

3차원 지형지도 작성을 위한 항공사진, LIDAR 데이터, 수치지도의 Co-registration 기법 연구 - Linear feature를 기반으로 Co-registration of Airborne Photo, LIDAR data, and Digital Map for construction of 3D Terrain Map - Using Linear Features

이재빈¹⁾ · 김지영²⁾ · 박승룡³⁾ · 유기윤⁴⁾

Lee, Jaebin · Kim, Jiyoung · Park, Seungryong · Yu, Kiyun

¹⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:dama77@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정(E-mail:soodaq@snu.ac.kr)

³⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:sipak@snu.ac.kr)

⁴⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수(E-mail:kiyun@snu.ac.kr)

Abstract

The demand of 3D terrain mapping techniques is increasing in many application fields such as CNS(Car Navigation System), web service system, DMB(Digital Multimedia Broadcasting) systems and etc. To construct a 3D terrain map, it is a pre-requisite step that register data collected from different surveying sources. This paper present the methodology to register airborne photo, LIDAR data, and digital map, which are major data sources to create a 3D terrain map. For this purpose, we developed the generally applicable algorithm that uses linear features to register airborne photos and digital maps to LIDAR data. The algorithm explicitly formulates step-by-step methodologies to establish observation equations for transformation. The results clearly demonstrate the proposed algorithm is appropriate to register these data sources.

1. 서 론

컴퓨터 그래픽 기술과 레이저 스캐너와 같은 측량 장비가 발달함에 따라 대규모 건설 사업을 앞두고 시설물과 주변 환경을 미리 시뮬레이션 하여 설계의 타당성을 검증하고 문제점을 파악하는 활동 등에 3차원 공간정보 필요성이 증가하고 있다. 또한, 자동차 네비게이션과 핸드폰, DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 수신 장치 등의 수요 증가와 하드웨어, 통신 및 소프트웨어 기술 향상, 인터넷을 통한 웹 지도 서비스 공급 확대 등은 실세계를 보다 현실적으로 단말기 화면을 통해 표현하도록 요구하고 있다. LIDAR 데이터, 고해상도 위성영상, 전국적인 대축척 수치지도의 제작 등과 같은 측량기술의 비약적인 발전 및 데이터베이스화도 이러한 요구에 부합하여 최근 급속히 발달하고 있는 추세이다.

그러나 각각의 독립된 센서로부터 취득된 데이터들을 하나의 공통된 공간 좌표계 상에서 표현하고 활용을 극대화하기 위해서는 이러한 독립된 센서들로부터 취득된 데이터들을 같은 좌표계 상에 표현할 수 있도록 co-registration하는 과정이 필요하게 된다. 본 논문에서는 항공사진, LIDAR(Light Detection And Ranging) 데이터, 수치지도를 이용하여 3차원 공간정보를 구축하기 위한 전처리 과정으로써 위의 데이터들을 co-registration 하기 위한 효과적인 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 linear feature를 기하보정의 기본요소로 이용하여 항공사진, LIDAR 데이터, 수치지도를 정확하고 효과적으로 co-registration을 수행하였다. 또한 연구의 결과를 통계적으로 평가함으로써 연구결과의 효용성을 입증하였다.

2. 알고리즘

서로 다른 센서들로부터 취득된 데이터들을 co-registration하는 목적은 각각의 센서들로부터 취득된 데이터들이 가지는 장점을 극대화하고 보다 높은 정확도를 획득하기 위함이다. 일반적으로 이러한 co-registration을 수행하기 위해서는 다음의 세 가지의 문제해결에 대한 논의가 선행되어야 한다. 첫째, co-registration을 수행하기 위해 어떠한 기하보정 요소를 선택할 것인가? 둘째, co-registration의 대상이 되는 데이터들 간의 기하보정 변환함수를 수학적으로 어떻게 결정할 것인가? 마지막으로, 적절한 변환함수를 이용하여 수행된 기하보정 결과에 대한 평가는 어떤 방법으로 수행할 것인가? (Brown 등, 1992) 본 장에서는 이러한 문제에 대해 본 연구에서 제안한 알고리즘과 관련하여 간략히 살펴보고 본 연구에서 제안한 알고리즘에 대한 소개를 하고자 한다.

2.1 기하보정의 요소

서로 다른 센서로부터 취득된 데이터들의 기하보정을 실시하기 위해서는 기하보정의 기본이 되는 요소들이 선택되어야 한다. 기하보정의 과정에서 선택되어지는 기하보정 요소들은 전체 기하보정 과정에 중대한 영향을 끼치므로 매우 신중히 선택되어야 한다. (Habib and Schenk, 1999) 공간데이터의 기하보정 과정에서 가장 일반적으로 사용되는 기하보정 요소들은 point, line, areal object 들이다. 이러한 기하보정요소들은 인공구조물, 도로, 강, 해안선, 빌딩의 경계 및 중심점 등으로부터 추출되어진다.

전통적인 사진측량 및 원격탐사 분야에서는 point 요소(tie points, control points)들이 기하보정을 위한 기본 요소로서 주로 사용되어져왔다. 하지만, 본 연구에서 목적으로 하는 항공사진과 LIDAR 데이터 간의 기하보정에 있어서는 point 요소들은 기하보정의 요소로서 적용하기에 어려움이 따른다. 왜냐하면, LIDAR 데이터의 경우 footprint 형태로 데이터의 취득이 이루어지기 때문에, 항공사진에서 이러한 footprint로 취득된 데이터와 동일하게 인식되는 point를 결정하는 과정은 많은 어려움이 따른다. 또한 독립된 3개의 평면을 LIDAR 데이터로부터 추출하여 인터섹션을 수행함으로써 point를 결정할 수도 있지만 이는 많은 계산 시간과 자원을 필요로 한다. Areal object를 기하보정의 요소로 사용할 경우, LIDAR 데이터로부터는 비교적 쉽게 인식이 가능하나 항공사진으로부터 areal object를 인식하기에는 또한 많은 어려움이 따른다. (Habib 등 2004) Line 요소의 경우에는 항공사진과 LIDAR 데이터 모두로부터 용이하게 인식 및 추출이 가능하므로 본 연구에서는 liner feature를 본 연구에서 목적으로 하는 항공 사진, LIDAR 데이터, 수치지도의 co-registration을 위한 기본 요소로써 활용하였다. 수치지도의 경우에는 위에서 기술한 point, line, areal object 기하보정요소 모두에 대해 인식 및 추출 과정에서 큰 어려움이 없으므로 본 논의에서 배제하였다.

2.1 항공사진과 LIDAR 데이터의 기하보정

2.1.1 Linear feature의 추출

위의 논의를 바탕으로 항공사진과 LIDAR 데이터의 기하보정을 위해서 각각의 데이터로부터 linear feature들을 추출하였다. 추출되는 linear feature들은 feature 상에 존재하는 두 점을 이용하여 표현하였다. 이러한 표현방식은 사진측량학의 관점에서 볼 때 가장 편리하고 적절한 linear feature의 표현방식이다. (Habib 등, 2002) 다음의 그림 1은 항공사진 입체 쌍으로부터 추출된 linear feature의 예를 보여준다.

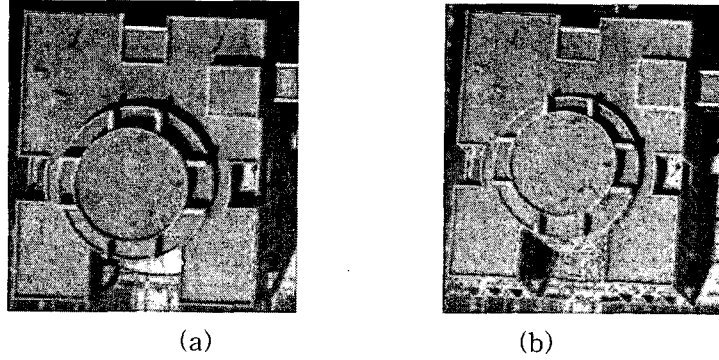


그림 1. 항공사진으로부터 추출된 liner feature (a) 좌측영상 (b)우측영상

좌우 영상으로부터 인식된 linear feature들은 intersection 기법을 이용하여 3차원 지상좌표계로 계산되었다. 다음의 그림 2는 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature의 예를 보여준다. LIDAR 측량 시 얻어지는 3차원 지상좌표 데이터, 반사강도 데이터, TIN(Triangulation Irregular Network) 데이터를 이용하여 본 연구에서 사용될 linear feature들이 추출되었다.

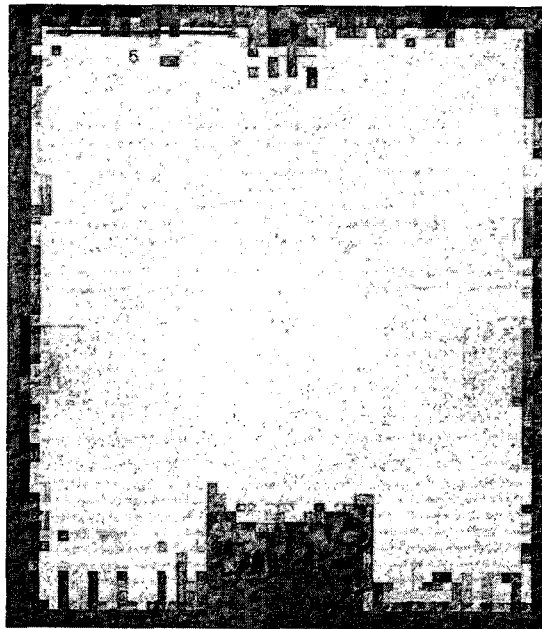


그림 2. LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature

2.1.2 변환 함수를 이용한 관측방정식의 결정

본 연구에서는 항공사진과 LIDAR 데이터의 변환함수로 3D Conformal 변환함수를 이용하였다. 다음의 식(1)은 본 연구에서 사용한 3D Conformal 함수의 형태를 보여준다.

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} + SR(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, S 는 축척계수, $(X_T, Y_T, Z_T)^T$ 는 평행이동 벡터, R 은 회전행렬, (ω, ϕ, κ) 는 회전변환 요소를 의미한다. $(X_a, Y_a, Z_a)^T$ 는 변환의 대상이 되는 좌표계 상의 벡터이며, $(X_A, Y_A, Z_A)^T$ 는 3D Conformal 변환으로부터 결정되는 벡터이다. 위의 함수식과 각각의 데이터로부터 추출된 linear feature들을 이용하여 다음과 같이 관측방정식이 유도되어 질 수 있다. 항공사진과 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature들은 각각의 끝점으로 표현되어진다. 이 feature들의 끝점은 변환함수의 계수를 구하기 위해 일치할 필요

는 없다. 항공사진으로부터 추출된 linear feature가 변환 후 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature와 평행해야 된다는 조건으로부터 3D conformal 변환함수의 회전요소가 구해진다. 이러한 제약조건은 다음의 식(2)로 표현되어 진다.

$$\begin{aligned} \frac{(X_B - X_A)}{(Z_B - Z_A)} &= \frac{R_{11}(X_2 - X_1) + R_{12}(Y_2 - Y_1) + R_{13}(Z_2 - Z_1)}{R_{31}(X_2 - X_1) + R_{32}(Y_2 - Y_1) + R_{33}(Z_2 - Z_1)} \\ \frac{(Y_B - Y_A)}{(Z_B - Z_A)} &= \frac{R_{21}(X_2 - X_1) + R_{22}(Y_2 - Y_1) + R_{23}(Z_2 - Z_1)}{R_{31}(X_2 - X_1) + R_{32}(Y_2 - Y_1) + R_{33}(Z_2 - Z_1)} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, (X_A, Y_A, Z_A) 와 (X_B, Y_B, Z_B) , (X_1, Y_1, Z_1) 와 (X_2, Y_2, Z_2) 는 각각 대응하는 linear feature들의 끝점을 의미한다. 동일한 평면상에 존재하지 않는 최소 2개의 linear feature와 위의 식으로부터 변환함수의 회전행렬 R 이 구해진다.

회전행렬이 구해진 후 축척계수(S)와 평행이동 벡터($(X_T, Y_T, Z_T)^T$)는, 변환 후 linear feature의 두 끝점은 대응되는 linear feature 상에 존재해야 한다는 제약조건으로부터 유도되는 다음의 식(3)과 동일한 평면상에 존재하지 않는 최소 2개의 linear feature를 이용하여 구해진다.

$$\begin{aligned} \frac{(X_T + Sx_1 - X_A)}{(Z_T + Sz_1 - Z_A)} &= \frac{(X_T + Sx_2 - X_A)}{(Z_T + Sz_2 - Z_A)} \\ \frac{(Y_T + Sy_1 - Y_A)}{(Z_T + Sz_1 - Z_A)} &= \frac{(Y_T + Sy_2 - Y_A)}{(Z_T + Sz_2 - Z_A)} \end{aligned} \quad (3)$$

즉, 3D conformal 변환함수를 구성하는 7개의 미지계수를 구하기 위해서는 동일한 평면상에 존재하지 않는 최소 2개의 linear feature가 필요하게 된다. 3개 이상의 linear feature들은 최소제곱법을 적용가능하게 해준다. 다음의 그림 3은 linear feature를 이용하여 3D conformal 변환함수를 구하는 과정을 도식적으로 보여준다.(Jaebin Lee 등 2005, Habib 등 2004)

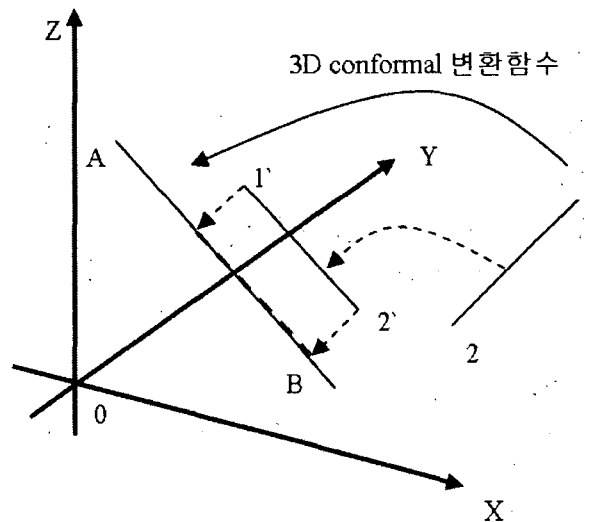


그림 3. 3D conformal 변환함수와 linear feature를 이용한 관측방정식 유도과정

2.2 LIDAR 데이터와 수치지도의 기하보정

2.2.1 Linear feature의 추출

Linear feature를 LIDAR 데이터와 수치지도의 기하보정을 수행하는데 있어서 기본요소로 활용하기 위하여 수치지도 및 LIDAR 데이터로부터 각각 linear feature를 추출하였다. Linear feature의 표현방법

및 LIDAR 데이터로부터의 linear feature 추출 과정은 2.1.1절에 소개되어 있다. 다음의 그림 4는 수치지도로부터 추출된 linear feature의 예를 보여준다.

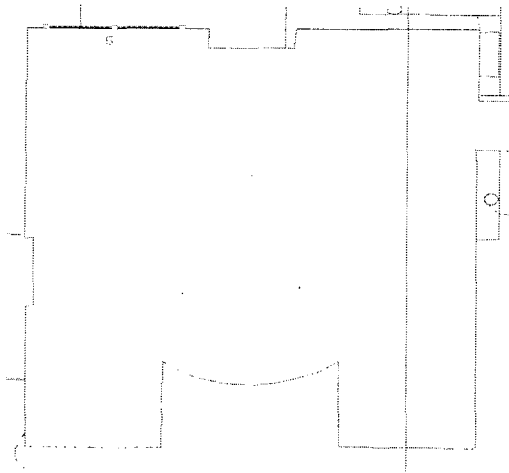


그림 4. 수치지도로부터 추출된 linear feature

2.1.2 변환 함수를 이용한 관측방정식의 결정

수치지도와 LIDAR 데이터의 기하보정은 2차원 공간상에서 이루어지므로 기하보정을 위한 변환함수로 2D Conformal 변환함수가 본 연구에서는 이용되었다. 다음의 식(4)는 본 연구에서 사용한 2D Conformal 함수의 형태를 보여준다.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, S 는 축척계수, $(X_T, Y_T)^T$ 는 평행이동 벡터, θ 는 회전변환 요소를 의미한다. (X, Y) 는 변환의 대상이 되는 좌표계 상의 벡터이며, $(X', Y')^T$ 는 2D Conformal 변환으로부터 결정되는 벡터이다. 위의 함수식과 각각의 데이터로부터 추출된 linear feature들을 이용하여 다음과 같이 관측방정식이 유도되어 질 수 있다. 수치지도와 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature들은 각각의 끝점으로 표현되어진다. 이 feature들의 끝점은 항공사진과 LIDAR 데이터의 경우처럼 변환함수의 계수를 구하기 위해 일치할 필요는 없다. 수치지도로부터 추출된 linear feature가 변환 후 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature 상에 존재해야 한다는 조건으로부터 식 (5)가 유도되면 이 관측방정식을 통하여 2D conformal 변환함수의 계수들이 구해진다. 식(5)는 다음과 같다.

$$\frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)} = \frac{S \cos \theta x_1 - S \sin \theta y_1 + X_T - X_A}{S \sin \theta x_1 + S \cos \theta y_1 + Y_T - Y_A} \quad (5)$$

여기서, (x_1, y_1) 은 수치지도로부터 추출된 linear feature의 한 끝점의 좌표를 나타내며, (X_A, Y_A) 와 (X_B, Y_B) 는 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature의 양 끝점의 좌표를 나타낸다. 하나의 linear feature 쌍으로부터 2개의 관측방정식이 얻어지므로 평행하지 않은 2개의 linear feature 쌍을 이용하여 2D conformal 변환함수의 미지 계수들을 구할 수 있다. 더 많은 개수의 linear feature들은 최소제곱 조정을 가능하게 해준다. 다음의 그림 5는 위의 과정을 도식적으로 보여준다.

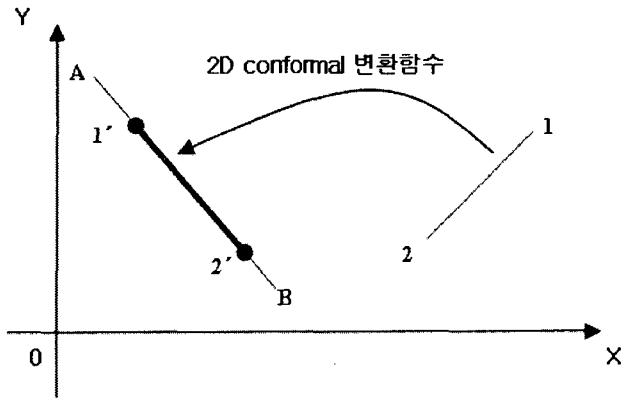


그림 5. 2D conformal 변환함수와 linear feature를 이용한 관측방정식 유도과정

3. 실험결과 및 평가

본 연구에서 제안한 알고리즘의 효용성을 평가하기 위하여 대전지역의 측량데이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 다음 그림 6은 실험대상지역을 보여준다.

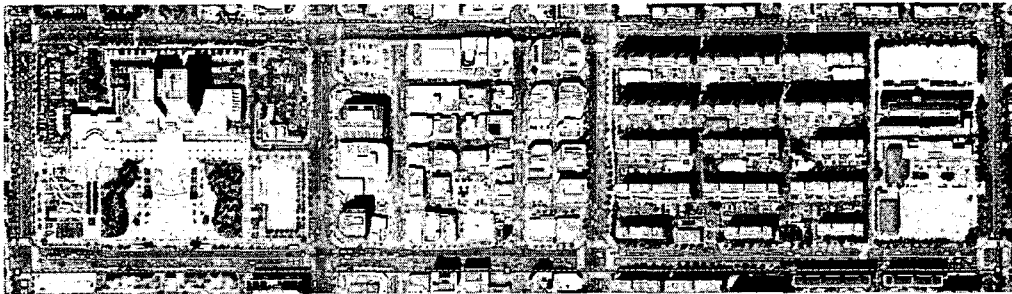


그림 6. 알고리즘의 효용성 평가를 위한 실험대상 지역

대상지역에 대해 항공사진 스테레오와 LIDAR 데이터 1:1000 수치지도를 취득하였다. 항공사진과 LIDAR 데이터로부터 각각 35개의 linear feature 쌍들이 추출되었으며 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용하여 기하보정을 실시하였다. 기하보정의 효과를 평가하기 위하여 항공사진으로부터 추출된 linear feature 중심점으로부터 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature까지의 normal 벡터를 계산하였다. 다음의 표 1은 변환 전후 linear feature 쌍들의 normal 벡터들의 크기를 보여주고 있다.

표 1. 변환 전후 linear feature들 간의 normal 벡터의 크기(항공사진과 LIDAR 데이터)

	Before transformation		After transformation	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
dX(m)	0.986	1.216	0.011	0.251
dY(m)	-3.547	2.960	0.059	0.423
dZ(m)	1.504	2.591	-0.199	2.343

표 1은 본 연구에서 제안한 기하보정 알고리즘을 통하여 항공사진과 LIDAR 데이터의 기하보정이 이루어질 수 있음을 보여주고 있다. 본 연구결과가 통계적으로 유의미한 결과인지 평가하기 위하여 t-test를 적용하여 연구결과에 대한 통계검증을 실시하였다. T-test 결과 X, Y, Z 방향으로 각각 6.822, 9.030, 3.169의 t-value를 얻을 수 있었다. 이는 99% 신뢰도 구간에서 본 연구의 결과가 유의미하다는 것을 의미한다.(99% 신뢰도에서 t-value는 2.364이다)

LIDAR 데이터와 1:1000 수치지도의 기하보정을 위하여 각각 35개의 linear feature 쌍들이 추출되었으며 본 연

구에서 개발된 알고리즘을 적용하여 기하보정을 실시하였다. 본 연구에 사용된 1:1000 수치지도의 경우 Bessel 타원체를 기준 타원체로 하여 TM(Trans Mercator)투영을 적용하여 제작되었으므로, 본 연구에서는 좌표계를 통일하기 위하여 수치지도의 기준타원체를 WGS84 타원체로 변환 후 TM 투영을 적용하는 전처리 작업을 수행하고 기하보정을 실시하였다. 기하보정의 효과를 평가하기 위하여 항공사진과 LIDAR 데이터의 경우와 동일한 방식으로 linear feature들 간의 normal 벡터를 계산하였다. 다음의 표 2은 수치지도와 LIDAR 데이터로부터 추출된 linear feature 쌍들의 normal 벡터들의 크기를 보여주고 있다.

표 2. 변환 전후 linear feature들 간의 normal 벡터의 크기(수치지도와 LIDAR 데이터)

	Before transformation		After transformation	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
dX(m)	0.015	0.556	0.001	0.450
dY(m)	-0.091	0.959	0.003	0.870

실험결과 1:1000 수치지도와 LIDAR 데이터 간의 좌표계에서는 상대 오차 량이 미미하여 보정의 효과도 미미하였다. 이는 1:1000 수치지도의 경우 수치지도의 타원체변환을 통해 좌표계를 통일해주는 작업만으로도 별도의 기하보정의 과정 없이 LIDAR 데이터와 같이 좌표계 상에서 사용이 가능하다는 것을 시사한다. 하지만, 이러한 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 검증 작업이 필요하다고 판단된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 3차원 지형지도 제작을 위한 전처리 단계로서 서로 다른 센서로부터 취득된 항공사진, LIDAR 데이터, 수치지도의 co-registration을 수행하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 또한, 개발된 알고리즘을 실제데이터에 적용하고 통계분석을 실시하였으며 이로부터 본 연구에서 제안한 알고리즘의 효용성을 입증하였다. 현재는 본 연구에서 개발된 알고리즘과 True 정사영상 제작알고리즘의 결합을 통하여 실제 3차원 지형 지도를 제작하는 연구를 수행하고 있다.

참고문헌

- Brown, L. (1992), A survey of image registration techniques, ACM Computing Surveys 24(4), pp. 325-376
- Habib, A. and Schenk, T. (1999) New approach for matching surfaces from laser scanners and optical sensors, The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science, 32(3W14), pp. 55-61
- Habib, A., Mwafag, G. and Edson, M. (2001) Co-registration of photogrammetric and lidar data: methodology and case study, Brazilian Journal of Cartography, vol. 56, no. 1, pp. 113-2004.
- Habib, A., Shin, S. Morgan M. (2002) New approach for calibrating off-the-shelf digital cameras. In ISPRS Commission III Symposium, Graz, Austria, september 9-13
- Lee, J., Yu, K., Kim Y. and Habib, A. (2005) Segmentation and extraction of linear features for adjustment of discrepancies between ALS data strips," IEEE Proceedings IGARSS 2005, Seoul, Korea