

항공 LiDAR 데이터를 이용한 객체 기반의 변화탐지 연구

A Study on Object-based Change Detection Using Aerial LiDAR Data

정지연¹ · 조우석² · 장휘정³ · 정재욱⁴

Jeong Ji Yeon · Cho, Woo Sug · Chang Hwi Jeong · Jeong Jae Wook

¹인하대학교 지리정보공학과 석사과정(wldusl01@nate.com)

²인하대학교 토목공학과 부교수(wcho@inha.ac.kr)

³인하대학교 지리정보공학과 박사후과정(hjchang@inhaian.net)

⁴한진정보통신 GIS 사업부문(jwjeong@hist.co.kr)

요 약

3차원으로 구성되어 있는 실세계를 보다 효과적이고 신속하게 모니터링하기 위해서는 변화된 지역의 정확한 위치정보 획득과 변화 결과의 빠른 도출을 위한 자동화 방안이 필요하다. 일반적으로 변화탐지를 위해 사용되어 온 항공사진이나 위성영상은 자료 획득에 있어 날씨와 같은 자연환경의 영향을 많이 받으며, 자동으로 변화탐지를 수행하는데 많은 문제점을 안고 있다. 반면에 항공 LiDAR 시스템은 영상시스템과는 달리 날씨 등에 영향을 상대적으로 적게 받으며, 지형지물에 대한 3차원 좌표 정보를 직접 획득하기 때문에 자동으로 처리하기에 매우 효율적이다. 본 연구에서는 항공 LiDAR 데이터만을 이용하여 도시지역의 시공간적 변화를 자동으로 탐지하는 방법을 연구하였다. 변화탐지의 대상이 도시지역이므로 객체를 기반으로 다양한 변수를 사용하여 변화탐지를 수행하였다. 연구에 사용된 데이터는 서로 다른 시기에 획득된 항공 LiDAR 데이터이며, 두 데이터 간의 변화탐지를 위해 먼저 상호정합을 수행하였으며, 개별 객체를 추출하기 위해 필터링과 Grouping 과정을 수행하였다. 마지막으로 Grouping된 객체를 대상으로 모양, 면적, 높이 변화를 비교하여 변화를 탐지하였다. 객체의 외곽선과 내부 영역의 모양을 표현하는 형상계수를 사용하므로 수평방향의 객체에 대한 기하학적인 모양 변화를 탐지할 수 있었으며, 객체의 높이값을 비교함으로써 수직방향으로의 변화도 탐지할 수 있었다. 본 연구에서 수행한 객체 기반의 변화탐지 방법은 91.67%의 전체 정확도를 획득하였다.

1. 서 론

빠르게 변화하는 도시 지역의 환경 및 시설물 관리와 계획을 위해서는 3차원 지형정보를 지속적으로 수정·갱신하여 정

보를 관리해야 한다. 이러한 정보를 효과적으로 관리하기 위해서는 변화된 지역에 대한 정확한 위치정보의 획득과 신속하고 효율적인 자동화 처리작업이 요구된다.

일반적으로 기존에 변화탐지를 위해 사

용되어 온 항공사진이나 위성영상은 자료 획득에 있어 날씨의 영향을 많이 받고 자동적으로 결과를 처리하기에 작업량과 시간 제약이 따른다. LIDAR(Light Detection and Ranging)는 공간상의 3차원 좌표를 날씨의 영향을 상대적으로 적게 받으며 신속하게 획득할 수 있어 기존의 사진측량 데이터를 보완하는 용도로 다양한 응용 분야에서 활용되고 있다. 특히, 국토는 시공간적으로 다양한 변화 형태를 보이고 있어 이에 대한 적절한 모니터링을 위해서 이를 3차원으로 표현 가능한 LiDAR 데이터의 활용이 점차 대두되고 있다.

LiDAR 데이터를 이용한 변화탐지에 관한 연구는 이종 센서의 데이터와 융합하거나 LiDAR 데이터만을 이용할 경우에는 단순히 높이 차이 계산만을 이용하는 방법이 주로 이루어져 왔다. Matikainen, Hyypä와 Kaartine(2004)은 LiDAR 데이터로 DSM을 제작한 후 모양, 면적과 높이 정보를 이용하여 건물 객체를 분류하고 이를 기존의 구 건물지도와 비교하여 변화 지역을 탐지하였다. Thuy, Matsuoka와 Yamazaki(2004)는 서로 다른 두 시기에 획득한 LiDAR 데이터를 격자화한 후 동일 격자의 높이 차이를 히스토그램으로 작성한 후 평균과 표준편차를 이용하여 특정 신뢰구간을 벗어나는 값을 변화지역으로 판단하였다. 이와 같은 방법은 결과 처리의 자동화에 어려움이 있고 결과 정확도 향상에 한계가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 LiDAR 데이터만을 이용하여 객체 기반으로 변화를 탐지하였고 높이 정보뿐만 아니라 다양한 다른 변수를 적용하여 자동화하는 방법을 연구하였다.

2. 객체 기반의 변화탐지 방법

2.1 상호정합(Co-Registration)

변화탐지를 수행하기 위해서는 서로 다른 시기에 획득한 동일지역의 LiDAR 데이터를 동일한 위치 조건으로 맞춰주는 상호정합 과정이 필요하다. 3차원 점 데이터를 정합하는 가장 대표적인 방법이 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘이다(Besl, 1992). ICP 알고리즘은 두 데이터간의 가장 가까운 거리에 있는 점 쌍을 찾고 찾아진 점 쌍의 거리를 최소화 시키는 이동 변위와 회전 변위를 찾는 과정을 반복한다.

두 데이터 집합의 점들 간 거리를 계산하여 가장 가까운 거리에 있는 점 쌍을 찾은 후 한 데이터 집합을 기준으로 3차원 강체 좌표변환을 수행하였다. 변환과정은 원점 이동(T_x, T_y, T_z)과 각 축에 대한 회전(ω, ϕ, κ)으로 이루어진다. 이동과 회전 변위 변화량이 임계치 이하가 될 때까지 반복하여 두 데이터 집합이 동일한 위치에 놓이도록 맞춰주었다.

2.2 건물 객체 분류

주요 변화탐지 대상이 도시 지역이므로 효과적인 결과 도출을 위해서 건물 객체를 분류한 후 연구를 수행하였다.

필터링은 ICP 알고리즘을 적용하여 정합된 두 데이터에서 노이즈를 제거하고 건물 후보점과 지면점을 구분하여 건물후보점만을 추출하는 과정이다. 이를 위해 대상 지역을 일정크기의 패치로 나눈 후 패치들간의 인접성도 고려하면서도 각 패치들에 독립적으로 분할(segmentation)을 수행하는 local maxima filter를 적용하였다.

Grouping 과정에서는 필터링을 통해 얻어진 건물후보점들을 이용하여 개별 건물에 대한 그룹을 설정한다. LiDAR 점 데이터를 같은 건물을 이루는 점들끼리 묶어주기 위해서 건물 내부점만을 포함하는 격자

를 시작으로 하여 region growing을 수행하였다. 이 과정을 통해 객체의 외곽선을 추출하고 수목을 제거하였다.

2.3 동일 객체 매칭

객체 기반의 변화탐지를 수행하기 위해 입력된 두 LiDAR 데이터에서 동일한 위치에 있는 객체를 찾아주는 과정이 선행되어야 한다. 이미 ICP 알고리즘을 통해 두 데이터가 동일한 위치로 정합된 상태이므로 각 객체의 무게중심을 이용하면 대응하는 객체들의 정확한 위치를 비교할 수 있다.

하지만 건물의 크기나 위치 변화 혹은 두 데이터 집합의 점밀도 차이와 건물 사이의 데이터 공백 차이로 인해 무게 중심만을 비교하여 동일 객체를 검색하면 잘못된 매칭 결과가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 최소경계사각형(Minimum Bounding Rectangle : MBR)을 각 객체마다 결정한 후 두 객체 사이의 MBR 포함관계도 고려하면 보다 정확하게 동일 객체를 매칭할 수 있다. 무게 중심과 MBR의 포함관계를 이용하여 객체를 매칭할 때 한 데이터 집합에서만 객체가 존재하여 매칭이 되지 않으면 해당 객체를 새로(New) 생겼거나 없어진(Demolition) 객체로 판단하였다. 그렇지 않고 서로 동일한 위치에서 매칭이 될 때 객체 별로 모양, 면적과 높이를 비교하게 된다.

2.4 객체 모양 변화 비교

객체의 변화를 탐지하기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만 모양은 인간이 육안으로 가장 쉽게 변화를 판별할 수 있는 정보이다.

2.4.1 푸리에 서술자(Fourier Descriptor)

푸리에 서술자는 객체의 외곽선 형태 특

징을 푸리에 변환하여 생성되는 계수이다. 정규격자 형태로 LiDAR 데이터를 처리하기 때문에 XY 평면에서 격자 형태로 변환된 LiDAR 데이터를 K 개의 격자로 나타낸다. 객체의 외곽선은 좌표열 $s(k) = [x(k), y(k)]$ 로 표현될 수 있다. 이 표현방법은 2차원으로 구성된 좌표쌍이 1차원의 계수로 변환됨으로써 자료 처리가 더 쉽고 이와 같은 차원의 변환에도 경계의 성질을 그대로 가지는 장점이 있다. 회전과 축척의 변화를 고려해 주기 위해 푸리에 서술자의 절대 초기값을 각 계수에 나누어 주었다. 각 객체의 푸리에 서술자 f 는 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$f = \left[\frac{|FD_1|}{|FD_0|}, \frac{|FD_2|}{|FD_0|}, \dots, \frac{|FD_{N-1}|}{|FD_0|} \right] \quad (1)$$

푸리에 서술자를 이용하여 객체 모양의 유사성을 판단하기 위해서 매칭된 두 객체의 푸리에 서술자들을 이용하여 거리를 계산하였다. 이 거리값이 0에 가까울수록 객체의 외곽 형태가 유사하다고 판단하였다.

2.4.2 불변 모멘트(Invariant Moments)

불변 모멘트는 객체의 내부 영역을 표현하며 일반적인 이동, 회전과 크기 변경을 수행해도 변하지 않는 2차원 형태의 모멘트 기반 기술자이다. Hu는 2차와 3차 중심 모멘트 η 을 사용하여 객체의 위치, 크기, 방향의 변화에 불변인 7개의 새로운 모멘트를 얻을 수 있었는데 그 중 처음 두 개의 모멘트를 이용하여 객체 형태의 유사성을 판단할 수 있다. 이 두 개의 모멘트는 다음 식 (2)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} X &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ Y &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

이 X, Y 값을 통해서 객체 영역의 평균값에 대한 객체의 퍼짐 분포와 평균값에

기준한 대칭성을 측정하였다.

2.5 객체의 면적 및 높이 변화 비교

객체의 모양 비교가 끝나면 2차원적인 면에서 면적을 비교하게 된다. 면적은 객체 내부를 이루고 있는 정규 격자의 개수로 구할 수 있다. 객체의 외곽선 형태로 모양을 비교한 경우 모양이 유사하다고 판단되더라도 이는 객체의 외곽선 형태가 변하지 않은 것이므로 객체의 면적을 비교하는 과정은 정확한 변화탐지를 위해 필요하다. 그리고 3차원 좌표 정보 획득이 가능한 LiDAR 데이터는 높이 정확도가 다른 영상 시스템보다 우수하며 변화탐지 연구에 있어서도 높이 정보는 중요한 변수가 된다. 그래서 객체 내부를 구성하는 정규 격자 내의 최대 높이를 평균하여 그 평균값의 차이를 통해 변화를 비교하였다.

3. 실험 결과

3.1 실험 데이터

본 연구에 사용된 LiDAR 장비는 Optech사의 ALTM 3070이며, 두 데이터의 획득

시기는 2005년 10월과 2007년 5월이다. 두 데이터의 점밀도는 각각 3.91점/m²과 3.34점/m²으로 거의 비슷하다.

3.2 변화탐지 수행 결과

객체를 기반으로 한 변화 탐지의 정확도 결과를 알아보기 위해 4개의 실험 대상지역을 선정하였고 그 결과는 그림 1과 같이 색깔로 변화를 구분하였다. 정확도 분석을 위하여 실험 LiDAR 데이터를 본 연구에서 사용한 변화탐지 알고리즘에 적용한 결과와 실제 항공 영상으로 판독한 결과를 비교하였다. 표 1은 변화탐지의 결과를 변화가 없는 객체(Not-altered), 변화가 발생한 객체(Altered)와 새로 생긴 객체나 없어진 객체(New/ Demolition)로 분류한 후 객체 단위로 정확도를 분석한 결과를 보여준다. 누락오류(Omission Error)는 실제 변화된 객체인 12개 중 변화되지 않은 것으로 나온 알고리즘 결과가 0개이므로 0%이다. 추가오류(Commission Error)는 실제 변화되지 않은 객체 43개 중 변화된 것으로 나온 결과가 5개이므로 11.62%이다.



그림 1. 실험 대상 지역의 변화탐지 결과

표 1. 정확도 분석 결과

	Not-altered	Altered	New/Demolition	Total
Not-altered	38	5	0	43
Altered	0	12	0	12
New/Demolition	0	0	5	5
Total	38	17	5	60
전체 정확도	91.67 %			

3. 결 론

본 연구에서는 3차원 좌표를 획득할 수 있는 LiDAR 데이터만을 이용하여 객체 기반으로 도시 지역의 변화를 자동으로 탐지하는 방법을 연구하였다.

입력 데이터로 LiDAR 데이터만을 이용하였기 때문에 자동으로 신속하게 결과 처리가 가능하였고 3차원 좌표를 이용하여 3차원 형태로 변화 지역을 표현할 수 있었다. 그리고 객체 기반으로 변화 지역을 비교하였기 때문에 격자 기반으로 높이 차이를 비교하는 기존의 방법보다 오탐지를 줄일 수 있었다. 두 LiDAR 데이터를 격자화한 후 높이 차이를 계산하는 방법은 건물 주변의 수목이나 건물 벽면점으로 인해 변화 결과를 판단하는데 있어 모호하였다. 하지만 본 연구의 변화탐지 방법은 건물 객체를 지면 및 수목과 분리하고 건물 객체 내부를 채워서 객체끼리 비교하였기 때문에 이러한 오차를 줄일 수 있었다. 또한 객체의 변화를 탐지하기 위해서 분리된 동일 객체를 매칭한 후 일차적으로 형상 계수를 이용하여 모양을 비교하였기 때문에 변화 여부뿐만 아니라 기하학적인 변화 형태도 짐작할 수 있었다.

보다 정확한 변화탐지 결과를 위해서는 향후 Grouping 알고리즘에 대한 개선이 필요하다. 사용한 두 데이터의 점밀도와 점분포의 차이로 인해 Grouping 결과가 다르

게 나오고 이로 인해 변화 비교를 위한 객체 매칭 시 밀집된 건물들은 하나의 객체로 묶이게 된다. 이는 정확하고 자세한 변화탐지 결과에 영향을 주게 되므로 보다 정확한 Grouping 방법 개선이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03#)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김상훈, 조청운, 홍현기, 2003, "다중 3차원 거리정보 데이터의 자동 정합 방법", 정보과학회논문지, 제 30 권, 제 12 호, pp. 1239-1246.
- G. Vosselman, B.G.H. Gorte, and G. Sithole (2004), "Change detection for updating medium scale maps using laser altimetry", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, Vol. 34, Part B3, pp. 268-273.
- G. Woods, "Digital Image Processing", Second Edition, Prentice Hall, pp.655-675.
- L. Matikainen, J. Hyypä and K. Kaartine (2004), "Automatic Detection of Changes from

- Laser Scanner and Aerial Image Data for Updating Building Maps", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, Vol. 35, Part B2, pp.168-173.
- M. K. Hu, 1962, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Trans. Inf. Theory, vol. IT-8, no.2, pp.179-187.
- S. Rusinkiewicz and M. Levoy, 2001, "Efficient Variants of the ICP Algorithm", Proceedings of the IEEE 3-D Digital Imaging and Modeling, Quebec, Canada, pp. 145-152.
- T. Thuy, M. Matsuoka, and F. Yamazaki, 2004, "LIDAR-based Change Detection of Buildings in Dense Urban Areas", Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. 5, pp.3413-3416.