

라이다 데이터와 항공 정사영상을 활용한 인공 제방선 지도화

정윤재^{1*} · 박현철² · 정연인³ · 조명희⁴

Mapping Man-Made Levee Line Using LiDAR Data and Aerial Orthoimage

Yun-Jae CHOUNG^{1*} · Hyen Cheol PARK² · Youn-In CHUNG³ · Myung-Hee JO⁴

요 약

제방선 지도화는 하천지역의 환경보호와 하천 범람 방지, 그리고 하천 개발에 있어 매우 중요하다. 라이다(LiDAR)와 항공 정사영상(aerial ortho-image)과 같은 원격탐사 데이터의 활용은 대상 지역에 접근하지 않고도 대상 지역에 관한 지형 정보를 얻을 수 있다는 점 때문에, 하천 지도화 작업에 효율적이다. 라이다 자료는 얇은 물을 관통하는 능력과 높은 수직 정확도 때문에 하천구역 지도화 작업에 활용되어 오고 있다. 영상자료의 활용 또한 영상처리 기법을 이용하여 여러 특징들을 추출할 수 있다는 점 때문에 하천 지도화 작업에 효율적이다. 본 논문에서는 라이다와 항공 정사영상을 각각 활용하여 3차원 제방선 지도화 작업을 수행하였다. 그리고 지상 실측정보들을 통해 두 자료로부터 추출된 제방선들의 정확도를 측정하고, 두 측정 결과들을 비교한다. 통계적인 결과에서 나타나듯이 라이다를 활용하여 추출된 3차원 제방선이 항공 정사영상을 활용하여 추출된 3차원 제방선에 비해 수평 및 수직 정확도가 훨씬 더 높다는 것을 보여준다.

주요어 : 라이다, 3차원 제방선, 파단선, 들로네 삼각형 메시, 법선 벡터, 항공 정사영상, 디지털 영상처리, 평균 이동 분할, 디지털 표면모델

ABSTRACT

Levee line mapping is critical to the protection of environments in river zones, the prevention of river flood and the development of river zones. Use of the remote sensing data such as LiDAR and aerial orthoimage is efficient for river mapping due to their accessibility and higher accuracy in horizontal and vertical direction. Airborne

2011년 1월 9일 접수 Received on January 9, 2011 / 2011년 2월 18일 수정 Revised on February 18, 2011 / 2011년 3월 10일 심사완료 Accepted on March 10, 2011

1 (주)유엔지아이티 공간정보기술연구소 Institute of Spatial Information Technology Research, U&GIT Co., Ltd

2 (주)지오씨엔아이 공간정보기술연구소 Institute of Spatial Information Technology Research, GEO C&I Co., Ltd

3 계명대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Keimyung University

4 경일대학교 위성정보공학과 Dept. of Satellite Geoinformatics Engineering, Kyungil University

* 연락처 E-mail: yunjae1030@hotmail.com

laser scanning (LiDAR) has been used for river zone mapping due to its ability to penetrate shallow water and its high vertical accuracy. Use of image source is also efficient for extraction of features by analysis of its image source. Therefore, aerial orthoimage also have been used for river zone mapping tasks due to its image source and its higher accuracy in horizontal direction. Due to these advantages, in this paper, research on three dimensional levee line mapping is implemented using LiDAR and aerial orthoimage separately. Accuracy measurement is implemented for both extracted lines generated by each data using the ground truths and statistical comparison is implemented between two measurement results. Statistical results show that the generated 3D levee line using LiDAR data has higher accuracy than the generated 3D levee line using aerial orthoimage in horizontal direction and vertical direction.

KEYWORDS : *LiDAR, Three Dimensional Levee Line, Break Line, Delaunay Triangle Mesh, Normal Vector, Aerial Orthoimage, Digital Image Processing, Mean Shift Segmentation, DSM*

서론

하천구역 지도화 작업은 하천구역의 환경 및 생태계 보호, 그리고 하천구역의 개발과 관리를 위해 필요하다. 연안 지도화 작업의 주요 임무들 중 하나인 하천구역 지도화 작업은 역사적으로 지상 측량 기술들을 활용하여 수행되어왔다. 사진측량 및 원격탐사 기술은 최근 국내 국가 하천지역 지도화 작업에 사용되는 기술이다(안승섭과 조명희, 1999, 윤희천과 박준규, 2007). 선진국들은 얕은 물을 관통하는 능력과 높은 수직 정확도를 가진 항공레이저측량 기술을 연안지역 지도화 작업에 활용해 오고 있다. 항공 정사영상의 활용 역시 영상자료를 분석하여 특정 지형 및 지물들을 추출하는 데에 효율적이다. 이러한 점들로 인해 하천지역 지도화 작업을 위한 라이다 데이터와 항공 정사영상들의 활용은 하천구역의 중요한 지형적 변화를 감시하고 예측하기에 효율적이다.

라이다는 x, y, z 좌표들과 각 위치의 강도(intensity value) 값을 가진 일련의 점들로 구성되며, 항공 정사영상은 적색, 녹색, 청색(Red, Green and Blue: RGB)의 3개의 밴드

조합으로 영상자료들을 제공한다. 일반적으로 라이다 자료는 항공 정사영상보다 더 높은 수직 정확도를 가지고, 항공 정사영상은 라이다 자료보다 더 높은 수평 정확도를 가진다(Choung, 2009).

인공 제방은 하천범람을 방지하고 수위를 조절하기 위한 인공 벽으로 정의되며, 보통 하천 수로의 동쪽에, 혹은 그것에 평행하게 위치한다. 인공제방은 대개 그 윗면과 아랫면에서 날카로운 모서리들을 갖는 특징을 지닌다.

본 논문에서는 라이다 데이터와 항공 정사영상을 활용해 3차원 인공 제방선을 추출하는 두 가지 방법을 제시하고 별도로 적용하였다. 그리고 지상 실측정보들을 활용하여 이들 두 가지 방식으로 추출된 선들의 성능을 비교하는 통계적인 결과들을 나타내었다.

연구 방법

본 논문에서는 라이다 자료와 항공 정사영상을 각각 활용하여 3차원 제방선을 추출하는 방법에 대하여 기술하고 있다. 라이다 데이터를 통한 제방선 추출법은 라이다 데이터를 활용하여 파단선(break line) 탐지 알고리즘과 관계되며, 항공 정사영상을 통한 제방선 추출

법은 디지털 영상 분할기법들 중 한 방법을 이용하였다.

1. 라이다 데이터를 통한 3차원 제방선 지도화

라이다 점군 집합을 활용한 하천지역 내 3차원 인공제방선 추출하기 위해서는 라이다 데이터 중 가장 인접해있는 세 개의 점들로부터 2.5차원의 들로네 삼각형 메쉬가 생성된다. 일반적으로 라이다 자료는 노이즈(noise)를 포함할 때가 있는데, 이 노이즈는 인접한 다른 점들에 비해 높이 값들이 상대적으로 굉장히 크다. 이러한 노이즈는 필터링을 통해 제거할 수 있다. 본 연구에서는 노이즈를 최소화하기 위해 메디안 필터(median filter)를 사용하였다. 다른 선형 필터(linear filter)에 비해 메디안 필터가 가지는 한 가지 주요 이점은 기준점을 중심으로 근처에 극히 큰 값을 갖는 노이즈 점을 제거하는데 효율적이라는 것이다(Schenk, 1999; Liu *et al.*, 2009). 본 연구에서는, 아래의 두 가지 방법(방법 1과 방법 2)을 활용하여 라이다 점군 자료들로 이루어진 2.5차원 들로네 삼각형 메쉬로부터 중요한 선들을 추출하였다. 두 가지의 다른 방법을 활용하여, 두 개의 법선 벡터들로 정의되는 두 개의 각도 값을 각 모서리에 할당할 수 있다. 두 방법은 각각 각 모서리에 하나의 각도 값을 할당하기 위해 다른 절차를 사용한다. 따라서 각 모서리는 이 두 가지 다

른 방법으로 계산될 때 두 개의 다른 각도 값을 가질 수 있다. 방법 1과 방법 2에서 각 모서리에 각도 값을 할당하기 위해 사용하는 식들은 다음과 같이 정의된다.

방법 1의 식에서 e 는 들로네 삼각형 메쉬 중 한 모서리고, $A1(e)$ 는 모서리 e 를 공유하는 인접한 두 삼각형들의 두 개의 법선 벡터들로 정의되는 두 면 사이의 각도 값이다. 변수 n_i 과 n_j 는 모서리 e 를 공유하는 인접한 두 삼각형들의 두 법선 벡터들로 정의되며, 변수 $\|n_i\|$, $\|n_j\|$ 는 이 두 법선 벡터들의 norm(*벡터의 길이)에 해당한다(Hubeli and Gross, 2001; Choung, 2009).

방법 2의 목적은 방법 1을 확장시켜 한 모서리에 하나의 각도 값을 할당하기 위한 더 넓은 영역을 고려하는 것이다. 방법 2의 식에서는, N_i 과 N_j 가 모서리 e 를 마주하는 정점 x_i 와 x_j 의 평균 법선 벡터들로서 정의된다. 이 평균 법선 벡터들은 정점 x_i 와 x_j 에 면한 삼각형들의 모든 법선 벡터들을 사용하여 계산된다. $A2(e)$ 는 모서리 e 에 할당되는 각도 값으로서, 평균 법선 벡터 N_i 과 N_j 를 사용하여 계산된다.

$$\text{방법 1: } A1(e) = \arccos\left(\frac{n_i}{\|n_i\|} \cdot \frac{n_j}{\|n_j\|}\right) \quad (1)$$

$$\text{방법 2: } A2(e) = \arccos\left(\frac{N_i}{\|N_i\|} \cdot \frac{N_j}{\|N_j\|}\right) \quad (2)$$

$$N_i = \frac{\text{정점 } x_i \text{에 면한 삼각형들의 법선 벡터 총합}}{\text{정점 } x_i \text{에 면한 삼각형들의 수}} \quad (2a)$$

$$N_j = \frac{\text{정점 } x_j \text{에 면한 삼각형들의 법선 벡터 총합}}{\text{정점 } x_j \text{에 면한 삼각형들의 수}} \quad (2b)$$

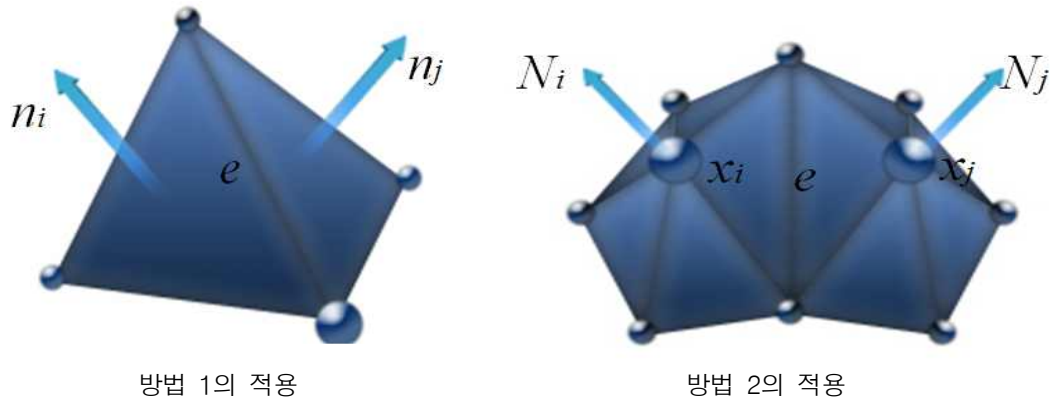


FIGURE 1. 두 가지 방법의 적용

그림 1은 방법 1과 방법 2의 적용을 보여 준다. 그림 1은 넓은 영역에서 3차원 기하 패턴을 고려하기에는 방법 2가 방법 1에 비해 더 효율적인 방법임을 보여준다. 제방 모서리들을 포함한 중요한 모서리들이 삼각형 메쉬로부터 잘 추출되는 각도 값들의 범위를 결정하기 위해 가설시험을 활용한다. 만약 한 모서리에 할당된 각도 값이 a° 보다 높고 b° 보다 낮다면, 그 모서리는 중요한 모서리로 정의된다. 가설시험을 활용한 하나의 범위는 식 3처럼 묘사된다.

$$10^\circ \leq \text{한 모서리에 할당된 각도 값들}(A1(e) \text{ and } A2(e)) \leq 60^\circ \quad (3)$$

본 논문은 제방들이 대개 날카로운 모서리를 갖지 때문에 제방선들을 구성하는 모서리들에 할당되는 각도 값을 10° 와 60° 사이로 가정한다. 제방선 추출을 위해 하나의 방법만을 활용하는 것은 제방선 추출을 위한 충분한 정보를 제공하지 않는다. 따라서 이 연구는 똑같은 범위에서 두 방법들을 활용하여 추출되는 교차 모서리들을 선택한다. 식 4는 이러한 교차 모서리들의 선택을 묘사한다.

$$A_i \cap B_i = C_i \quad (4)$$

식 4에서 i 는 각도 값들의 범위를 나타내며, A_i 는 범위 i 에서 방법 1을 활용하여 추출되는 모서리 집합을, B_i 는 범위 i 에서 방법 2를 활용하여 추출되는 모서리 집합을, 그리고 C_i 는 범위 i 에서 두 방법을 모두 활용하여 추출되는 교차 모서리 집합을 나타낸다.

이 교차 모서리 집합은 제방선분들을 구성하는 모서리들을 포함한다. 하지만 그것들은 여전히 그 제방선분들을 구성하기에 적절치 않은 일부 선형적 특징을 지닌 모서리들을 포함한다. 한 모서리의 수직거리와 경사도, 그리고 연결성을 고려하여, 제방선분들을 구성하기에 적절치 않은 그런 모서리들은 가능한 한 제거된다.

첫 번째 단계에서, 수직거리가 1m를 넘거나 경사도가 50° 미만인 모서리들은 제거되어야 한다. 일반적으로 제방 모서리들에 위치하는 그런 모서리들은 두 점들 간에 보다 낮은 수직거리와 더 작은 경사도를 갖는다. 따라서 높은 수직거리나 큰 경사도를 갖는 모서리들은 고지대이든 제방 사면이든 하나의 수직적인 지형 및 지물 위치하는 특징적인 모서리들로 고려된다. 이 연구에서 수직거리가 1m를 넘는 모서리들은 높은 수직거리를 갖는다고 가정되고 경사도가 50° 미만인 모서리들은 큰 경사도를 갖는다고 가정된다.

두 번째 단계에서는, 모서리 연결성을 고려

함으로써 부적절한 모서리들을 정의한다. 이 단계에서는 단일한 모서리들과 더불어, 한쪽 끝점이 복수의 모서리들에 연결되고 다른 쪽 끝점은 아무런 모서리와도 연결되지 않는 모서리들이 제거된다. 두 하위 단계들이 적용된 후에는, 제방선분들을 구성하기에 적절치 않은 모서리들이 대부분 제거된다.

세 번째 단계는 모서리 연결성을 고려하여 다중 연결된 모서리들을 추출하기 위해 적용된다. 다중 연결된 모서리들 중에서, 제방 모서리들에 위치한 선분들은 제방선분들로 고려된다. 모든 제방선분들이 결정된 다음에는, 하나의 선분이 끝점이 수평적으로나 수직적으로나 가장 가까이 위치해있는 다른 선분에 수동으로 연결된다. 모든 선분들이 연결된 다음에는, 최초의 3차원 제방선이 생성된다. 최초의 3차원 제방선이 라이다 점들로 구성되기 때문에, 초기 제방선의 패턴은 하천 제방을 따라 지그재그 패턴으로 이루어진다.

따라서 마지막 단계로서, 최초의 제방선을 매끄럽게 하는 알고리즘을 적용하여 부드러운 제방선을 생성시킨다. 이 단계에서는 최초의 제방선을 매끄럽게 하기 위해 지수핵 (exponential kernel)을 통한 다항근사 (Polynomial Approximation with Exponential Kernel: PAEK) 알고리즘이 적용된다 (Arc GIS Desktop Help 9.2, 2010). 다항 근사 알고리즘은 다른 스무딩 방법들과는 달리 최초의 제방선을 구성하는 모든 라이다 점들의 위치를 고려하여 선을 스무딩을 시키기 때문에, 지그재그 패턴을 없애주는 것과 동시에 최초의 제방선의 모습과 근사한 패턴의 선을 형성하는데 효과적이다. 마지막 단계가 끝나면 매끄러워진 제방선이 생성되고, 그것이 최종 3차원 제방선으로 정의된다.

2. 항공 정사영상을 통한 3차원 제방선 지도화

항공 정사영상을 라이다 디지털 표면모델 (DSM)과 함께 활용하여 3차원 제방선을 추출한다. 항공 영상에 기초한 제방선 지도화를

위해 영상처리 방법들 중 하나가 적용된다. 영상처리는 디지털 영상에서 점과 선, 다각형과 같은 중요한 특징들을 추출하기 위한 필수적인 작업이다. 그 영상처리의 분할방법 중 하나인 민 쉬프트 세그멘테이션 (mean shift segmentation) 방법은 항공 정사영상 내의 픽셀들을 분류하는 데에 적용된다. 민 쉬프트 알고리즘은 연안구역 내 중점대상 지도화 (feature mapping)에 폭넓게 활용되어왔다. 기존 연구들을 살펴보면 라이다 데이터와 영상자료들을 활용한 연안선 지도화에 민 쉬프트 알고리즘을 사용한 선행연구 (Lee *et al.*, 2009; 2010)와 민 쉬프트 알고리즘을 사용하여 아이코노스 (IKONOS)가 찍은 영상으로부터 연안선들을 추출 (Di *et al.*, 2003)한 연구가 있다. 민 쉬프트 알고리즘의 기본 절차는 아래와 같으며 (Lee *et al.*, 2009), 그 절차는 다섯 단계로 이루어진다.

- 1) 1단계: 사전 정의된 반경을 가진 윈도우 (kernel) 하나를 만든다.
- 2) 2단계: 이 윈도우 내의 점들에 대해 무게중심을 계산한다.
- 3) 3단계: 윈도우의 중심을 이 무게중심으로 옮긴다. 무게중심이 수렴할 때까지 1 단계부터 반복한다.
- 4) 4단계: 윈도우 중심의 수렴하는 좌표가 하나의 세그먼트를 정의한다. 데이터집합 내의 같은 위치로 수렴하는 궤적들의 반경 내에 있는 각 점이 같은 세그먼트에 속한다.
- 5) 5단계: 데이터집합 내의 모든 점이 세그먼트에 속할 때까지 1~4단계를 반복한다.
 - (1) 1단계: 사전 정의된 반경을 가진 윈도우 (kernel) 하나를 만든다.
 - (2) 2단계: 이 윈도우 내의 점들에 대해 무게중심을 계산한다.
 - (3) 3단계: 윈도우의 중심을 이 무게중심으로 옮긴다. 무게중심이 수렴할 때까지 1 단계부터 반복한다.



먼저 점 집합 내에 하나의 핵을 위치시킨다. 점 집합 내에서 핵을 최종 위치로 이동시킨다.

FIGURE 2. 평균 이동 알고리즘의 시각적 절차

- (4) 4단계: 윈도우 중심의 수렴하는 좌표가 하나의 세그먼트를 정의한다. 데이터집합 내의 같은 위치로 수렴하는 궤적들의 반경 내에 있는 각 점이 같은 세그먼트에 속한다.

그림 2는 평균 이동 알고리즘의 시각적인 절차를 보여준다.

d차원 공간 R^d 에 주어진 n개의 데이터 점들($x_i, i=1, \dots, n$)로부터, 위치 x 에서의 평균 이동 벡터가 다음 식 5를 통해 계산된다 (Comaniciu and Meer, 1999; 2002).

$$M_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)} - x \quad (5)$$

여기서 K 는 유클리드 단조롭게 줄어드는 하나의 커널(kernel)이고 h 는 그 커널의 대역폭이다. 실제로는 대개 하나의 균등한 커널이나 노멀 커널(normal kernel)이 사용된다. 평균 이동은 각각의 데이터 점을 그 근방 내에 있는 표본(혹은 가중) 평균으로 이동시키는 상

호작용적인 절차다(Di et al., 2003). 이 방법은 Fukunaga and Hostetler(1975)에 의해 일종의 파라미터형 클러스터링 방식으로 처음 제안되었다. 평균 이동은 확실히 그 밀도의 모드들에 수렴한다는 게 증명되었다(Comaniciu and Meer, 1999; 2002). 민 슈프트 알고리즘을 사용할 때, 그 클러스터들의 윤곽범위는 모드를 찾는 과정의 자연스러운 결과다. 수렴 이후에는, 한 모드의 유인 영역, 즉 그 모드로 수렴하는 모든 평균 이동 절차들이 거쳐 가는 데이터 점들이 자동적으로 임의의 모양을 지닌 한 클러스터의 윤곽을 그린다(Comaniciu and Meer, 2002). Comaniciu and Meer(2002)는 한 공간/범위 공동영역 내의 평균 이동 분석에 기초한 영상 분할 방법들 중 하나를 제안했다. 공간 영역은 행과 열로 2차원 영상을 재현한다. 평균 이동 분할의 적용을 위해, 사용자는 오직 공간 영역 내의 대역폭 h_s 와 범위 영역 내의 대역폭 h_r 를 설정하기만 하면 된다. 위의 식 5에서는, 대역폭 파라미터들이 실제로 그 분석의 규모와 해상도를 결정하며, 선택적인 파라미터 M 을 설정하여 M 개 미만의 픽셀들을 포함하는 공간 구역들을 제거할 수 있다. 민 슈프트 세그멘테이션 방법의 이점은 단지 픽셀 정보만이 아니라 공간적 관계 정보까지 절차 내에서 고려

TABLE 1. 정확도 측정 결과

	기준선 대 라이다 데이터를 통해 생성된 3차원 제방선		기준선 대 항공 정사영상을 통해 생성된 3차원 제방선	
	수평 정확도 (m)	수직 정확도 (m)	수평 정확도 (m)	수직 정확도 (m)
최대값	0.301	0.659	4.023	0.655
평균	0.164	0.182	2.645	0.186
표준편차	0.094	0.191	0.698	0.202

통해 3차원 제방선을 추출한다. 이 연구에서 사용된 라이다 데이터는 Optech의 ALTM Gemini 167가 2009년 12월부터 2010년 1월까지 취합한 데이터다. 이 라이다 데이터는 일반적으로 1m 수치표고모델(Digital Elevation Model: DEM)에 대해 1m² 당 2.5개의 점 밀도를 갖는다.

실험 결과

정확도를 측정하기 위한 지상 실측정보로서 30개의 점점 지점들이 사용된다. 모든 점점 지점들은 주어진 기준선을 따라 선택되며, 점점 지점들 간의 평균거리는 40m다. 모든 점점 지점들의 Z축 좌표들을 라이다 디지털표면 모델로부터 얻는다. 각 점점 지점들로부터 추출된 제방선까지의 수평 거리 및 수직 거리를 계산한 뒤, 각각의 평균을 계산한다. 계산된 두 값들을 각각 수평 정확도 및 수직 정확도라고 한다. 라이다와 항공 정사영상으로 생성된 두 가지 제방선들을 비교한 통계적 결과들은 아래와 같다.

표 1은 라이다 데이터를 통해 생성된 3차원 제방선이 항공 정사영상을 통해 생성된 3차원 제방선보다 수평 방향과 수직 방향에서 더 높은 정확도를 갖는다는 걸 보여준다. 이에 대한 이유로는 다음과 같은 이유들이 가능하다. 첫째, 민 슈프트 세그멘테이션 방법을 사용하면 제방이 날카로운 모서리를 갖는 구역이 분할된 영상 내의 분리된 구역으로 분해될 수 없다.

그럼 3에서 보는 것처럼 제방 모서리 내의


색 차이가 거의 없으며, 그것은 그 구역 내의 부분들이 분리되지 않게 하는 요인이다. 제방선이 상부 제방의 날카로운 모서리에 위치하기 때문에, 제방 모서리 구역 내의 이러한 유사한 색채 수준들은 수평 방향과 수직 방향에서 추출된 제방선의 정확도 오류들을 일으킬 수 있다. 둘째, 단편화된 영상에 기초하여 제방선을 디지털화 하는 단계 동안 오류들이 있었을 수 있다.

결론

본 연구에서는 두 가지의 원격탐사 데이터인 라이다 데이터와 항공 정사영상을 3차원 제방선 지도화에 활용하였다. 본 연구의 결과는 제방들은 대개 상부 제방에서 날카로운 모서리를 갖는 특징으로 인해 기하패턴의 분석은 색 차이의 분석보다 제방선 지도화에 더 효율적인 방법으로 나타난다. 하천 지역 지도화 대상 픽셀들의 밝기 및 화소 값이 다른 지역과 확연히 차이가 날 경우(예: 수심부 경계(river boundary) 등), 비슷한 값들을 가진 픽셀들을 한 군집으로 묶어주는 Mean shift segmentation 등의 영상처리 기법을 이용하여 대상을 지도화하는 것이 효과적이다. 그러나 제방선과 같이 지도화하고자 하는 대상이 영상에서 다른 지역과 비교해서 픽셀들의 화소 값들의 차이가 거의 없는 경우, 해당되는 대상의 지도화에 적합하지 않다는 것을 본 연구를 통해서 알 수 있다. 제방선이 위치하는 지역은 제방의 윗 모서리 지역이다. 따라서, 제방지역의 3차원 기하패턴 분석이 제방선 지

도화에 더 효과적이다. 라이다 데이터는 3차원 (x, y, z) 좌표로 구성된 점군 좌표를 제곱함으로써, 대상 지역의 3차원 기하패턴 분석을 가능하도록 해준다. 결론적으로, 라이다 데이터의 활용은 3차원 기하패턴을 분석할 수 있기 때문에 항공 정사영상보다 제방선 지도화에 더 효율적이다. 본 연구는, 라이다와 항공 정사영상 같은 원격 탐사 자료를 이용하여 하천 제방선의 지도화를 시도하였다는 점에서 그 의의가 있으나, 좀 더 높은 정확도를 얻기 위해서 알고리즘의 수정 및 보완 작업이 필요하며, 다른 데이터와 융합도 고려해볼만 하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 수행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 

참고문헌

- 안승섭, 조명희. 1999. 지리정보시스템을 이용한 하천유역의 지상학적 특성분석. 한국지리정보학회지 2(3):23-34.
- 윤희천, 박준규. 2007. LiDAR에 의한 3차원 GIS DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 10(2):171-182.
- ArcGIS 9.2 Desktop Help. 2010. Smooth Line (Data Management).
- Choung, Y.J. 2009. Extraction of blufflines from 2.5 dimensional Delaunay triangle mesh using LiDAR data. Master Thesis, The Ohio State University, USA. 122pp.
- Comaniciu, D. and P. Meer. 1999. Mean shift analysis and applications. In Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. Vol.2, pp.1197-1203.
- Comaniciu, D. and P. Meer. 2002. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. IEEE Transactions Pattern Analysis Machine Intelligence. 24(5):603-619.
- Di, K., J. Wang, R. Ma and R. Li. 2003. Automatic Shoreline Extraction From High-Resolution IKONOS Satellite Imagery. In Proceedings of the 2003 annual national conference on Digital government research. pp.1-4.
- Fukunaga, K. and L.D. Hostetler. 1975. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition. IEEE Transactions on Information Theory. IT-21(1):32-40.
- Hubeli, A. and M. Gross. 2001. Multi-resolution Feature Extraction for Unstructured Meshes. IEEE Visualization. October 21-26, San Diego, California. pp.287-294.
- Lee, I.C., B. Wu and R. Li. 2009. Shoreline Extraction from the integration of LiDAR point cloud data and aerial orthophotos using mean shift segmentation. Proceedings of the ASPRS 2009 Annual Conference. March 9-13, Baltimore, Maryland. pp.7.
- Lee, I.C., L. Cheng, R. Li. 2010. Optimal Parameter Determination for Mean-Shift-Segmentation-Based Shoreline Extraction Using LiDAR data, Aerial orthophotos, and Satellite imagery. Proceedings of the ASPRS 2010 Annual Conference. April 26-30, San Diego, CA. pp.1-8.

Liu, J.-K., R. Li, S. Deshpande, X. Niu and T.-Y. Shih. 2009. Estimation of Blufflines Using Topographic LiDAR Data and Orthoimages. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 75(1): 69-79.

Schenk, T. 1999. *Digital Photogrammetry: Volume I*, TerraScience, Laurelville, Ohio, pp. 422.

[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=smooth_line_\(data_man_agement\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=smooth_line_(data_man_agement)) **KAGIS**