수치항공사진으로부터 소형건물의 지붕 경계 추출

Extracting Roof Edges of Small Buildings from Digital Aerial Photographs

이진덕, 방건준, 김성훈, 이규달

금오공과대학교 토목환경공학부

Jin-Duk Lee(jdlee@kumoh.ac.kr), Kon-Joon Bhang(bhang.1@kumoh.ac.kr),
Sung-Hoon Kim(hongkookim81@naver.com), Kyu-Dal Lee(kyudal614@sk.com)

요약

항공사진이나 위성영상으로부터 건물, 도로 등과 같은 인공지물을 추출하기 위한 연구가 활발히 수행되어 왔으며, 최근 수치항공사진의 해상도가 크게 개선됨에 따라 인공지물 추출 시 종종 원치 않는 잡영들이 검출되곤 한다. 본 연구에서는 이러한 잡영 문제를 보완하고 필요로 하는 대상물을 추출해 내기 위한 목적으로 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 RGB영상의 채널을 분리하고 채널간의 차연산을 수행한 후 각 결과를 이진화하고 잡영제거 및 형태복원을 통하여 경계를 추출하도록 구성되었다. 경계 검출을 수행하기에 앞서 실험에 사용될 수치항공칼라사진에 대하여 광속조정, 수치지형모형 추출, 수치정사사진 생성 및 모자이크 작업 등의 사전처리 과정을 거쳤으며, 이렇게 하여 얻어진 수치정사사진 상에서 소형건물의 지붕 경계를 본 연구에서 개발한 알고리즘을 사용하여 추출하였다. 또한 지붕경계 추출 결과를 종래의 방법으로 얻어진 결과와 비교함으로써 알고리즘의 타당성이 입증될 수 있었다.

■ 중심어 : 수치항공정사사진 | 인공지물 | 경계추출 알고리즘 | 차연산 |

Abstract

The research for extracting man-made features such as building and road from the aerial photograph or satellite imagery has been performed actively. As lately the resolution of digital aerial photographs was improved, unwanted features(noise) would be often detected. An edge detection algorithm is developed to make up for such a noise problem, make boundaries of wanted objects clear and extract only needed features. The algorithm developed in this research performs separating RGB channels, differencing between channels, transforming in to binary images, excluding noises and restoring shapes, and edge extraction in order. The images to be used for edge detection are prepared through bundle adjustment, DTM extraction, orthorectification and mosaicking. The roof edges of small building on preprocessed digital aerial orthophotos were extracted using the algorithm developed in this study. The validity of the algorithms was proved by comparing edge results of small building extracted in this study with those of conventional methods.

■ keyword : Digital Aerial Orthophoto | Man-made Features | Edge Detection Algorithm | Differencing |

* 본 연구는 2013년도 금오공과대학교 학술연구비에 의해 수행된 것임

접수일자 : 2013년 10월 01일

수정일자 : 2014년 04월 07일

심사완료일 : 2014년 05월 07일

교신저자 : 이진덕, e-mail : jdlee@kumoh.ac.kr

I. 서론

항공사진측량 시스템에서 가장 문제가 되는 부분은 건물이나 지형지물의 경계선을 구분하고 그려서 도화하는 과정이다. 고해상도 영상을 이용하여 수치지도를 제작함에 있어 가장 큰 문제점은 래스터 자료인 위성영상에서 경계 검출을 통해 벡터자료의 형태로 제작하기 어렵다는 것이다[3]. 현재는 수작업으로 건물이나 지형지물의 외곽선을 그려내는 방식을 취하므로 이 부분이 자동화된다면 사진측량은 비용이나 시간면에서 커다란 절감효과를 기대할 수 있기 때문이다. 건물이나 도로의 외곽선을 추출하는 연구는 이전에 많은 연구가 있었으나 일반 주택의 경우 좁은 지역 안에 밀집해 있으며 그 형상이 제각각이기 때문에 선행연구에서 제시한 방법으로는 자동으로 경계를 추출하기에 충분치 않다. 소형 건물의 경계 추출은 항공사진으로부터 건물 고도 모형을 효과적으로 생성하는데 활용될 수 있고, 개발제한구역 내 무허가 건축물을 탐지해 내는 행정업무 등에도 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

경계 추출을 위해 연구되는 주제들은 건물 및 다각형의 경향을 띠는 인공지물의 경계추출 그리고 다각형보다는 선의 형태를 가지는 도로의 경계추출, 그리고 사진촬영 시 그림자에 의해 생기는 폐색영역보정 등이 대표적이다. 하지만 이들 연구 모두 완벽한 해답이 나오지 않은 상태이며 실용화하기에도 무리가 있는 방법들이 대다수를 차지한다.

Liow와 Pavlidis(1990)는 인공 지물의 그림자를 기준으로 하는 정확한 인공 지물의 경계면을 추출하는 두 가지 시스템을 제안하였는데 하나는 그림자가 있는 인공 지물면의 경계를 먼저 추출하고 이를 기초로 영역 확장 기법과 경계 추출 기법을 병행하는 방법이고, 다른 하나는 split-and-merge 영역 확장 기법을 사용하여 인공 지물의 영역을 추출한 후 이 영역의 경계를 직선화하는 방법을 사용하였다. 이 알고리즘은 인공 지물 지붕면의 밝기값의 변화가 매우 작은 영상에 대해서 비교적 정확한 결과를 보인다.

Gülch 등(1998)은 시설물의 추출과 복원은 완전한 자동화가 불가능하다고 간주하여 반자동체계를 기반으로

이 과정에서 취득한 경험적 자료를 토대로 한 한정적인 자동화에 대한 연구를 수행하였다. 많은 학자들이 주로 항공사진/입체영상으로부터 건물모형을 추출하기 위한 사진측량학적 접근방법을 제시하였다[9][11][13]. Fraser 등(2001)은 고해상도 IKONOS 입체영상으로부터 3D 건물을 재구성하였다. 한편, 신뢰할만한 3D 결정 기법으로서의 장점 때문에 Weidner 등(1995)과 Maas 등(1999)은 DSM 또는 레이저 고도측정 데이터(laser altimetry data)로부터 건물을 추출하기 위한 접근법을 개발하였으며, Haala(1999)는 DSM(digital surface model)과 칼라항공사진을 조합하여 건물경계를 추출하였다. Tao Guo 등(2004)은 IKONOS 위성영상과 항공 레이저스캐닝에 의해 수집된 고도데이터로부터 2D 건물경계를 추출하기 위한 접근방법을 제시하였다.

국내에서는 유환희(1999)가 특징점과 건물경계인식 알고리즘을 활용한 시설물의 반자동 추출에 관한 연구를 하였고, 유복모 등(2005)은 수치지형도(1/1,000)와 항공사진(1/5,000)을 이용하여 3차원 도시모형을 생성함에 있어 건물경계 추출 연구를 수행하였다. 조우석 등(2013)은 항공카메라와 능동센서인 레이저스캐너의 상호보완적인 특징을 이용하여 지표면에 존재하는 다양한 지형지물 중 건물을 자동으로 추출하는 알고리즘에 대하여 발표하였다.

본 연구에서는 기존 항공영상보다 매우 향상된 고해상도 칼라항공영상의 특징을 이용하여 인공지물, 특히 소형건물의 경계선 추출을 보다 정확히 자동화 하는 방법을 제시하고 경계추출 알고리즘을 개발하였다. 고해상도 항공사진에 대하여 광속조정, 수치지형모형 추출, 정사보정, 모자이크 작업 등을 행하고 대상지역에 종래의 경계검출 방법들을 적용하여 문제점을 분석하고, 본 연구에 개발한 프로그램을 적용하여 주택의 지붕경계를 추출하고자 하였다.

II. 경계추출 알고리즘 개발 및 적용 실험

본 연구에서 Intergraph사의 수치사진측량용 워크스테이션인 ImageStation을 사용하여 항공사진의 항공삼

각측량(광속조정법; Bundle adjustment), 수치지형모형(DTM; digital terrain model) 추출, 정사보정 및 모자이크 작업 과정을 수행하였다. 기존에 사용되어 온 경계추출 방법들을 적용하여 문제점을 파악한 다음, 본 연구에서 개발한 경계추출 프로그램을 적용하여 기존의 방법과 그 결과를 비교하였다.

그림 1. 연구 절차도

[그림 1]에 나타난 바와 같이 본 연구에서는 RGB 사진영상의 채널분리, 채널간 명도값의 차연산 수행, 이진화, 잡음제거 및 형태복원, 경계검출의 순으로 처리하는 알고리즘을 구성하고 MatLab을 이용하여 프로그램을 개발하였다.

2.1 고해상도 디지털 항공영상의 처리

DTM(digital terrain model) 생성을 위한 모델 설정, DMC 카메라 정보 및 렌즈계수의 입력을 하고, 지상기준점(GCP) 파일의 경로를 설정해 주었다. 항공삼각측량을 위한 광속조정을 위해서 multi-photo 환경에서 지상기준점의 상좌표를 측정하였다[그림 2-그림 4].

그림 2. 상점 측정

상좌표 측정을 완료한 후 영상매칭을 통하여 자동으로 접합점 즉, pass point와 tie point들을 생성하게 된다. 같은 대상을 촬영한 서로 다른 영상 간의 시차를 이용하여 정사보정에 이용하게 될 DTM을 추출하고, 이를 이용하여 정사보정을 행하였다.

모자이크 처리작업을 하는데는 기본적으로 사용자가 직접 seamline을 설정할 수도 있고, 자동으로 seamline을 생성하는 몇 가지 알고리즘이 제공된다. 본 연구에서는 자동으로 생성된 seamline을 가지고 모자이크 작업을 수행하였다.

그림 3. 자동으로 설정된 seamline

DMC 카메라에 의한 항공사진의 경우 12bit 영상이다. 사진측량을 위해 만들어진 프로그램이 아닌 경우 대부분의 경우 12bit 영상을 지원하지 않기에 8bit 영상

으로 변환하여 연구를 수행하였다. 대상지역은 대전지역에서도 일반지붕으로 구성된 단층 또는 2층 주택이 밀집한 지역을 선정하였다.

그림 4. 연구대상 지역

2.2 기존 경계추출 방법들의 문제점

[그림 5]와 [그림 6]에서 볼 수 있듯이 임계값(threshold value)에 따라 경계검출의 밀도가 결정되어 지는데 그 값이 낮으면 잡음이 심한 반면, 그 값이 높으면 나타내야 할 선분들이 검출되지 않는 곳들이 많아지며 그렇다고 잡영(noise) 문제가 완전히 사라지는 것도 아니다. 이 외에도 Prewitt, Roberts, Laplacian, Canny 알고리즘을 모두 적용시켜 실험해 본 결과, 미세한 차이는 있으나 문제점은 Sobel 경계추출법과 크게 다르지 않았다.

그림 5. Sobel 연산자를 이용한 경계추출 결과(임계값 0.1)

그림 6. Sobel 연산자를 이용한 경계추출 결과(임계값 0.2)

그림 7. 형태학적 기울기를 이용한 경계추출 결과

고해상도 항공영상은 그 해상도가 매우 뛰어나기 때문에 지붕표면의 기와모양이나 작은 굴곡들까지도 모두 표현된다. 따라서 추출하고자 하는 외곽을 제외한 부분들도 뛰어난 선명도를 지니므로 고해상도 영상이라는 장점이 오히려 외곽선의 추출을 힘들게 하는 단점이 되어버린 것이다. 이전에 많은 연구에 사용된 방법으로 흐림 효과를 주는 방법이 있으나 이 역시 잡영이 제거될 만큼 흐림 효과를 주게 되면 검출해야 할 외곽 성분 역시 흐려져 검출이 힘들어 효과가 없었다.

널리 쓰이는 다른 방법으로는 형태학적 기울기를 이용하는 방법이 있다. 이는 원 영상을 각각 팽창·수축시킨 영상에 대하여 차연산을 통하여 외곽성분을 추출하는 방법이다. 기존방법의 적용에 있어서 잡영문제의 해결에 가장 큰 기대를 걸었으나 역시 실험결과는 [그

림 기와 같이 그늘진 부분의 경계들은 검출되지 않으며 지붕면의 굴곡들이 검출되었다.

2.3 차연산을 통한 외곽 추출방법(경계추출 알고리즘의 개발 및 적용)

(1) RGB영상의 채널 분리

RGB 컬러영상에는 Red, Green, Blue의 각각 명도값이 존재한다. 흑백 영상이 아니라면 이들 간에는 분명한 차이가 존재하며 이를 이용하기 위하여 색의 성분별 명도값을 분리한다.

그림 8. RGB 영상

그림 9. Red 밴드

그림 10. Green 밴드

그림 11. Blue 밴드

(2) 채널간 명도값의 차연산 수행

차연산을 수행하게 되면 명도값의 차이에 의해 특정 색의 명도값이 다른 성분의 영상에 비해 높은 부분은 부각되고 나머지 부분들은 거의 검은 색을 띄게 된다. 특히 도로와 같이 검거나 무채색의 요소들은 색의 성분값들이 같으므로 차연산에 의해 소거되어 사라진다.

그림 12. 밴드간 차연산의 결과

[그림 12]에서 확인할 수 있듯이 추출하고자 하는 지붕 부분과 그 외 색의 차이가 분명한 부분들이 부각되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 일반 지붕의 경우 대부분 특유의 색으로 도색되어 있음에 기인하는 것으로 사료된다.

(3) 이진화

차연산을 수행한 결과에서 자세히 보면 원하지 않는 부분이 완전히 제거된 경우도 있지만 흐리게 남아있는 경우도 있다. 또한 원 영상을 보면 지붕의 표면무늬가 여전히 구분된다. 이 상태에서 외곽을 추출하면 여전히 기붕의 표면무늬 문제는 남을 수 있으므로 이진화 과정을 거친다.

그림 13. 밴드 R과 B의 차연산 결과

그림 14. 이진화 결과

이진화가 되기 전 차연산의 결과물에서 명도값이 부

각된 부분이 완벽해 보이거나 이는 사람의 판단력에 기인한 착시현상으로 부각된 부분 중에서도 어두운 부분이 그 외의 부분에서의 밝은 부분들에 비해 더 어두운 곳이 존재하는 관계로 임계값을 아무리 조정하여도 [그림 14]와 같이 잡영이 생기고 형태가 온전치 못한 상태이다. 나머지 5개의 결과도 위와 크게 다르지 않았다.

(4) 잡영 제거 및 형태 복원

잡영문제와 형태가 온전치 못한 문제는 경계추출 시 심각한 문제를 야기할 수 있으므로 보완해 주어야 한다. 본 연구에서는 시행착오를 통하여 사각셀을 이용한 영상의 열기와 단기를 이용하여 보완하였다[그림 15].

그림 15. 잡영 제거 및 형태 복원 결과

(5) 경계 검출

각 실험의 결과들은 각 색 성분들의 차를 따로따로 연산한 것으로서, 각기 다른 결과에서 공통적으로 어떤 대상물이 부각되어 나타나 검출되었다 하더라도 그 형태가 조금씩 다르다. 그림자의 영향에 의해 조금 달라지거나 하는 이유라고 부각된 부분 안에서도 미묘한 색상의 차이가 낳은 결과라 예측해 볼 수 있다. 하지만 6개의 결과물이 모두 같은 부분에서 변형되었다고 보기 어렵다.

이전단계에서 그림자의 영향이나 명도값 연산결과마다 다르게 나타난 부분으로 인하여 영역이 침식된 부분이 있다면 서로 다른 결과들이 결합되는 과정에서 서로 보완해 주어 온전해질 수 있다.

그림 16. 각 밴드별 결과영상의 결합

그림 17. 경계 추출

III. 결과 분석

그림 18. 결과와 원 영상의 중첩

의도대로 지붕표면의 무늬, 또는 영상에 보이는 공터나 텃밭의 지표면의 무늬 등은 전혀 추출되지 않았으며 추출된 경계들은 추출하고자 하는 객체에 매우 근접하게 추출된 것을 볼 수 있다. 특히 선명한 색을 띄는 지붕은 만족할 만한 수준의 결과를 보여준다.

하지만 암갈색과 짙은 녹색의 지붕은 거의 추출되지 않았다. 또한 슬레이트 지붕이면서도 녹색으로 도포된 부분은 원하지 않는 부분임에도 도포된 부분의 명도값이 높기 때문에 추출되었다.

좌측상단의 파란지붕의 경우는 차연산 결과물 중 Blue 밴드와 Green 밴드를 연산한 결과물에서 좋은 결과를 보였으나 결과물을 결합하면서 묻혀졌다.

(a) Sobel 연산처리 결과 (b) 본 연구 결과
그림 19. Sobel 연산과의 비교

[그림 19](a)의 Sobel 연산자를 이용한 경계 추출의 결과에서는 많은 선들 중에서 제대로 추출된 선들만 골라내는 작업은 쉽지 않다. 방향성을 고려하여 선의 요소를 추적한다던지 기타 여러 가지 알고리즘이 개발되었으나 상용화 할 만큼의 정확도나 정밀도를 보여주지 못했다. 물론 차연산에 기반한 알고리즘 역시 상용화할 만한 단계는 아니지만 추출된 선의 부합성이나 기타 잡영의 정도로 보았을 때 더욱 심도 있게 연구할 가치는 충분하다고 판단된다. 이번 연구에서는 특히 잡영 제거에 초점을 두어 추출되지 못한 객체가 많았다. 지금까지 많은 연구가 이루어지고 컴퓨터가 발전했으나 아직도 객체의 추출이 완전치 못한 이유는 컴퓨터는 사람이 가진 만큼의 정보를 가지고 있지 않는데 기인한다고 볼 수 있다.

사람은 살면서 본 것들을 기억하고 그 기억을 바탕으로 사진을 보면서 도로, 일반지붕, 슬레이트 지붕, 자동

차, 공터 거의 모든 객체를 구별해 낼 수 있으며 유추할 수도 있지만 컴퓨터는 사람이 가진 경험, 즉 정보가 없다. 미래에 컴퓨터의 인공지능이 극히 발전되고 또한 인공지능으로 판단할 수 있는 기초가 될 데이터베이스가 충분히 갖추어진다면 완전히 자동으로 사람이 직접 도화한 것 이상의 결과를 얻을 수 있을 것이다.

차연산 알고리즘을 이용하여 잡영의 제거보다는 추출할 객체의 형태가 온전하도록 임계값을 높게 설정하여 객체를 추출하고 사람의 판단력을 이용하여 원하는 객체만을 골라내는 방법이 더 효율적일 것이라고 사료되어 시도해 보았다. 물론 완전한 자동화는 아니지만 현 시점에서는 비용과 시간의 절감을 충분히 가져올 수 있을 것이라는 기대 하에 본 연구의 가장 마지막으로 시도하여 보았다. 처리과정은 같고 이진화 할 때의 임계값이 앞선 방법보다 높으며 합해진 이진연산에서 객체의 선택과정이 추가되었다.

그림 20. 선택 중 화면

그림 21. 선택완료 화면

그림 22. 객체선택기능을 추가한 결과물과의 비교 영상

앞선 실험의 결과[그림 21]와 선택적 방법으로 추출한 경계를 중첩시켜 보았다[그림 22]. 전체적으로 이전보다 조금 더 넓은 영역이 검출되었다. 그 이유는 래스터데이터의 특성 때문인데 벡터데이터와 같이 그 경계가 분명한 것이 아니라 경계 부분에는 흐려진 값들이 존재하는 까닭이다. 이 때문에 높은 임계값을 선택한 영상에서는 흐린 경계부에서 좀더 많은 영역을 객체로 인식하게 되는 것이다. 경험적으로 객체를 골라낸 것이기 때문에 잘못 추출된 객체는 없지만 높은 임계값의 영향으로 경계가 울퉁불퉁하다. 하지만 이전에 검출이 온전치 않았던 객체에서는 훨씬 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

그림 23. 잡영이 심한 지역에 적용한 결과

잡영이 매우 심한 지역을 탐색하여 적용해 보았다.

[그림 23]을 확대해서 보면 자동차의 형체가 분명히 나타날 정도의 경계가 추출되었음을 알 수 있다. 하지만 자동차는 원하지 않는 객체 즉 잡영일 뿐이다. 본 연구에 사용된 알고리즘이 대안으로서 가능성이 충분함을 보여준다.

IV. 결 론

본 연구에서 수치정사사진으로부터 소형건물의 지붕 경계를 추출하는 알고리즘을 개발하였으며, 이 알고리즘은 RGB영상의 채널을 분리하고 채널간의 차연산을 수행한 후 각 결과를 이진화하고 잡영제거 및 형태복원을 통하여 경계를 추출하도록 구성되었다. 연구를 통하여 얻어진 소형건물의 지붕경계 추출 결과를 종래의 방법으로 얻어진 결과와 비교하여 개발된 알고리즘의 타당성을 입증할 수 있었다.

채널간 차연산 알고리즘을 정사영상에 적용하여 추출한 경계에서는 원치 않는 지붕의 무늬, 자동차 등 잡영을 제거할 수 있었으며, 추출된 경계는 기존 방식들의 결과에 비하여 추출대상에 상당히 근접한 결과를 나타냈다.

채널간 차연산 알고리즘은 단일 채널간의 단순한 차연산에서는 짙은 갈색과 짙은 녹색에 취약하며, 객체선택 기능을 추가할 경우 경계 추출의 정확도는 향상되나 경계의 영역이 다소 넓어지고 추출된 경계에 굴곡이 발생하였다.

본 연구에서는 광속조정과 수치지형모형 추출과정을 거쳐 생성된 수치정사사진 상에서 경계를 검출하였기에 충분히 개선된 정확도를 가지고 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 유환희, 손덕재, 김성우, “건물 DEM 생성을 위한 경계검출법 개발”, 한국측량학회지, 제17권, 제4호, pp.421-429, 1999.
- [2] 유복모, 진경혁, 유환희, “항공사진을 이용한 3차

- 원 도시 모형 생성”, 한국측량학회지, 제23권, 제3호, pp.233-238, 2005.
- [3] 박운용, 문두열, 홍순현, 윤경철, “고해상도 위성 영상을 이용한 경계검출에 대한 정확도 분석”, 한국GIS학회 2004년도 GIS/RS 공동춘계학술대회 논문집, 한국공간정보학회, pp.529-534, 2004.
- [4] 최현, 홍순현, “항공사진을 이용한 수치표고모형 생성과 활용방안”, 한국콘텐츠학회논문지, 제7권, 제3호, pp.168-175, 2007.
- [5] 조우석, 이영진, 좌윤석, “항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출”, 대한원격탐사학회지, 제19권, 제4호, pp.307-317, 2013.
- [6] S. H. Choi and K. H. Lee, “The Extraction of Exact Building Contours in Aerial Images,” *Journal of the Korean Remote Sensing*, Vol.11, No.1, pp.47-64, 1995.
- [7] Theo Pavlidis and Yuh-Tay Liow, “Integrating Region Growing and Edge Detection,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.12, No.13, pp.225-233, 1990.
- [8] Eberhard Gölch, Hardo Müller, Thomas L'abe, and Lemonia Ragia, “On the Performance of Semi-automatic Building Extraction,” 1999, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.42.7387&rep=rep1&type=pdf>
- [9] F. Lang and W. Forstner, “3D-City Modeling with a Digital One-eye Stereo System,” *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.31, Part B3, pp.415-420, 1996.
- [10] N. Haala and C. Brenner, “Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments,” *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol.54, pp.130-137, 1999.
- [11] O. Henricsson, *Analysis of Image Structure Using Color Attributes and Similarity Relations*, Ph.D. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Diss.ETH,

Nr.11663, Published in Mitteilungen, Nr.59 of the Institute of Geodesy and Photogrammetry, 1996.

- [12] C. S. Fraser, E. Baltsavias, and A. Gruen, "3D Building Reconstruction from High-Resolution Ikonos Stereo-Imagery. In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), Edited by E.P. Baltsavias, A. Gruen, and L.V. Gool, Balkema, Tokyo, pp.331-344, 2001.
- [13] A. Gruen, "Semi-automated Approaches to Site Recording and Modeling," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, Part B5, Amsterdam, pp.309-318, 2000.
- [14] H. G. Mass and G. Vosselman, "Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.54, pp.153-163, 1999.
- [15] U. Weidner and W. Forstner, "Towards Automatic Building Extraction from High-Resolution Digital Elevation Models," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.50, No.4, pp.38-49, 1995.
- [16] G. Vosselman and I. Suveg, "Map Based Building Reconstruction from Laser Data and Images. In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), Edited by E.P. Baltsavias, A. Gruen, and L.V. Gool, Balkema, Tokyo, pp.231-239, 2001.
- [17] Tao Guo and Yoshifumi Yasuoka, "Combining High Resolution Satellite Imagery and Airborne Laser Scanning Data for Generating Bareland DEM in Urban Area, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-W3/download/GuoTao.pdf>

저 자 소 개

이 진 덕(Jin-Duk Lee)

종신회원

- 1983년 2월 : 충남대학교 농공학과(농학사)
- 1986년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학석사)
- 1992년 8월 : 충남대학교 토목공학과(공학박사)

▪ 1990년 4월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야> : 사진측량, 원격탐사, GIS, 디지털매핑 등

방 건 준(Kon-Joon Bhang)

정회원

- 1998년 2월 : 국민대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2003년 3월 : 오하이오주립대학교 토목환경측지공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 오하이오주립대학교 환경학협동과정(박사)

▪ 2011년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목환경공학부 조교수

<관심분야> : 원격탐사 및 지형공간정보시스템

김 성 훈(Sung-Hoon Kim)

정회원

- 2007년 2월 : 금오공과대학교 토목공학과(공학사)
- 2009년 2월 : 금오공과대학교 토목공학과(공학석사)
- 현재 : 금오공과대학교 지형공간정보연구실

<관심분야> : 디지털 영상처리, 디지털매핑

이 규 달(Kyu-Dal Lee)

정회원

- 1994년 2월 : 금오공과대학교 토목공학과(학사)
- 2010년 8월 : 전북대학교 토목공학과(공학석사)
- 2013년 2월 : 금오공과대학교 토목공학과 박사과정 수료

▪ 현재 : SK건설(주) 부장

<관심분야> : GPS측량, 공사계측