

기하학적 모델링과 시뮬레이션을 통한 모의 라이다 데이터 생성

Generation of Simulated LIDAR Data via Geometric Sensor Modeling and Simulation

김성준*, 민성홍**, 이임평***, 오소정**

Seongjoon Kim, Minseong Hong, Impyeong Lee, Sojung Oh

서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정*, 석사과정**, 조교수***

{sinus7953, minssy0306, implee, osojung0201}@uos.ac.kr

요약

라이다는 데이터 획득의 신속성과 처리의 자동화라는 장점을 가지고 있어서 도시 모델의 생성, 변화탐지(Change Detection), 삼림지역의 DTM(Digital Terrain Model)의 생성, 등고선 추출, 나무의 높이 결정을 통한 산림관리, 해안 지형의 관리 등 다양한 분야에서 활용이 되고 있다. 이와 같이 라이다데이터 활용에 대한 많은 연구가 이루어지면서 다양한 처리 알고리즘이 개발되고 있다. 알고리즘을 개발하고 그 성능을 정확하게 평가를 위해서는 알고리즘을 다양한 형태의 시험데이터에 적용해 보아야 하지만, 성능평가를 위해 다양한 실측 데이터를 획득하기는 어려운 실정이다. 본 연구에서는 개발된 알고리즘의 성능평가를 위한 다양한 모의데이터를 실제 DEM으로부터 시뮬레이션을 통해 생성하는 방법을 제안한다. 라이다 시스템에 대한 기하학적 모델링하여 센서방정식을 유도하고, 이를 기반으로 DEM상에서 플랫폼의 이동경로에 따라 취득되는 모의 라이다데이터를 생성한다. 본 연구에서 제안하는 시뮬레이션을 이용하면 라이다데이터를 이용하는 다양한 활용 알고리즘 개발과 경제적이고 정확한 성능평가에 도움이 될 것이다.

핵심어 : 라이다, 시뮬레이션, 기하모델링, 센서모델, 센서방정식, 모의데이터

1. 서론

LIDAR 시스템은 지표면이나 대상물의 3차원 좌표를 획득하는 센서이다. 최근 LIDAR의 이용이 증가하면서 도시 모델의 생성, 변화탐지, 삼림지역의 DTM 생성, 나무의 높이 결정, 해안 지형의 관리 등 다양한 분야에서도 활용이 되고 있으며, 최근에는 국방 분야에서도 LIDAR를 접목

한 스마트 미사일 분야에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

이와 같이 여러 분야에서 LIDAR 데이터의 활용이 증가하면서 관련된 많은 알고리즘이 개발되고 있다. 개발된 알고리즘을 테스트하기 위해서는 다양한 형태의 LIDAR 데이터가 필요하다. LIDAR데이터는 실제 촬영할 당시의 비행고도(flight height), 이동경로(trajjectory), 펄스레이트(pulse ra

te), 스캔앵글(scan angle) 등의 시스템 변수에 따라 많은 차이가 나타나기 때문이다. 그러나 현실적으로 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 동일지역에서 다양한 시스템 변수로 촬영된 LIDAR데이터를 획득하는 것은 시간/경제적으로 비효율적이다. 본 연구에서는 Simulation을 이용하여 개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 다양한 시스템 변수환경에서 획득될 수 있는 실험데이터를 실제 DEM으로부터 생성하는 방법을 제시한다.

2. 센서의 기하모델링 및 시뮬레이션

시뮬레이션을 통해 모의 데이터를 생성하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 제안한다. 1)먼저 LIDAR 시스템을 구성하는 센서들의 시스템 변수로부터 플랫폼상의 LIDAR 센서에서 표적으로 발사되는 레이저 펄스의 방향 벡터를 계산하는 센서모델링을 수행한 후, 2)각 센서의 시스템오차를 유도하여 이를 센서방정식에 적용시킨다. 3)마지막으로 Ray-Tracing

을 이용하여 펄스의 원점에서 DEM까지의 거리를 탐색하고, 이를 센서방정식에 대입하여 교점을 계산한다.

2.1. 기하모델링

LIDAR 시스템의 오차를 포함한 센서 방정식을 수립하기 위해서는 오차가 포함되지 않은 다중센서 방정식을 먼저 수립한 후, 이를 시스템적인 오차요소를 고려한 다중센서 방정식으로 유도해야 한다. 먼저 그림 1에서와 같이 각각 독립적인 위치와 방향으로 정의된 개별센서들 사이에 상호적인 기하학적/시간적인 일치를 정교하게 수립하여 오차가 고려되지 않은 레이저 펄스의 방정식을 세우면 식1과 같이 나타낼 수 있다. 각 변수에 대한 설명은 표 1에서 기술되어 있다.

$$P_w = R_{GW}R_{NG}(R_{LN}R_{0L}u_zr... \quad (\text{식 1}) \\ + t_{NL_N} + t_{NG_N}) + t_{WG_N}$$

시스템오차는 크게 개별센서와 센서통합에 따르는 오차로 분류할 수 있다.(이임평 외, 2005) 개별센서는 LIDAR시스템을

표 1. 오차를 고려한 다중센서방정식에 포함된 변수의 정의 및 설명

비(非)오차 변수	정의 및 설명	오차 변수	정의 및 설명
P_w^*	WGS84좌표계의 레이저펄스 반사지점의 관측치	-	-
u_z	LS초기좌표계의 z방향의 단위벡터(0,0,1)	-	-
r	LS로 측정된 반사지점까지의 거리	Δr	r 의 편이
R_{0L}	LS초기좌표계에서 LS좌표계로 변환하는 회전행렬	ΔR_{0L}	R_{0L} 의 편이
R_{LN}	LS좌표계에서 INS좌표계로 변환하는 회전행렬	ΔR_{LN}	R_{LN} 의 편이
R_{NG}	INS좌표계에서 GPS좌표계로 변환하는 회전행렬	ΔR_{NG}	R_{NG} 의 편이
R_{GW}	GPS좌표계에서 WGS84좌표계로 변환하는 회전행렬	-	-
t_{NL_N}	INS좌표계와 LS좌표계 원점을 연결하는 이동벡터	Δt_{NL_N}	t_{NL_N} 의 편이
t_{NG_N}	INS좌표계와 GPS좌표계 원점을 연결하는 이동벡터	Δt_{NG_N}	t_{NG_N} 의 편이
t_{WG_w}	WGS84좌표계와 GPS좌표계 원점을 연결하는 이동벡터	Δt_{WG_w}	t_{WG_w} 의 편이
t_{TB_w}	시간오차로 인해 발생하는 편이	Δt_{TB_w}	t_{TB} 의 편이

구성하는 개별 센서에 수반된 오차를 말하며, 통합오차는 센서들이 하나의 플랫폼에 통합됨으로써 발생하는 오차를 의미한다. 개별센서와 센서통합에 관련된 오차를 수학적으로 모델링하여 다중센서방정식에 추가하면 식 2와 같이 유도된다(이임평 등, 2005). 각 변수들의 설명은 표 1에 있다.

$$P_W^* = R_{GW}\Delta R_{NG}R_{NG}\dots \quad (\text{식 } 2)$$

$$(\Delta R_{LN}R_{LN}\Delta R_{OL}R_{OL}u_z\dots$$

$$(r + \Delta r) + t_{NL_N} + \Delta t_{NL_N}\dots$$

$$+ t_{NG_N} + \Delta t_{NG_N}) + t_{WG_N}\dots$$

$$+ \Delta t_{WG_N} + \Delta t_{TB}$$

2.2. 데이터 시뮬레이션

모의 점 데이터 생성을 위해서는 비행 경로 및 자세에 대한 정보, 펄스의 정보, 그리고 DEM 등으로 주어지는 표적의 3차원 모델이 필요하다. 하나의 3차원 좌표를 가상으로 생성하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 비행경로와 비행속도를 이용하여, 특정 시각에서 비행기의 위치(레이저 펄스 송신의 원점)를 계산한다.
 - (2) 센서의 방향에 대한 측정치 u 를 관련된 새로운 방향 u_{LW} 을 계산한다.
 - (3) 센서의 위치에서 방향이 u_{LW} 으로 주어진 ray를 정의한다.
 - (4) (3)에서 정의된 ray와 DEM ($z = f(x, y)$)과의 교차점을 "Ray-Tracing" 알고리즘을 사용하여 탐색한 후 거리 r 를 계산한다.
 - (5) 계산된 거리에 대한 참값에 관련된 정오차 Δr 을 계산한다.
 - (6) 계산된 거리에 대한 측정치 Δr 과 주어진 센서의 방향과 위치에 대한 측정치를 식 2에 대입하여 레이저 펄스가 반사된 좌표의 측정치 P_W^* 를 계산한다.
- 위의 알고리즘에서는 레이저 출력 빔(Output Beam)의 너비가 충분히 좁아서 이에 따라 표적에 나타나는 레이저 출력 빔의 Foot-Print의 너비도 Foot-Print 내부의 표면을 평면으로 가정할 수 있을 만큼 충분히 작은 경우로 가정하였다. 모의 데이터의 대상이 되는 지형지물이 DEM ($z = f(x, y)$)과 같이 2차원 표면 함수로 주어질 때, 발사된 레이저 펄스와 교차하는 지점의 3차원 좌표 P_W 를 결정하는 문제는 Ray-Tracing 알고리즘을 이용하여 계산한다.

3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서 제안하는 LIDAR 데이터를 모의 생성하는 방법을 적용하여, 실제 지역의 기준DEM을 이용하여 모의 LIDAR 데이터를 생성하고자 한다.

3.1. 시스템 변수 설정

모의 LIDAR 데이터를 생성하기 위해서 Laser Scanner의 시스템 변수, 플랫폼의 비행경로, 개별센서들의 시스템오차를 설정해야 한다. 본 연구에서는 생성될 모의 데이터의 점 간격을 기준으로 시스템 변수를 설정하였다. 플랫폼의 비행방향을 기준으로 Along 방향과 Across방향에 대한 점 간격이 대략 1m 가 되도록 디자인 하였다. 점 간격은 플랫폼의 속도, 펄스레이트(pulse Rate), 스캔레이트(scan rate), 비행고도(flight height), 스캔앵글(scan angle)을 조합하면 계산할 수 있다. 본 연구에서는 펄스레이트를 20kHz, 스캔레이트를 70Hz, 스캔앵글을 30deg로 설정하였다.

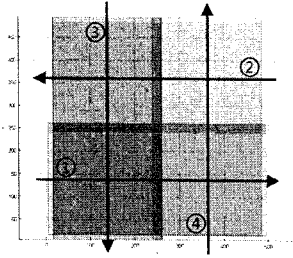


그림 2. 비행경로

표 2. 비행경로(Trajectory) 설정

	시점의 좌표	종점의 좌표
경로1	(4, 138, 500)	(496, 138, 500)
경로2	(496, 362, 500)	(4, 362, 500)
경로3	(138, 496, 500)	(138, 4, 500)
경로4	(362, 4, 500)	(362, 496, 500)

플랫폼의 비행경로는 표 2과 같이 시점과 종점을 설정함으로써 결정한다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 총 네 번의 비행 촬영을 가정하여, 네 개의 스트립(strip)에 대해 비행속도는 65.66 m/s, 스트립간의 중첩은 약 20%정도로 설정하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 각 센서의 정오차 변수이다.

표 3. 설정된 정오차 변수

오차	분류	변수	값
GPS Bias, x [m]	Δt_{WG_w}	ΔX	2
GPS Bias, y [m]		ΔY	1
GPS Bias, z [m]		ΔZ	0
INS Bias, Omega [deg]	ΔR_{NG}	$\Delta \omega$	0.1
INS Bias, Phi [deg]		$\Delta \phi$	0.2
INS Bias, Kappa [deg]		$\Delta \kappa$	0
Range Bias [m]	Δr	Δr	0.0

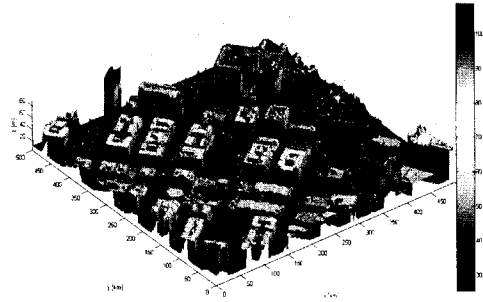


그림 3. 시뮬레이션에 사용한 DEM

3.2. 기준지표모델

실험 대상지역은 경기도 고양시 일산구의 일부 지역으로 선정하였다. 그림 3은 일산지역의 DEM(Digital Elevation Model) 데이터의 모습이다. 실험데이터는 도심의 다양한 건물들이 포함되어 있어서 플랫폼의 이동경로에 따라 폐색지역이 나타날 가능성이 높은 지역이다. DEM 격자간격은 1m, 면적은 0.5km x 0.5km 영역이다.

3.3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과, 약 7.4812초 동안 시뮬레이터를 실행시켜 149,243(경로1), 149,246(경로2), 149,152(경로3), 149,325(경로4)개의 점이 획득되었다. 중앙에 있는 네 개의 굵은 실선은 비행경로를 의미한다. 모의 생성된 점 데이터의 밀도는 1.21 점/m², 평균점간격은 1.05m로 나타났다. 그림 3은 최종적으로 생성된 LIDAR 모의 데이터의 모습이다. 왼쪽은 비행경로 1과 2를 통해 획득된 Set1이고, 오른쪽은 비행경로 3과 4를 통해 획득된 Set2이다.



그림 4. 생성된 모의 데이터 Set1과 Set 2 (상:Set1, 하:Set2)

4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 통한 LIDAR데이터를 활용하는 다양한 알고리즘의 성능평가를 위한 모의데이터를 생성하였다. 센서모델링을 통해 레이저펄스의 방향벡터를 계산하고, Ray-Tracing 알고리즘을 이용하여 방향벡터와 DEM과의 교점을 탐색하여 모의 데이터를 생성하였다. 그 결과 기존DEM을 촬영한 모의 LIDAR데이터가 잘 획득되었음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD070007AD)

참고문헌

이임평, 2003, “고해상도 DEM을 이용한 시뮬레이션에 기반하는 라이다 데이터의 검증 및 보정에 관한 연구”, 대한토목학회 2003년도 정기 학술대회 논문집, pp. 4436~4440.

이임평 외, 2005, “다차원공간정보구축에 관한 연구”, 국토지리정보원.

Schenk, T. 2001, “Modeling and analyzing systematic errors of airborne laser scanners”, Technical Notes in Photogrammetry No. 19, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.

<http://www.defense-update.com>

<http://www.missilesandfirecontrol.com>