도로 및 교통정보 관측 드론 운용을 위한 프로토타입 시뮬레이터 개발

최강혁, 정규수^{*} 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

Development of Prototype Simulator for Road and Traffic Information Monitoring Drone Operation

Kanghyeok Choi, Kyusoo Chong*

Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Tech.

요 약 최근 관련 기술의 발전과 함께 드론의 활용성이 높아짐에 따라서 다양한 분야에서는 관심지역 관측에 드론을 활용하고 있다. 특히 도로 및 교통 분야에서는 다양한 객체로 이루어진 복잡한 도로 환경에서 드론을 이용한 대상지 관측과 관련된 연구를 진행하여 왔다. 하지만 기존의 연구들은 효율적인 관측을 지원하는 드론 운용 방법론과 관련된 내용을 거의 다루지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 드론을 이용한 효율적인 도로 및 교통정보 관측 지원을 위한 시뮬레 이터 개발을 수행하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 드론에 장착될 수 있는 다양한 센서들의 수학적 모델식을 기반으로 도로/교통 관측 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다. 또한 시뮬레이터에는 현실성 높은 가상 데이터 생산을 지원하기 위한 센서 특성 입력, 가상 테스트 필드 작성 그리고 드론의 이동 경로 설정 등의 기능이 포함되었다. 본 연구에서는 개발된 시뮬레이터의 활용성 평가를 위하여 도로 및 교통 환경을 구성하는 주요 객체를 포함한 가상 테스트 필드를 작성 하고, 이에 대한 광학 카메라 및 LiDAR 가상 데이터를 생산하였다. 또한, 사용된 센서의 특성, 관측 방향 및 위치가 주요 객체의 관측에 미치는 영향을 분석하였다. 최종적으로 본 연구에서는 시뮬레이션 기반의 도로/교통정보 관측을 위 한 드론 운용 최적 방법론 제시를 통하여 개발된 시뮬레이터의 유용성을 확인하였다.

Abstract Various fields use drones for regions of interest monitoring as the drones' generic utility increases with the development of related technologies. In particular, drones have been used in various studies in road and transportation to efficiently observe a complex road environment composed of various objects. However, previous studies rarely dealt with drone operation methodologies for efficiently monitoring road/traffic information. Hence, this study proposed a drone operation optimization methodology for efficient road/traffic information monitoring. First, a road/traffic observation prototype simulator was developed as part of this study. The simulator is based on the mathematical models of sensors mounted on the drone for highly realistic simulated data. It also supports the virtual test-field production and drone route configuration. Subsequently, the developed simulator was used to create a virtual test field including objects of the road/traffic environment and generate optical camera and LiDAR simulation data. In addition, the effect of sensor specifications, monitoring direction, and location on each object's monitoring was analyzed using the simulated data. Finally, the optimal drone operation methodology was suggested based on the simulation, demonstrating the utilization of the simulator.

Keywords : Drone Monitoring, Traffic Information, Road Information, Simulator, Simulation Data

1. 서론

드론은 높은 이동성과 넓은 시야 범위를 지니고 있으 며 상대적으로 운용비용이 저렴하다는 장점이 있어 도로 및 교통 환경 모니터링에 최적의 솔루션으로 인식되고 있다[1,2]. 따라서 기존의 다양한 연구들은 도로 관리 및 교통 분석에 드론을 활용하여 왔다. Hyun and Do[3]는 도로 균열 검출을 위하여 드론과 Mobile Mapping System을 활용한 바 있으며, Kim 등[4]은 드론 영상을 이용하여 도로 위험도를 분석한 바 있다. Sung 등[5]은 드론 이미지에서 도로표지를 추출하고, 검출된 도로표지 의 위치 정확도에 대한 분석을 수행하였다. 또한 Lim 등 [6]은 드론 영상 빅데이터를 이용한 도로 시설물 모니터 링 기술을 개발하였다. 교통 분석과 관련하여, Alioua 등[2]은 드론 기반의 교통 감시 시스템을 제안한 바 있 다. Kim 등[7]은 고속도로 교통 정보 수집 및 분석을 위 하여 드론을 활용한 바 있다. 또한 Elloumi 등[8]은 UAV 기반의 도로 교통 관측 시스템을 제안하였다. 이외 에도 기존 연구들은 불법주정차 차량 모니터링[9] 및 교 통사고 관측[10] 등에 드론을 활용한 바 있다.

드론 기반 도로 및 교통 관측과 관련된 기존의 다양한 연구들은 각 연구의 목적에 적합한 방식의 드론 운용을 통하여 합리적인 연구 결과를 도출한 바 있다. 하지만 다 음과 같은 점에서 한계를 지닌다. 먼저 기존의 많은 연구 들은 드론을 이용하여 취득된 데이터 처리에 집중해 왔 으며, 드론을 이용한 효율적인 도로 및 교통 정보 수집 방법론에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. Lee 등 [11]은 드론을 이용한 최적 교통정보 수집 방법을 제시한 바 있지만 그들의 연구 결과는 특정한 교차로 한 곳을 기 준으로 도출되었다는 점에서 한계를 지닌다. 또한 드론 운행을 위한 시뮬레이터 개발을 수행한 기존 연구들은 드론의 정밀 제어와 안전한 운용을 목적으로 하고 있으 며, 효율적인 데이터 취득 및 모니터링에 관련된 내용은 다루지 않고 있다. 즉, 기존의 연구들은 주로 비행경로 작성[1], 드론 조종[12] 및 제어[13] 실험을 위한 시뮬레 이터 개발에 집중하고, 정밀한 가상 드론 데이터 생산은 다루지 않고 있다. 하지만 실제 환경에서의 실험을 통하 여 도로 및 교통 최적 모니터링 방법론을 도출하는 것은 많은 시간적 경제적 비용을 요구하며[12], 정교한 시뮬레 이션은 실제 실험을 대체할 수 있는 현실적이고 효율적 인 대안이 될 수 있다는 점에서, 현실성 높은 가상 드론 데이터를 생산할 수 있는 시뮬레이터 개발을 위한 연구 가 필요하다.

본 연구에서는 위와 같은 기존 연구의 한계를 극복하 고 드론을 이용한 효율적인 도로 및 교통 환경 모니터링 방법론 구축 지원을 위하여 다음과 같은 연구 개발을 진 행하였다. 먼저 본 연구에서는 드론 탑재 광학 카메라 및 LiDAR 등의 센서에 대한 가상 데이터를 생산할 수 있는 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이 터에는 생산된 가상 데이터의 정밀도와 활용성을 높이기 위하여 정밀한 수학적 모델식 기반의 센서 특성 조정 기 능 및 가상 테스트 필드 작성 기능이 포함되었다. 다음으 로 개발된 시뮬레이터를 이용하여 도로 및 교통 환경을 구성하는 객체에 대한 가상 센서 데이터를 생산하고, 드 론 운용 방법에 따른 객체별 모니터링 성능을 비교 분석 하였다.

본 연구의 내용은 다음과 같은 순서로 설명된다. 먼저 2장에서는 개발된 시뮬레이터에 대한 구제적인 설명이 제공된다. 다음으로 3장에서는 최적 드론 운용 방법론 도출을 위한 시뮬레이션 실험 방법이 제시된다. 또한, 4 장에서는 시뮬레이션 실험의 결과와 이에 대한 분석 내 용이 설명된다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 의의와 향후 연구 계획 등을 제시한다.

2. 도로/교통 관측 시뮬레이터 개발

본 연구에서는 시뮬레이션 환경을 기반으로 현실성 높 은 다중 및 다종 센서 데이터 생산을 위한 시뮬레이터를 작성하였으며, 시뮬레이터는 i) 다중/다종 센서별 특성 구현, ii) 가상 테스트 필드 구성 그리고 iii) 센서 배치 및 데이터 취득 위치 설정 단계를 통하여 시뮬레이션 데이 터를 생산한다. 본 장에서는 개발된 시뮬레이터의 모듈 별 기능(Table 1)에 대한 구체적인 설명이 제공된다.

Table	1.	The	main	features	of	the	deve	loped	
		prot	otype	simulato	r				

Module	Function of module
Sensor characteristics input module	Setting the number and type of sensors Setting interior orientation parameters Setting each sensor's distortion parameters
Test-field generation module	Objects generation and import Objects placement
Sensor exterior orientation determination module	Setting lever arm parameters(relative orientation parameters) Setting exterior orientation parameters (Sensor system flight path setting) Simulation data generation

2.1 수학적 모델식 기반의 센서 특성 구현

개발된 시뮬레이터는 다양한 종류의 광학 카메라 및 LiDAR 센서에 대한 가상 데이터를 생산을 지원한다. 시 뮬레이터에서 지원하는 센서는 크게 일반 카메라, 어안 카메라 그리고 2D 및 3D LiDAR로 나누어 볼 수 있다. 드론을 비롯한 다양한 플랫폼에서 범용되고 있는 이들 센서는 데이터 취득과 관련된 각각의 수학적 모델식을 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 현실성 높은 시뮬레이 션 데이터 생산을 위하여 각 센서의 수학적 모델식을 시 뮬레이터에 적용하였다.

시뮬레이터에 구현된 첫 번째 센서인 일반 광학 카메 라는 원근 투영(perspective projection) 모델을 기반 으로 주변 환경의 정보를 수집한다. 일반 광학 카메라의 이미지 획득은 공선조건식과 렌즈 디스토션 모델식을 통 하여 수학적으로 설명된다. 먼저, 공선조건은 공간상의 임의의 점과 그에 대응하는 이미지의 점 및 카메라의 투 영 중심이 동일 직선상에 존재해야 한다는 조건을 의미 하며, Eq. (1), 및 (2)와 같이 표현된다. 한편, 광학 카메 라의 디스토션(△x, △y)은 카메라 렌즈에 의한 이미지 왜곡을 설명하며 이에 대한 수식은 Eq. (3) 및 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} x &= x_p - f \frac{U}{W} \tag{1} \\ y &= y_p - f \frac{V}{W} \\ \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} &= M(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X - X0 \\ Y - Y0 \\ Z - Z0 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{2}$$

Where, (xp, yp)are the coordinates of the principal point, f is the focal length, M is rotation matrix, (X, Y, Z) are the coordinates of the GCP(Ground Control Point), (X0, Y0, Z0, ω , φ , κ) are EOPs (External Orientation Parameters), and (Δ x, Δ y) are camera lens distortions.

$$\begin{split} \Delta x &= \overline{x} (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1 (r^2 + 2\overline{x}^2) \quad (3) \\ &+ 2P_2 \overline{x} \overline{y} + A_1 \overline{x} + A_2 \overline{y} \\ \Delta y &= \overline{y} (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + 2P_1 \overline{x} \overline{y} \\ &+ P_2 (r^2 + 2\overline{y}^2) \\ \overline{x} &= x - x_p \,, \ \overline{y} &= y - y_p \quad (4) \\ r &= \sqrt{\overline{x}^2 + \overline{y}^2} \end{split}$$

where, Δx and Δy are distortions of the image coordinates x and y, and K1, K2, K3, P1, P2, A1,

and A2 are distortion parameters

어안 카메라는 넓은 시야각으로 대상지에 대한 색상 정보를 효율적으로 기록할 수 있어 최근 다양한 데이터 취득 시스템에 사용되고 있다[14]. 어안 렌즈 카메라의 데이터 취득은 투영 모델식과 디스토션 모델식을 통하여 수학적으로 설명될 수 있으며, 이때 디스토션의 경우 일 반 광학 카메라와 동일한 모델식이 사용된다. 반면, 어안 렌즈의 대표적인 투영 모델에는 등거리(equidistant), 등 입체각(equisolid-angle), 정사(orthogonal) 그리고 스 테레오(stereographic) 투영 등이 있으며, 각 투영 모델 의 수식은 Eq. (5) 및 (6)과 같다.

$$x = x_p - \frac{r}{\sqrt{U^2 + V^2}} U$$

$$y = y_p - \frac{r}{\sqrt{U^2 + V^2}} V$$
(5)

if Equidistant
$$r = f \times \theta$$
 (6)
else if Equisolid angle $r = f \times 2\sin\frac{\theta}{2}$
else if Orthogonal $r = f \times \sin\theta$
else if Stereographic $r = f \times 2\tan\frac{\theta}{2}$

where, r is the distance from the principal point to the image point and θ is the incident angle of the GCP

시뮬레이터에 구현된 마지막 센서인 2D 및 3D LiDAR는 텍스쳐가 부족하거나 3차원 정보가 비연속적 인 환경에서도 높은 정확도의 깊이 정보를 획득할 수 있 다는 장점이 있어 다양한 모니터링 시스템에서 사용되고 있다. LiDAR는 센서에서 출발한 광학 펄스가 대상물에 맞고 돌아오는 시간(time of flight)을 이용하여 대상물 까지의 거리 및 대상물의 3차원 좌표 정보를 제공하며, 이와 같은 원리는 Eq. (7)과 같이 표현될 수 있다. 이때 LiDAR의 디스토션은 펄스의 발사 각도인 θ 및 α 와 측 정거리 ρ 의 오프셋에 의하여 나타나며, 이들을 고려한 최종 수학적 모델식은 Eq. (8)과 같이 도출된다.

$$P(x, y, z) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cos(\alpha) \sin(\theta) \\ \rho \cos(\alpha) \cos(\theta) \\ \rho \sin(\alpha) \end{bmatrix}$$
(7)

where, ρ , θ , and α are raw distance measurement, encoder angle measurements, and fixed vertical angle, respectively

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} (\rho + \Delta \rho) \cos(\alpha + \Delta \alpha) \sin(\theta + \Delta \theta) \\ (\rho + \Delta \rho) \cos(\alpha + \Delta \alpha) \cos(\theta + \Delta \theta) \\ (\rho + \Delta \rho) \sin(\alpha + \Delta \alpha) \end{bmatrix}$$
(8)

where, $\Delta \rho$, $\Delta \theta$, and $\Delta \alpha$ indicate a range offset, a vertical angular offset, and a horizontal angular offset, *R* is the rotation matrix which transforms the local coordinate system *j* to the reference coordinate system with the rotation angle ω , φ , and κ , and [Xj Yj Zj] is the translation from *j* th scan to the reference coordinate system.

개발된 시뮬레이터는 위와 같은 각 센서의 수학적 모 델식을 기반으로 작성되어 센서 특성을 결정하는 다양한 파라미터를 입력받아 현실성 높은 가상 데이터를 구현할 수 있도록 개발되었다. Table 2는 각 센서 별 입력되는 특성 정보를 보여준다. 먼저 광학 카메라의 경우에는 투 영 모델의 종류, 초점거리, 주점좌표, 디스토션 파라미 터, 이미지 크기, 픽셀 크기, 그리고 랜덤 오차의 수준이 입력된다. 다음으로 2D 및 3D LiDAR의 경우에는 수평 및 수직 시야각, 각 해상도, 최대 및 최소 측정 가능 거 리, 각도 및 측정 거리 오프셋, 그리고 랜덤 오차 수준이 입력된다.

Table	2.	Sensor characteristic information required
		to be input to the simulator

Sensor		Information		
	Projection model	Conventional (Perspective) Fish-eye (equidistant, equisolid-angle, orthogonal, and stereographic)		
Optical	Interior orientation	Principal point coordinates		
camera	parameters	Focal length		
	Distortion parameters			
	Image & pixel size			
	Random error (noise)			
	EOV	Vertical		
	101	Horizontal		
		Vertical		
	Aliguiar resolution	Horizontal		
LiDAR	Maximum and minimum range			
		Range		
	Offset	Vertical angular		
		Horizontal angular		
	Random error (noise)			

2.2 가상 테스트 필드 구성

본 연구의 시뮬레이터는 객체를 직접 작성하거나 사전 에 작성된 객체를 불러들여 다양한 형태의 테스트 필드 를 구성할 수 있도록 개발되었다. 테스트 필드를 구성하 는 객체들은 객체 평면들의 꼭지점 좌표 또는 특징점의 좌표와 색상 값으로 구성되며, 객체들로 구성된 테스트 필드는 각 객체의 종류, 해당 객체를 구성하는 평면의 좌 표 그리고 객체의 위치와 방향정보를 포함하는 테이블 형태로 저장된다.



Fig. 1. Test field generation module of developed simulator



Fig. 2. Example of the generated test field

시뮬레이터의 테스트 필드 구성은 i) 객체 작성 및 불 러오기, ii) 테스트필드에 사용될 각 객체 숫자 설정, 그 리고 iii) 객체 배치의 순서로 진행된다. 먼저 객체 작성 및 불러오기 단계에서는 테스트 필드 구성에 사용될 객 체의 종류가 결정된다. 즉 객체의 꼭지점 좌표 입력, 객 체 크기 입력(육면체의 경우)을 통하여 시뮬레이터에서 직접 객체를 작성하거나, 사전에 작성된 다양한 형태의 객체를 불러오게 된다. 다음으로 객체 숫자 설정 단계에 서는 테스트 필드에 각 객체를 몇 개 사용할 것인지가 결 정된다. 예를 들어 앞선 단계에서 차량 객체를 불러왔다 면 숫자 설정 단계에서는 테스트 필드에 몇 개의 차량 객 체가 포함될 것인지가 결정된다. 마지막으로 객체 배치 단계에서는 사용될 모든 객체의 위치와 방향이 결정된 다. Fig. 1 및 2는 각각 테스트 필드 구성 모듈과 이를 이용하여 작성된 테스트 필드의 예시를 보여준다.

2.3 센서 배치 및 데이터 취득 위치 설정

센서 데이터의 획득 양상은 각 센서가 드론 플랫폼에 어떻게 배치되었는지에 따라서 크게 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이터를 통하여 센서 들의 배치를 다양하게 설계할 수 있도록 하였다. Fig. 3 은 시뮬레이터의 센서 배치 기능 적용 예시를 보여주며, 그림의 검정색 원은 플랫폼 좌표계의 중심, 빨간색 화살 표는 첫 번째 센서(광학 카메라)의 위치 및 방향 (ROPs, Relative Orientation Parameters) 그리고 하늘색 화 살표는 두 번째 센서(LiDAR)의 ROPs를 나타낸다.

센서 배치가 결정되면 다음 단계로 드론 플랫폼의 위 치(EOPs, Exterior Orientation Parameters)가 설정 된다. 즉, 테스트 필드 좌표계를 기준으로 한 드론의 위 치, 고도, 방향 그리고 경로가 결정된다. Fig. 4는 시뮬레 이터를 통하여 결정된 드론의 이동 경로 설정 예시를 보 여준다. 이때, 그림의 빨간색 원은 드론의 위치 그리고 화살표는 드론의 방향을 나타낸다. 최종적으로 앞선 모든 설정을 완료하면 Fig 5.와 같은 가상 데이터가 생산된다.



Fig. 3. Example of sensor relative orientation parameters input



Fig. 4. Example of the drone flight path setting



Fig. 5. Example of produced simulation data (a) optical camera image, (b) LiDAR point cloud (colored by height)

3. 도로/교통 관측 시뮬레이션 방법

본 연구에서는 개발된 시뮬레이터를 활용하여 가상 테 스트 필드 및 데이터를 작성하고 객체별 도로/교통 관측 성능을 확인하였다. 시뮬레이션의 주요 관측 대상은 Table 3과 같이 결정되었다. 관측 대상은 크게 차선, 도 로 상태, 그리고 차량으로 구분되며, 각 대상을 통하여 확인하고자 하는 구체적 내용은 다음과 같다. 먼저, 차선 의 경우 데이터 획득 환경 및 방식에 따라서 차선 인식 및 분류(이중 실선, 실선, 그리고 점선) 가능 여부가 판단 된다. 다음으로, 가상 데이터에서 연석의 손상 및 도로 균열 정보 인식 가능 여부가 판단된다. 마지막으로, 가상 데이터를 통하여 차량의 형태와 번호판 인식이 가능한지 여부가 확인된다.

Table 3. Monitoring targets in simulation experiments

	Double solid	
Tana madatan	Single Solid	
Lane marking	Dashed	
	Cross walk	
Deed and the	Curb damage	
Road condition	Crack	
37.1.1	Shape	
venicle	License plate	

본 연구에서는 도로/교통 환경에 대한 관측 실험을 위 하여 총 3종류의 테스트 필드를 구성하였으며, 각 테스 트 필드에 대한 내용은 Table 4를 통하여 확인할 수 있 다. 첫 번째 테스트 필드는 차선, 연석 그리고 빌딩을 포 함하고 있으며 드론 센서의 시야를 방해하는 객체(차량 및 가로수)가 없는 상황에서의 차선 및 연석 정보 관측 실험에 활용되었다. 두 번째 테스트 필드는 보다 일반적 인 상황에서의 차선, 연석, 차량 등에 대한 관측 실험을 위하여 첫 번째 테스트 필드에 차량 및 가로수를 추가하 여 작성되었다. 마지막으로 세 번째 테스트 필드는 도로 균열 관측 실험에 활용되었다.

Table 4. Test fields for simulation experiments

Test field No.	Object configuration		
1	Lane markings Road curb Building		
2	Lane markings Road curb Building Vehicle(sedan, bus) with license plate Tree		
3	Road crack (width 1, 2, and 3cm)		

가상 실험에는 일반 광학 카메라 및 2종류의 3D LiDAR가 사용되었으며, 각 센서의 사양은 실제로 드론 에 활용되고 있는 상용 센서들을 참고하여 결정되었다 (Table 5). 센서 배치 및 데이터 취득 고도는 Table 6과 같이 결정되었다. 센서 배치는 드론 플랫폼 수직 하향 (90°) 및 대각 방향(45°)의 두 가지 배치가 고려되었으 며, 데이터 취득 고도는 25, 50, 100 그리고 150m로 결 정되었다.

Table	5.	Specifications of used sensors in
		simulation experiments

Sensor	Specifications				
	Projecti	on model	Perspective		
	Principal poi	int coordinates	(0,0)		
	Focal	length	4.5 mm		
Optical camera	Imag	ge size	4056 × 3040		
cumera	Pixe	el size	0.00155 mm		
	Random e	error (noise)	0.5 pixel		
	Referen	ce model	DJI zenmuse H20		
LiDAR 1		Vertical	30°		
	FOV	Horizontal	360°		

	Developter	Vertical	2°
	Resolution	Horizontal	0.1°
	Danaa	Maximum	100 m
	Kange	Minimum	0.3 m
	Random e	error (noise)	± 30 mm
	Referen	ce model	Velodyne Puck
	FOV	Vertical	40°
	FOV	Horizontal	360°
	Pacalution.	Vertical	0.2°
	Resolution	Horizontal	0.1°
LiDAR 2	Danaa	Maximum	300 m
	Kange	Minimum	0.3 m
	Random e	error (noise)	± 30 mm
	Referen	ce model	Velodyne Alpha Prime

Table 6. Sensors placement, altitude, and speed ofthe drone for simulation experiments

Sensor placement	45° (oblique)
(data acquisition angle)	90° (downward)
	25 m
Altitude	50 m
(drone)	100 m
	150 m

4. 도로/교통 관측 시뮬레이션 결과



Fig. 6. Simulation image and point cloud for test field 2, 50m altitude, and 3m/s speed (a) optical camera (45°), (b) optical camera (90°), (c) LiDAR 1 (45°), (d) LiDAR 1 (90°), (e) LiDAR 2 (45°), (f) LiDAR 2 (90°)

본 연구에서는 개발된 시뮬레이터를 이용하여 센서 종 류, 배치, 드론 운용 방법 등을 변화 시켜가며 시뮬레이 션 데이터를 생성하고, 작성된 시뮬레이션 데이터에 대 한 분석을 통하여 도로/교통 환경의 주요 대상별 센서 관 측 성능이 판단되었다. Fig. 6은 생성된 가상 데이터의 예시를 보여준다.



Fig. 7. Results of lane marking monitoring using an optical camera in test field 1



Fig. 8. Results of curb monitoring using an optical camera in test field 1

테스트 필드 1에서 생산된 시뮬레이션 데이터는 드론 을 활용한 차선 및 도로 연석 정보 관측 성능 분석에 사 용되었다. 테스트 필드 1에서 광학 카메라는 촬영 각도 (센서 배치 각도), 드론 높이, 그리고 차선 종류에 상관없 이 차선 관측에 활용될 수 있는 것으로 확인되었다. Fig. 7은 카메라 이미지의 차선 부분을 보여주며, 그림을 통 하여 모든 경우에서 차선의 형태 정보가 정상적으로 획 득되었음을 확인할 수 있다. 반면에 연석 관측의 경우, 카메라 촬영 각도와 고도에 따라서 서로 다른 결과를 보 여주었다(Fig. 8). 즉, 고도 25m 및 50m에서 45도로 촬 영한 경우에는 연석 형태 확인이 가능하였지만 다른 경 우에는 연석의 측면 정보가 불완전하여 연석 형태 확인 이 제한적으로 가능하거나(90°, 25m 관측) 불가능 하였 다.

테스트 필드 1에서의 LiDAR 데이터는 연석 관측 성 능 분석에 사용되었다. 본 연구에서는 연석의 높이 (0.15m)를 고려하여 연석 0.15m×0.15m 당 평균 3개 이상의 포인트 클라우드가 분포될 경우, 해당 데이터는 연석 정보 관측에 사용 가능한 것으로 판단하였으며 Table 7은 이와 같은 분석의 내용을 보여준다. LiDAR 1은 낮은 각해상도 및 상대적으로 짧은 데이터 획득 거 리(100m)로 인하여 모든 경우에 대하여 연석 관측에 부 적합 한 것으로 나타났다. 반면 LiDAR 2의 경우, 촬영 각도에 상관없이 25m 고도에서 연석 관측이 가능한 것 으로 분석되었다. Fig. 9는 LiDAR 2를 이용하여 25m고 도에서 45도 각도로 데이터를 획득한 경우의 도로 연석 관측 결과를 보여준다.

Sensor	Sensor	Altitude	Point cloud density	
	placement	(m)	(# of point / 0.15m×0.15m)	
		25	0.30	
	450	50	0.03	
	45	100	Out of range	
LIDAD 1		150	Out of range	
LIDAK I		25	0.3	
	90°	50	0	
		100	Out of rongo	
		150	Out of range	
		25	3.07	
	45°	50	0.51	
		100	0.11	
LIDAD 2		150	0.03	
LIDAR Z		25	4.38	
	000	50	0	
	50	100	0	
		150	0	

Table 7. Result of analysis of curb monitoring possibility using LiDAR in test field 1



Fig. 9. Sample of curb monitoring using LiDAR 2 in test field 1 (sensor placement: 45°, altitude: 25m)

테스트 필드 2에서는 드론을 이용한 차량 정보 관측 성능이 평가되었다. Fig. 10은 촬영 각도, 위치별로 이미 지를 이용한 차량 번호 식별 가능 여부에 대한 분석 결과 를 보여준다. 광학 카메라를 이용한 차량 번호 식별은 25m고도에서 45도로 촬영한 경우에서만 가능한 것으로 확인되었으며, 이를 제외한 모든 경우에서 불가능하였다. 한편 광학 카메라를 이용한 차량 형태 관측 및 종류 식별 은 모든 경우에서 가능한 것으로 분석되었다.



Fig. 10. Results of vehicle license plate monitoring using an optical camera

LiDAR를 이용한 차량 관측의 결과는 Fig. 11과 같이 나타났다. LiDAR 1은 90도 배치 및 고도 25m에서 촬영 의 경우에 차량의 세부 형태를 가장 잘 관측 할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만, 이 경우 데이터 획득 대상지의 면적이 상대적으로 크게 작아지는 단점이 있었다. 반면 에 LiDAR 2는 모든 고도에서 차량 인식 및 형태 관측에 충분한 수준의 데이터를 획득하였다. 따라서 LiDAR 2를 이용한 차량 관측의 효율성 확보를 위해서는 높은 고도 에서 드론 운용을 통하여 보다 넓은 데이터 획득 범위를 확보하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

테스트 필드 3에서는 도로 균열 관측 성능이 분석되었 다. Fig. 12는 드론 광학 카메라에서 관찰된 도로 균열을 보여주며, 이를 통하여 모든 종류의 균열(1, 2 및 3cm 두께의 균열) 식별을 위해서는 지면에 수직 방향으로 설 치된 광학 카메라를 이용하여 25m 고도에서 관측해야 함을 확인할 수 있다.



Fig. 11. Results of vehicle monitoring using LiDAR (a) LiDAR 1, (b) LiDAR 2



Fig. 12. Results of road crack monitoring using an optical camera

LiDAR를 통한 균열 관측 결과는 Table 8 및 Fig. 13 을 통하여 확인할 수 있다. 이때 표의 O는 관측 가능, △ 는 부분적 관측 가능 그리고 X는 관측 불가능을 의미한 다. 표와 그림을 통하여 LiDAR 2의 고도 25m 관측을 제외한 모든 상황에서 LiDAR 센서는 균열 관측에 부적 합한 것을 확인할 수 있다.

	Sensor	Altitude (m)	Crack width		
Sensor	placeme nt		1cm	2cm	3cm
		25	×	Δ	Δ
	450	50	×	×	\bigtriangleup
	45	100	Out of range		
LIDAD 1		150			
LIDAK I		25	×	Δ	Δ
	000	50	×	×	×
	90°	100	Out of range		
		150			
	45°	25	×	Δ	0
		50	×	Δ	Δ
		100	×	×	×
LIDAD 2		150	×	×	×
LiDAR 2		25	×	Δ	0
	000	50	×	×	×
	90°	100	×	×	×
		150	×	×	×
		150	X	×	×

Table 8. Result of analysis of road crack monitoring possibility using LiDAR



Fig. 13. Results of road crack monitoring using LiDAR 2 (sensor placement: 45°, altitude: 25m)

시뮬레이터를 이용하여 작성된 테스트 필드 1, 2 및 3에서의 시뮬레이션 결과는 Table 9와 같이 종합 정리 될 수 있다. 먼저, 사용된 광학 카메라는 센서의 배치 및 드론 고도에 상관없이 차선 및 차량 관측에 활용될 수 있 다. 반면에 연석, 도로 균열 그리고 차량 번호판 관측의 경우, 드론의 운용 가능 고도가 25-50m 이하 수준으로 크게 제한된다. 다음으로 LiDAR 1의 경우에는 낮은 각 해상도와 최대 탐지 거리로 인하여 도로/교통 관측에는 부적합한 것으로 판단되었다. 마지막으로 LiDAR 2는 차 량의 3D 형태 식별에 높은 성능을 나타내었다. 또한, 25m 이하의 고도에서 드론을 운행할 경우 연석 및 도로 균열 탐지에 활용될 수 있는 것으로 판단되었다.

-	Target	Sensor	Altitude (m)			
Sensor	information	placement	25	50	100	150
Optical camera	T 1.	45°	0	0	0	0
	Lane marking	90°	0	0	0	0
	Curb damage	45°	0	0		
		90°	Δ			
	Road crack	45°	\triangle			
zenmuse		90°	0	\triangle		
H20)	Vehicle Shape	45°	0	0	0	0
		90°	0	0	0	0
	License plate	45°	0			
		90°				
LiDAR1 (Velodyne Puck)	Curb damage	45°				
		90°				
	Road crack	45°	\triangle	\triangle		
		90°	\triangle			
	Vehicle Shape (3D)	45°	\triangle	\triangle		
		90°	0	\triangle		
LiDAR2 (Velodyne Alpha Prime)	Curb damage	45°	0			
		90°	0			
	Road crack	45°	0	\triangle		
		90°	0	\triangle		
	Vehicle Shape	45°	0	0	0	0
	(3D)	90°	0	0	0	0

시뮬레이션 실험의 결과에 대한 종합 분석을 통하여 도출된 관측 대상별 최적 드론 운용 방법론은 Table 10 과 같다. 먼저, 차량 인식 및 분류를 위한 드론 최적 운용 방법은 광학 카메라와 LiDAR 2를 이용하여 50-100m 고도에서 지표면에 수직방향으로 데이터를 획득하는 것 으로 판단되었다. 다음으로 번호판 관측을 통한 개별 차 량 인식 및 추적을 위해서는 광학 카메라를 이용하여 25m 고도에서 지면에 45도 방향으로 차량 정보를 수집 해야 하는 것으로 확인되었다. 도로 관리를 위한 모니터 링의 경우에는 카메라 및 LiDAR 2가 설치된 드론을 이 용하여 25-50m의 고도에서 45도 각도로 도로를 관측하 는 것이 최적 방법론인 것으로 판단되었다. 하지만, 차선 노후화 모니터링이 드론 운용의 목적일 경우에는 광학 카메라를 이용하여 100-150m의 고도에서 도로를 수직 관측 하는 것이 드론 운용의 효율성 확보에 유리한 것으 로 판단되었다. 마지막으로, 도로 및 교통 환경에 대한 종합적인 모니터링이 드론 운용의 목적일 경우에는 카메 라와 LiDAR 2를 이용하여 50m 이하 고도에서 45도로

Table 9. Comprehensive analysis of road/traffic monitoring simulation experiments

대상지를 관측하는 것이 최적 드론 운용 방법론으로 판 단된다.

	Monitoring target	Sensor	Sensor placem ent	Altitude (m)
Traffic	Vehicle type recognition (classification)	Camera + LiDAR2	90°	50-100
	Individual vehicle recognition (license plate)	Camera	45°	0-25
Road	Road management (crack+pothole+lane marking)	Camera + LiDAR2	45°	25-50
	Aging lane monitoring	Camera	90°	100-150
Traffic + Road		Camera + LiDAR2	45°	0-50

Table	10.	Optimal	drone	operation	method	by
observation targets						

5. 결론

본 연구는 드론 센서 데이터 생산을 위한 시뮬레이터 개발을 통하여 드론을 활용한 도로/교통 최적 관측 방안 도출 지원을 목표로 하고 있다. 이와 같은 연구 목표 달 성을 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 연구를 수행하 였다. 먼저, 현실성 높은 시뮬레이션 데이터 생성을 위하 여 다양한 센서들의 수학적 모델식을 기반으로 한 관측 시뮬레이터를 개발하였다. 다음으로 개발된 시뮬레이터 를 이용하여 가상 테스트 필드를 작성하고 시뮬레이션 데이터를 생산하였다. 마지막으로 도로 및 교통 환경을 구성하는 다양한 객체에 대한 가상 관측 결과를 기반으 로 도로/교통 관측을 위한 드론 운용 최적 방법론을 도출 하였다.

본 연구는 도로/교통 환경에 대한 효율적인 관측을 위 한 드론 운용 방법론을 제시한다는 점에서 교통 모니터 링 및 도로 시설 관리와 관련된 다양한 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 가상 테스트 필 드를 구성하는 객체들의 정밀도 향상 및 객체의 이동/변 형 구현을 통하여 관측 시뮬레이터를 고도화하고 이를 이용한 교통 모니터링 시뮬레이션 기술을 개발할 예정이 다. 또한, 최종 개발된 시뮬레이터를 이용한 결과와 실제 환경에서 취득된 센서 데이터 간의 비교 검증을 통한 시 뮬레이터 성능 검증 및 실증 실험을 진행할 예정이다.

References

- [1] M. Elloumi, R. Dhaou, B. Escrig, H. Idoudi, L. A. Saidane, A. Fer, "Traffic Monitoring on City Roads Using UAVs", *In International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless*, Luxembourg, 11803, pp.588-600, September 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31831-4_42
- [2] A. Alioua, H. E, Djeghri, M. E. T. Cherif, S. M. Senouci, H. Sedjelmaci, "UAVs for traffic monitoring: A sequential game-based computation offloading/sharing approach", *Computer Networks*, Vol. 177, No.107273, pp.1-15, May 2020. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107273</u>
- [3] S. Hyun, M. S. Do, "Artificial Intelligence Based Road Cracks Detection Using Drone and Mobile Mapping System", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 39, No.4, pp.555-563, June 2021. DOI: <u>https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.4.555</u>
- [4] G. Kim, M. S. Do, J. Kim, J. S. Oh, "Road risk analysis based on drone image considering road characteristics", *Proceedings of The 82th Conference* of Korean Society of Transportation, Korean society of transportation, Online, pp.19, June 2020.
- [5] H. Sung, K. Chong, C. N. Lee, "Accuracy Analysis of Low-cost UAV Photogrammetry for Road Sign Positioning", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.37, No.4, pp.243–251, Aug. 2019. DOI: <u>https://doi.org/10.7848/KSGPC.2019.37.4.243</u>
- [6] J. Lim, S. You, Y. Kim, "Monitoring System based on Bigdata Platform for Safety Management of Road Facilities", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.18, No.11, pp.139-151, Nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.11.139
- [7] S. H. Kim, J. K. Lee, D. H. Han, J. Y. Yoon, S. Y. Jeong, "Preliminary Study Related with Application of Transportation Survey and Analysis by Unmanned Aerial Vehicle(Drone)", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol.16, No.6, pp.182-194, Dec. 2017. DOI: <u>https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.6.182</u>
- [8] M. Elloumi, R. Dhaou, B. Escrig, H. Idoudi, L. A. Saidane, "Monitoring road traffic with a UAV-based system", 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE, Barcelona, Spain, pp.1–6, April 2018. DOI: https://doi.org/10.1109/WCNC.2018.8377077
- [9] G. S. Lee, "Illegal Parking Number Recognition Technology using Deep Learning Algorithm Based on Drone Image", *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol.22, No.3, pp.20-31, Dec. 2020. DOI: <u>https://doi.org/10.46416/JKCIA.2020.12.22.3.20</u>

- [10] J. Kim, S. Kim, J. Choi, J. Park, "3D Reconstruction of Traffic Accident Scene Using Drone & Pix4D", *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol.27, No.12, pp.941-947, Dec. 2019. DOI: <u>https://doi.org/10.7467/KSAE.2019.27.12.941</u>
- [11] M. Y. Lee, J. J. Park, T. H. Jin, T. J. Ha, "Establishment of Traffic Information Image Collection System Using Drones", *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol.40, No.4, pp.401-408, Aug. 2020. DOI: https://doi.org/10.12652/KSCE.2020.40.4.0401
- [12] A. I. Hentati, L Krichen, M. Fourati, L. C. Fourati, "Simulation Tools, Environments and Frameworks for UAV Systems Performance Analysis", 2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), IEEE, Limassol, Cyprus, pp.1495-1500, June 2018. DOI: https://doi.org/10.1109/IWCMC.2018.8450505
- [13] A. A. Mousa, B. H. Sababha, N. A. Madi, A. Barghouthi, R. Younisse, "UTSim: A framework and simulator for UAV air traffic integration, control, and communication", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.16, No.5, pp.1-19, Oct. 2019. DOI: https://doi.org/10.1177/1729881419870937
- [14] K..H. Choi, C. Kim, "Proposed New AV-Type Test-Bed for Accurate and Reliable Fish-Eye Lens Camera Self-Calibration", *Sensors*, Vol.21, No.8, pp.1-20, April 2021. DOI: <u>https://doi.org/10.3390/s21082776</u>

최 강 혁(Kanghyeok Choi)

• 2013년 8월 : 서울대학교 건설환 경공학부 (공학석사)

[정회원]

- 2018년 8월 : 서울대학교 건설환 경공학부 (공학박사)
- 2019년 2월 ~ 2019년 12월 : 명지대학교 연구교수
- 2020년 1월 ~ 2020년 11월 : Purdue University Post Doc Researcher
- 2021년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

〈관심분야〉 공간정보, 교통정보, 스마트 모빌리티, 디지털트윈

정 규 수(Kyusoo Chong)

[정회원]



- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국건설기 술연구원 미래스마트건설연구본부 연구위원
- 2021년 8월 : 서울대학교 환경대 학원 환경계획학과 (도시계획학박 사)

〈관심분야〉 교통정보, 공간정보