 이용할 수 있다.



[그림 1] 4S-Van 하드웨어 통합 구성도

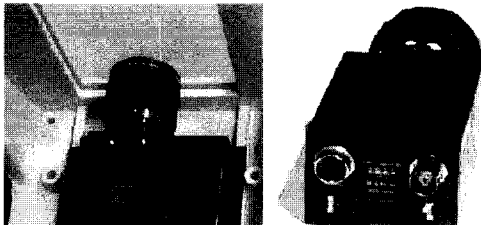
3.1 (D)GPS/INS시스템

관성항법 시스템(INS)과 위성항법 시스템(GPS)은 서로 상호 보완적인 특성을 가지고 있다. 관성 항법 시스템은 수 Hz부터 수백 kHz의 높은 데이터 전송률로 항체의 위치, 속도 및 자세 정보를 제공하며 짧은 시간동안 매우 정밀한 항법해를 제공하지만, 가속도를 적분하여 사용하기 때문에 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 단점을 가진다. 반면에 GPS 위성 항법 시스템은 짧은 시간의 오차는 관성 항법 시스템에 비하여 크지만 오차가 누적되거나 증가가 없이 장기간동안 안정적인 항법해를 제공한다(Farrel & Barth 1999).

상호보완적인 성격을 가지는 GPS 와 INS 통합을 통해 고기동 환경에서의 연속

적인 항체의 위치와 자세정보를 얻을 수 있다. (D)GPS/INS 통합 시스템은 고정밀의 속도, 위치 및 자세 정보를 제공할 수 있으며 이를 통해 기존에 항법해의 가용성으로 인하여 제약이 있던 분야에 항법시스템으로 광범위하게 이용되고 있다. 측량학 분야에서는 이미지센서의 외부표정요소를 기존의 재래식 측량 방법에서 지상기준점과 복잡한 블록 조정을 통해 결정하던 것에 비해 (D)GPS/INS 통합 정보를 사용하면 직접적인 방법으로 정확하게 결정할 수 있다(Skaloud et al. 1996).

3.2 CCD 카메라



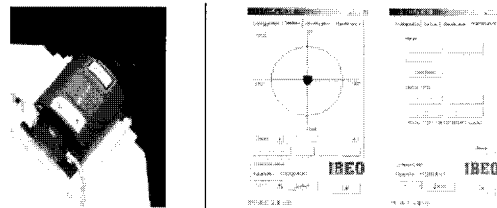
[그림 2] CCD 카메라

CCD(Charge Coupled Device)는 대상물에서 반사된 빛을 감지함으로써 빛의 강도를 전하의 양으로 변환, 전자로 만들어 축적하여 피사체를 빛의 명암과 색으로 잡은 후 전기 신호로 변환하여 저장한다. 그림 2에서는 4S-Van에 장착된 CCD 카메라를 나타낸다. 디지털 CCD 카메라 영상은 차량 내부에 설치된 PC에 영상을 받을 수 있는 Frame Grabber를 설치하여 각각의 영상을 저장하게 되며 INS 와(D)GPS 상호간 동기화를 실현하기 위해서 외부 동기화 장치를 통해서 각각의 센서 동기화가

이루어진다. External Trigger를 통해 CCD 카메라의 셔터를 오픈 하는 동시에 Event Mark를 GPS에 인식시키는 방법을 사용한다.

3.3 레이저 스캐너

레이저 스캐너는 정확하고 빠르게 현장에서 물체의 3차원 자료를 측량할 수 있는 장비이다. 표면이 노출된 부분을 레이저 장비를 이용하여 정밀한 3차원 좌표로 구할 수 있다. 대상물의 3차원 위치를 구하는 과정은 빛의 속도를 알고 레이저가 발사되어 대상물의 표면에 반사되어 오는 시간적인 차이로 거리를 계산한다. 레이저는 내부의 2개의 반사경으로부터 정확한 벡터값을 산출하여 컴퓨터의 3차원 공간상에 물체의 초기 점 좌표들을 생성시키며 이러한 3차원 점좌표를 통해서 스캐너와의 상대적인 거리를 측정할 수 있다(Manandhar & Shibasaki 2001). 그림 3은 4S-Van에 장착된 레이저 스캐너와 처리 S/W를 나타낸다. 4S -Van에 장착된 레이저 스캐너의 허용각도가 최대 300도이며 최대 20Hz까지 회전하여 주변대상물을 효과적으로 주사하여(scanning) 데이터를 확보하게 된다.



[그림 3] 레이저 스캐너와 처리S/W

4. 센서 통합 방법

4S-Van은 여러대의 센서가 장착된 다중 복합 센서 시스템이다. 각 센서 좌표계에 대해 상호간의 변환과정과 센서간 편이를 결정하는 과정이 중요하며 이를 기하보정 (georeference)이라 한다. 이 장에서는 기하 보정과정에서의 (D)GPS/INS 통합 방법과 CCD 카메라의 self-calibration 방법을 통한 외부표정요소와 내부표정요소 산출방법, 레이저 데이터 처리 그리고 기하보정 방법에 대해 논의하였다.

4.1 (D)GPS/INS 통합

(D)GPS/INS 통합 시스템을 구현하기 위해서는 먼저 관성항법 알고리즘을 구현하여야 한다. 관성항법 알고리즘의 자세 계산 알고리즘에서는 수치적으로 안정되고 계산 비용에서도 유리한 쿼터니언 방법을 사용하였다(Farrel & Barth 1999). 위치와 속도계산 알고리즘의 경우는 가속도계가 동체에 직접 부착 되어 있으므로 가속도계에서 측정된 가속도를 항법좌표계로 변환시킨후 이를 적분하여 속도와 위치해를 구하였다(Titterton & Weston 1997). 그러나 저급 IMU의 센서 측정치를 이용하여 관성항법 알고리즘을 구현하면 잘못된 위치해와 자세오차를 계산하게 되어 오차가 매우 크게 나타난다. 따라서 위치 및 자세 오차를 보정하기 위해 (D)GPS 위치 및 속도정보를 이용하여 칼만필터를 구성하였다. 이때 오차 보정은 간접 되먹임 방

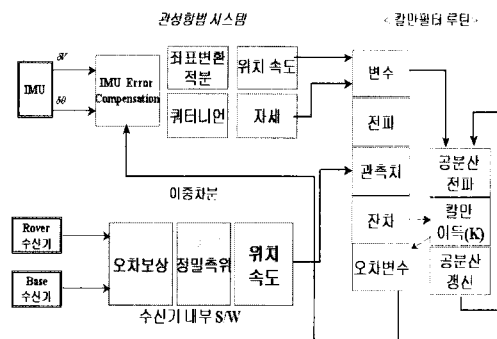
식으로 하였으며 필터구성을 위한 시스템 방정식은 식 (1)에 나타내었다.

$$x\dot{(t)} = Fx + Gw, \quad w \sim N(0, Q) \quad (1)$$

$$Z(t) = Hx + v, \quad v \sim N(0, R) \quad (2)$$

여기서 F는 INS 오차모델을 사용하였다. 항법 방정식으로부터 계산된 속도 및 위치해와 (D)GPS 의 속도해와 위치해를 관측치로 구성하여 관측 방정식을 나타내면 식 (2)와 같다. H는 (D)GPS 와 INS의 속도 및 위치의 단위가 동일하므로 단위 행렬로 구성되었다.

그림 4에서는 약결합 방식으로 구현된 (D)GPS/INS 통합 알고리즘을 나타낸다. 강결합 방식과 달리, 약결합 방식은 수신기에서 제공하는 항법해 자체를 이용하여 INS에서 계산된 항법해와의 차이를 측정치로 이용한다. 칼만필터에서 추정된 오차상태변수를 이용하여 INS 오차를 보상하는 구조를 취하고 있으며 전체적으로 간접 되먹임 칼만필터 구조를 나타내고 있다.



[그림 4] (D)GPS/INS 통합 알고리즘 구성도

4.2 Self-Calibration

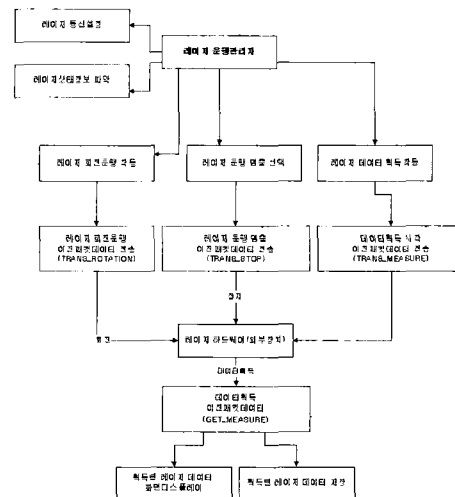
모든 카메라에는 초점거리, 주점의 위치, 렌즈왜곡이 있다. 항공사진 카메라와 같은 정밀한 카메라는 초점거리, 주점의 위치, 렌즈왜곡의 정도를 제공되는 리포트를 통해서 알 수 있지만 일반적으로 보통 카메라는 정확한 초점거리, 주점의 위치나 렌즈왜곡 계수가 제공되지 않으므로 필요하다면 직접 계산해야 한다. 데오들라이트 같은 정밀 측량 장비를 이용하여 각 센서들 사이의 편이를 계산할 수도 있지만 막대한 시간과 노력의 소모가 많이 요구된다. 본 연구에서는 근거리 사진 촬영 기법을 통해 센서간 편차를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 근거리 사진 측량 기법중 기본적인 공선조건식에 카메라 렌즈 왜곡 계수를 추가한 형태로 외부표정요소 뿐만이 아니라 초점거리, 주점의 위치를 미지수로 두어 일반적 최소제곱법으로 해를 구하는 self-calibration 방법을 채택하였다. 이 방법은 초점거리, 주점위치, 렌즈 왜곡 계수뿐만이 아니라 외부표정요소까지 함께 얻을 수 있다는 장점이 있다.

4.3 레이저 데이터 보정과 처리

그림 5는 효율적인 레이저 장비의 운행 및 데이터 저장을 위한 흐름도를 나타내었다.

그림 5에서 레이저 매핑을 효율적으로 수행하기 위한 주요모듈은 레이저 데이터 획득모듈, 레이저 통신 및 상태정보획득 모듈, 레이저 운행 및 데이터 저장모듈로

크게 분류할 수 있다. 레이저 데이터 획득모듈에서는 레이저 한 대에서 독자적으로 데이터 획득 및 제어하는 모듈과 3대의 레이저로부터 동시에 획득 및 제어하는 모듈로 구성된다. 레이저 통신 및 상태정보획득 모듈에서는 레이저 데이터 통신설정을 RS 232방식과 RS 422통신 방식을 모두 지원한다. 레이저 데이터의 상태정보 획득 모듈에서는 레이저센서의 고유 ID, 통신속도 및 래퍼티비트 정보, 레이저의 회전 모터속도와 레이저 데이터 획득 범위 또는 각도 정보를 포함하고 있다. 레이저 운행 및 데이터 저장 모듈에서는 레이저 스캐너의 초기상태정보와 통신설정 단계 후 레이저 회전 작동을 위한 이진화된 패킷 데이터를 생성하여 전송하는 단계를 거친 데이터를 저장 및 출력한다.



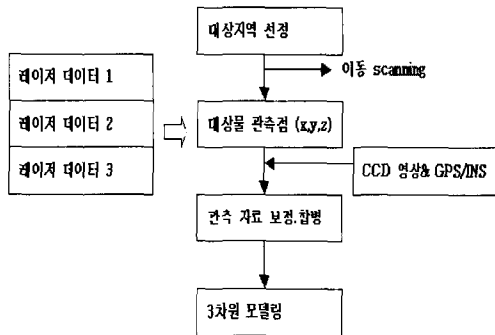
[그림 5] 레이저 운행 및 자료처리 흐름도

식 (3)은 획득된 레이저 데이터 보정 알고리즘(laser data calibration algorithm)으로서 하나의 시스템으로부터 다른 시스템에

대해 좌표변환에 대해 필요한 7 변수로의 변환과정이다. 이 알고리즘은 외부표정요소를 간단하게 얻을 수 있으며 CCD카메라 및 다른 센서들을 통합하여 보정한다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (3)은 $x = s R X + T$ 와 같이 표현할 수 있다. x 는 레이저 좌표시스템의 target 좌표, X 는 측량 좌표시스템의 target, s 는 스케일 팩터, R 는 회전변환행렬, T 는 translation vector 이다. 그림 6에서는 레이저 데이터의 처리과정을 통한 3차원 데이터 모델링 과정을 나타낸다.



[그림 6] 레이저 데이터 처리 통한 3차원 모델링

레이저 데이터의 발진을 통해 대상물의 표면에서 일부의 레이저가 반사되어 돌아온 부분을 감지하여 관측물에 대한 위치 계산과정이 이루어진다. 3대의 레이저 데이터를 이용하여 손실된 부분을 보정하고

(D)GPS/INS정보를 이용하여 지상 좌표계에서의 3차원 정보를 얻을 수 있다. CCD 영상과의 매칭을 통해 3차원 모델링 과정이 수행되어 가상 현실 공간상에 시각화 (visualization) 기능을 제공할 수 있다.

4.4 기하보정 알고리즘

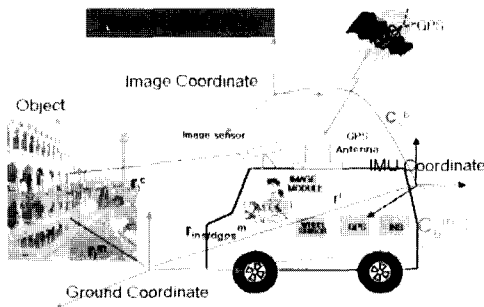
사진측량기법을 통해서 결정된 이미지 센서의 내부표정요소와 외부표정요소를 이용해 대상물의 3차원 위치벡터 좌표를 구할 수 있다. 서로 다른 여러가지 센서를 이용하여 대상물의 위치결정과정은 각 센서별로 오차를 추정하고 각 센서의 고유 좌표계를 변환하여 통합한다.

(D)GPS/INS통합 결과를 통해서 얻어진 위치와 자세의 좌표측과 이미지 센서의 좌표측과 대상물의 3차원 좌표계간 변환과정이 수행되어야 한다. 지상 좌표상로의 변환은 식 (4)와 같다.

$$r_i^m = r_{(D)GPS/INS}^m + C_b^m [s_m C_c^b r_i^c + r^b] \quad (4)$$

이때 $r_{(D)GPS/INS}^m$ 은 GPS/INS 동체 좌표계에서의 값을 나타내고 있으며 s_m 은 좌표변환과정에서의 스케일 팩터(측척 보정 계수)를 의미한다. (D)GPS와 이미지 센서간의 벡터를 r^b 로 표시하여 최종적인 통합된 모형식을 나타내면 다음과 같다. 그림 7에서 지상 좌표계에 대한 기하 보정 과정이다. 이와 같은 기하 보정 작업을 위해서는 실측(real survey) 전에 미리 정확히 설치된 표지(target)에 대해 차량이 정지한 상태에서 영상정보를 획득한다.

획득된 영상정보를 수학적 모델링 과정을 통해서 내부 표정 요소와 촬영당시의 이미지 센서의 외부표정요소를 계산한다. 계산된 외부표정요소와 (D)GPS/INS 정보와의 관계를 식 (4)에서 추출 가능하므로 실제 데이터 획득을 위한 주행시 역으로 (D)GPS/INS 정보를 통해 이미지센서의 외부표정요소를 획득하게 된다.



[그림 7] (D)GPS/INS를 이용한 기하보정 과정

기지점은 타겟으로부터 대략 10m정도 떨어진 거리에 설치되었으며, 기선거리 역시 10m가 되도록 설정하였다. 또한 정밀한 기지점의 위치를 파악하기 위해서 GPS를 static방법으로 1시간 가량 측정 후 이를 (D)GPS처리 기법을 적용하여 위치를 획득하였다. self-calibration을 거친 후 내부표정요소와 외부표정요소가 결정된 후 이미지센서 및 IMU와 GPS 사이의 편이(displacement)를 결정할 수 있다.

5.2 Self-Calibration]

다음의 표는 self-calibration 알고리즘을 적용하여 얻어진 왼편에 위치한 카메라 1 과 오른편에 위치한 카메라 2 에 대한 각각의 외부표정요소와 내부표정요소 결과이다.

5. 실험 결과

5.1 실험방법

다음 실험은 현재 레이저 매핑 시스템 구현을 위해 설계된 각 서브 시스템별 성능평가를 실시하였다. 구현된 알고리즘의 성능을 파악함으로써 오차량을 결정할 수 있다. 두 개의 기지점을 선정하여 그 지점에서 설치된 타겟(target)을 토탈스테이션(total station)을 이용하여 측량하였다. 정밀한 측정을 위해 두 개의 기지점은 모든 방향에서 타겟을 바라본 내각이 60°정도가 되는 지점을 선정하였다. 이를 위해

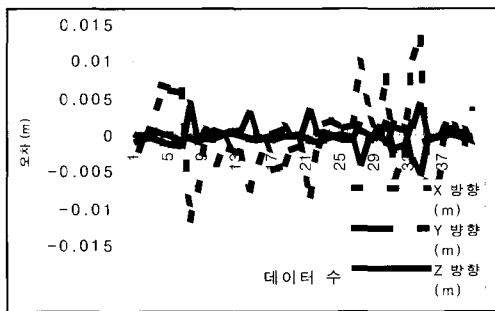
<표 1> 카메라의 외부표정요소

	Camera 1	Camera 2
X(m)	-0.173586	-0.069520
Y(m)	0.601111	0.641841
Z(m)	3.789430	3.743983
Omega(rad)	-0.091477	-0.089896
Phi(rad)	-0.011572	-0.006811
Kappa(rad)	0.026546	0.029151

<표 2> 카메라의 내부표정요소

	Camera 1	Camera 2
F(mm)	10.262043	9.698757
x _p (mm)	-0.265375	-0.168290
y _p (mm)	0.851428	0.988679
k1	0.032454	0.030344

공간 전방 교회법(space intersection)을 이용하여 보정 타겟의 3차원 좌표를 계산하고, 이를 기존에 정밀 측량된 결과와의 편차계산 한다. 그림 8은 이러한 편차 계산 결과를 보여주고 있다. 현행의 self-calibration 알고리즘기법으로 총 41개의 타겟 점에 대해서 약 0.019cm의 정밀도를 보이고 있다.



[그림 8] 타겟의 점들에 대한 오차 결과

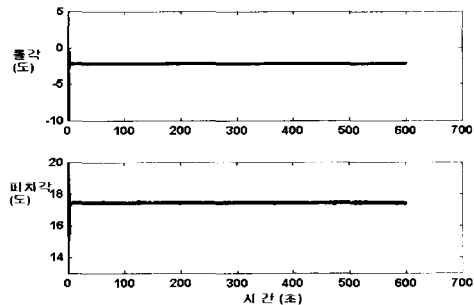
self-calibration에서 얻은 기준이 되는 영상의 외부표정요소와 (D)GPS/INS통합 결과를 이용하여 편이를 계산하고 통합 알고리즘을 통하여 산출된 최종적인 외부표정요소는 표3 과 같다.

<표 3> 최종적 외부표정요소

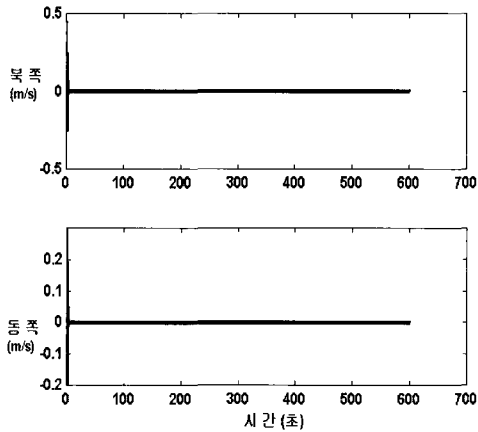
	Camera1	Camera2
X(m)	236492.6	236492.2
Y(m)	326874.0	326874.9
Z(m)	5719009	56.66144
Omega(rad)	0.8953	0.644972
Phi(rad)	0.940886	1.086801
Kappa(rad)	-0.38995	-0.20999

5.3 정지 중 GPS/INS 정렬 결과

정지정렬의 경우에 항법 센서가 장착된 IMU의 자세를 바꾸어 자세오차를 보정하는 경우 시스템의 가관측성이 증가되어 오차를 더욱 자세히 보정할 수 있다는 연구 결과가 알려져 있다. 4S-Van의 경우에는 두 대의 (D)GPS를 이용하여 차량의 방향각을 결정한다. 따라서 영속도 정보를 이용하여 나머지 롤각과 피치각을 구할 수 있다. 다음의 실험 결과는 저급 IMU의 한 종류인 X-Bow IMU 600-CA의 사양을 토대로 생성된 시뮬레이션 결과이다. 정지상태의 중력가속도와 지구 자전 각속도의 영향이 고려된 데이터를 생성하였다. 이때의 초기정렬의 정확성 여부는 항법센서의 속도정보를 통해 알 수 있다. 즉 정지상태이므로 IMU의 시뮬레이션 데이터가 영으로 수렴하는 것으로 자세정렬의 정확도를 알 수 있었다. 그림 9는 정밀 정렬된 자세 결과를 나타내었다. 이때의 롤각은 -0.23° , 피치각은 17.43° 도이다. 이때 IMU가 정지상태이기 때문에 가속도계에서 측정되는 값이 영에 가까워져 이를 적분한 속도값도 그림 10과 같이 영으로 수렴하고 있음을 알 수 있다.



[그림 9] 초기정렬 후 자세

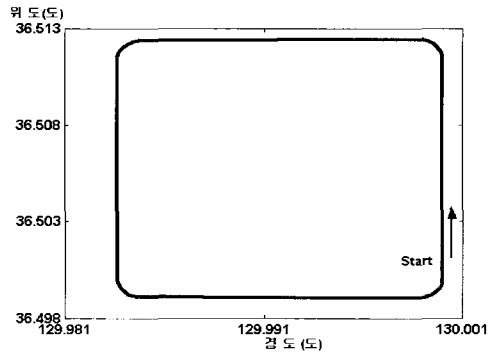


[그림 10] 초기정렬후 속도 결과

5.4 주행 중 정렬 결과

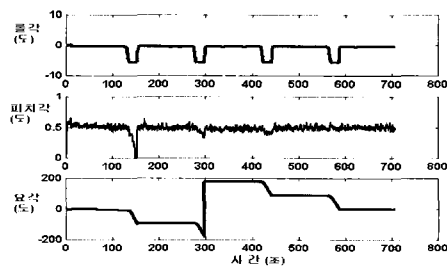
주행 중 INS의 적분 오차로 인하여 항법오차가 증가하게 된다. 저급 IMU의 일종인 X-bow 600CA의 사양을 고려하여 사각의 궤적에 대한 참 데이터에 바이어스와 랜덤노이즈를 고려하여 IMU 원시데이터를 생성한 후 참 데이터를 (D)GPS 정보라 가정할 후 이에 대해서 1Hz의 주기로 통합을 시도하였다. 사각궤적의 루프를 돌면서 이때의 자세 변화에 대한 그림은 아래와 같다. 바이어스와 랜덤 노이즈로 인하여 순수 항법을 수행하면 사각의 궤적루프를 그리지 않고 발산하게 되지만 (D)GPS를 이용하여 이의 오차누적을 억제 및 성능향상을 기대할 수 있다. 이에 통합된 궤적 결과는 그림 11과 같다.

초기에 북쪽으로 정렬된 차량에 대해서 약 700초 간의 직사각형의 주행에 대한

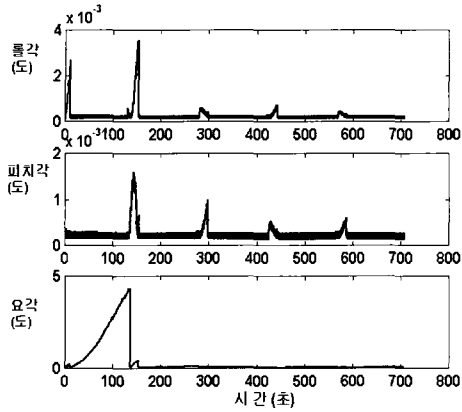


[그림 11] 주행중 직사각형 궤적

결과이다. 그림 12는 주행 중 자세결과에 그림이다. 사각의 방향을 요각에서 확인할 수 있었다. 그림 13는 자세 공분산 행렬 오차에 대한 내용이다. 간접적 되먹임 칼만필터를 통해서 구현되었기 때문에 초기 오차 공분산은 커지지만 시간이 지날 수록 오차가 선형적으로 유지되어 일정값으로 수렴함을 알 수 있다. 코너를 돌때 공분산값이 잠시 증가하였다가 다시 수렴하고 있다. 따라서 자세 제공면에서 좀더 성능이 좋은 자이로를 사용하는 IMU 사양으로의 대체가 고려되어야 한다.



[그림 12] 주행중 정렬 결과



[그림 13] 자세오차 공분산 행렬

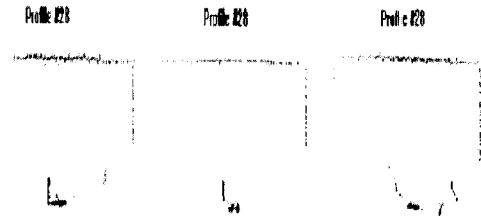
나타남을 알 수 있다. 단수의 레이저 데이터의 경우보다 3대의 레이저를 동시에 가동하였을 경우 그림15와 같은 스캐너 프로파일의 생김다.



[그림 14] 레이저 스캐너 프로파일(1대)

5.5 레이저 스캐너 프로파일

레이저 스캐너는 근적외선대의 파장대를 사용한다. 근적외선대의 파장은 대부분 지상에 도달하여 흡수되지 않고 반사되어 돌아온다. 따라서 4S-Van의 레이저 스캐닝 시스템의 데이터 측정방식은 레이저를 발사하여 반사되어 오는 시간적인 차이로 거리를 계산한다. 레이저 스캐너 내부의 2개의 반사경으로부터 빛이 들어온 각도를 측정하여 대상물과의 정확한 벡터값을 산출하여 컴퓨터의 3차원 공간상에 물체의 초기 x,y,z 점좌표들을 생성시키며 이러한 3차원 점좌표 덩어리(clouds)들은 실제의 공간상에 존재하는 위치정보들을 공간상에 옮겨 놓은 것으로 (D)GPS/INS정보를 통해 레이저 스캐너의 절대적인 좌표를 구할 수 있다. 그림 14는 현 시스템을 통해서 획득된 레이저 스캐닝 파일이다. 레이저 프로파일의 중심 부분에 대해서 물체와의 거리가 점좌표로



[그림 15] 레이저스캐너 프로파일(3대 동시 운영)

그림 15에 레이저 데이터를 하나로 융합(fusion)시켜 대상물의 입체적 3차원 정보를 취득할 수 있다. 이때 레이저 센서의 위치와 자세에 대한 정보는 (D)GPS/INS 정보를 통해 직접적으로 결정될 수 있다. 위와 같은 레이저 데이터를 실제의 지상 좌표계에 대한 값으로 전환하기 위해서는 기하보정 알고리즘을 적용함으로써 지상의 대상물에 대한 3차원좌표를 획득할 수 있으며 이를 모델링하여 컴퓨터 공간상에 그대로 재현할 수 있다.

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 대상물에 대한 3차원 정보 및 CCD 카메라의 질감정보를 이용하여 시각적인 효과를 높일 수 있는 4S-Van 시스템 설계에 대해 논하였다. 본 논문은 4S-Van을 통한 레이저 매핑시스템구현에 대한 예비적이고 기초적인 연구작업의 일환으로서 진행되었다. 현 시스템에 설치된 센서를 고려하여 (D)GPS/INS 통합 실험, self-calibration 실험 및 동시에 세대의 레이저 운행을 통한 데이터 취득을 실시하였다. (D)GPS/INS 통합 실험결과로부터 단독 INS 나 GPS 항법 보다 성능이 향상된 GPS/INS 성능이 검증되었으나 코너에서는 자이로 성능의 한계로 인하여 자세 정확도가 매우 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 측량학적인 관점에서의 이미지 센서의 위치와 자세 정보 제공에는 좀더 성능이 좋은 IMU로의 대체가 고려되어야 한다. 3대의 레이저 데이터를 동시에 작동시킨 실험을 통해 레이저 데이터의 합성 및 보정 가능성에 대해 확인하였다. 향후 본 논문에서 구현한 (D)GPS/INS 약결합 방식을 기반으로 CCD 카메라의 외부표정요소와 레이저 스캐너의 외부표정요소를 제공될 수 있다. 레이저 데이터를 이용하여 물체의 형상정보 취득 후 CCD 영상의 질감정보와 매칭시켜 3차원 정보를 컴퓨터 공간상에 시각화할 수 있을 것이다. 향후 오차보정 및 성능향상과정을 이루어지면 4S-Van이 구축한 3차원 레이저 데이터를 통해 가상현실, 차량항법, 컴퓨터

게임, 항만, 철도, 도로 및 도심지 모델링과 같은 분야에 응용될 수 있다.

참고문헌

- 한광훈, 2001, GPS와 INS 통합에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 한창대, 2000, 사진측량과 Laser scanning system을 이용한 문화재 해석, 연세대학교 석사학위 논문.
- 한국 전자 통신 연구원, 2002, 4S-Van을 위한 Field System 컴포넌트 개발.
- Brown, R. G. and Hwang, P. Y., 1997, Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, 3rd Ed, John Wiley & Sons.
- Farrel, J. and Barth, M., 1999, The Global Positioning System and Inertial Navigation, McGraw-Hill.
- Jekeli, C., 2001, Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications, de Gruyter.
- Kaplan, E. D., 1996, Understanding GPS: Principles and Applications, Arc Tech House Publishers.
- Manandhar, D. and Shibasaki, R., 2001, Vehicle-borne Laser Mapping System(VLMS) for 3-Durban GIS database, 7th CUPUM 2001, University of Hawaii at Manoa, USA.
- Skaloud, J., Cramer, M., and Schwarz, K. P., 1996, Exterior Orientation without Ground Control, IAPRS.
- Titterton, D. H. and Weston, J. L., 1997, Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus.