

논문 2011-48C1-1-1

개선된 스네이크 모델에 기반한 반자동 건물 영역 추출

(Semi-automatic Building Area Extraction based on Improved Snake Model)

박 현 주*, 권 오 봉**

(Hyun Ju Park and Ou-Bong Gwun)

요 약

3차원 지도(3D Map)를 구축하기 위해서는 지형정보와 지도상에서 건물 영역 및 건물 형상 정보가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 개선된 스네이크(Snake) 알고리즘으로 건물 영역을 반자동으로 추출하는 방법을 제안한다. 본 방법은 전처리, 제어점의 초기화, 개선된 스네이크 알고리즘 적용 세 단계로 구성한다. 첫 번째 단계에서는 위성영상을 그레이 영상으로 변환 후 근사 에지를 추출하여 그레이 영상과 합성한다. 두 번째 단계에서는 사용자가 건물의 중심점을 설정한 후 원형 또는 사각형 모양의 초기 제어점을 계산하여 설정한다. 세 번째 단계에서는 개선된 스네이크 알고리즘을 적용하여 건물영역을 추출한다. 이러한 과정에서 스네이크 에너지 계산식의 한 항을 새로운 방법으로 설정하여 건물영역 추출용으로 특화하였다. 그리고 스카이 뷰의 위성영상을 이용하여 제안된 방법을 건물영역 매칭율을 평가하였는데 75%의 매칭율을 보였다.

Abstract

Terrain, building location and area, and building shape information is in need of implementing 3D map. This paper proposes a method of extracting a building area by an improved semi-automatic snake algorithm. The method consists of 3-stage: pre-processing, initializing control points, and applying an improved snake algorithm. In the first stage, after transforming a satellite image to a gray image and detecting the approximate edge of the gray image, the method combines the gray image and the edge. In the second stage, the user looks for the center point of a building and the system sets the circular or rectangular initial control points by a procedural method. In the third stage, the enhanced snake algorithm extracts the building area. In particular, this paper sets the one term of the snake in a new way in order to use the proposed method for specializing building area extraction. Finally, this paper evaluated the performance of the proposed method using sky view satellite image and it showed that the matching percentage to the exact building area is 75%.

Keywords : 건물영역추출, 스네이크 알고리즘, GIS, 3D맵, Active Contour 알고리즘

I. 서 론

최근 항공사진이나 위성영상을 이용하여 3차원 지도를 제작하는 많은 연구가 이루어지고 있다. 3차원 지도는 3차원 내비게이션, 관광지도, 도시개발, 재난시뮬레이션 등 다양한 분야에 응용된다.

항공사진이나 위성영상을 이용하여 3차원 지도를 만들기 위해서는 영상위의 객체를 추출하여 특징을 고려하여 3차원 객체로 분류하는 일이 선행되어야 한다. 그러나 2차원의 영상상의 객체의 특징을 이용하여 3차원 객체를 추출하고 분류하는 일은 간단하지 않다. 그 이유는 지형과 건물 모양이 복잡하고 다양하며 더구나 2차원으로 영상화하는 과정에서 3차원 정보의 일부를 잃어버리기 때문이다.

건물 윤곽선을 추출하는 연구는 한 장의 영상(위성영상 또는 항공사진)을 사용하는 방법과 두 장 이상의

* 학생회원, ** 정회원, 전북대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering., Chonbuk National University)

접수일자: 2010년11월22일, 수정완료일: 2011년1월7일

영상을 사용하는 방법이 있다. 두 장 이상의 영상을 사용하는 방법은 두 장 이상의 위성영상 또는 항공사진을 사용한다. 그런데 이러한 방법들을 이용하여 정보를 구하기 위해서는 계산에 필요한 파라미터를 정확히 추출해야 되는데 여러 개의 이미지를 이용하여 트레이닝을 하기 때문에 복잡하고 처리속도가 느리다. 한 장의 영상을 이용하는 방법은 두 장 이상의 영상을 이용하는 방법보다 단순하여 처리가 용이하며 부족한 정보는 영상사진이 아닌 다른 정보원으로 대체할 수 있다. 본 연구에서는 한 장의 항공영상을 이용하여 건물의 윤곽선을 구하는 방법에 대하여 고찰한다.

한 장의 영상을 이용하여 윤곽선을 구하는 연구는 디지털 이미지로부터 자동으로 건물 윤곽선을 추출하는 연구^[1], 스네이크 모델과 래디얼 캐스팅(Radial Casting) 알고리즘을 이용하여 반자동으로 윤곽선을 추출하는 연구^[2]가 있으나 이들 모두 불록 다각형 모양의 건물에 대해서는 건물영역을 잘 추출하나 오목 다각형 모양의 건물에서는 그렇지 못하다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 부분적으로 해결하기 위해서 개선된 스네이크 알고리즘을 이용하여 위성영상으로부터 불록 다각형 모양의 건물과 오목 다각형 모양의 건물에 대해서도 윤곽선을 추출하는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 아래와 같다. II장에서는 건물의 윤곽선을 추출하는 여러 가지 방법에 대하여 알아보고, III장에서는 기존의 스네이크 알고리즘의 개선과 이 알고리즘으로 건물영역을 추출하는 방법에 대하여 논한다. IV장에서는 개선된 모델을 프로그램으로 구현한 평가결과를 보이고 마지막 V장에서는 결론을 내린다.

II. 여러 가지 건물 윤곽선 추출 방법

건물 윤곽선의 추출방법은 자동추출과 반자동 추출 방법으로 나누며, 자동으로 건물 추출하는 경우 추출된 정보가 건물 정보인지 아닌지 인식 할 수 있는 Semantic 정보가 있어야하며, 추가적인 다양한 건물의 종류, 구조, 크기 등의 자세한 정보가 있어야 정확성을 보장할 수 있다. 최근에는 간단한 구조의 직사각형의 건물구조를 대상으로 위성영상과 DEM^[3]을 이용하거나, SIFT와 Graph Theory^[4]를 이용하여 자동으로 건물의 위치정보를 추출하는 연구가 제안되고 있다. 이에 비해 반자동으로 건물 추출하는 경우 건물 영역에 정보를 사

용자가 찾아준 정보를 이용하기 때문에 추출된 정보가 건물정보인 것을 신뢰 할 수 있다.

건물 윤곽선 추출 방법으로 직접 에지와 코너, 선분 등을 추출하고 이들 간의 관계를 따지는 방법, 건물 바닥면을 모델링하고 이들과 위성 영상의 건물 바닥면과 매칭 시키는 방법, 스네이크 알고리즘을 사용하는 세가지 방법이 있다.

첫 번째 방법은 에지 선분 등을 조합하여 직사각형 건물 구조를 발견하는데 복잡한 모양의 건물에서는 조합 조건들을 조정하는데 어려움이 있고 단순한 직각구조의 건물만을 추출하는 문제점이 있다^[5].

두 번째 방법은 다양한 건물 모양을 만들기 위하여 많은 샘플데이터를 추출하여야 하며 한정된 건물만 추출되는 문제점이 있다^[6-7].

마지막으로 스네이크 모델은 해당 윤곽선이 건물인지 판단하는 기능은 없으나 다양한 모양의 건물 윤곽선을 추출할 수 있는 장점이 있다. 기본적인 스네이크 알고리즘을 이용하여 윤곽선을 찾기는 다음과 같은 제한점이 있다. 윤곽선을 찾기 시작할 때 처음 주어지는 제어점은 건물 윤곽선에 근접해야 하며 노이즈가 없어야 한다^[8-9]. S. D Mayunga(이하 Mayunga)는 기본 스네이크 모델을 건물영역을 추출 할 수 있게 개선하였다. 그런데 이 방법은 불록 다각형 모양의 단순한 건물 모양은 잘 검출하나 복잡한 모양의 오목한 건물영역의 추출에는 한계가 있다.

$$E_{Snakes} = E_{Cont} + E_{Curv} + E_{Img} \quad (1)$$

여기서 E_{Snakes} 는 스네이크 전체 에너지, E_{Cont} 과 E_{Curv} 는 내부(internal)로 향하는 에너지 조건으로 각각 제어점의 간격과 곡률로 주어진다. E_{Img} 는 영상의 그레이 값의 경사(gradient)로 주어지는 향으로 윤곽선이 영상의 밝은 쪽 또는 어두운 쪽으로 이동하여 정지할 수 있게 한다. Mayunga는 제어점을 건물영역의 외부에만 주어 외부로 향하는 에너지 조건은 무시하였고 하중 계수는 전부 1로 고정하였다. 제어점간의 간격 차이가 큰 곳 일수록 E_{Cont} 커 제어점간의 간격이 일정해 지려는 특성이 있어 세포막처럼 행동하고, 곡률이 클수록 E_{Curv} 가 커 곡률이 작아지려는 특성 즉 접시 모양이 되려고 한다. 일반적으로 이 알고리즘으로 처리하면 윤곽선은 점점 원형으로 변화하여 내부로 수축한다. 이러한 결과는 고무줄 같은 탄성체로 행동하여 정사각형 모양의 불록 다각형의 건물 모양에는 좋은 성능을 보이나 오목한

형태의 건물의 윤곽선은 잘 찾지 못하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제의 해결을 시도하였다.

III. 개선된 스네이크를 이용한 건물 추출

본 논문에서 제안하는 위성영상을 이용한 건물 경계면 추출 과정은 그림 1과 같다.

본 논문에서 제안한 시스템은 전처리, 제어점의 초기화, 개선된 스네이크 알고리즘 적용 등의 세 단계로 구성 된다. 첫 번째로 전처리 과정은 노이즈를 제거하여 개선된 스네이크 알고리즘을 이용하여 보다 더 정확한 건물영역을 추출하기 위해서 필요한 과정이며, 제어점의 초기화 과정은 초기 윤곽선을 설정하여 이곳으로부터 건물영역을 찾아간다. 초기 윤곽선은 레이디얼 캐스팅(Radial Casting)알고리즘과 사각형설정 알고리즘을 이용하여 건물의 주변 환경에 맞게 원형 또는 사각형으로 설정한다. 마지막으로 알고리즘을 건물영역 추출용으로 변환하고 이것을 이용하여 건물의 윤곽선을 추출한다.

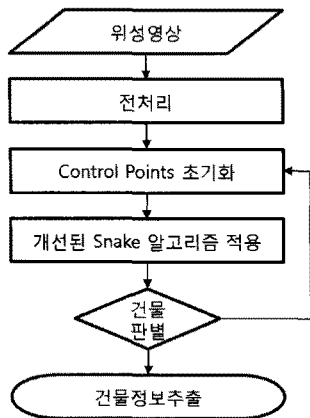


그림 1. 건물추출과정
Fig. 1. Process of building area extraction.

1. 위성영상의 전처리

먼저, 위성영상을 입력영상으로 받아 그레이 이미지로 변환한다. 그 후 노이즈를 제거하기 위해서 가우시안필터를 적용한다. 그 후 캐니 알고리즘을 이용하여 근사 에지를 구한 후 Gray 이미지와 에지 영상을 합성한다. 근사에지를 구한 후 스네이크 모델을 적용하는 이유는 캐니 알고리즘만으로는 건물의 경계면을 추출하기가 어렵기 때문이다. 그림 2에 전처리 결과를 표시한다.

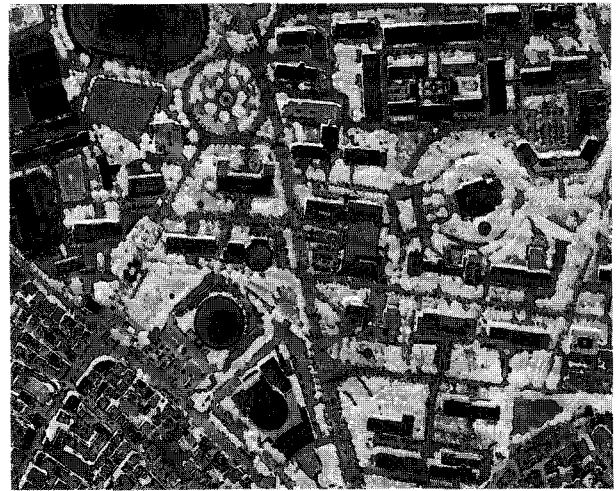


그림 2. 스카이뷰 위성영상의 전처리
Fig. 2. Pre-process of sky view satellite image.

2. 윤곽선 제어점의 초기화

스네이크 알고리즘을 적용하기 위해서 초기 제어점을 설정해야 하는데 사용자가 중심점을 찾아 수식(2)와 레이디얼 알고리즘을 이용하여 그림 3.과 같이 초기 제어점을 자동으로 설정한다.

$$v_i(x_i, y_i) = (C_x + r(\cos(\theta)), C_y + r(\sin(\theta))) \quad (2)$$

여기서 $v_i(x_i, y_i)$ 는 구하려는 초기 제어점, C 는 건물 영역의 중심점(Center Point)이고 r 은 건물을 둘러싼 원의 반지름의 크기, θ 는 x축으로 부터의 각을 나타낸다. 사용자가 건물영역의 중심점과 원의 반지름을 구한 후 (2) 식을 이용하여 θ 를 일정하게 증가시키면서 초기 제어점을 계산한다.

이웃 건물이 현재 제어점을 구하려고 하는 건물과 근접 할 경우, 초기 제어점들을 식 (2)를 사용하여 설정하

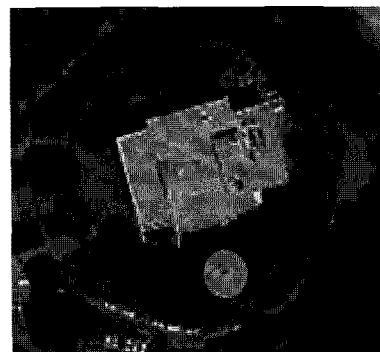


그림 3. 원형으로 제어점을 초기화
Fig. 3. Initialization of control points using radial casting algorithms.

면 두 건물이 중첩되는 경우가 있다. 그러한 경우에는 직사각형 모양으로 초기 제어점을 식(3)을 이용하여 선택한다. 여기서 가로 임계값 w 와 세로 임계값 h 는 사용자가 설정한다.

$$\begin{aligned} v_n &= (C_x + x_i, C_y + y_j) \\ &\quad -w \leq x_i \leq w \text{ when } y_j = h \text{ or } y_j = -h \\ &\quad -h \leq y_j \leq h \text{ when } x_i = w \text{ or } x_i = -w \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 v_n 은 초기제어점이고 C_x, C_y 는 건물의 중심점이며 x_i, y_i 는 건물의 중심점과 초기제어점과의 거리이다.

3. 개선된 스네이크 모델로 건물 영역 찾기

본 논문에서는 윤곽선 추출 알고리즘의 일종인 스네이크 알고리즘을 지도의 건물영역 추출용으로 특화시켜 사용 하였다. 제안하는 방법은 식 (4)의 Mayunga 알고리즘과 같이 외부로 향하는 에너지는 0으로 하였으나 연속에너지 E_{Cont} 는 그와 다르게 식 (5)와 같이 변형하였다.

$$E_{New} = E_{Proposer} + E_{Curv} + E_{Img} \quad (4)$$

$$E_{Proposer} = CML - |v_i - v_c| \quad (5)$$

여기서 v_i 는 즉 (x_i, y_i) 로 현재의 제어점, v_c 는 현재의 제어점의 중심(초기값은 사용자가 줌), CML 은 현재의 제어점과 이것의 중심거리 중 최소값을 나타낸다. Mayunga의 식은 제어점들의 거리차를 이용하기 때문에 제어점간의 거리를 줄이려는 방향으로 이동하나 제안한 식은 제어점이 중심에서 이탈할수록 커져 제어점들을 중심으로 모으려는 경향을 보인다. 또 E_{Dec} 이 전체 에너지에 미치는 영향이 Mayunga의 E_{Cont} 에 비해서 약화되는 특징이 있다.

E_{Curv} 는 기존의 방법과 동일하게 식 (6)을 사용한다.

$$E_{curv} = |v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}|^2 \quad (6)$$

위 식 (6)은 제어점 v_i 와 이웃하는 두 개의 거리벡터간의 차이를 나타내며 곡률을 나타낸다. 이항은 모서리를 살리는 역할을 한다.

E_{Img} 는 기존의 방법과 동일하게 (7)식을 사용하였다.

$$E_{Img} = \frac{(Min - Mag)}{(Max - Min)} \quad (7)$$

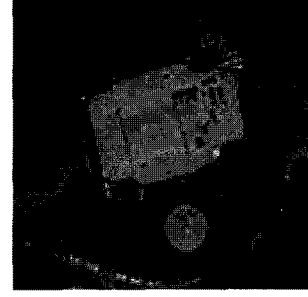


그림 4. 하나의 건물구조 추출한 이미지
Fig. 4. A building area extraction.

여기서 Mag 는 현재 제어점의 경사값(*gradient magnitude*), Max 은 이웃하는 제어점의 최대 경사값, Min 은 이웃하는 제어점의 최소 경사값을 나타낸다. E_{Img} 가 최소 에너지를 갖는 곳으로 이동시키기 위해 이 값이 마이너스 값으로 정의하였다. 윤곽선이 건물에 가까울수록 크게 정의되어 윤곽선이 해당 건물의 경계면에서 정지하는 역할을 한다.

또 Mayunga와는 다르게 α, β, γ 을 최초 제안된 스네이크 알고리즘에서와 같이 살려 이미지의 특성에 맞추어 이 파라미터를 조정할 수 있게 하였다. 즉 식(8)을 이용하여 건물 바닥면의 윤곽선을 추출하였다. 그림 4.는 α, β, γ 를 각각 0.3, 0.3, 0.5로 하여 건물의 바닥면을 추출한 것을 보인다.

$$E_{New} = \alpha E_{Proposer} + \beta E_{Curv} + \gamma E_{Img} \quad (8)$$

IV. 실험 결과 및 평가

제안된 방법을 PC에서 구현하여 인공위성영상 스카이프를 이용하여 평가하였다. 전북대지역의 인공위성

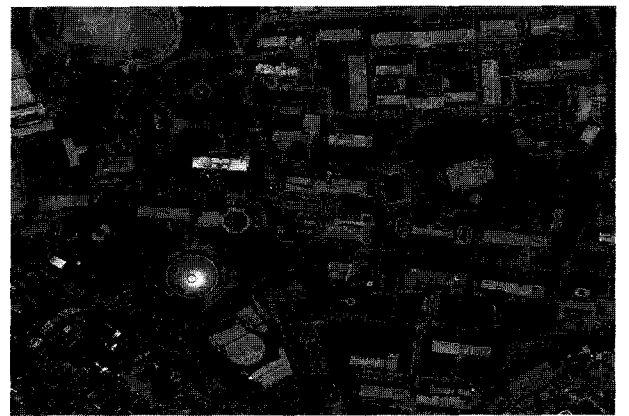


그림 5. 위성영상 원본
Fig. 5. Original satellite image.



그림 6. 추출된 건물 영역(제안한 방법)
Fig. 6. Building Area Extraction using Improved snake Algorithms.



그림 7. 추출된 건물영역(Mayunga 방법)
Fig. 7. Building Area Extraction using Mayunga's snake Algorithms.

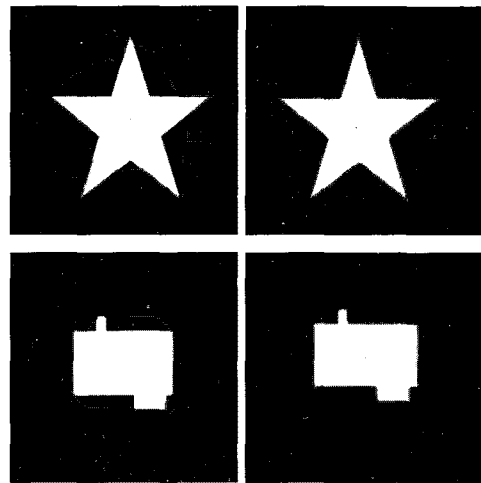
영상을 이용하였는데 원본을 그림 5에, 추출한 건물영역을 그림 6에 보인다. 그리고 제안한 방법과 비교하기 위해 Mayunga의 방법으로 추출한 건물영역을 그림 7에 보인다.

제안한 방법의 실제바닥면에 수렴하는 경향, 실제 건물과의 매칭율을 Mayunga 방법과 비교하여 보고 본 알고리즘을 바닥면을 추출하는 알고리즘에 적용하였을 때 건물을 얼마나 찾을 수 있는가를 추정하여 보았다.

1. 건물영역에 대한 수렴경향

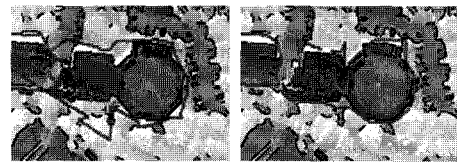
그림 8. 은 별모양의 형상과 돌출된 사각형 모양의 형상에 대하여 제안한 방법과 Mayunga 방법으로 윤곽선이 수렴하는 모습을 보인다. 확실히 제안한 방법이 오목면에 잘 파고드는 것을 알 수 있다.

실제 위성영상을 이용하여 비교한 것을 그림 9에 보인다. 단순한 윤곽선을 가지고 실험한 것과 같이 제안



(a) Mayunga 방법 (b) 제안한 방법

그림 8. 단순다각형 윤곽선에 대한 수렴 경향
Fig. 8. Contours tend to converge on simple polygons.



(a) Mayunga 방법 (b) 제안한 방법

그림 9. 그레이 이미지 윤곽선 추출결과 비교
Fig. 9. Comparison of building area extraction from gray images.

한 방법이 좀 더 정확하게 추출함을 알 수 있다.

2. 실제 건물영역과의 매칭률

제안한 방법이 위성영상의 건물영역을 얼마나 정확히 추출하는지를 식(9)와 같이 건물영역 매칭률을 정의하여 알아보았다. 실제건물 영역을 BA(Building Area), 건물영역이나 찾지 못한 부분을 NFBA(Not Finded Building Area), 건물영역이 아닌데 건물로 찾은 영역 FNBA(Finded Not Building Area)라고 하고 건물영역 매칭율을 다음과 같이 정의하였다.

$$f(x) = (1 - \frac{NFBA + FNBA}{BA}) \times 100 \quad (9)$$

건물영역을 1로 하였을 경우 정확히 찾으면 NFBA와 FNBA가 0이 되어 매칭율이 100이 되고 건물을 포함하여 2배로 영역을 찾으면 NFBA는 0이 되고 FNBA가 1이 되어 매칭율은 0이 된다. 건물영역을 정확히 반만 찾은 경우는 NFBA가 50이 되고 FNBA가 0이 되어 매칭율은 50이 된다. 실제 건물영역은 육안으로 구하고

표 1. 건물영역 매칭률

Fig. 1. Building area matching percentage rate.

| 건물 번호 | Mayunga(%) | 제안(%) |
|-------|------------|-------|
| 1 | 58 | 81 |
| 2 | 50 | 80 |
| 3 | 25 | 42 |
| 4 | 89 | 91 |
| 5 | 69 | 83 |
| 6 | 32 | 71 |
| 7 | 56 | 74 |
| 8 | 59 | 80 |
| 9 | 68 | 75 |
| 10 | 76 | 75 |
| 평균 | 58 | 75 |

이식을 이용하여 10개의 건물에 대하여 제안한 방법과 Mayunga의 방법을 비교한 것을 표 1.에 보인다. Mayunga의 방법이 평균 58%, 제안한 방법이 평균 75%로 제안한 방법이 17% 우수한 매칭률을 보인다.

3. 건물 인식률 추정

건물 영역의 60%이상 매치되는 영역을 건물로 분류할 경우, 제안한 방법이 얼마나 건물을 인식할 수 있는지 식 (10)를 이용해 간단히 알아보았다.

$$f(a) = \frac{BEM}{BEM + NBE} \times 100 \quad (10)$$

여기서 $f(a)$ 는 건물인식률, BEM은 올바르게 찾은 건물 수, NBE은 찾지 못한 건물수이다. 표 2.는 식 (10)을 이용하여 계산한 건물 인식률이다.

이러한 가정아래에서 Mayunga는 37개의 건물 중에서 27개를 찾았고 제안한 방법은 33개를 찾아 제안한 방법이 17% 건물을 더 정확히 찾음을 알 수 있다.

표 2. 건물 인식률

Fig. 2. Building extraction percentage rate.

| 방법 | BEM(개수) | NBE(개수) | $f(a)$ (%) |
|---------|---------|---------|------------|
| Mayunga | 27 | 10 | 72 |
| 제안 | 33 | 4 | 89 |

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존의 건물영역 검출용 스네이크 알고리즘을 개선하고 이를 위성영상을 이용하여 평가하였다.

스네이크 알고리즘을 건물용으로 특화시키기 위해

E_{Cont} 를 설정하는 새로운 방법을 제안하였으며 건물의 경계면이 겹치는 경우에 초기 제어점을 사각형으로 주는 방법도 제안하였다. 변형한 스네이크를 별모양의 오목 다각형에 대해서 평가한 결과 기존의 Mayunga 방법보다 오목면에 잘 접합함을 알 수 있었다.

제안한 방법으로 건물영역을 추출하는 시스템을 구현하여 건물의 경계면을 추출한 결과 매칭율이 75%로 기존의 Mayunga 방법보다 우수함을 알 수 있었다.

건물영역을 자동으로 찾는 데 제안한 방법을 적용하기 위해서는 건물 영역의 내부점을 찾는 방법을 개발해야 하는데 이를 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Gulch, E., Digital Systems for automated cartographic feature extraction. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIII, Part B2, pp. 241-255, 2000.
- [2] Mayunga, S. D., Zhang, Y. and Coleman, D. J., Semi-Automatic Building Extraction Utilizing Quickbird Imagery, In Stilla, U., Rottensteiner, F. and Hinz, S. (Eds.), IAPRS, Vol. XXXVI, Part 3/W24, pp. 131-136, 2005.
- [3] Florent Lafarge, Xavier Descombes, Josiane Zerubia and Marc Pierrot-Desseilligny, Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 63(3), 365-381, 2008.
- [4] Beril Sirmacek, Student Member, IEEE, and Cem Unsalan, Member, IEEE, Urban-Area and Building Detection Using SIFT Keypoints and Graph Theory, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL.47, NO. 4, APRIL 2009.
- [5] Noronha, S., Nevatia, R., Detection and modeling of buildings from multiple aerial images. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 23 (5), pp 501 - 518, 2001.
- [6] McKeown, D.M., Bulwinkle, T., Cochran, S., Harvey, W., McGlone, C., Shufelt, J.A., Performance evaluation for automatic feature extraction. Int. Arch. Photogrammetry Remote Sensing 33 (Part B2), 379-394, 2000.
- [7] Neuenschwander, W., Fua, P., Sze'kely, G., Kubler, O., From Ziplock snakes to VelcroTM surfaces. Automatic Extraction of Man-Made

Objects from Aerial and Space Images, Birkhauser Verlag, pp. 105 - 114, 1995.

- [8] LAU BEE THENG, CHOO AI LING, GANN Snake For Object Extractions From High Resolution Satellite Imagery, ICACTE, DOI 10.1109, 1005-1009, 2008.
- [9] Lau Bee Theng, Member, IAENG, Automatic Building Extraction from Satellite Imagery, Engineering Letters, 13:3, EL_13_3_5, 2006.
- [10] <http://opencv.willowgarage.com/wiki>

저 자 소 개



박 현 주(학생회원)
 2009년 전북대학교 컴퓨터공학과
 학사 졸업.
 2009년~현재 전북대학교
 컴퓨터공학과 석사과정
 <주관심분야 : 3D컴퓨터그래픽스,
 소프트웨어공학, 패턴인식>



권 오 봉(정회원)-교신저자
 1980년 고려대학교 전기공학과
 (공학사) 졸업
 1983년 고려대학교 전기공학과
 (공학석사) 졸업
 1993년 일본구주대학교 총합이공
 학연구과(공학박사) 졸업
 1993년~현재 전북대학교전자정보공학부교수
 <관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 비주얼라이제이션,
 물리 시뮬레이션>