

이동식 로버 기반 스캔 자동화 계획에 대한 연구

강태욱

한국건설기술연구원 미래융합연구본부

3D Image Scan Automation Planning based on Mobile Rover

Tae-Wook Kang

Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 최근 3D 이미지 스캔(image scan) 작업을 통해 획득한 3D 포인트 클라우드(point cloud)를 활용하는 사례가 점차 많아지고 있다. 특히, 도시나 건물 차원의 실내/실외, 기계 플랜트 등 3D 공간정보 콘텐츠를 활용한 서비스 개발 필요성이 증가하면서, 3D 이미지 스캔 기술의 수요가 급격히 늘고 있다. 기존의 3D 이미지 스캔 방법을 사용하는 경우, 이미지 스캔 작업은 노동집약적인 수작업으로 진행되는 것이 일반적이다. 따라서, 사용자가 복잡한 설비로 이루어진 공간을 스캐닝 할 때나, 사용자가 내부로 진입하기 어려운 좁은 공간을 스캐닝하기에는 어려움이 있으며, 결과적으로 그림자 영역 문제로 인한 품질 저하 문제를 발생시킨다. 본 연구는 사람이 진입하기 어려운 영역에 스캐너가 장착된 로버를 활용해 이미지 스캔을 하는 방법을 제안한다. 스캔 경로를 정확히 제어하기 위해, 로버 이동 규칙 정의 기반 3D 이미지 원격 스캔 자동화 방법을 기술한다. 이 방법을 통해, 사용자는 로버의 스캔 경로를 규칙 기반으로 정의함으로써 3D 스캔 계획을 자동화할 수 있다.

Abstract When using conventional 3D image scanning methods, it is common for image scanning to be done manually, which is labor-intensive. Scanning a space made up of complicated equipment or scanning a narrow space that is difficult for the user to enter, is problematic, resulting in quality degradation due to the presence of shadow areas. This paper proposes a method to scan an image using a rover equipped with a scanner in areas where it is difficult for a person to enter. To control the scan path precisely, the 3D image remote scan automation method based on the rover move rule definition is described. Through the study, the user can automate the 3D scan plan in a desired manner by defining the rover scan path as the rule base.

Keywords : Scan, Mobile, Rover, Robotics, Automation, Rule, Remote

1. 서론

최근 3D 이미지 스캔 작업을 통해 획득한 3D 포인트 클라우드를 활용하는 사례가 점차 많아지고 있다. 특히, 도시나 건물 차원의 실내/실외, 기계 플랜트 등 3D 공간 정보 콘텐츠를 활용한 서비스 개발 필요성이 증가하면서,

3D 이미지 스캔 기술의 수요가 급격히 늘고 있다[1].

3D 이미지 스캔 방법은 드론 사진 기반, 고해상도 사진 기반, 적외선 장비 기반, LiDAR(Light Detection And Ranging)기반 등 다양한 방법이 있다.

3D 이미지 스캔 작업은 노동집약적인 수작업으로 진행되는 것이 일반적이다. 사용자가 복잡한 설비로 이루어

This research was supported by a grant (19AUDP-B127891-03) from the Architecture & Urban Development Research Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government.

*Corresponding Author : Tae-Wook Kang(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: laputa99999@gmail.com

Received May 8, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised July 8, 2019

Published August 31, 2019

진 공간을 스캐닝 할 때나, 사용자가 내부로 진입하기 어려운 좁은 공간을 스캐닝하기에는 어려움이 있다. 이 경우 스캔하지 못하는 부분은 그림자 영역 문제가 발생하며, 해당 영역은 포인트 클라우드를 취득하지 못하여, 결과적으로 산출물의 품질 저하 문제를 발생시킨다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구는 사용자가 진입하기 어렵거나 복잡한 설비로 이루어진 공간을 로버를 이용해, 스캐닝할 수 있는 스캔 경로를 규칙 기반으로 정의함으로써 3D 스캔 이미지의 획득이 어려운 공간에서도 스캐닝 작업을 할 수 있는 자동화 기술을 제안한다. 이를 위해, 스캐너가 장착된 로버 이동 방식을 규칙으로 정의하여, 원격으로 3D 이미지 스캔 계획을 자동화하는 R-scan(Rule-based remote scan)방법을 제안한다.

2. 연구 방법

이동식 로버 기반 3D 이미지 스캔 자동화 연구를 위해 우선 관련 동향을 분석하고 차별성을 확인한다. 이를 바탕으로 R-scan 시스템 구조 및 핵심 컴포넌트를 확인하고, 스캔 이동 경로를 자동화하기 위한 SPR 개념과 규칙 정의 함수를 정의한다. SPR를 기반으로 스캔 대상 및 목적에 따른 스캔 경로 계획을 위한 스캔 작업을 정의하고, 이를 정형화할 수 있는 방법을 기술한다. 마지막으로, R-scan 프로토타입을 구현하고 효과를 확인해 본다.

3. 관련연구

3차원 이미지 스캔은 수작업 중심의 작업 프로세스를 가지고 있다. 이 장에서는 이를 자동화하기 위한 연구를 살펴보고 이와의 차이점을 살펴본다.

3차원 이미지 스캔 기반 MEP(Mechanical, electrical and plumbing) 시설물 관리 기술에 대한 연구가 있었다. 이 연구는 스캔을 활용한 시설물 관리 자동화 기술을 제안하고 있다[2].

문화재의 3D 스캔 데이터에서 도면을 생성하는 자동화 연구가 있었다[3]. 이 연구는 스캐너에서 획득된 포인트 클라우드에서 실루엣을 추출하여 도면을 생성하는 방법을 제안하고 있다.

준공 BIM 구축을 위한 실내 공간 3차원 지도화 방법에 대한 연구가 있었다[4]. 이 연구는 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)을 사용해 3차원 도면을

구축하는 기술을 제안하고 있다.

건설분야 역설계를 위한 지침 개발 시 고려사항을 도출한 연구가 있었다[5]. 이 연구는 역설계 작업 생산성을 높이기 위한 지침 개발을 목적으로 한다.

SLAM기반 로봇 이동을 위한 지도 맵핑 및 정합 연구가 있었다[6]. 이 연구는 로봇 이동을 위해 SLAM 기술을 사용하여 지도를 맵핑하고, 점군을 정합하는 방법을 제안하고 있다.

기계 제조 분야에서 기계 부품 검사를 위해 스캐너 경로 계획을 자동화하는 연구가 있었다[7]. 이 연구는 기계 부품에 대한 검사를 위해 경로를 계획하는 방법이다.

앞에서 조사된 연구들은 크게 스캔 지침, 도면 및 지도 생성, 부품 검사 경로 생성과 관련된 것으로 본 연구와는 차이가 있다. 본 연구는 사용자가 진입하기 어렵거나 많은 스캔 노력이 필요한 공간을 이동형 로버 기반 스캔 계획으로 규칙화함으로써 3D 스캔 이미지의 획득이 어려운 공간에서도 스캐닝 작업을 효과적으로 수행할 수 있는 스캔 계획 자동화 기술을 제안한다.

4. R-scan 시스템 정의

4.1 개요

R-scan은 크게 스캔 경로를 정의하는 SPR(Scan Path Rule) 정의, 스캔 위치 및 방향을 제어하는 R-scan behaviour control, 스캔 상태를 확인하고 원격으로 통신을 하는 R-scan status monitoring, control communication으로 크게 구성된다.

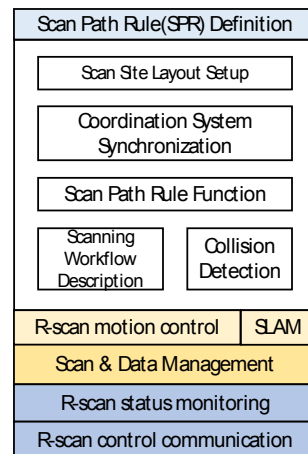


Fig. 1. R-scan system component

SPR은 스캔 현장의 레이아웃 도면을 설정하는 Scan Site Layout Setup, 스캔 작업 흐름을 정의하기 위한 SWFD(Scanning Workflow Description), SWFD를 이용해 스캔 이동 경로를 정의하고, 스캔 목표까지 로버가 이동하도록 하는 SPRD(Scan Path Rule Definition) 및 로버가 목표에 도달하면 3D 스캔을 수행하는 R-scan motion control을 포함한다.

4.2 스캔 경로 규칙 정의 개념

SPR은 스캔 도면 레이아웃과 현장의 좌표계를 동기화 하는 좌표계 동기화, SPR 함수 및 SWFD 스크립트로 구성된다. SWFD는 스캔 이동 경로를 정의하는 스캔 경로 규칙 정의를 통해, 스캔 이동 경로에 정의된 목표점을 확인하고, 로버가 목표점으로 이동하도록 상기 로버를 제어 하는 역할을 한다.

다양한 스캔 경로를 정의할 수 있도록 SPR 함수는 스캔 이동 경로의 초기 설정을 위한 초기 설정, 상기 로버가 스캔 이동 경로를 따라 이동 시 발생하는 충돌 검출 이벤트, 목표점으로 이동 가능 시 발생하는 목표점 도달 이벤트 및 기타 이상 사항 발생 시 호출되는 이벤트 함수를 포함해야 한다.

로버가 스캔 이동 경로를 따라 이동하는 동안 장애물을 센싱하여 충돌 감지를 할 수 있어야 한다. 장애물이 검출되면, 스캔 경로는 충돌 검출 이벤트 함수를 호출한 후 다음 목표점을 고려해, 회피 경로를 생성한다. 로버가 목표점으로 이동 가능한 경우, 목표점 도달 이벤트 함수가 호출된다.

상기 저장된 도면에는 상기 로버가 상기 스캔 이동 경로를 따라 이동하는 중 충돌이 발생하는 것을 방지하기 위한 경계선이 polyline으로 지정되어 있으며, 스캔 경로 정의는 도면 레이아웃에 지정된 경계선을 참조하여 로버가 목표점으로 이동하도록 해야 한다.

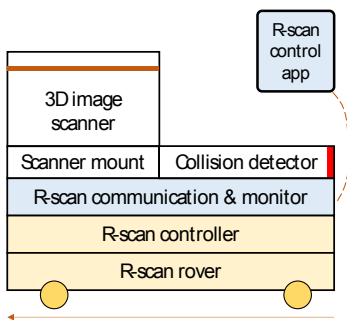


Fig. 2. SPR-based R-scan device

4.3 SPR 기반 스캔 시스템 요구사항 정의

R-scan 시스템은 센서 및 제어 컴퓨터를 통해 기술적으로 구현할 수 있다.

앞의 그림은 Fig. 1에 제안된 R-scan 시스템이 적용된 장치를 도시한 다이어그램이다.

R-scan 시스템은 로버 구동부를 이용하여 미리 지정된 경로에 따른 주행이 가능해야 한다. 로버는 전진, 후진, 좌회전 및 우회전을 포함하는 다양한 방향으로의 주행을 할 수 있어야 한다. 또한, 정확한 거리로 이동하며, 회전 각도에 따라 앞뒤좌우로의 이동 및 방향 전환이 가능해야 한다.

스캐너 마운트(scanner mount)는 스캐너(scanner)를 로버에 부착시키기 위한 결합부 역할을 한다. 스캐너가 LiDAR 인 경우, 마운트 결합 규격은 표준 LiDAR 센서 마운트 치수와 호환되어야 한다.

R-scan 장치는 스캔할 현장의 도면 레이아웃과 SLAM정보를 통해, 경로상에 장애물이 있는 경우 이동 경로를 보정할 수 있다. R-scan 장치는 본 제안에서 정의할 스캔 경로 이동 규칙 함수인 SPR 함수와 작업흐름을 정의하는 스캔 작업흐름 정의 스크립트인 SWFD를 이용하여 3D 스캔 이동 경로를 규칙 기반으로 정의할 수 있다.

이 장치는 정의된 스캔 이동 경로를 따라 로버가 목표점으로 이동하도록 하고, 목표점에 도달하면 반복적으로 스캐닝을 수행하여 3D 이미지인 3D 스캔 데이터를 획득한다. 획득된 3D 스캔 데이터는 원격으로 원격 모니터 장치로 전송된다.

R-scan monitor는 로버 이동 거리, 이동 방향 및 회전량 등 로버 움직임과 스캔된 3D 이미지를 원격 모니터링한다.

4.4 SPR 함수

SPR을 구현하기 위해서는 SPR를 정의하는 명령어들이 명시적으로 구현되어, 컴퓨터를 통해 판독 및 실행될 수 있어야 한다.

SPR 함수는 저장된 도면 레이아웃, 현장 스캔 작업 흐름을 정의하기 위한 기능들을 지원한다.

Table. 1은 SPR 정의 시 사용되는 함수를 설명하고 있다. 이 표에서 SPR 함수는 스캔 이동 경로 정의 시 호출되는 함수, '입력'은 스캔 경로가 도면을 참조하여 호출된 함수에 입력할 항목들의 실제값, '출력'은 입력에 의한 출력값, '기능'은 각 SPR 함수의 동작 또는 기능 설명이다.

Table 1. SPR function definition

Name	Input	Output	Role
setup	-none	-none	R-scan system initial setting function. Called only once at rover start
set_drawing	-drawing file	-none	Site scan layout setting
set_coordinate_system	-rover's origin point on drawing and field -rover's direction on drawing and field	-none	Set the position and orientation of the rover. Match the origin and direction of the rover on the drawing with the origin and direction of the scene.
set_start_point	-rover's scan start position	-none	Setting the scan start point
set_target_point	-rover's scan target position	-none	Set scan target point
set_scan_interval_distance	-rover's scan interval	-none	Setting the scan interval (meter interval)
set_scan_position	-rover's scan position type	-none	Set scan position auto generation options. This option automatically creates a scan location for the scan path. start: Start point target: target point corner: corner point interval: Specify the scan position according to the specified scan interval
collision_detection_event	-current point -target point -collision boundary polyline	-none	If there is a collision boundary line between the current position of the rover and the rover's target position and the collision between them.
target_point_arrival_event	-target point	-none	If you can move to the target point normally,
sensing	-sensing type	-sensing results value	Input the type to be sensed (eg. distance sensor, etc.) and return the sensed result
move	-position	-none	Receives the rover's moving position, moves the rover to that position
rotate	-rotate	-none	Receives the direction of movement of the rover, and rotates the rover
scan	-none	-none	Scanning a 3D image to acquire a 3D point cloud
store	-scan data	-none	Saved 3D point cloud
stop	-none	-none	Stop rover movement and sensing
set_manual_mode	-none	-none	Changed rover scan operation to manual control
set_auto_mode	-none	-none	Performs rover scan operation automatically

5. SWFD 실행 알고리즘

5.1 개념

Table. 1.을 참조하면, 규칙 함수인 SPR 함수는 크게 4개로 구분된다. 스캔 이동 경로의 초기 설정을 위한 초기 설정(setup) 함수, 로버가 스캔 이동 경로를 따라 이동 시 발생하는 충돌 검출 이벤트(collision detection event) 함수, 목표점으로 이동 가능 시 발생하는 목표점 도달 이벤트(target point arrival event) 함수 및 기타 이상 사항 발생 시 호출되는 이벤트(exception) 함수이다. 크게 4개로 구분되는 SPR 함수는 스캔 경로를 기술하는 SWFD를 정의하는데 사용된다.

5.2 알고리즘

SWFD는 파이썬과 같은 스크립트로 구현될 수 있다. SWFD 스크립트는 Table. 1.에 정의된 R-scan 규칙 함수, 즉, SPR함수를 사용할 수 있다.

Fig. 3.은 SWFD의 역할을 보여주는 작업흐름도이다. SWFD는 S-scan 장치의 동작을 적절히 제어해주는 정보가 포함된 스캔 계획을 기술한 기계가 처리 가능한 정형화된 문서이다.

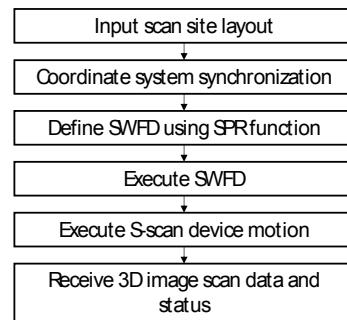


Fig. 3. SWFD workflow overview

다음은 SWFD 스크립트의 예를 기술한 것이다. SWFD 스크립트도 규칙 함수에 의해 크게 4개로 구분된다.

1. 초기 설정 정의

setup():

set_drawing(drawing_file)

set_coordinate_system(origin_point_on_drawing, direction_on_drawing, origin_point_on_field,

```
direction_on_field)
set_start_point(start_point)
set_target_point(target_point)
set_scan_interval_distance(3.0)
set_scan_position(start | target | corner | interval)
```

2. 충돌 검출 이벤트 정의

```
collision_detection_event(current_point,
target_point, collision_polyline):
path = avoidance_path(start_point, target_point,
collision_polyline, avoidance_path_point_count = 5)
update_scan_path(path)
```

충돌 검출과 관련된 SWFD에서, collision_detection_event는 Table. 1.에 정의된 SPR 함수로서 로버 현재 위치(current_point), 목표점(target_point, collision) 및 현재 위치와 목표점 사이에 충돌가능한 사물의 경계선(collision_polyline)이 있을 경우 자동 호출된다.

'avoidance_path'는 로버가 스캔 이동 경로를 따라 이동하는 중 장애물이 센싱되면, 장애물을 피하면서 다음 목표점으로 이동하기 위해 지정되는 회피 경로이다. 'update_scan_path(path)'에 의해 스캔 이동 경로는 새로 지정된 회피 경로로 업데이트된다.

충돌 검출 이벤트 함수(collision_detection_event) 호출 시, '현재 위치(current_point), 목표점(target_point), 경계선(collision_polyline)'에 대한 정보 입력을 필요로 한다. 이와 더불어, avoidance_path 지정을 위해, 시작점(start_point), 다음 목표점(target_point), 시작점(start_point)과 다음 목표점(target_point) 사이에 있는 충돌가능한 경계선(collision_polyline), 회피 경로 포인트 개수(avoidance_path_point_count)에 대한 정보 입력을 필요로 한다.

3. 목표점 도달 이벤트 정의

```
target_point_arrival_event(target_point):
sensing_value = sensing("distance sensor")
if(sensing_value["distance"] < 5.0)
stop()
move(target_point)
rotate(target_point.direction)
scan_data = scan()
store(scan_data)
```

목표점 도달과 관련된 SWFD에서, target_point_arrival_event는 로버가 목표점에 정상적으로 이동 가능한 경우 호출되는 이벤트 SPR 함수이다. target_point_arrival_event는 목표점에서 3D 스캔 센서에 의한 3D 스캔 데이터를 획득하기 위해 scan 함수 및 store 함수를 지원한다.

스캔(scan) 함수는 목표점에서 해당 지점을 스캔하여 3D 포인트 클라우드를 획득하도록 명령하는 함수이다. 저장(store) 함수는 획득한 3D 포인트 클라우드를 3D 스캔 데이터로서 저장하도록 명령하는 함수이다. 또한, 센싱(sensing) 함수는 센싱할 유형을 입력하면, 센싱된 결과 값을 출력하도록 하는 함수이다. 위 실시 예에서는 센싱할 유형으로서 거리(distance)가 입력되었으며, 거리가 지정된 거리 미만이면 센싱을 멈추도록 한다.

이동(move) 함수는 로버의 이동 위치(target_point)를 입력받아, 입력된 위치로 이동하도록 명령하는 함수이다.

회전(rotate) 함수는 로버의 이동 방향(target_point.direction)을 입력받아 로버를 입력된 방향으로 회전시키도록 명령하는 함수이다. stop 함수는 로버의 이동 또는 센싱 동작을 멈추도록 명령하는 함수이다.

4. 기타 이상 사항 발생 시 호출되는 이벤트(exception) 정의

```
exception(e):
if(e.type == fail_collision_avoidance):
stop()
if(e.type == fail_low_power):
stop()
if(e.type == fail_scan_path_navigation):
set_manual_mode()
if(e.type == fail_unknown_reason):
stop()
```

set_manual_mode()는 스캔 동작을 수작업 제어로 변경하도록 명령하는 SPR 함수이다. set_auto_mode()는 스캔 동작을 수작업에서 자동 제어로 변경하도록 명령하는 SPR 함수이다.

'e.type'은 이상 상황이 발생한 경우, 이상 사항의 유형을 의미한다. 'fail_collision_avoidance'은 장애물 회피에 실패한 경우를 의미하고, 'fail_low_power'은 로버 또는 장치에 공급되는 전력이 부족한 경우를 의미한다. 'fail_scan_path_navigation'은 스캔 경로 탐색에

실패한 경우를 의미하며, 'fail_unknown_reason'는 알 수 없는 이유에 의해 스캔 또는 이동이 실패한 경우를 의미한다.

앞서 기술한 SWFD 스트립트를 이용하여, 스캔 경로에서 장애물이 센싱되는 경우 회피 경로를 정의하여 이동하는 동작에 대해 설명할 수 있다.

스캔 경로 정의는 좌표계 매핑, 스캔 경로 규칙 정의 및 로버 경로 목표점 이동함수를 포함한다.

좌표계 매핑은 저장된 도면과 현장의 좌표계를 동기화하기 위해, 스캔을 시작할 지점의 원점 및 좌표계를 매핑한다. 즉, 좌표계 매핑은 현장에서 스캔을 시작할 지점 및 방향과, 도면 상에서 로버의 위치 및 방향을 매핑하여 동기화함으로써, 로버의 위치와 방향 좌표계를 초기값으로 설정한다.

이를 위하여, 좌표계 매핑은 set_coordinate_system SPR 함수를 호출하고, origin_point_on_drawing, direction_on_drawing, origin_point_on_field, 및 direction_on_field에 대한 정보를 도면을 참조하여 계산하거나 도면으로부터 확인하여 좌표계를 동기화한다.

다음 그림은 SWFD기반 스캔 시 충돌체크 및 회피 흐름을 보여준다.

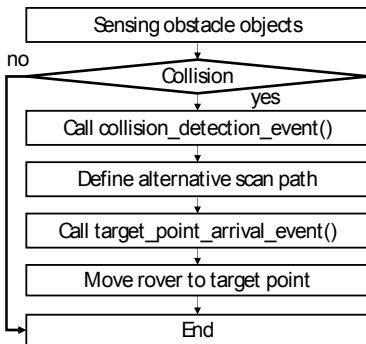


Fig. 4. S-scan collision process

6. 프로토타입 개발

이 장은 S-scan 기술의 효과를 확인해 보기 위해 프로토타입을 개발하고, 테스트한 결과를 기술한다.

프로토타입은 3차원 포인트 클라우드를 취득하기 위해, 정확도 높은 Trimble TX5 LiDAR를 사용하였고, 마운트되는 로버는 평면상 수평 및 수직 이동을 위해 메카넘휠을 사용한다. 통신 및 제어를 위한 WiFi와 블루투스를 사용한다.

로버 모션 제어를 위해서 임베디드 보드를 사용하고

ROS(robot operation system)을 통해 SWFD 명령어를 제어하였다. 원격 제어는 스마트 패드를 이용해 명령을 주고, 그 상태를 모니터링하였다.

다음 그림은 S-scan을 구현한 프로토타입이다. 스캔 대상은 사람이 진입하기 어려운 30 cm 높이의 박스 내 MEP(Mechanical, electrical and plumbing)이다.

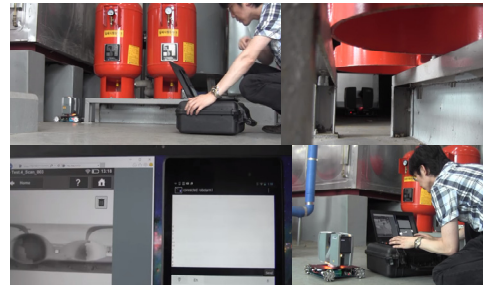


Fig. 5. S-scan prototype test

S-scan 프로토타입 테스트 결과, 사람이 진입하기 어려운 낮은 영역을 효과적으로 스캔하기 용이함을 확인할 수 있었다.

이러한 스캔 자동화는 복잡한 설비로 이루어진 공간을 로버를 이용하여 SWFD에 정의된 스캔 계획을 반복적으로 수행함으로써 인건비를 절감할 수 있으며, 이를 통해 작업 효율성을 높여줄 수 있다.

7. 결론

본 연구에 따르면 사용자가 진입하기 어렵거나 복잡한 설비로 이루어진 공간을 미리 설정된 스캔 계획을 수행함으로써 3D 스캔 이미지의 획득이 어려운 공간에서도 효율적으로 3D 스캐닝 작업을 수행하여 3D 포인트 클라우드 데이터를 획득할 수 있다. S-scan은 3D 스캔 이미지를 획득하기 위한 공간에서 작업할 때, 공간의 도면, 스캔 경로 이동 규칙 함수, 스크립트 형식의 스캔 작업흐름 정의 스크립트를 이용하여 스캔 경로를 규칙 기반으로 정의함으로써 스캔 계획을 정의하고 스캔 방식을 자동화한다. 이를 통해 스캔 작업의 품질과 효율성을 높일 수 있다.

향후, SPR 정의를 위한 함수를 좀 더 개선하고, S-scan 기술을 좀 더 다양한 현장에 적용해 볼 계획이다. 아울러, 고가의 LiDAR보다는 좀 더 저렴하고 경량화된 스캐너를 사용하여 활용도를 높일 계획이다.

References

- [1] T.W. Kang, "BIM-based Smart Facility Management Framework for Existing Buildings," *Review of Architecture and Building Science*, vol. 62, no. 6 pp.37-42, 2018.
- [2] T.W. Kang, "Study on 3D Image Scan-based MEP Facility Management Technology," *Korea Institute of BIM*, vol. 6, no. 4, pp.18-26, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13161/kibim.2016.6.4.018>
- [3] J.I. Jung, J.S. Cho, T.G. H, "Automated Silhouette Extraction Method for Generating a Blueprint from 3D Scan Data of Cultural Asset," *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONTENTS*, vol. 8, no. 12, pp.10-19, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2008.8.12.010>
- [4] J.H. Jung, S.H. Yoon, J. Heo, "A Study on 3D Indoor mapping for as-built BIM creation by using Graph-based SLAM," *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 17, no. 3, pp.32-42, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2016.17.3.032>
- [5] T.W. Kang, "Development Considerations for Reverse Engineering Guidelines for AEC," *Korea Institute of BIM*, vol. 5, no. 4, pp.23-29, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13161/kibim.2015.5.4.023>
- [6] P. Kim, J. Chen, Y.K. Cho, "SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds," *Automation in Construction*, vol. 89, pp.38-48, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/i.autcon.2018.01.009>
- [7] D.M.P Nguyen, Q. Yann, L. Sylvain, L. Claire, "Scanner path planning with the control of overlap for part inspection with an industrial robot," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 98, no. 1, pp.629-643, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-018-2336-8>

강 태 욱(Tae-Wook Kang)

[정회원]



- 2009년 3월 : 중앙대학교 건설환경공학 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 5월 : 중앙대 겸임교수
- 2011년 6월 ~ 2012년 6월 : 한길아이티 BIM본부장
- 2012년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

CAD, CAM, BIM, GIS, Computer Graphics, SW공학