

입체항공사진과 항공 LiDAR를 이용한 TIN 기반 정합 TIN based Matching using Stereo Airphoto and Airborne LiDAR

김형태¹⁾ · 한동엽²⁾

Kim, Hyung Tae · Han, Dong Yeob

Abstract

To deduce 3D linear information which express shapes of buildings out of airphoto by fusion of airphoto and LiDAR data, this research went through 2 process. First, research made LiDAR data into projected data of 2D based on airphoto. For this, the virtual points were added to solve the visual problem of building boundary area which has poor information because the attribute in LiDAR data. Research construct irregular triangular nets from modified LiDAR data and judge visual triangular nets out of image. Through this, research can make reference to information of triangular nets in each image pixel. Second, 3D information was extracted from stereo images segments by combining extracted information of visible region and 2D irregular triangular nets. Matching way based on TIN for segments from stereo images was used. Matching condition based on TIN can improve about 20% of edge matching accuracy compared to existing quadrilateral condition of epipolar geometry.

Keywords : TIN, Matching, LiDAR, Airphoto, Visibility, Building Modeling

초 록

본 연구에서는 항공사진과 LiDAR 데이터를 융합하여 항공사진에 나타난 건물의 형상을 표현하는 3차원 선형 정보를 추정하기 위하여 두 가지 과정을 수행하였다. 첫째, LiDAR 데이터를 영상과 같은 2D의 투영된 데이터로 만들었다. 이를 위하여 LiDAR 데이터의 특성상 정보가 부족한 건물경계 지역에서 가시성 문제를 해결하기 위해, 가상점을 추가한다. 수정된 LiDAR 데이터를 불규칙 삼각망으로 구성하고, 영상에서의 가시 삼각형을 판단하여, 영상화소값마다 삼각망 정보를 참조할 수 있게 한다. 둘째, 추출된 가시지역 정보와 2D 불규칙삼각망을 결합하여 입체영상으로부터 3차원 선분을 추출하였다. 입체영상에 존재하는 선분은 TIN기반의 정합방법을 사용하였다. TIN기반의 정합조건은 기존의 공액기하 사변형 조건보다 예지정합쌍 탐색율을 약 20% 향상시킬 수 있었다.

핵심어 : TIN, 정합, LiDAR, Airphoto, 가시성, 건물모델링

1. 서 론

광학영상과 LiDAR 데이터는 상호 보완적인 관계를 지니고 있다고 볼 수 있다. 방법론적인 면과 기술적인 면에서 LiDAR와 영상 데이터의 체계적인 결합이 사진측량학과 효율적인 융합을 구성할 것이며, 고수준의 통합과 상호완성에 대한 현재의 경쟁상태를 해결하여 매우 다채로운 시스템과 확장된 응용가능성으로 이어질 수 있다. 항공기에서 취득된 LiDAR 데이터의 3D 정보와 항공사

진 정보를 융합하려는 시도가 주로 건물 모델링 분야에서 10여년 동안 이루어지고 있으며, 건물 모델링 정확도도 향상되고 있다. 하지만 건물 모델링의 정확도는 아직 개선될 여지가 많다. 그 이유는 기존 융합 접근 방식이 LiDAR 데이터가 가지고 있는 장점, 즉 건물 인식 및 모델링 정보에 초점을 두고, 항공사진은 추정된 모델의 정교화에만 이용하고 있기 때문이다. 결과적으로 건물 모델링은 개체의 경계정보가 명확하지 않은 LiDAR 데이터의 점밀도에 의존하게 되어 정교한 모델링에 어려움을 지닌다.

1) 정회원 · 한국토지공사 국토도시연구원 책임연구원(E-mail:kht@iklc.co.kr)

2) 연결저자 · 정회원 · 전남대학교 공과대학 건설환경학부 전임강사(E-mail:hozilla@chonnam.ac.kr)

이에 본 연구에서는 LiDAR 데이터와 입체항공사진의 융합 수단으로 TIN기반 정합기법을 제안하였으며 추출된 선형개체는 추가로 획득된 정보로 다양하게 활용할 수 있다고 본다. 특히 항공기 센서로부터 취득된 LiDAR 데이터와 항공사진을 이용하여 건물을 모델링하는 과정에서 추가 개체 정보로 기여할 수 있다고 생각한다.

LiDAR 데이터는 점군집(point cloud) 형태의 3차원 실세계 정보를 제공하지만, 개체를 쉽게 인식할 수 있는 선형 정보를 제공하지 못하며, 비록 LiDAR 데이터로부터 선형정보를 추출할지라도 어느 정도 오차를 포함하게 된다. 항공사진에 나타나는 선형정보는 개체의 형상을 잘 표현하고 있지만, 3차원 실세계 표면이 2차원 영상데이터로 축소되어 표현된 상태이다. 3차원 LiDAR 데이터와 2차원 영상 데이터를 연결하기 위해 LiDAR 데이터를 TIN(Triangulated Irregular Network)으로 변환한 후, 항공사진을 취득할 때와 같은 시점인 TIN ID 영상으로 변환시켰다. 변환과정에서 Z-버퍼링을 이용한 가시성 분석을 사용하였다. LiDAR 데이터와 항공사진 외부표정 요소에 오차가 없다면, 변환된 LiDAR TIN ID 영상화소는 항공사진 화소와 같은 위치에 나타나기 때문에 항공사진의 개체를 LiDAR 데이터와 연결시켜 추정할 수 있다. 입체항공사진에 나타나는 에지는 정합쌍을 찾아 3D 선분을 계산하였다. 정합쌍을 찾기 위하여 에지가 교차하는 TIN 정보의 유사성을 정합원자로 사용하였다. 최적 정합쌍은 공유 TIN의 변 ID와 변표조차 등을 이용하는 비용함수를 통하여 결정되었다(그림 1).

2. TIN기반 정합

2.1 가시성 분석

보행·지형·비행 시뮬레이션, 게임, 카드 디자인, GIS 등의 분야에서 요구되는 가시성 판단 문제는 컴퓨터 그래픽스와 연산기하학에서 발전해왔다. 은면(hidden surface)을 제거하는 초기 기법들은 Sutherland et al.(1974)에 잘 나타나 있는데, 두 개의 접근법으로 나눌 수 있다. 첫째, 개체공간(object space) 기법은 각 개체가 개체공간에서 정확하게 처리된다. 둘째, 영상공간(image space) 기법은 디스플레이 장치로 정확도가 한정되고, 장치의 화소값으로 가시정보를 결정한다. 이러한 접근법은 목적과 입력 데이터의 특성에 따라서 다르게 적용될 수 있다.

일반적으로 사용되는 영상공간 가시성 판단 알고리즘

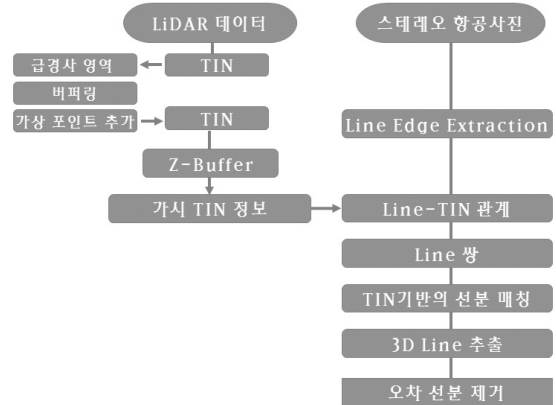


그림 1. 연구흐름도

은 투영면의 각 화소에서 시점까지의 거리를 계산하는 “depth-buffer”이다. 대개 시점과 투영면과의 벡터방향이 Z축에서 이루어지므로 “Z-buffer”라고도 한다. 본 연구에서 사용된 Z-buffer는 복잡한 형태의 물체도 투영면에서 거리로 가시성이 판단되므로 알고리즘 구현이 쉽고, 물체 또는 대상면의 복잡성에 영향을 받지 않는다.

2.2 정합(Matching)

정합이란 동등하거나 유사한 것을 만들거나 찾아내는 것, 대응(correspondence)을 설정하는 것으로 정의할 수 있다. 다양한 분야에서 적용되는 정합기법은 크게 영역기반 정합, 형상기반 정합, 심볼릭(symbolic) 정합 등으로 구별(Schenk, 1996)할 수 있으며, 각각의 방법은 유사도(similarity) 측정과 사용되는 정합원자(primitive)로 비교될 수 있다. 형상기반 정합에서 사용되는 개체는 특징점(interest point)과 에지이다. 일반적인 정합 순서는 개체를 추출하고, 가능한 정합 개체쌍을 선택하며, 변환 인자나 최종 개체 대응쌍을 추정하는 것이다. 개체 추정의 경우, 생성된 3D 선분의 2D와 3D에서의 그룹핑 작업이 이어진다. 최종 3D 위치는 선분이 아니라 원래의 에지화소를 이용할 수도 있다.

정합에 사용되는 제약조건으로 공역 기하(epipolar geometry)가 있다. 두 영상에서 추출된 선분은 대개 전체적으로 다른 형태로 나타나고 두 선분의 공통부분이 부분적으로 존재하므로, 선분 정합은 점 정합에 비해 다소 어렵다. 하지만 한 영상에서 나타난 선분은 공역기하와 건물의 높이조건에 의해 정의되는 다른 영상의 사변형 안에 적어도 부분적으로 대응선분이 존재해야 한다. 그림 2에

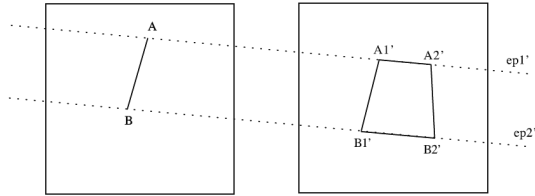


그림 2. 공액기하에 의한 선분의 탐색공간

서 공액기하에 의해 점 A의 대응점은 $ep1'$ 에, 점 B의 대응점은 $ep2'$ 에 존재한다. 개체의 높이범위를 알면, 탐색공간은 최소·최대 높이에 의해 사변형 안에 존재해야 한다. 이 사변형에 일부분이라도 존재하는 모든 선분은 대응선분이 될 수 있다. 매칭할 에지선분은 공액기하선과 어느 정도 큰(수직에 가까운) 교각을 가져야 한다. 그렇지 않으면, 영상 표정정보 오차는 추정된 disparity에서 bias를 크게 할 수 있다. disparity 오차(de)는 다음과 같다.

$$de = \frac{ye}{\tan(\theta)}$$

여기서, θ : 영상에지와 공액기하선 사이각
 ye : y-parallax 오차

입체영상을 이용한 에지정합은 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 접근법에서는 한 영상의 에지와 다른 영상의 에지집합을 직접 비교하고, 유사도함수에 따라 최선의 후보를 선택하는 것이다(Medioni and Nevatia, 1985). 유사도는 방향, 길이, 에지와 관련된 영역 정보 등의 에지 속성을 비교한다. 두 번째 접근법에서는 구조적 정합(structural matching)에 의해 대응 에지를 찾는다(Cho, 1995). 구조적 정합에서는 두 구조기술(structural descriptions)의 변환식을 찾는다. 구조기술은 개체와 개체사이의 기하적·위상학적 정보로 이루어진다. 촬영기하정보와 영상의 화소값 정보를 이용하여 3개 이상의 영상에서 추출된 선분을 정합하는 방법도 있다.

2.3 TIN을 이용한 정합

촬영시점에 따라서 대상지역의 형태가 많이 변하므로, TIN을 이용하여 영상간 정합을 수행하는 연구는 많지 않았다. Gies et al.(2002)는 두 영상의 특징점을 정합하기 위하여 특징점을 영상 공간의 TIN으로 변환하고 두 TIN의 삼각형을 정합하였다. Maas(2000)는 LiDAR 데이터

로부터 형성된 객체 공간의 TIN을 사용하여 스트립 정합을 수행하였다. Zhang Li(2004)는 TIN DSM을 이용하여 영상정합 영역을 한정시켰다. 본 연구에서는 LiDAR 데이터로부터 생성된 TIN을 제약조건으로 하여 두 영상의 에지 정합을 제안하였다. 알고리즘에서 사용된 정합원자와 유사도 측정 기법은 다음과 같다.

2.3.1 정합원자

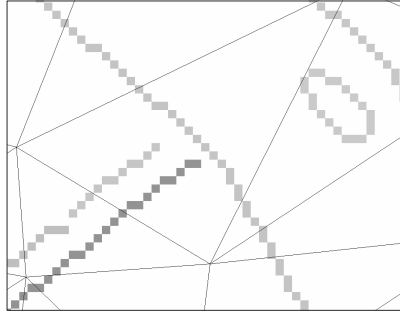
TIN 기반 에지 정합에서 정합원자는 영상에서 추출된 에지 선분이다. 기존 연구의 에지 정합과 유사한 과정을 통하여 에지는 선분으로 변환된다. 예를 들어, Canny 연산자를 사용하여 에지를 추출하고, 추출된 에지는 연결성분 레이블링으로 개체를 구분하며, 마지막으로 직선 성분을 잘라서 선분(segment)을 생성한다.

2.3.2 제약조건

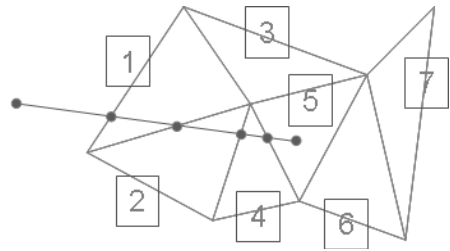
기존 영상 정합의 주요한 제약조건은 공액기하이고, DSM 등이 보조정보로 사용되었다. TIN기반 정합에서는 LiDAR 데이터에 의한 2D 공유 TIN 정보가 제약조건으로 사용될 수 있다. 항공사진에 투영된 2D TIN은 벡터 형태의 TIN과 래스터 형태의 TIN으로 구별할 수 있으며, 영상과 같은 가시상태를 얻기 위해서 가시 TIN만으로 2D TIN을 구성한다.

가시성 판단은 벡터기반의 방법과 래스터 기반의 방법이 있다. 벡터 기반의 가시성 판단은 정확도가 높은 반면에 구현이 어렵고, TIN의 개수와 TIN의 복잡도에 따라 연산시간이 크게 증가한다. 반면에 래스터 기반의 가시성 판단은 영상과 같은 정확도를 가지며, 알고리즘에 따라 TIN의 개수나 TIN의 복잡성에 영향을 크게 받지 않는다. 따라서, 건물 모델이나 수치지도와 같이 간략화된 정보로 TIN이 구성된 경우 벡터기반의 가시성 판단이 효율적일 수 있고, LiDAR 데이터로부터 생성된 TIN과 같이 TIN의 개수가 엄청나게 커지는 경우 래스터기반의 가시성 판단이 효율적이다.

영상에 투영된 2D TIN과 영상에서 추출된 선분은 포함되거나 교차한다(그림 3 (a)). LiDAR 데이터의 점밀도는 지상개체에 따라 다르지만, 수직면을 제외하고 대부분 균일하며, 지상개체의 크기는 LiDAR TIN보다 크기 때문에 선분은 하나 이상의 TIN과 교차한다. 따라서 영상의 선분과 교차하는 TIN ID와 교차위치의 유사성이 정합의 제약조건으로 기능할 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 선분과 TIN의 교차 (a) 영상 에지와 2D TIN (b) 선분과 교차하는 2D TIN ID와 위치

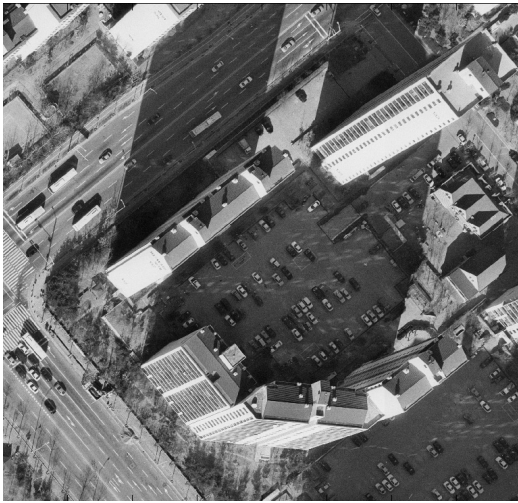


그림 4. 실험지역 항공사진

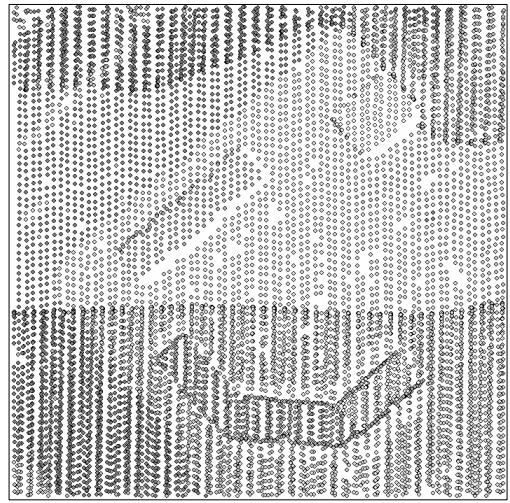


그림 5. 실험지역 LiDAR 데이터

2.3.3 유사도 측정

영상에 투영된 2D TIN과 선분이 교차하면서 생성되는 정보는 TIN ID와 교차되는 위치이다. 교차위치는 삼각형의 세 변과 변위의 위치로 표현된다. 영상에 나타나는 선분은 영상마다 다르게 나타날 수 있으며, 한 영상에서만 나타날 수도 있다. 따라서 정합 선분은 공통의 TIN ID를 갖고, 유사한 위치를 갖으며, 서로 다른 TIN ID를 가질 수 있다(그림 3 (b)).

3. 실험 및 결과

3.1 실험 데이터

본 연구의 실험적용을 위하여 분당지역에서 획득된 LiDAR 데이터와 입체 항공사진을 이용하였다(그림 4와 그림 5). 대상지역은 아파트로 이루어진 대형건물 지역이

다. 사용된 LiDAR 데이터는 이병길(2001)이 제안한 알고리즘을 사용하여 스트립조정 되었다. 조정 결과 수평위치 RMSE는 0.27m이며, 수직위치 RMSE는 0.16m였다. LiDAR 데이터의 평균 점밀도는 각각 0.40점/m²이다. 1:5,000 축척의 좌우 항공사진은 GPS 측량기준점을 이용하여 외부표정정보를 획득하였지만, LiDAR 데이터와 상호보정(co-registration)되지 않는 것으로 취득시기도 서로 다르다.

3.2 2D 선분 추출

선분 추출은 Canny 에지 추출, 8방향 연결성분 레이블링(에지 tracing), 에지 fitting의 순서로 처리되었다. 연결된 성분의 화소수가 10이하인 경우 에지 인식과정에서 제외하였다. 선분 추출은 에지를 복선으로 분할하여 선분으로 추정하는 방법을 사용하였다. 선분으로 분할하기 위한

임계값은 선분으로부터 선분상의 점까지 선분의 길이로 나누어 정규화된 최대거리(maximum deviation distance)이다(그림 6). 초기에 추정된 선분을 결합(merging)하기 위해 선분간 최소거리, 선분간 사이각도 인자로 사용되었다. 선분은 가능한 길게 추출되는 것이 정합에 유리하지만, 실제 분리된 부분이 하나의 선분으로 통합되는 문제가 생길 수도 있다. 실험에서 시간적으로 판단하여 설정한 결과, 최대오차 거리는 1.5화소, 선분간 사이각은 0.05rad, 선분간 최소거리는 2화소이다.

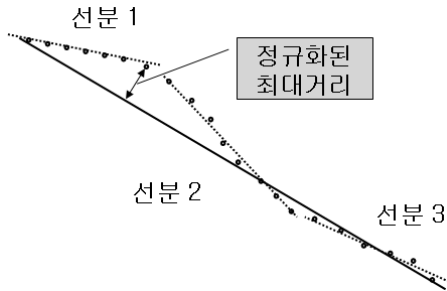


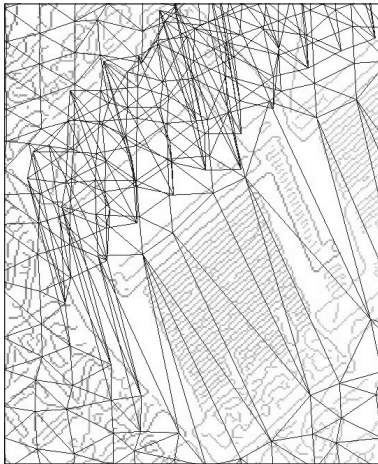
그림 6. 연결성분의 선분 분할

3.3 가시 2D TIN 생성

항공사진의 카메라 촬영중심점을 임의 투시점으로 가정하면 항공사진에 나타난 부분은 가시 부분이라고 할 수 있다. LiDAR 데이터를 지형데이터로 가정하고, 항공사진의 촬영위치를 시점으로 지정하면 같은 방식으로 가시 LiDAR 데이터 부분을 벡터 또는 래스터 형식 모두 찾을 수 있다(그림 7과 그림 8). 래스터 방식의 Z-버퍼 알고리즘은 영상과 같은 크기의 Depth Map과 TIN ID 영상을 생성할 수 있으며, 영상의 각 화소는 시점과의 거리값과 가시 TIN ID 정보를 참조할 수 있다. 그림 8 (a)는 아파트 옥상부분의 항공사진이고, (b)는 동일 지역의 LiDAR 데이터를 항공사진에 투영한 후 투영된 TIN을 영상공간에서 임의의 색으로 표현한 것이며, (c)는 촬영시점으로부터 대상면까지의 depth map을 나타낸 것이다.

3.4 가상 포인트 생성

원래의 LiDAR 데이터는 건물과 같은 급경사를 형성하는 부분에서 폐색이나 수직면과 센서의 기하적 관계에 의하여 점밀도가 낮고 경계도 제대로 표현되지 않는다. 이

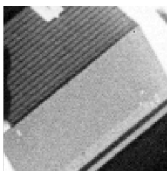


(a)



(b)

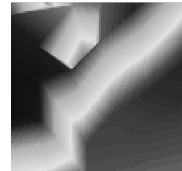
그림 7. 투영된 2D TIN (a) 예지와 2D TIN (b) 벡터기반의 가시성 판단



(a)



(b)



(c)

그림 8. Z-버퍼를 이용한 가시성 판단 (a) 부분 영상 (b) 부분 TIN ID (c) 부분 Depth Map

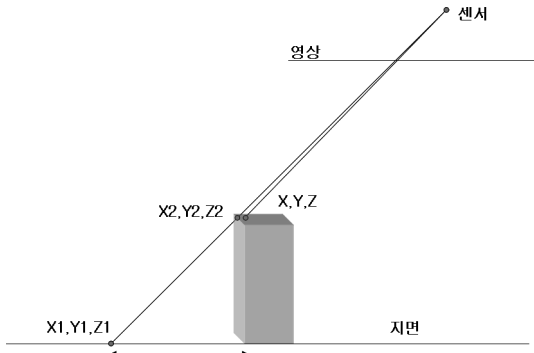
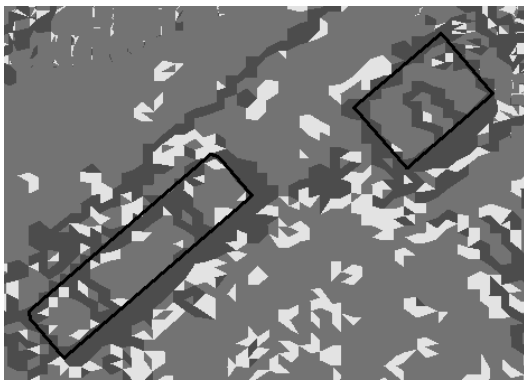
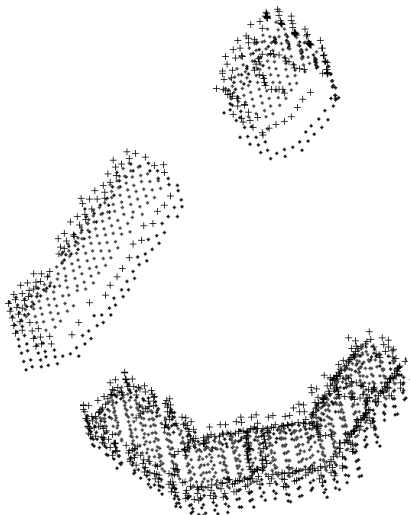


그림 9. 부정확한 LiDAR 점 위치로 인한 추정위치 오류

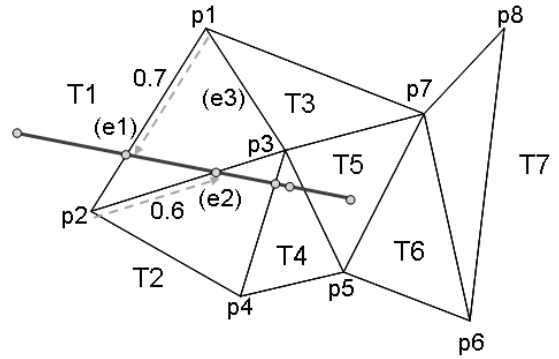


(a)



(b)

그림 10. 가상 포인트 생성 (a) 급경사 지역과 영상에서 추출된 건물경계 (b) 추가된 가상포인트; 파란색은 지면, 빨강색은 건물, 검은색은 추가된 점



P_k : 점 ID, ($k=1, \dots, m$)
 T_i : TIN ID, ($i=1, \dots, n$)
 e_j : 변 ID, ($j=1, 2, 3$)
 ec : 변 좌표, $0 \leq ec \leq 1$

그림 11. 2D TIN과 에지 선분의 교점

러한 단점은 2D TIN으로 영상에 투영되었을 때, 영상 중심으로부터의 거리와 점의 높이에 따라 과대오차를 야기한다. 그림 9에서 건물의 실제 경계점은 $(X2, Y2, Z2)$ 이고, 영상에도 이 점이 투영되어 나타난다. 하지만 $(X2, Y2, Z2)$ 와 가장 가까운 LiDAR 점은 (X, Y, Z) 이고 영상에 나타난 경계점과 다른 곳에 표현되어, 영상에서 추출된 경계 에지를 LiDAR 데이터로부터 추정하면 점 (X, Y, Z) 가 아니고, 점 $(X1, Y1, Z1)$ 을 찾게 된다. 따라서, 가시와 비가시 경계선(지평선)은 대부분 잘못된 2D TIN ID를 참조한다. 따라서 본 연구에서는 중요한 정보인 경계에지를 추정하는 데 있어, 큰 오류를 발생시키므로 급경사 부분(벽면) 주위에 가상 포인트를 생성하여 오차를 줄이려고 하였다. 이를 위하여 TIN의 경사 60° 이상은 급경사로 판단하였다. 급경사의 삼각형들을 그룹핑하여 벽면이 아닌 그룹은 제거하였다. 남은 그룹의 점을 대상으로 Otsu's 임계값 설정기법을 적용하여 지면과 지붕을 분할하였다. 마지막으로 지면점에 대하여, 높이(Z)를 경계의 높이값으로 대체하였다(그림 10).

3.5 2D TIN과 에지선분의 교점

2D TIN ID 정보를 담고 있는 래스터 영상과 에지선분은 동일 좌표계이므로 선분이 교차하는 TIN ID를 쉽게 구할 수 있다(그림 11). 개체공간의 직선은 영상공간에서 화소값으로 래스터화하며, 많이 사용되는 직선 변환 알고리즘으로 DDA(digital differential analyzer)와 Bresenham's 직선 알고리즘이 있다. 직선으로 가정했기 때문에, 모든

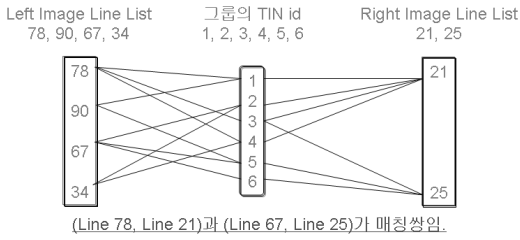


그림 12. 공유 TIN을 포함하는 그룹

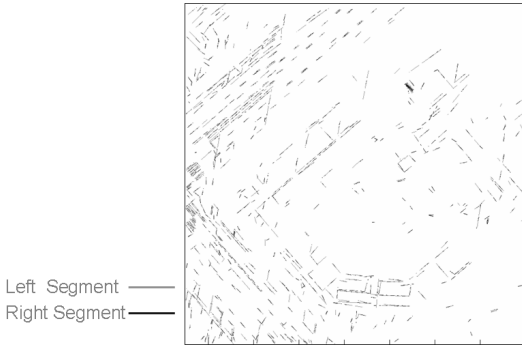


그림 13. 입체영상 에지정합으로 추출된 3D 선분

교차화소에서 TIN ID를 확인할 필요는 없다. 입체영상 선분의 경우 정합을 위해 TIN ID뿐만 아니라, 교차하는 변과 교차 지점까지도 필요하다. 따라서 에지 선분과 교차 TIN의 세 변과의 교점정보가 에지 선분별로 저장되어야 한다. 변 위에서 교차위치를 나타내기 위해 매개변수 선분식이 사용된다.

3.6 입체영상 선분 정합

입체영상에 공통으로 나타나는 선분은 정합쌍을 찾아 3차원 위치를 결정할 수 있다. 각 선분은 그 선분과 교차하는 삼각형의 ID, 교차하는 변, 변에서의 위치정보를 포함하고 있다. 이 정보를 이용하여 TIN 기반의 정합이 이루어진다.

3.6.1 선분 정합 그룹

입체영상에서 나타나는 선분은 TIN ID의 공유여부만 판단하면, 일대일 대응, 일대다(혹은 다대일) 대응, 다대다 대응으로 구분할 수 있다. 이러한 대응관계를 파악하여 공유 TIN이 연결되는 선분들을 그룹으로 구분할 수 있다(그림 12). 왼쪽영상의 선분번호 78, 90, 67, 34는 오른쪽영상의 선분번호 21, 25와 그룹을 맺고 있으며, 매개 TIN ID는 1, 2, 3, 4, 5, 6이다. 생성된 각 그룹내에서 선

분들의 정합관계만을 고려하므로 계산 효율성을 높일 수 있다.

3.6.2 유사도 측정

선분의 정합여부를 판단하기 위한 유사도 함수는 TIN 정보를 결합하여 생성한다. 선분 정합 그룹에서 일대일 대응이고, 공유 TIN 수가 3이상이면 정합쌍으로 판단하였다. 일대다 대응이나 다대다 대응인 경우 공유점 수(c1)와 교차변에서의 위치차(c2)를 곱하여 유사도 함수로 사용하였다.

$$f(c1, c2) = c1 \times c2 = c1 \times \frac{c1}{(dd)}$$

여기서, $d : (ei_1 - ej_1, \dots, ei_n - ej_n)$

$ei : \text{교차변에서의 위치}, 0 \leq ei \leq 1$

추정된 두 직선의 교차 부분이 공유 TIN 개수와 비례한다는 가정하에 후처리 검증을 수행하였다. 이 때 2D TIN 투영과정에서 모든 삼각형의 크기가 일정하지 않기 때문에 공통길이비와 공유 TIN 수의 비는 같지 않다. 이를 고려하여 0.7의 여유도를 두었다.

추정직선의 교차부분비율 > 두 선분의 공유 TIN 비율*0.7

3.7 정합 결과

TIN 기반의 정합 선분을 이용하여 3D 선분을 추정하였다. 좌우 영상의 건물 경계에서 모두 동일 에지가 존재하는 것은 아니기 때문에, 선분 정합으로 경계선을 완전하게 구성하기는 어렵다. 정합 비용이 임계값보다 낮은 정합쌍에서도 정합쌍이 존재하기 때문에 누락된 정합쌍이 존재하며, 추출된 3D 선분도 기선과 평행한 경우 3D 선분교차에서 오차가 존재하였다.

3.8 정확도 평가

3.8.1 기준 정합쌍 취득

추출된 3D 에지의 정확도를 검증하기 위하여 검사 에지 정합쌍을 항공사진에서 수동으로 추출하였다(그림 14). 에지는 건물의 윤곽을 표현하는 에지와 도로의 노면표지 252개 쌍으로 이루어져 있다. 폐색이나 음영변화의 부족으로 인하여 건물의 수직면 에지는 2쌍만 취득되었다. 도로의 노면표지는 가까운 거리에서 동일한 형태의

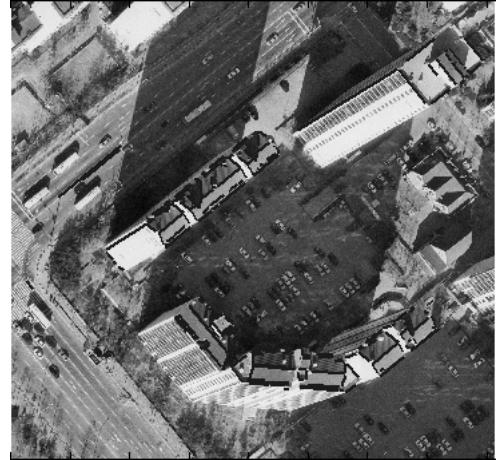
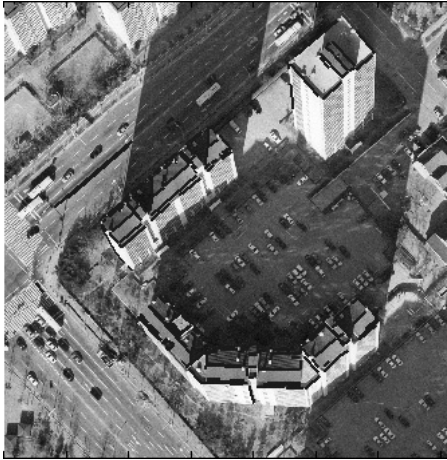


그림 14. 좌우영상에 투영된 에지 정합쌍

표 1. 검사 에지의 속성

에지쌍 #	개체	TIN교차점수		높이변화		개체 윤곽성	수평 수직	지평선		매칭 難易	기선사이각	
		좌	우	좌	우			좌	우		좌	우
1	건물1	7	13	10.6	0.3	1	0	0	1	難	-32	65
2		6	4	0.6	0.2	1	1	0	0	難	39	49
3		8	7	0.8	0.6	1	1	0	0	難	61	52
4		11	11	2.0	1.9	0	1	0	0	難	-38	-38
5		11	4	2.0	0.4	0	1	0	0	難		-52
...												
252	노면표지	7	7	0.07	0.07	0	1	0	0	難	51	51

※ TIN 교차점수 : 에지의 3차원 점위치 추정에 사용된 점수
 높이변화 : 에지의 추정된 높이값의 표준편차(단위 : m)
 개체윤곽성 : 건물의 윤곽선 여부로, 지붕 내부선은 제외
 수평수직 : 수평수직에지의 여부, 경사에지는 수평에지로 판단함
 난이 : 에지 주위에 다른 에지의 밀집 정도에 따라 매칭쌍 선택의 난이도
 기선사이각 : 공액영상좌표에서 에지의 경사각(단위 : 도)

평행에지에 대한 정합 정도를 알아보기 위하여 취득되었다. 아파트 옆면에서도 유사한 평행에지가 존재하지만 이 경우 수동으로 정합쌍을 구분하기 어렵기 때문에 검사 에지로 취득할 수 없었다.

추출된 에지의 특성에 따라 3D 에지의 정확도가 영향을 받는지 알아보기 위하여 에지의 속성을 표 1과 같이 구분하였다. 검사 에지중에 2D 삼각형내에 포함되는 에지는 2D TIN과 교차하는 변이 없으며, 이 에지는 TIN 기반 매칭쌍을 찾을 수 없다. 검사 에지로 추출된 252개 중에 27개의 에지가 이에 포함되었다.

3.8.2 입체영상 에지 정확도 평가

TIN기반 정합방법에서 탐색 공간 내에 정합쌍의 존재 여부로 정확도를 평가하였으며, 비교 평가를 위하여 기존의 공액기하 정합쌍 탐색방법도 동일하게 적용하였다. 건물의 경계 부분에서 LiDAR 데이터의 오차가 존재하므로 3D 에지 추출에서 LiDAR 데이터에 가상점을 추가하여 실험하였다. 공액기하 탐색은 좌영상 에지를 우영상에서 탐색하는 경우, 우영상 에지를 좌영상에서 탐색하는 경우, 동시에 탐색되는 경우로 구분하여 나타냈으며, 공유 TIN 탐색은 방향에 따라 달라지지 않기 때문에 구분하지 않았다(표 2). 공액기하 조건은 사변형을 형성하며, 높이

표 2. 탐색공간안에 포함된 에지쌍의 개수 비교

		공역기하 탐색 정합				공유 TIN 탐색 정합			
		원 LiDAR		가상점 추가		원 LiDAR		가상점 추가	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
추출에지 수		10509	9517	10844	9517	10509	9517	10844	9517
정합 쌍수	좌→우	5881 (3578,3870)		6275 (3637,3898)		54672 (5329,5115)	50100 (5213,4961)		
	우→좌	8137 (4545,4157)		7858 (4664,4111)					
	모두	14018 (5403,5294)		14133 (5508,5282)					
	동시	3507 (2598,2602)		3697 (2654,2594)					
	3D선분	2587		2739					

표 3. 탐색공간 에지쌍의 정합 정확도

X(m)	에지수 (難/易)	공역기하 탐색 정합		공유 TIN 탐색 정합	
		원 LiDAR (難/易)	가상점 추가 (難/易)	원 LiDAR (難/易)	가상점 추가 (難/易)
건물1(모두)	101(37/64)	28(9/19)	40(19/21)	45(13/32)	51(20/31)
건물1(좌→우)		8(5/3)	14(5/9)		
건물1(우→좌)		8(3/5)	14(8/6)		
건물 1 전체		28/101⇒27.7%	40/101⇒39.6%	45/101⇒44.6%	51/101⇒50.5%
건물2(모두)	17(0/17)	4(0/4)	4(0/4)	5(0/5)	12(0/12)
건물2(좌→우)		0(0/0)	0(0/0)		
건물2(우→좌)		4(0/4)	2(0/2)		
건물 2 전체		4/17⇒23.5%	4/17⇒23.53%	5/17⇒29.4%	12/17⇒70.6%
건물3(모두)	129(40/89)	54(17/37)	59(15/44)	68(18/50)	94(27/67)
건물3(좌→우)		8(7/1)	5(1/4)		
건물3(우→좌)		18(2/16)	16(1/15)		
건물 3 전체		54/129⇒41.9%	59/129⇒45.74%	68/129⇒52.7%	93/129⇒72.9%
건물3(모두)	5(5/0)	5(5/0)	5(5/0)	5(5/0)	5(5/0)
건물3(좌→우)		3(3/0)	3(3/0)		
건물3(우→좌)		1(1/0)	1(1/0)		
도로 전체		5/5⇒100%	5/5⇒100%	5/5⇒100%	5/5⇒100%
전체	252(82/170)	91/252⇒36.1%	108/252⇒42.9%	123/252⇒48.8%	162/252⇒64.3%

값의 오차크기에 따라 사변형의 크기도 변화한다. 에지가 사변형에 일부분이라도 포함되면 탐색공간안에 존재한다고 한다. 공유 TIN ID 조건은 TIN ID와 변 ID가 일치할 때 탐색공간안에 있다고 한다.

탐색공간에 존재유무 뿐만아니라 실제 정합쌍 추출의 정확도도 건물과 도로별로 평가하였다(표 3). 공역기하 정합쌍은 가상점을 추가하지 않은 경우와 추가한 경우가

각각 34.8%와 42.9%, 공유 TIN 정합쌍은 41.3%, 64.0%의 정확도를 나타냈다. 여기에서 가상점을 추가한 경우에 정합쌍을 찾는 확률이 증가하며, 공역기하 정합쌍보다 공유 TIN 정합쌍을 이용하는 경우에 탐색공간 내 정합쌍이 많이 존재한다는 점을 알 수 있다. 공유 TIN 조건은 영역의 크기가 공역기하의 사변형 크기보다 크기 때문에 정합쌍이 존재할 가능성도 커지게 된다. 하지만 잘못된 에지

가 정합쌍으로 탐색될 가능성도 커지게 된다. 공유 TIN 조건에 의해 탐색된 정합쌍의 특성을 통하여 참정합쌍을 결정하는 요소를 알 수 있다.

4. 결 론

2차원 실세계를 표현하는 항공사진과 3차원 실세계 위치 정보인 LiDAR 데이터는 동일하게 2D 영상으로 변환될 수 있다. 변환된 TIN ID 영상의 화소는 항공사진과 동일한 화소에 위치하고 있으므로, 항공사진의 에지정보와 TIN 정보는 직접 연관된다. 이를 이용하여 입체영상에 나타나는 에지는 TIN기반 정합을 이용하여 정합쌍을 찾고 3차원 선분을 추정하였다. TIN기반 탐색 알고리즘의 효과를 평가하기 위하여 공액기반 사변형탐색과 비교하였으며, TIN기반 탐색은 공액기반 사변형탐색보다 탐색율이 약 20% 높게 나타났다. 따라서 입체영상에 나타나는 에지를 3D 정보로 활용할 수 있으며, 이를 이용하여 경계 표현이 부족한 LiDAR 데이터를 보완할 수 있다. 또한 영상과 LiDAR 데이터를 융합하여 공간정보를 추출한 성과는 더 복잡하고 다양한 환경의 근거리 토목건설 분야에도 적용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국

토정보기기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이병길 (2001), 대축척 DSM 제작을 위한 항공레이저측량 데이터의 보정에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문.
- Cho, W. (1995), Relational Matching for Automatic Orientation, Dissertation, Ohio University.
- Gies, O., Kinoshita, K. and Ichimura, N. (2002), Image Correspondence Problem : Integration of Intensity and Geometric information, SICE System Integration Division Annual Conference.
- Maas, H. (2000), Least-Squares Matching with Airborne Laser-scanning Data in a TIN Structure, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B3, Amsterdam, pp. 548-555.
- Medioni, G. and Nevatia, R. (1985), Segment-based stereo matching, Computer Vision, Graphics, Image Processing, Vol. 31, No. 1, pp. 2-18
- Schenk, T. (1996), Concepts in Digital Photogrammetry, Course Notes, Korean Society for Geo-Spatial Information Systems, Seoul, pp. 115-148.
- Sutherland, I. E., Sproull, R.F. and Schumacker, R.A. (1974), A characterization of ten hidden-surface algorithms, ACM Comput. Surv., 6, pp. 1-55.
- Zhang, L., Gruen, A. (2004), Automatic DSM generation from linear array imagery data. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXV, part B3, pp. 128-133.

(접수일 2008. 7. 31, 심사일 2008. 8. 8, 심사완료일 2008. 8. 12)