표면 파라미터 추정값 평가를 위한 조정계산모델별 전통계량 적용도 비교분석

서 수 영[†]

경북대학교 공과대학 건축토목공학부 토목공학과

A Comparative Study on the Applicability of A Priori Estimates of Adjustment Models for Assessment of Surface Parameter Estimates

Suyoung Seo[†]

Department of Civil Engineering, Kyungpook National University

Abstract : This paper presents a comparative analysis on the applicability of a priori statistic information about adjustment models when the surface shape parameters are estimated at an arbitrary point in an elevation data. Although the reliability of the estimates are known to be affected by surface condition and the adjustment models, there has been little research in a systematic and detail way. When the raw data have been taken from a real measurement, its true value cannot be known, however, thus this study used simulation data in order to analyze clearly the applicability of adjustment models. The generation of simulated data was performed by superimposing horizontal, slope, and curve surfaces and adding a certain amount of noise. Comparative analysis was performed by associating the a posteriori estimates with a priori statistics of each adjustment models. The experimental results show the estimation characteristics of adjustment models against varying surface conditions.

Key Words : Elevation data, surface parameter, a priori statistics, applicability, adjustment models, simulation data

요약 : 본 연구는 표고자료의 임의지점에서 표면의 형상에 대한 파라미터들을 추정하는 경우, 추정에 적용된 조정계산모델들의 전통계량이 추정결과를 채택 혹은 기각하는데 적용될 수 있는 정도를 비교분석하는 것을 목적으로 한다. 표면 파라미터 추정시 그 추정결과값을 신뢰할 수 있는지에 대한 여부는 일반적으로 표면의 조건, 그리고 적용된 조정계산모델의 유형에 따라 영향을 받을 것으로 예상되지만 이에 대한 체계적이고 구체적인 연구는 아직 미흡한 실정이다. 원시자료가 실제 관측으로부터 취득된 자료인 경우, 그 참값을 알 수 없기 때문에, 조정계산모델들의 적용적합성을 명확히 파악하기 위하여, 본 연구에서는 원시자료를 모의적으로 생성하여 연구를 수행하였다. 모의자료생성은 각 기준면위에 수평면, 경사면, 그리고 곡면을 포함시키고 일정량의 노이즈를 추가함으로써 연구를 수행하였다. 비교 분석은 모의자료의 임의지점에서 추정된 결과값들을 각 조정계산모델별 전통계량과 연계분석함으로써 수행되었다. 실험결과로부터 조정계산모델들의 다양한 표면조건에 따른 추정특성을 파악할 수 있었다.

접수일(2012년 8월 22일), 수정일(1차 : 2012년 9월 13일, 2차 : 10월 5일), 게재확정일(2012년 10월 8일).

[†] 교신저자: 서수영(syseo@knu.ac.kr)

1. 서론

지형지물의 형상을 관측하고 이를 정형화된 모델로 구축하는 것은 대상 공간의 정보를 구성하고 분석해 나가는 데 중요하다고 할 수 있다. 현재 항공라이다, 지상라이다, 항공사진영상 등 다양한 센서로부터 지형지물의 형상을 취득하고 있고, 3차원 공간모델을 구성하기 위한 면들을 추출할 수 있게 되었다.

하지만, 시간과 비용 그리고 육안분석의 한계로 인해 이러한 대용량의 자료를 수작업으로 처리하는 것은 비효율적이다. 관측자료로부터 3차원 표면정보를 효율적으로 얻기 위하여 국내외에서 다양한 연구가 진행되어 오고 있다.

일반적으로 원시 자료로부터 표면에 대한 정보를 얻기 위해서는 기본적으로 인접한 일정 영역내에 있는 자료를 특정한 연산자를 이용하여 값을 얻고 이를 적합한 임계치와 비교하여 결과정보를 생성하게 된다. 성철웅 등(2010)은 지형을 분류하는 기법으로 윈도우의 크기를 지형의 특성에 따라 동적으로 변화하면서 지형에 대한 정보를 추출하였다. 이진형과 이동천(2010)은 일정 영역내에 표면 정보를 파악하기 위한 최적함수를 결정하기 위하여 최소제곱법으로 추정하고 그 결과를 임계값과 비교하였다. 최연웅(2009)에서는 일정크기의 커널내에서 에지를 검출하고 에지셀을 제외한 화소값들을 이용하여 최소값, 최대값, 그리고 평균값을 계산하여 영상 처리에 이용하였다. Filin and Pfeifer (2005)은 원시자료 내에 점들을 평면으로 군집화 하기 위하여 일정한 거리내에 있는 점들을 대상으로 평면의 방정식을 적용하여 3차원 평면을 추출하였다. 조홍범 등(2008)은 자료를 옥트리 기반으로 분할하기 위하여 평면방정식을 적용하여 그 평균제곱근 오차를 임계값과 비교하였다.

기존 연구들에 대한 고찰 결과 자료내 객체들을 인지하고 추출하는 최적 군집화과정에서 인접점이나 인접픽셀간의 영역검토시 적절한 추정과정이 필요하다고 판단된다. 기존 연구들에서 보여지는 바와 같이 실제 자료내에 존재하는 다양한 기하학적 조건을 모두 극복하도록 자료처리과정을 모델링하는 것은 어려운 문제로서, 다양한 조건들로 인한 문제를 풀어나가기 위해서는 최적 추정모델 혹은 조정계산모델을 구성하는 개별요소들에 의한 추정결과와 영향을 분석할 필요가 있다.

이를 위하여 서수영(2011)에서는 3차원상에 존재하는 면의 형상을 기술하는 파라미터들을 추정하기 위한 조정계산모델을 구성하여 수평면, 경사면, 2차곡면의 파라미터를 추정하는데 있어서 그들의 성능을 사전통계량을 통해서 예측 비교분석하였다. 실제계에서는 지형지물의 표면이 다양하고 복잡한 형태로 존재하는 경우가 많기 때문에, 이러한 전통계량을 이용하여 실제 추정된 값의 신뢰성을 파악하고 이를 채택하거나 기각해야 하는 과정이 필요하다. 또한, 이러한 추정정보를 이용하는 영역 자동추출 등 후속 자료처리과정에서 추정값에 대한 정확한 정보와 이러한 정보의 한계를 파악하는 것은 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 사전연구(서수영, 2011)에서 구성된 조정계산모델들의 성능을 구체적으로 파악하기 위하여, 입력대상자료를 구성하고 여기에 각 조정계산모델들을 실험 적용한 결과를 비교분석하였다. 성능분석의 정확성을 위해 대상자료는 참값을 알 수 있는 모의 표면자료를 생성하고, 여기에 가우시안 노이즈를 추가하여 관측표면을 구성하고, 실제 상황에서 관측되는 자료와 유사한 환경에서 추정성능을 분석할 수 있도록 구성하여 연구를 진행하였다.

2. 연구개요

1) 연구의 주요 과정

본 연구의 전체적인 과정은 Fig. 1에 도시된 바와 같다. 본 연구의 사전연구(서수영, 2011)에서는 표면의 기하적인 요소로 표고, 경사, 2차계수를 추정하는 것을 목표로 하고 이를 위해 여러유형의 조정계산모델을 구성하고 각각의 조정계산모델에 따른 예상 추정정확도와 신뢰구간을 사전분석하였다.

이에 연계하여 실제 각 모델들의 성능을 엄밀히 평가하기 위하여 모의표면을 형성하고 이들의 기하요소를 추정하고 이를 사전분석결과와 연관지어 분석하는 과정으로 전체연구를 구성하였다.

2) 추정모델 구성

본 연구에서 표면 파라미터를 추정하기 위하여 실험

Fig. 1. Overall flow of this study.

된 조정계산모델들의 유형은 서수영(2011)에서 제시한 바와 같이 함수차수, 커널크기, 가중유형에 따라 구성하였다. 함수차수에 따라서는 상수함수(Constant function), 1차함수(First order function), 2차함수로(Second order function), 커널크기에 따라서는 3×3 , 5×5 로, 그리고 가중유형에 따라서는 균일가중(Uniform weight)과 중심가중(Gaussian weight)로 각각을 조합분류하여 구성하였다. 실험된 조정계산모델들을 구성하는 요소인 3가지 함수형태는 다음과 같다.

$$Z = f(Z_0) = Z_0 \quad (1)$$

$$Z = f(Z_0, S_X, S_Y) = Z_0 + S_X X + S_Y Y \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Z &= f(Z_0, S_X, S_Y, Q_X, Q_Y, Q_{XY}) \\ &= Z_0 + S_X X + S_Y Y + Q_X X^2 + Q_Y Y^2 + Q_{XY} XY \end{aligned} \quad (3)$$

3) 모의 관측표면 생성

모의실험을 위하여 41×41 격자형태로 구성된 수평, 경사, 곡면의 3가지 모의자료를 생성하고 이들에 각 조정모델을 적용하여 그들의 파라미터추정 성능을 사전분석결과와 연계분석하였다.

모의자료를 생성하기 위하여 전표준편차요소 $\sigma_0 = 0.2$ 에 해당하는 가우시안 노이즈를 생성하였다. 이는 현재 항공라이다자료 취득시 발생하는 정확도를 표면의 포장, 식생 또는 경사 여부 등을 포괄하는 정확도를 고려할 때 RMSE값이 대략 20 cm 정도인 것을 반영한 것이다(Hodgson and Bresnahan, 2004). Fig. 2는 생성된 노이즈의 공간적인 분포와 노이즈 크기의 히스토그램을 나타낸다.

위의 과정으로부터 생성된 노이즈의 실제 평균과 표준편차는 각각 0.0036, 0.2002으로, 생성하고자 했던 가우시안분포 $N(0, \sigma_0^2)$ 를 따르는 것으로 판단하여 실험을 진행하였다.

4) 추정결과값의 분류

표고, 경사 및 2차계수의 추정결과를 표면의 실제값과 예상표준편차와 비교 분류하여 분석하였다. 이를 위하여 각점에서 계산된 후표준편차값($\hat{S}$)은 표준편차의 단측검정 95% 신뢰구간 상한($S_{0.05}, \nu(\hat{Z}_0)$, 이후 S로 표

Fig. 2. Spatial distribution and frequency of the noise added to the simulation test surface.

Fig. 3. Classification Lines and notation of the divided sections.

기)을, 추정값($\hat{\mu}_0$)은 참값(μ_0)의 95% 양측검정신뢰구간 상하한($E_{0.05}, v[\hat{Z}_0]$, 이후 E로 표기)을 기준으로 구분하여 분류하였다(Fig. 3).

분류기준은 다음과 같이 4개의 구간으로 나뉘어진다.

$$C1: \hat{S} \leq S, |\hat{\mu} - \mu| \leq E \quad (4)$$

$$C2: \hat{S} \leq S, |\hat{\mu} - \mu| > E \quad (5)$$

$$C3: \hat{S} > S, |\hat{\mu} - \mu| \leq E \quad (6)$$

$$C4: \hat{S} > S, |\hat{\mu} - \mu| > E \quad (7)$$

Fig. 3에서, 수평축은 참오차 그리고 수직축은 후표준편차축을 나타낸다. 여기서 참값 좌우에 E만큼 떨어져 그은 두 연직선은 추정결과를 참값을 기준으로 분류하는 선이고, 수직방향으로 S만큼 올라가 있는 선은 후표준편차값을 기준으로 구분하는 선이다.

각점은 분류결과에 따라 C1은 청색, C2는 녹색, C3는 하늘색, C4는 적색으로 나타내었다. 단, Fig. 6에서 표시되지 않은 점들은 분류구간 C1에 해당하는 점들이다.

분류구간 C1에 속하는 점들은 추정결과가 전표준편차에 근거한 S값내에 있으면서 참값에 근거한 E값내에 존재하는 점들로서 추정된 결과를 채택하는 구간에 속하는 점들이다. 추정모델이 이 구간에 속하는 점들을 많도록 추정한다는 것은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 사용하는 추정모델이 표면의 형상을 형태와 가중유형면에서 전반적으로 바르게 모델링하고 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 표면간 경계부분에서는 점들의 추정결과가 C1 구간에 속하지 않는 것을 볼 수 있는데 이는 실제 표면의 경계부분은 추정모델에서 가정한 표면의 형상에 가깝지 않기 때문이다. 이러한 면에서 본 연구에서 추정모

델의 성능이 우수하다라는 것은 점들을 추정하는데 있어 형태와 가중측면에서 실제 표면을 적합하게 모델링하고 있을 가능성이 높다는 것을 의미한다. C4구간은 후표준편차값로부터 유도된 값이 전표준편차로부터 유도된 값보다 커서 추정값을 기각하는데 이는 추정결과를 바르게 평가하는 것이다. 하지만 C3구간은 실제 추정은 바르게 이루어 졌지만, 이를 기각하는 것으로 제1종 오류가 생기는 구간이고, C2구간은 실제 추정이 바르게 이루어지지 않았지만, 이를 채택하게 되는 제2종 오류를 범하는 구간이다.

3. 표고 추정 모의실험

1) 모의 수평면의 생성

표고파라미터(Z_0)의 추정성능을 모의표면을 대상으로 실험하기 위하여 Fig. 4에 도시한 바와 같이 41×41 격자 표면에 21×21 크기와 높이 2.0을 가진 표면을 생성하였다. 높이 2.0미터는 일반 건물들의 최소높이로 판단되어 선정하였다. 여기에 2.2절에서 설명한 가우시안 노이즈를 추가하여 모의표면을 생성하였다.

2) 표고 추정과 분류

Table 1에서는 서수영(2011)에서 제시된 바와 같이 전통계량으로부터 유도된 각 추정모델의 두 경계조건인 표준편차의 단측검정 95% 신뢰구간 상한(S)과 추정값의 95% 양측검정신뢰구간 상한(E), 그리고 각 표고 추정을 위해 본 연구에서 부여한 모의실험명을 나타내고 있다.

Table 3에서는 사전연구에서 계산한 각 추정모델이 X방향 경사값의 표준편차의 단측검정 95% 신뢰구간 상한(S)과 추정값의 95% 양측검정신뢰구간 상한(E), 그리고 각 경사값 추정을 위해 본 연구에서 부여한 모의실험명을 나타내고 있다.

실험대상으로 41×41 격자의 전체 1681점을 이용하여 경계부분을 제외한 내부 39×39 격자점에서 참오차($e, \hat{Z}_0$)와 후표준편차($\hat{\sigma}_0[\hat{Z}_0]$)를 다음과 같이 계산하였다. 추정된 표고값을 실제표면의 표고값($Z = 2.0$)과 비교하여 참오차와 후표준편차를 다음식과 같이 계산하였다.

Fig. 4. Simulated true and measured horizontal surfaces.

Table 1. A priori statistics and test names of adjustment models for estimating the elevation parameter

Function Order	Kernel	Weight type	S	E	Test Name
constant	3 × 3	Uniform	0.0929	0.1538	Z _{0_1}
		Gaussian	0.1392	0.2306	Z _{0_2}
	5 × 5	Uniform	0.0493	0.0826	Z _{0_3}
		Gaussian	0.1159	0.1942	Z _{0_4}
first order	3 × 3	Uniform	0.0966	0.1632	Z _{0_5}
		Gaussian	0.1449	0.2447	Z _{0_6}
	5 × 5	Uniform	0.0492	0.0830	Z _{0_7}
		Gaussian	0.1158	0.1952	Z _{0_8}
Second order	3 × 3	Uniform	0.2407	0.4746	Z _{0_9}
		Gaussian	0.2796	0.5513	Z _{0_10}
	5 × 5	Uniform	0.0990	0.1645	Z _{0_11}
		Gaussian	0.1714	0.2849	Z _{0_12}

Table 2. Number of points classified into each sections in elevation estimation (Values in parentheses indicate percentage based on the total number of 1681 points)

Test Name	C1	C2	C3	C4
Z _{0_1}	1243 (73.9)	37 (2.2)	73 (4.3)	168 (10.0)
Z _{0_2}	1352 (80.4)	1 (0.1)	3 (0.2)	165 (9.8)
Z _{0_3}	964 (57.3)	43 (2.6)	23 (1.4)	339 (20.2)
Z _{0_4}	1201 (71.4)	3 (0.2)	1 (0.1)	164 (9.8)
Z _{0_5}	1261 (75.0)	26 (1.5)	66 (3.9)	168 (10.0)
Z _{0_6}	1352 (80.4)	1 (0.1)	3 (0.2)	165 (9.8)
Z _{0_7}	949 (56.5)	43 (2.6)	38 (2.3)	339 (20.2)
Z _{0_8}	1202 (71.5)	50 (3.0)	0 (0.0)	117 (7.0)
Z _{0_9}	1418 (84.4)	4 (0.2)	98 (5.8)	1 (0.1)
Z _{0_10}	1508 (89.7)	1 (0.1)	12 (0.7)	0 (0.0)
Z _{0_11}	946 (56.3)	49 (2.9)	123 (7.3)	251 (14.9)
Z _{0_12}	1270 (75.6)	82 (4.9)	12 (0.7)	5 (0.3)

$$e\{\hat{Z}_0\} = \hat{Z}_0 - \hat{Z} \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}_0\{\hat{Z}_0\} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{N^{-1}(Z_0, Z_0)} \quad (9)$$

여기서, $\hat{Z}$ 은 실제표면의 표고값이고, 각점에서의 추정 결과와 이에 따라 분류한 결과를 Fig. 5와 Table 2에 나타내었다.

3) 표고추정실험 결과분석

Fig. 5에서 가중유형측면에서 추정의 후표준편차가 S값 이하인 경우에는 균일가중으로 구성된 모델로 추정 한 값들이 중심가중으로 구성된 모델로 추정 한 값들에 비해 참값에 상대적으로 더 근접하여 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6에서 객체면과 기준면의 경계부분의 추정결과를 살펴보면, 중심가중인 경우가 균일가중인 경우 보다 C3유형의 오차가 전체적으로 적은 것으로 나타났다. 따라서, 수평면상에서 관측된 점들을 군집화하여 자동추

출할 경우 중심가중을 이용한 추정결과를 이용하는 것이 더 효과적일 것이라고 기대할 수 있다.

특히, 2차함수-3×3-중심가중으로 구성된 추정모델로 실시한 표고추정 실험 Z_{0_10}에서 Table 2와 Fig. 5와 Fig. 6에 나타난 바와 같이 분류구간 C1에 속하는 점들이 가장 많아 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 5. Distribution and classification of elevation estimates against true error and a posteriori standard deviation.

Fig. 6. Spatial distribution of classified results of elevation estimates.

Fig. 6. Continued.

Fig. 7. Simulated true and measured slope surfaces

4. 경사계수 추정 모의실험

1) 모의 경사면의 생성

추정모델들의 경사파라미터의 추정성능을 모의실험을 통하여 분석하기 위하여 41×41격자 중앙에 좌측 고도는 2.0, 우측고도 7.0로 축방향으로 기울어진 경사도(S_X)가 0.25인 21×21크기의 실제모의표면을 생성하고, 여기에 앞서 기술한 가우시안 노이즈를 추가하여 관측 표면을 생성하였다(Fig. 7).

2) 경사계수 추정과 분류

추정결과값을 추정값과 후표준편차를 기준으로 분류하기 위하여 사전연구에서 도출된 각 모델들이 X방향 경사파라미터의 표준편차 단측검정 95% 신뢰구간 상한(S)과 추정값의 95% 양측검정신뢰구간 상한(E), 그리고 각 추정모델별로 부여한 모의실험명을 Table 3에 나타내었다.

실험대상으로 경사면상의 총 441점을 참오차($e(\hat{S}_X)$)와 후표준편차($\hat{\sigma}_0(\hat{S}_X)$)를 다음과 같이 계산하였다. 추정된 경사값을 실제표면의 경사값($\dot{S}_X = 0.25$)과 비교하여 참오차와 후표준편차를 다음과 같이 계산하였다.

Table 3. A priori statistics and test names of adjustment models for estimating the X direction slope parameter

Function Order	Kernel	Weight type	S	E	Test Name
First order	3 × 3	Uniform	0.1182	0.1997	S _{x-1}
		Gaussian	0.2048	0.3460	S _{x-2}
	5 × 5	Uniform	0.0348	0.0587	S _{x-3}
		Gaussian	0.1378	0.2323	S _{x-4}
Second order	3 × 3	Uniform	0.1317	0.2597	S _{x-5}
		Gaussian	0.2283	0.4501	S _{x-6}
	5 × 5	Uniform	0.0356	0.0592	S _{x-7}
		Gaussian	0.1411	0.2344	S _{x-8}

$$e\{\dot{S}_X\} = \dot{S}_X - \hat{S}_X \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}_0\{\dot{S}_X\} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{N^{-1}(S_X, S_X)} \quad (11)$$

여기서, $\dot{S}_X$ 은 실제표면의 경사값이고, 각점에서의 추정결과와 이에 따른 분류 결과를 Fig. 8, Fig. 9와 Table 4에 나타내었다.

3) 경사계수 추정실험 결과분석

Fig. 9를 가중유형측면에서 분석해 보면, C3와 C4유형의 오류가 중심가중을 이용한 추정모델들에서 균일가중을 이용한 추정모델들 보다 상대적으로 적게 나타났다. 특히 C3유형의 오류는 중심가중으로 구성된 모델추

Fig. 8. Distribution and classification of slope coefficient estimates against true error and a posteriori standard deviation.

Fig. 9. Spatial distribution of classified results of slope coefficient estimates.

Table 4. Number of points classified into each sections in slope estimation (Values in parentheses indicate percentage based on the total number of 441 points)

Test Name	C1	C2	C3	C4	Test Name	C1	C2	C3	C4
S _{x_1}	332 (75.3)	8 (1.8)	56 (12.7)	45 (10.2)	S _{x_2}	361 (81.9)	2 (0.5)	38 (8.6)	40 (9.1)
S _{x_3}	267 (60.5)	2 (0.5)	43 (9.8)	129 (29.3)	S _{x_4}	316 (71.7)	12 (2.7)	62 (14.1)	51 (11.6)
S _{x_5}	372 (84.4)	35 (7.9)	26 (5.9)	8 (1.8)	S _{x_6}	399 (90.5)	38 (8.6)	0 (0.0)	4 (0.9)
S _{x_7}	289 (65.5)	15 (3.4)	72 (16.3)	65 (14.7)	S _{x_8}	326 (73.9)	19 (4.3)	52 (11.8)	44 (10.0)

Fig. 10. Simulated true and measured second order curved surfaces.

정에서는 경사면과 기준면의 경계부분에서만 발생하고 경사면 내부에서는 전혀 나타나지 않은 것으로 나타났다. 이를 통해, 경사면에서 경사값을 추정하는 경우에 중심가중을 기반한 추정모델로 파라미터 추정시 바른 추정값을 기각할 확률이 매우 낮다고 할 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9에서 실험 S_x_2 와 S_x_6 를 비교해 보면, 경사면의 상하단에 X축방향으로 평행한 경계선 부분에서 S_x_2 에서 발생한 C3유형의 오류가 S_x_6 에서는 전혀 발생하지 않은 것으로 나타났다.

5. 2차계수 추정 모의실험

1) 모의 2차곡면의 생성

추정모델들의 2차계수 추정성능을 분석하기 위하여 41×41 격자 중앙에 2차계수값(Q_x)이 -0.1 이고 최고점에서 표고가 12인 곡면으로 구성된 21×21 크기의 실제 모의표면을 생성하고, 여기에 위에서 기술한 가우시안 노이즈를 추가하여 관측표면을 생성하였다(Fig. 10).

2) 2차계수 추정과 분류

2차계수 추정결과를 비교분석하기 위하여 사전연구에서 도출된 각 모델들이 2차계수 파라미터의 표준편차 단측검정 95% 신뢰구간 상한(S)과 추정값의 95% 양측 검정신뢰구간 상한(E), 그리고 각 추정모델별로 부여한 모의실험명을 Table 5에 나타내었다.

실험대상으로 2차곡면내에 총 441점을 참오차($e\{\hat{Q}_X\}$)와 후표준편차($\hat{\sigma}_0\{\hat{Q}_X\}$)를 다음과 같이 계산하였다. 추정된 경사값을 실제표면의 경사값($\dot{Q}_X = 0.1$)과 비교하여 참오차와 후표준편차를 다음과 같이 계산하였다.

Table 5. A priori statistics and test names of adjustment models for estimating the X direction second order coefficient

Function Order	Kernel	Weight type	S	E	Test Name
Second Order	3×3	Uniform	0.2283	0.4501	Q_{x_1}
		Gaussian	0.3229	0.6366	Q_{x_2}
	5×5	Uniform	0.0301	0.0500	Q_{x_3}
		Gaussian	0.1241	0.2062	Q_{x_4}

Table 6. Number of points classified into each sections in second order coefficient estimation (Values in parentheses indicate percentage based on the total number of 441 points)

Test Name	C1	C2	C3	C4
Q_{x_1}	386 (87.5)	2 (0.5)	53 (12.0)	0 (0.0)
Q_{x_2}	430 (97.5)	0 (0.0)	11 (2.5)	0 (0.0)
Q_{x_3}	273 (61.9)	25 (5.7)	8 (1.9)	58 (13.2)
Q_{x_4}	327 (74.1)	36 (8.2)	77 (17.5)	1 (0.2)

$$e\{Q_X\} = \hat{Q}_X - \dot{Q}_X \quad (12)$$

$$\hat{\sigma}_0\{\hat{Q}_X\} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{N^{-1}(Q_X, Q_X)} \quad (13)$$

여기서, $\dot{Q}_X$ 은 실제표면의 2차계수값이고, 각점에서의 추정결과와 이에 따른 분류 결과를 Fig. 11, Fig. 12와 Table 6에 나타내었다.

3) 2차계수 추정실험 결과분석

Fig. 11에서 커널크기가 3×3 인 추정과 5×5 인 경우로 나누어 비교하면, 추정 정밀도면에서 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 한편, Fig. 12에서 가중유형을 기준으로 비교하면, 중심가중인 경우 C1구간 즉 바른 추

Fig. 11. Distribution and classification of second order coefficient estimates against true error and a posteriori standard deviation.

Fig. 12. Spatial distribution of classified results of second order coefficient estimates.

정치가 기각되는 경우가 곡면내부에서 적은 것으로 나타났다. 특히 Q_x_4에서 곡면경계를 제외한 내부점들에서는 추정된 모든 값들이 C1구간으로 분류되어 기각되지 않고 정확한 추정값으로 인정되는 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구를 통해 표면의 형상을 파악하기 위한 조정계산모델들을 모의자료를 대상으로 한 실험분석을 통하여 표면파라미터 계산시 전통계량의 실질적인 의미와 조정계산모델들의 추정성능을 다각적으로 비교분석해 볼 수 있었다.

실험결과, 전통계량중 표준편차와 자유도로부터 유도된 S값이 실제 추정값을 채택이나 기각하는데 있어서 유효하게 이용될 수 있지만, 부분적으로 한계가 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 객체면의 내부픽셀들에서는 추정결과값이 서수영(2011)에서 분석된 전통계량의 경향에 따르는 것으로 나타났다.

추정값이 오류를 갖는 경우는 대상면과 기준면간의 경계 부분에서 주로 많이 나타났지만, 경계 픽셀이 아닌 내부픽셀에서도 추정결과를 평가하는데 오류가 C3에

해당하는 오류가 균일가중을 적용한 경우 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 후표준편차를 이용하여 추정값을 채택할 것인지에 대한 관점에서 본다면, 전체적으로 중심가중을 적용한 경우 균일가중에 기반한 추정모델에 비해 본 실험에서 사용한 모의표면을 대상으로 볼 경우 우수한 것으로 나타났다. 이를 통해 각 점이 특정 형태의 표면에 포함되어 있는지 확인하는 후속되는 자료처리과정에서 효율성을 기준으로 볼 경우 중심가중을 적용하는 것이 유리할 것이라고 예측할 수 있다.

본 연구에서 제안된 후표준편차와 참오차에 기준한 추정결과와 분류방식은 새로운 추정모델이 제안될 경우 그 성능을 평가하는데 유용할 것이라고 사료된다. 또한 본 연구에서 파악된 각 조정계산모델들의 유형별 추정결과와 전통계량의 적용성과 한계점을 참고한다면, 표고자료로부터 동일한 객체영역을 추출하는 후속과정을 자동화하는데 있어서 유효할 것이라고 판단된다.

사 사

이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비와 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의

지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2010-0023092)

참고문헌

- 서수영, 2011, 표면 파라미터 계산시 모델링 인자에 따른 조정계산 추정 성능의 사전 비교분석, 한국공간정보학회지, 19(2): 29-36.
- 성철웅, 이성규, 박창후, 이호준, 김유성, 2010, 항공 라이다 데이터를 이용한 동적 가변 윈도우 기반 지형 분류 기법, 한국공간정보학회지, 18(5): 13-26.
- 이진형, 이동천, 2010, 항공영상에 의한 LiDAR 데이터 분할에 기반한 건물 모델링, 한국측량학회지, 28(1): 47-56.
- 조홍범, 조우석, 박준구, 송낙현, 2008, 항공 LiDAR 데이터를 이용한 3차원 건물모델링, 대한원격탐사학회지, 24(2): 141-152.
- 최연웅, 손덕재, 조기성, 2009, LiDAR 원시자료에서의 지면정보 추출을 위한 영상처리기법 적용 연구, 한국측량학회지, 27(5): 575-583.
- Filin, S. and N. Pfeifer, 2005, Neighborhood Systems for Airborne Laser Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(6): 743-755.
- Hodgson, M. and P. Bresnahan, 2004, Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(3): 331-339.