고해상도 전정색 영상과 다중분광 영상을 활용한 그림자 분석기반의 3차원 건물 정보 추출

이태윤*[†] · 김윤수* · 김태정**

*한국항공우주연구원 위성정보연구센터, **인하대학교 지리정보공학과

Extraction of 3D Building Information by Modified Volumetric Shadow Analysis Using High Resolution Panchromatic and Multi-spectral Images

Taeyoon Lee*[†], Youn-Soo Kim* and Taejung Kim**

*Satellite Information Research Center, Korea Aerospace Research Institute

**Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : This article presents a new method for semi-automatic extraction of building information (height, shape, and footprint location) from monoscopic urban scenes. The proposed method is to expand Semi-automatic Volumetric Shadow Analysis (SVSA), which can handle occluded building footprints or shadows semi-automatically. SVSA can extract wrong building information from a single high resolution satellite image because SVSA is influenced by extracted shadow area, image noise and objects around a building. The proposed method can reduce the disadvantage of SVSA by using multi-spectral images. The proposed method applies SVSA to panchromatic and multi-spectral images. Results of SVSA are used as parameters of a cost function. A building height with maximum value of the cost function is determined as actual building height. For performance evaluation, building heights extracted by SVSA and the proposed method from Kompsat-2 images were compared with reference heights extracted from stereo IKONOS. The result of performance evaluation shows the proposed method is a more accurate and stable method than SVSA.

Key Words : Volumetric shadow analysis, Semi-automation, 3D building information extraction, Single high resolution satellite image, Multi-spectral images

요약 : 각종 센서 정보에 기반한 3차원 건물 정보 추출 방법은 건물 형태를 보다 상세하게 묘사할 수 있지만 많은 비용 및 복잡한 처리가 요구된다. 단일 고해상도 영상에 기반한 방법은 추출할 수 있는 3차원 건물 정보가 비교적 제한적이지만 낮은 비용과 단순한 처리 과정으로 건물 정보를 추출할 수 있다는 장점을 갖는다. 단일 고해상도 위성영상만을 이용한 건물 정보 추출 방법 중에서도 Volumetric Shadow Analysis(VSA)

접수일(2013년 9월 3일), 수정일(1차 : 2013년 10월 8일, 2차 : 10월 14일), 게재확정일(2013년 10월 17일).

[†] 교신저자: 이태윤(etaeyoon@gmail.com)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

는 그림자나 건물 밑 바닥이 일부만 가려져도 해당 건물의 높이와 바닥 위치 정보를 추출할 수 있다. 최근에는 반자동 VSA가 제안되었으나 이 방법은 주변 객체 형태와 그림자 영역 추출 정확도, 영상 노이즈 등에 큰 영향을 받는다. 반자동 VSA를 개선하기 위해서 본 논문은 단일 고해상도 전정색 영상과 다중분광 영상을 이용한 3차원 건물 정보 추출 방법을 제안한다. 제안된 방법은 각 밴드 영상에 반자동 VSA를 각각 적용하고 이를 통해서 계산된 파라미터로 비용함수를 구성한다. 비용함수로 계산된 값이 최대인 건물 높이를 실제 건물 높이로 결정한다. 제안된 방법의 성능평가를 위해서 Kompsat-2 영상이 사용되었으며 반자동 VSA와 제안된 방법으로 추출된 건물 정보를 비교 분석하였다. 그 결과는 제안된 방법이 보다 높은 성공률로 비교적 정확한 건물 정보를 추출할 수 있음을 보여준다.

1. 서론

최근 미국의 구글어스와 Bing, 한국의 브이월드, 다음 3D 지도 등 다양한 웹 기반 3차원 지도 서비스들이 등장했다. 이러한 서비스들을 통해서 일반인들도 손쉽게 3차원 공간정보에 접근하여 활용할 수 있다. 3차원 지도의 주요 객체인 3차원 건물 정보는 지도 제작을 위해서 사용될 뿐만 아니라 실세계 기반의 각종 시뮬레이션, 실세계 기반 3차원 게임, 군사분야 등에서 다양하게 활용되고 있다. 많은 연구자들은 3차원 건물 정보를 획득하기 위해서 다양한 방법들을 연구했다. 이중에서도 다수의 방법들은 고해상도 스테레오 영상의 정합을 통해서 3차원 정보를 추출했다(Kim and Muller, 1998; Baillard and Maitre, 1999; Fradkin *et al.*, 2001; Rau and Chen, 2003; Sohn *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2011). 단일 영상을 이용하여 3차원 건물 정보를 추출하는 방법들도 제안되었다(Liow and Pavlidis, 1990; Lin and Nevata, 1998; Lee *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2006; Javazandulam *et al.*, 2007; Lee and Kim, 2013). 최근에는 라이다 정보나 다양한 센서 정보의 융합 등을 통해서 보다 세밀한 묘사가 가능한 3차원 건물 정보 추출 방법들이 연구되고 있다(Sohn and Dowman, 2007; Vu *et al.*, 2009; Cheng *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2013).

스테레오 또는 다수의 고해상도 영상을 사용하거나 라이다 또는 부가적인 정보를 이용하는 방법은 아직까지 많은 비용이 필요하며 복잡한 처리 과정으로 긴 처리 시간이 필요하다. 단일 영상을 이용한 방법은 세밀한 묘사가 가능한 건물 정보를 추출하기는 어렵지만, 비교적 적은 비용과 간단한 처리 과정만으로 3차원 건물 정보를 추출할 수 있다. 단일 영상 기반 방법들은 대부분 건물 지붕 모퉁이 점과 그에 대응되는 바닥 모퉁이 점 사이의 길이나 건물 그림자 길이를 측정하여 건물 높이를

추출한다. 이러한 방식은 건물이 밀집되어 있어서 건물 바닥이 보이지 않거나 그림자 끝 부분이 가려지는 건물에는 적용하기 어렵다. 이에 그림자나 건물 바닥이 일부 가려지더라도 3차원 건물 정보를 추출할 수 있는 VSA가 제안되었다(Lee *et al.*, 2006). 이 방법은 수동으로 건물 지붕 외곽선을 추출한 후, 사용자가 증가시키는 높이 값에 대응되는 그림자를 영상에 반복적으로 투영하면서, 사용자가 실제 그림자와 투영된 그림자가 일치하는 지를 관측하여 건물의 높이를 결정한다. VSA의 완전 수동 추출 방법을 보완하기 위해서 투영된 그림자 외곽선에 대응되는 영상 그림자 픽셀 개수를 이용한 방법(Javazandulam *et al.*, 2007)과 투영되는 그림자 외곽선과 영상 그림자 영역 간의 상관성을 이용한 방법(Lee and Kim, 2013)이 제안되었다. 픽셀 개수를 이용한 방법(Javazandulam *et al.*, 2007)은 비교적 빠르고 간단하나 가려진 그림자가 있는 건물에 적용하기 어렵고 그림자 영역의 추출 정확도에 매우 민감하다. 상관성을 이용한 방법(Lee and Kim, 2013)은 가려진 그림자를 갖는 건물에서도 정확한 건물 정보 추출이 가능하지만, 그림자 영역 추출의 정확도나 주변 개체 등에 영향을 받는다.

최근 고해상도 위성영상을 제공하는 대부분의 기관에서는 동일한 지역, 유사한 시점에서 촬영된 다중분광(Multi-spectral, MS) 영상과 전정색(Panchromatic, PAN) 영상을 함께 제공한다. 이에 일부 연구자들은 다중분광 영상으로부터 얻은 색 정보 기반 분류로 건물을 추출하는 방식(Aytekin *et al.*, 2009)과 다중분광 영상으로부터 얻은 색 정보를 스테레오 정합에 활용한 3차원 건물 정보 추출 방식(Sohn *et al.*, 2005) 등을 제안하였다. 그러나 고해상도 위성영상의 단일 전정색 영상과 다중분광 영상만을 이용한 3차원 건물 정보 추출은 아직까지 시도되지 않았다.

본 연구의 목적은 상관성을 이용한 방법(Lee and Kim, 2013)인 Semi-automatic VSA(SVSA)를 개선하여 그림자나 주위 환경의 영향을 최소로 받는 안정적인 반자동 건물 정보 추출 방법을 개발하는 것이다. SVSA는 VSA의 장점을 유지하면서 반자동으로 건물 정보를 추출하기 위해서 투영되는 그림자 외곽선과 실제 그림자 영역 간의 상관성을 이용하여 자동적으로 건물 높이를 결정한다. 이러한 방식은 부정확하게 추출된 그림자 영역 또는 건물 주변에 다른 건물 그림자나 영상 노이즈(Image noise) 등에 의해서 잘못된 건물 정보를 추출할 수 있다. 제안된 방법은 동일지역에 대한 전정색 영상과 다중분광 영상에 SVSA를 적용하고 이로부터 계산된 값들로 비용함수를 구성하여 최종적인 건물 높이를 결정한다. 제안된 방법은 다중분광 영상을 이용하여 투영된 그림자와 영상 내 그림자 간의 상관성을 보다 명확하게 분석하여 그림자 영역 추출 결과와 주변 개체의 영향을 최소화시킨다. 제안된 방법은 비록 전정색 영상과 다중분광 영상을 이용하지만 SVSA와 마찬가지로 VSA의 장점을 유지하면서 반자동으로 건물 정보를 추출할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 방법의 성능 평가를 위해서 Komsat-2의 전정색 영상과 다중분광 영상을 이용하였다. 제안된 방법과 SVSA로 추출된 건물 높이의 RMSE(Root Mean Square Error)와 건물 추출 성공률의 비교 결과는 제안된 방법이 SVSA보다 비교적 더 정확한 건물 정보를 더 많이 추출할 수 있음을 보여준다.

2. 다중분광 기반 SVSA

Multi-spectral images based SVSA(MSVSA)는 전정색 영상을 기준으로 건물 지붕을 추출하고 전정색 영상과 다중분광 영상에 각각 SVSA를 적용한다. SVSA의 결과를 이용하여 비용함수를 구성하고 최종적인 건물 높이 및 바닥 위치 정보를 결정한다. Fig.1은 MSVSA의 전체적인 과정을 보여준다.

제안된 방법은 전정색 영상과 다중분광 영상 간 영상 등록(Band-to-Band registration)이 수행되어서 전정색 영상과 다중분광 영상이 동일한 픽셀위치를 갖는다고 가정한다. 만약 전정색 영상과 다중분광 영상 간 영상 등록이 수행되지 않았다면 전정색 영상과 다중분광 영상

Fig. 1. MSVSA procedure.

간 대응점과 관계식 등을 이용하여 영상 등록을 수행해야 한다(Radhadevi *et al.*, 2009). 본 연구에서는 영상 간 등록을 따로 수행하지 않았다. 대부분 다중분광 영상의 공간해상도는 전정색 영상보다 낮다. MSVSA에서는 다중분광 영상을 업샘플링(Upsampling)해서 모든 영상이 동일한 공간해상도를 갖도록 만든다. 이를 통해서 전정색 영상에서 추출된 건물 지붕 정보를 다중분광 영상에 그대로 적용할 수 있다. 전정색 영상에서 추출된 건물 지붕 외곽선을 기준으로 선택된 건물에 대해 전정색 영상과 다중분광 영상 각각에 SVSA를 적용한다. SVSA를 통해서 각 영상에서 해당 건물의 높이값과 최대 상관값, 그림자 픽셀 분포율, 그림자 외곽선 중에서 최대 상관값을 갖는 선분의 길이 등을 계산하고 비용함수에 적용한다. 비용함수로 계산된 값이 최대값인 건물 높이를 실제 건물 높이로 결정한다.

1) 업샘플링

본 연구에서 적용한 업샘플링은 전정색 영상과 다중분광 영상의 공간해상도 차이만큼 다중분광 영상 임의의 픽셀을 가로와 세로방향으로 증가시키는 간단한 방법이다. Fig 2는 Komsat-2의 전정색 영상 일부와 대응되는 다중분광 영상 및 업샘플링 결과를 보여준다. 업샘플링으로 인한 해상도 저하는 다중분광 영상에 SVSA를

Fig. 2. (a) PAN image, (b) MS1 image and (c) upsampled MS1 image.

Fig. 3. Correlation values and shadow pixel ratios of shadow lines by height change.

적용할 때 주변 건물이나 영상 노이즈 등의 영향을 줄여 준다.

2) SVSA

SVSA는 건물 높이값에 따라서 투영되는 그림자의 위치가 영상 내에서 달라진다는 점과 이때 투영된 그림자와 실제 그림자 사이의 상관성을 이용한 방법이다(Lee and Kim, 2013). VSA 수행 시 높이값의 증가할 때 투영되는 그림자의 영역은 커진다. 이때 영상에 투영되는 그림자 외곽선 부분의 위치는 달라진다. 투영되는 그림자 외곽선 부분과 이에 대응되는 영상의 그림자가 일치할 때 정규 교차 상관 수식으로 계산된 상관값이 최대가 된다. 주변 개체의 영향으로 영상의 그림자 영역을 벗어난 후에도 이 상관값은 최대가 될 수 있다. 그래서 투영되는 그림자 외곽선을 이루는 각 선분에 대해서, 영상 그림자 영역의 안쪽에서 바깥쪽 또는 바깥쪽에서 안쪽으로 이동하는 구간 내에서 최대 상관값을 갖는 높이를 실제 높이로 결정한다. 이 구간은 그림자 외곽선이 투영되는 영상 위치의 픽셀값 변화를 통해서 판단할 수 있다. Fig. 3은 높이에 따라서 달라지는 상관값과 픽셀값 변화를 보여준다.

Fig. 3에서 SVSA로 추출된 최종 건물 높이는 91 m이다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 그림자 외곽선과 대응되는 영상 지점에서 그림자에 해당되는 픽셀이 몇 개인지(그림자 픽셀 포함 비율)를 통해서 In → Out으로 또는 Out → In으로 바뀌는 구간을 결정할 수 있다. 이 구간 내에서 최대 상관값을 갖는 높이가 실제 높이(91 m)라고 결정할 수 있다(Lee and Kim, 2013).

3) 비용함수

제안된 방법은 전정색 영상과 다중분광 영상 각각에서 SVSA를 통해서 계산된 최대상관계수(C)와 투영되는 그림자 외곽선의 그림자 픽셀 포함 비율(S_i), 그림자 외곽선을 이루는 선분 중에서 최대상관계수를 갖는 선분의 길이(L)를 비용함수의 입력값으로 사용한다. 본 연구에서 사용된 비용함수는 다음과 같다.

$$f = C * w_c + S_i * w_{si} + (100 - S_o) * w_{so} + L * w_l \quad (1)$$

비용함수에서 그림자 픽셀 포함 비율은 다시 그림자 영역 안에 있는 픽셀 비율(S_i)과 그림자 영역 밖에 있는

Fig. 4. Definition of S_i (Projected shadow line part in shadow area) and S_o (Projected shadow line part outside of shadow area).

픽셀 비율(S_o)로 나누어진다. 이론적으로, SVSA를 이용하여 높이가 정확하게 추출된다면, 투영되는 외곽선의 중심이 영상의 그림자 영역 경계와 일치하게 된다. 그림자 외곽선을 이루는 각 선분은 선분의 중심을 기준으로 그림자 영역 안쪽과 그림자 영역 바깥쪽 부분으로 나눌 수 있다(Fig. 4). 그림자 영역 안쪽에서의 그림자 픽셀 비율이 S_i 이고, 그림자 영역 바깥쪽 부분에서의 그림자 픽셀 비율이 S_o 이다. 건물 높이가 정확하게 추출된다면, S_i 는 100%에 근접하고 S_o 는 0%에 근접한다. 이러한 특성을 고려하여 비용함수를 구성하였다.

비용함수에서 입력값의 가중치(W)는 기준건물(Fig. 3)에 대한 반복적인 실험으로 결정하였다. 건물 높이를 알고 있는 기준건물에 대해서 전정색 영상과 다중분광 영상에 VSA와 SVSA를 각각 반복적으로 적용하고, 여기서 계산된 비용함수의 입력값이 반복적인 적용과정에서 어떻게 달라지는지 분석하였다. Table 1은 분석결과를 기초로 결정된 W 를 보여준다.

Table 2는 Kompsat-2 영상의 기준건물(Fig. 3)에 MSVSA를 적용하여 계산된 비용함수 값과 건물 높이, 비용함수의 입력값을 보여준다. Fig. 5는 MSVSA를 기준건물에

Table 1. Weight values of the cost function

W_c	W_{si}	W_{so}	W_l
0.6	0.15	0.2	0.05

Table 2. An example of the cost and height extracted by MSVSA

Image	C	Si	So	L	Cost	Height(m)
PAN	0.565779	74.359	17.9487	46.3685	30.222	90
MS1	0.314646	40.404	12.6263	54.5711	26.453	84
MS2	0.313135	71.6216	40.5405	44.2846	25.037	85
MS3	0.547024	82.3529	27.9412	40.1165	29.098	77
MS4	0.244999	58.1395	33.7209	51.578	24.702	99

Fig. 5. An example of building extraction by MSVSA.

적용한 결과를 보여준다. 비용함수로 계산된 값 중에서 가장 높은 값을 갖는 높이가 실제 건물 높이(Lee and Kim, 2009)에 근접함을 확인할 수 있다.

3. 실험방법

제안된 방법의 성능 검증을 위해서 고해상도 위성영상에서 제안된 방법으로 추출된 건물의 높이 정확도와 건물 정보 추출 성공률을 분석하였다.

1) 사용된 데이터

본 연구에서 사용된 영상은 2008년에 대전지역을 촬영한 Kompsat-2 영상이다. Kompsat-2 영상은 한 개의 전정색 영상과 4 개의 다중분광 영상으로 이루어진다. Table 3은 Kompsat-2 카메라 사양 일부분을 보여준다(Korean Aerospace Research Institute, 2008).

SVSA를 적용하기 위해서는 영상을 촬영할 당시의 태

Table 3. Kompsat-2 camera specification

Item		Spec.
Ground Sample Distance (GSD)	PAN	1 m
	MS	4 m
Spectral band	PAN	500 ~ 900 nm
	MS1	520 ~ 600 nm (Green)
	MS2	450 ~ 520 nm (Blue)
	MS3	760 ~ 900 nm (NIR)
	MS4	630 ~ 690 nm (Red)
Quantization		10 bits

Table 4. Direction angles of the Sun and the camera

Item	Angle (°)
Camera azimuth	270.13
Camera elevation	76.06
Sun azimuth	142.85
Sun elevation	60.20

양과 카메라의 고도각과 방위각이 필요하다(Lee and Kim, 2013). 본 실험에서 해당 정보는 Kompsat-2 전정색 영상에서 밑바닥이 잘 보이는 기준 건물(Fig. 3)을 이용하여 수동으로 측정하였다(Lee and Kim, 2009). Table 4는 측정된 고도각 및 방위각 정보를 보여준다.

추출된 건물 높이의 정확도 평가를 위해서 동일 지역의 스테레오 IKONOS 영상과 GPS 측량 장비로 측정한 10 점의 지상기준점을 이용하여 계산된 건물 높이를 참값으로 사용했다(Lee and Kim, 2009). 스테레오 IKONOS 영상은 2002년도에 촬영된 1 m 공간해상도의 전정색 영상이다.

2) 성능평가

본 연구에서는 사용된 Kompsat-2 영상에서 고르게 분포된 총 30 개의 건물을 추출하였다. 높이 정확도 비교를 위해서 참값으로 사용될 건물 높이를 스테레오 IKONOS 영상과 지상기준점, 직접선형변환(Direct Linear Transformation)을 이용하여 추출하였다. 수립된

직접선형변환 모델의 성능평가를 위해서 각 영상에서 GPS 측량장비로 측정한 3 점의 검사점이 사용되었다. 10 개의 지상기준점으로 직접선형변환 모델 수립 후 1~3 개의 검사점으로 정확도를 평가했을 때, 각 영상에서 검사점 RMSE는 약 1 픽셀(1 m)이었다(Lee and Kim, 2009).

건물 정보 추출 성공률은 추출된 30 개의 건물에 대해 성공한 건물과 실패한 건물 개수를 파악하여 계산하였다. 그리고 SVSA만을 적용하여 계산한 성공률과 비교하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Table 5는 스테레오 IKONOS에서 추출한 건물 높이와 VSA, SVSA, MSVSA를 각각 적용하여 추출한 건물 높이를 보여준다.

오차(Error)는 스테레오 IKONOS에서 추출한 높이를 기준 높이로 가정하고, 이로부터 각각의 방법으로 추출한 건물 높이를 빼준 결과이다. Table 5에서 건물 추출에 실패한 'Failure'는 RMSE 계산에 포함시키지 않았다.

Table 5. Accuracy of building heights extracted by VSA, SVSA and MSVSA

ID	R	V	S	M	Error (m)		
	Stereo IKONOS	Height by VSA	Height by SVSA	Height by MSVSA	R-V	R-S	R-M
1	35.0305	34	30	35	1.0305	5.0305	0.0305
2	42.8972	42	11	45	0.8972	Failure	-2.1028
3	33.3921	35	32	35	-1.6079	1.3921	-1.6079
4	47.6239	45	43	47	2.6239	4.6239	0.6239
5	26.9985	28	25	25	-1.0015	1.9985	1.9985
6	46.0678	43	40	42	3.0678	6.0678	4.0678
7	42.8649	44	41	41	-1.1351	1.8649	1.8649
8	42.9319	40	37	38	2.9319	5.9319	4.9319
9	44.4669	41	41	40	3.4669	3.4669	4.4669
10	39.7434	37	35	37	2.7434	4.7434	2.7434
11	14.3077	17	14	11	-2.6923	0.3077	3.3077
12	38.1952	35	25	37	3.1952	Failure	1.1952
13	57.0352	53	42	37	4.0352	Failure	Failure
14	100.1444	97	15	98	3.1444	Failure	2.1444
15	80.2893	81	62	81	-0.7107	Failure	-0.7107
16	19.0725	18	13	15	1.0725	6.0725	4.0725
17	23.8073	23	20	24	0.8073	3.8073	-0.1927
18	28.5935	27	24	27	1.5935	4.5935	1.5935
19	14.1835	13	13	16	1.1835	1.1835	-1.8165
20	26.8815	26	27	23	0.8815	-0.1185	3.8815
21	28.5855	27	28	30	1.5855	0.5855	-1.4145
22	6.266	6	5	6	0.266	1.266	0.266
23	23.7916	18	25	20	5.7916	-1.2084	3.7916
24	20.653	17	20	20	3.653	0.653	0.653
25	36.5491	33	31	32	3.5491	5.5491	4.5491
26	41.248	39	37	38	2.248	4.248	3.248
27	41.252	42	115	52	-0.748	Failure	Failure
28	88.8	88	89	92	0.8	-0.2	-3.2
29	88.8	87	89	90	1.8	-0.2	-1.2
30	100.1444	99	91	72	1.1444	Failure	Failure
RMSE (m)					2.49858	3.546901	2.708133

Table 6. Accuracy of building heights extracted by VSA, SVSA and MSVSA

Method	SVSA	MSVSA
Success ratio (number of success/total (%))	23/30 (76.7)	27/30 (90)

Fig. 6. Examples of building (ID 14) extraction failure by SVSA and success by MSVSA.

Table 5에서 붉은 글씨는 해당 방법을 적용한 결과 중에서 최대 오차를 보여준다. Table 5의 RMSE를 비교해보면, MSVSA의 높이 RMSE는 약 2.7 m이고 SVSA의 RMSE는 약 3.5 m이다. MSVSA의 건물 높이 최대 오차는 약 4.9 m로 SVSA의 최대 오차 (6.1 m) 보다 작다. 이를 통해서 MSVSA로 추출한 건물 높이 정확도가 SVSA의 정확도 보다 높음을 확인할 수 있다.

Table 6은 SVSA와 MSVSA의 건물 정보 추출 성공률을 보여준다. 건물 추출의 성공 여부는 육안으로 결정했다. 선택된 지역의 건물에 대해서 SVSA는 약 77%, MSVSA는 약 90%의 성공률을 보여준다.

Fig. 6은 동일 건물에 대해서 SVSA 적용 시 실패한 경우와 MSVSA로 성공한 경우를 비교해서 보여준다. Fig. 6은 SVSA와 MSVSA를 이용하여 추출한 각 건물 높이로 생성한 그림자와 건물 프레임을 영상으로 다시 투영한 것이다.

Table 5와 6, Fig. 6 등에서 보여준 실험 결과는 MSVSA가 주변 환경 등에 덜 민감하여 보다 많은 건물을 정확하게 추출할 수 있음을 보여준다. 그러나 본 연구에서 제안한 MSVSA는 비용함수의 최적화가 필요하고 지형 지물의 높이 변화에 따른 그림자 형태 변화에 영향을 받는다. Fig. 7은 그러한 예를 보여준다.

Fig. 7의 (a)는 본 논문에서 제안한 비용함수로 계산된 최대값이 잘못된 건물 정보를 결정할 수 있음을 보여준다. 해당 건물 (ID 27)에 대해서 제안된 방법으로 결정된 건물 높이는 52 m였고 이때의 비용함수 값은 44.86 이었다(“MS4” 영상). 같은 건물에 대해서 “MS1” 영상에서 계산된 건물 높이는 42 m였고 비용함수 값은 20.92 였다. 보다 안정적으로 건물 정보 추출을 수행하기 위해서

Fig. 7. Examples of failure by the cost function ((a)) and by shadow on another building ((b)).

는 비용함수의 개선이 필요하다.

Fig. 7의 (b)는 다른 지형/지물 위에 실제 그림자가 존재하여 MSVSA가 정확한 건물 정보 추출에 실패한 경우를 보여준다. SVSA도 이와 동일한 조건에서는 정확한 건물 정보 추출에 실패한다. 그림자 외곽선의 위치 변화를 이용한 접근법에서 이러한 문제는 그림자를 왜곡시키는 건물 높이를 먼저 추출하고, 이 정보를 바탕으로 그림자 형태의 왜곡을 고려하여 SVSA나 MSVSA를 적용하면 해결될 것으로 판단한다.

5. 결론

본 논문에서는 단일 시점에서 촬영된 고해상도 위성 영상으로부터 반자동으로 3차원 건물 정보를 추출할 수

있는 다중분광 영상 기반 방법인 MSVSA를 제안하였다. 제안된 방법은 전정색 영상과 다중분광 영상에 SVSA를 적용하고 제안된 비용함수를 통해서 가장 정확한 건물 높이를 결정한다. 제안된 방법은 SVSA와 마찬가지로 경제적인 장점과 가려진 그림자나 건물 바닥을 갖는 건물에도 적용할 수 있다는 장점은 그대로 유지하면서, SVSA가 갖는 주변 환경 영향 및 그림자 영역 추출 정확도의 영향을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 MSVSA의 성능평가 결과를 보여준다. 성능평가를 위해서 Kompsat-2 영상에 VSA와 SVSA, MSVSA를 각각 적용하여 총 30개의 건물 정보를 추출하였다. 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 건물 높이를 기준높이로 가정하여 각 방법으로 추출한 건물 높이의 정확도를 확인하였다. 그 결과 MSVSA로 추출한 건물 높이 정확도 (2.7 m RMSE)가 SVSA의 정확도 (3.5 m RMSE) 보다 더 높음을 확인할 수 있었다. 건물 정보 추출 성공률도 MSVSA가 더 높음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 제안된 MSVSA가 SVSA 보다 비교적 안정적으로 건물 정보를 추출할 수 있음을 보여준다.

본 연구를 통해서 VSA에 기초하여 투영된 그림자 외곽선 위치 변화를 이용한 반자동 방법은 그림자 형태 왜곡에 큰 영향을 받을 수 있음을 확인하였다. 또한 제안된 비용함수가 아직까지 불완전함을 확인하였다. 향후 연구를 통해서 그림자 형태 왜곡을 고려한 반자동 방법과 비용함수의 개선 등이 필요하다.

Reference

- Aytekin, O., I. Ulusoy, A. Erener, and H. S. B. Duzgun, 2009. Automatic and unsupervised building extraction in complex urban environments from multi spectral satellite imagery, *Proc. of Recent Advances in Space Technologies, 2009 4th International Conference on*, Jun. 11-13, pp. 287-291.
- Baillard, C. and H. Maitre, 1999. 3-D reconstruction of urban scenes from aerial stereo imagery: A focusing strategy, *Computer Vision and Image Understanding*, 76: 244-258.
- Cheng, L., J. Gong, M. Li, and Y. Liu, 2011. 3D building model reconstruction from multi-view aerial imagery and lidar data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 77: 125-139.
- Fradkin, M., H. Maitre, and M. Roux, 2001. Building detection from multiple aerial images in dense urban areas, *Computer Vision and Image Understanding*, 82: 181-207.
- Huang, H., C. Brenner, and M. Sester, 2013. A generative statistical approach to automatic 3D building roof reconstruction from laser scanning data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79: 29-43.
- Javzandulam, T.A., T. Kim, and K.O. Kim, 2007. A semi-automated method to extract 3D building structure, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(3): 211-219.
- Kim, H.J., D.Y. Han, and Y.I. Kim, 2006. Building height extraction using triangular vector structure from a single high resolution satellite image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(6): 621-626 (in Korean with English abstract).
- Kim, T. and J.P. Muller, 1998. A technique for 3D building reconstruction, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64: 923-930.
- Korea Aerospace Research Institute, 2008. Kompsat-2 image data manual, http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/
- Lee D.C., J.H. Yom, S.W. Shin, J. Oh, and K. Park, 2011. Automatic building reconstruction with satellite images and digital maps, *ETRI Journal*, 33(4): 537-546.
- Lee, T. and T. Kim, 2009. A study on the reproduction of 3-dimensional building model from single high resolution image without meta information, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, 17(3): 71-79 (in Korean with English abstract).
- Lee, T. and T. Kim, 2013. Automatic building height extraction by volumetric shadow analysis of

- monoscopic imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 34(16): 5834-5850.
- Lee, T.Y., T.J. Kim, and Y.J. Lim, 2006. Extraction of 3D building information using shadow analysis from single high resolution satellite images, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, 14(2): 3-13 (in Korean with English abstract).
- Lin, C. and R. Nevata, 1998. Building detection and description from a single intensity image, *Computer Vision and Image Understanding*, 72: 101-121.
- Liow, Y.T. and T. Pavlidis, 1990. Use of shadows for extracting building in aerial images, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 49: 242-277.
- Radhadevi, P.V., S.S. Solanki, M.V. Jyothi, V. Nagasubramanian, and G. Varadan, 2009. Automated co-registration of images from multiple bands of Liss-4 camera, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1): 17-26.
- Rau, J.Y. and L.C. Chen, 2003. Robust reconstruction of building models from three-dimensional line segments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 181-188.
- Sohn, G. and I. Dowman, 2007. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62: 43-63.
- Sohn, H.G., C.H. Park, and J. Heo, 2005. 3-D building reconstruction using IKONOS multispectral stereo images, *Lecture Notes in Computer Science*, 3683: 62-68.
- Vu, T.T., F. Yamazaki, and M. Matsuoka, 2009. Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 281-289.