

고속 3D 스캐닝 프로세스를 위한 효과적인 점데이터 제거

임석현*

Effective Point Dataset Removal for High-Speed 3D Scanning Processes

Sukhyun Lim*

*Assistant Professor, Department of SmartIT, Hanyang Women's University, Seoul, 04763 Korea

요 약

최근 많은 산업체에서 3차원 스캐닝 기술을 활용하고 있다. 3D 스캐너의 성능이 향상됨에 따라 점데이터를 획득 하면 후처리를 통해서 일정 비율만큼 줄이는 샘플링 단계를 수행하거나, 잡음이라고 판단되는 부분을 제거한다. 하지만, 이와 같은 추가과정 수행에도 불구하고 오랜 시간 동안 스캐닝하면 점데이터들을 한꺼번에 처리할 수 없다. 일반적으로 멀티스레드 환경을 이용하여 기획된 점데이터를 먼저 처리하는 방식을 이용하지만, 스캐닝 프로세스 작업 시간이 증가함에 따라 다양한 환경 조건과 누적된 연산으로 인하여 점차 처리 성능이 낮아진다. 본 연구에서는 3D 스캐너로부터 실시간으로 들어오는 점데이터를 누적된 고속 특징점 히스토그램 계산을 이용하여 불필요하다고 판단되는 점데이터를 초기에 제거하는 방식을 제안한다. 이 방법을 이용하면 전체 3D 스캐닝 프로세스의 속도 향상을 가져온다.

ABSTRACT

Recently, many industries are using three dimensional scanning technology. As the performance of the 3D scanner gradually improves, a sampling step to reduce a point data or a remove step to remove a part determined to be noise are generally performed in post processing. However, total point data by long time scanning cannot be processed at once in spite of performing such those additional processes. In general, a method using a multi threaded environment is widely used, but as the scanning process work time increases, the processing performance gradually decreases due to various environmental conditions and accumulated operations. This paper proposes a method to initially remove point data judged to be unnecessary by calculating accumulated fast point feature histogram values from coming point data of the 3D scanner in real time. The entire 3D scanning process can be reduced using this approach.

키워드 : 3D 스캐너, 스캐닝 프로세스, 점데이터, 고속 특징점 히스토그램

Keywords : 3D scanner, scanning process, point dataset, fast point feature histogram

Received 21 October 2022, Revised 26 October 2022, Accepted 6 November 2022

* Corresponding Author Sukhyun Lim(E-mail:cgwizard@hotmail.com, Tel:+82-2-2290-2383)
Assistant Professor, Department of SmartIT, Hanyang Women's University, Seoul, 04763 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.11.1660>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

3차원 스캐닝 기술이 제품 설계, 개발, 생산, 품질관리 등에 적용됨으로써 전체적인 제품 개발 사이클이 단축되고 있다. 전통적인 컴퓨터 그래픽스/비전 분야뿐만 아니라 다양한 응용 분야로 파급 중이다. 특히 최근에 3D 스캐너 장비 가격이 저렴해짐에 따라 일반 소비자들의 사용이 늘어나고 있으며, 산업 활용 현장을 중심으로 실제 제품 공정에 도입하고자 하는 시도가 활발하게 이루어지고 있다 [1].

3차원 스캐닝을 이용한 프로세스는 크게 4가지 단계로 구성된다 [2]. 첫 번째 단계는 스캐닝 단계로서 주로 접촉식(contact) 또는 비접촉식(non-contact) 장비를 이용한다. 접촉식 방법은 CMM에 접촉식 프로브(probe)를 이용하는 방법으로 측정 정확도가 우수하고 정밀도 역시 높다 [3]. 그러나 물체에 직접 접촉해야 하는 한계로 인하여 스캐닝을 진행하고자 하는 물질(물체)의 성질에 따라 결과가 정확하지 않을 수 있고, 일반 산업체 활용에서 활용하기에는 장소나 응용 분야의 한계가 있다. 핸드헬드(handheld) 스캐너를 포함한 비접촉식 장비를 활용하는 방법은 정밀도는 다소 낮으나 측정 속도가 빠르고 휴대가 간편해 많이 활용 중이다 [3]. 또한 최근에는 정확도 및 정밀도가 향상되고 있어 사용 빈도가 증가하고 있다.

두 번째 단계에서는 스캐닝 단계를 통해 점데이터를 획득한다. 세 번째 단계에서는 후처리 과정을 거쳐 양질의 포인트 데이터를 생성한다. 일반적으로 대상 물체와 상관없는 점들을 제거하고, 잡음에 해당하는 점들을 검출하여 제거한다 [4]. 스캐너의 성능이 낮은 경우에는 다양한 보간 방법들을 통하여 보정한다 [5]. 반대로 많은 점데이터들이 획득되면 후속 작업에 필요한 양만 얻기 위하여 일정 비율만큼 줄이는 샘플링 단계를 수행한다. 이와 같은 일련의 과정들은 일반적으로 모든 점데이터들을 획득한 후 유사성(coherence)에 기반하여 계산한다 [6].

마지막 단계에서는 후처리된(정제된) 점데이터로부터 삼각형화 과정을 거쳐 메시(mesh) 구조를 만든다. 이때 곡면 패치 작업이나 솔리드 형상 작업과 같은 최적화 작업을 거쳐 최종적으로 원하는 구조를 만든다. [그림 1]은 3차원 스캐닝을 이용한 프로세스이다.

본 논문에서는 언급한 4단계 중에서 두 번째 단계인, 점데이터를 획득하는 과정에서 미리 의미 없다고 판단

되는 데이터들을 제거하는 새로운 방법을 제안한다. 스캐닝 단계를 거쳐 점데이터들로 구성된 라인이 획득되면 이들 간의 고속 특징점 히스토그램(fast point feature histogram)[7, 8] 계산값을 누적한 후 임계값과 비교한다. 만약 이하이면 의미 없는 점이라고 판단하여 초기에 제거하여 전체 프로세스 성능향상을 가져온다. 만약 이상일 경우에는 해당 점데이터는 다음 단계인 후처리 단계를 위해 유지하고, 동시에 고속 특징점 히스토그램 누적 연산을 초기화한 후, 다음 점데이터부터 같은 연산을 반복한다.

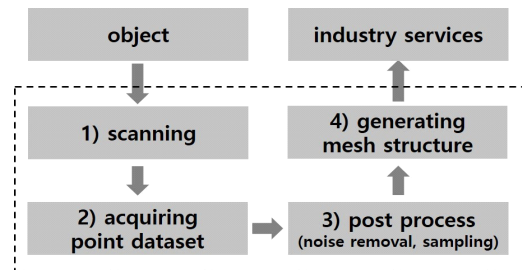


Fig. 1 Flowchart of 3D scanning work

본 논문에서 제안하는 방법은 추가적인 연산을 최소화하면서 초기에 불필요하다고 판단되는 점데이터를 제거하여 전체 스캐닝 프로세스의 성능향상을 가져오는 것이 목적이다.

II. 고속 점데이터 제거법

산업체에서 주로 사용하는 3D 스캐너는 스캔 속도 600Hz 이상으로 라인당 4,000개 이상의 점데이터를 얻는다. 이는 초당 250만 개 이상의 점데이터가 실시간으로 획득됨을 의미한다. 접촉식 3D 스캐닝 장비는 라인당 간격이 동일하여 일정 간격으로 정확한 스캐닝 결과를 얻을 수 있지만, 비접촉식 스캐너는 대부분 사람이 스캐닝 장비를 움직여 가면서 스캐닝한다. 이때 동일 영역에 계속 머물러 있으면 중복된 불필요한 점데이터들이 획득되고, 이동 속도가 빠르면 라인 간격이 멀어져서 원하는 부분이 제대로 스캐닝이 되지 않는다. 만약 원하는 영역이 제대로 스캐닝이 되지 않았다면 중간 결과를 실시간으로 확인하면서 해당 영역 부분을 추가 스캐닝하는 과정을 반복한다.

2.1. 기존 3D 스캐닝 프로세스 문제점

스캐닝하고자 하는 물체가 상대적으로 크기가 작으면 그림 1의 프로세스를 적용하여 전체 물체를 스캐닝한 후, 전체 점데이터에 대해 샘플링하거나 잡음이라고 판단되는 영역을 제거하는 후처리 과정을 수행한다. 이 경우에는 점데이터 개수가 적어서 일반적으로 문제가 없다.

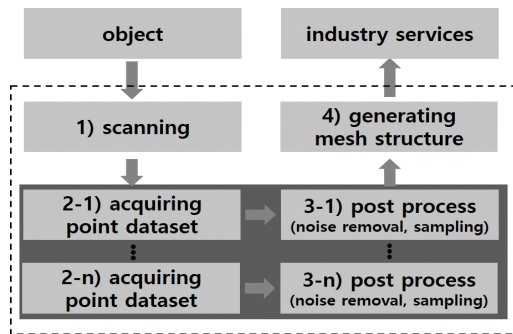


Fig. 2 Flowchart of 3D scanning work using multi-thread environment

하지만 초당 250만 개 이상의 점이 획득되는 고해상도 장비를 이용하여 오랜 시간 동안 수행하면 점데이터 개수가 1억 개 이상이 되어 기존 3차원 스캐닝 프로세스를 그대로 이용하면 한 번에 처리할 수 없어서 일반적으로 멀티스레드를 이용한다. 스캐닝 도중 점데이터 개수가 버퍼 한계 크기에 도달하면 추가 스레드를 생성하여 기존에 획득한 점데이터는 후처리 작업을 하고, 메인 스레드는 원래 수행하고 있었던 점데이터 저장과정을 계속 수행한다. 그림 2는 멀티스레드를 활용한 3D 스캐닝 프로세스이다.

하지만 멀티스레딩 환경이 제대로 구현되어 있더라도 여러 스레드가 동시에 돌아가고, 3D 스캐너 장비의 I/O 연산 등이 증가함에 따라 점차 처리 성능이 낮아진다. 이 경우 그림 3과 같이 현재 3D 스캐닝 장비가 점데이터를 획득하고 있는 위치는 한참 앞질러서 진행하고 있는데, 실제로 점데이터를 받아들이고 처리하고 있는 중간 결과는 한참 뒤쳐진다. 이와 같은 현상은 점데이터의 개수가 증가함에 따라 누적되어 그 간격이 더욱 벌어지고, 이는 결과적으로 전체 처리 시간이 늘어난다. 추가로, 스캐닝한 부분이 제대로 되었는지 확인하는 과정도 늦어져 오목한 부분과 같이 스캐닝을 제대로 하지 못한 영역 확인 과정 역시 늦어진다.

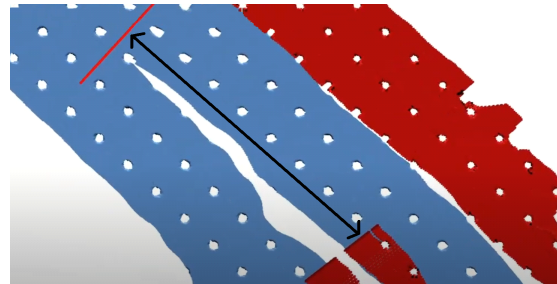


Fig. 3 A problem with the conventional multi-threading environment when using large dataset. The blue regions represent the area that has already been processed by other thread, and the red parts are the regions that are currently receiving 3D point dataset from main thread. The upper left red line is the current scanning position of the 3D scanner. The spacing of the black arrows shows the gap between them

2.2. 새로운 고속 점데이터 제거법

본 논문에서는 실시간으로 들어오는 점데이터에서 불필요하다고 판단되는 부분을 초기에 제거하는 방식을 제안한다. 이 과정에서 중요한 것은, 추가 연산의 복잡도가 낮아야 한다. 만약 추가 계산이 정밀하여 초기에 많은 불필요한 점데이터를 제거한다고 하더라도 해당 연산량이 크다면 전체 프로세스 결과 항상 폭은 미미하거나 오히려 더 늦어질 수 있다. 결국 계산량을 가능한 줄이면서 불필요하다고 판단되는 점데이터를 빠르게 판단하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위해서, 특정 i 번째 라인에 대해서 인접한 점들과의 상관관계를 고속 특징점 히스토그램 기법을 이용하여 계산한다 [7]. 고속 특징점 히스토그램 기법은 점데이터의 위치 좌표와 법선벡터만이 존재할 때 기하학적 관계를 계산하는 효과적인 방법이며, 고속 전역 정합법(fast global registration) 등에서 폭넓게 사용한다 [8, 9].

고속 특징점 히스토그램을 계산하기 위해서는 점데이터마다 k -d 트리와 같은 자료구조를 이용하여 인접한 점들의 점군을 만들고 해당 점군 내부 점들과의 고속 특징점 히스토그램을 계산한다. k -d 트리는 1-링(ring)씩 점차 확장하여 인접 점데이터를 찾기 때문에 정확하게 점군을 구할 수 있지만 속도가 매우 느리다. 본 논문에서는 고속 처리를 위해 k -d 트리와 같은 추가적인 자료구조를 사용하지 않고 3D 스캐너로부터 입력받은 특정 i 번째 라인에 대해서 인접한 점들과의 고속 특징점 히스

토그램을 계산하여 누적하는 방식을 이용한다.

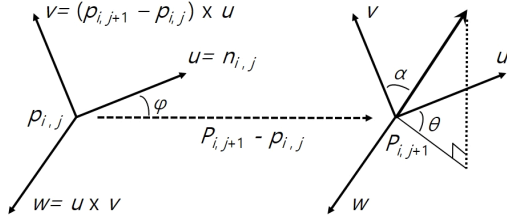


Fig. 4 Fast point feature histogram computation between $p_{i,j}$ and $p_{i,j+1}$ in i -th line

그림 4는 i 번째 라인의 특정 점데이터 위치 j 번째와 $j+1$ 번째 점데이터 간의 고속 특징점 히스토그램을 이용하여 α, φ, θ 값을 구하는 방식이다. 첫 번째로 식 1을 통하여 i 번째 라인의 j 번째 점 $p_{i,j}$ 에서 u, v, w 세 개의 벡터를 계산한다. u 는 $p_{i,j}$ 의 법선벡터고, v 는 $p_{i,j}$ 에서 $p_{i,j+1}$ 로 향하는 벡터와 u 가 이루는 평면의 법선벡터이며, w 는 u, v 와 수직인 벡터이다.

$$u = n_{i,j}, \quad v = (p_{i,j+1} - p_{i,j}) \times u, \quad w = u \times v \quad (1)$$

두 번째로 앞 단계에서 구한 u, v, w 벡터를 이용하여 현재 입력된 라인 i 번째에 대해 모든 점 t ($0 \leq j \leq t$)에 대해서 α, φ, θ 를 식 2에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} \alpha_{i,j} &= v \cdot n_{i,j} \\ \varphi_{i,j} &= (u \cdot (p_{i,j+1} - p_{i,j})) / \|p_{i,j+1} - p_{i,j}\| \\ \theta_{i,j} &= \arctan(w \cdot n_{i,j}, u \cdot n_{i,j+1}) \end{aligned} \quad (2)$$

다음 단계로는, i 번째 라인 중 0번째 점데이터로부터 시작하여 식 2에 의해 계산한 $\alpha_{i,0}, \varphi_{i,0}, \theta_{i,0}$ 값과 다음 1번째 점에서의 $\alpha_{i,1}, \varphi_{i,1}, \theta_{i,1}$ 값을 사용자가 정한 임계값 τ 과 비교한다. 만약에 $\alpha_{i,1}, \varphi_{i,1}, \theta_{i,1}$ 값이 $\alpha_{i,0}, \varphi_{i,0}, \theta_{i,0}$ 값과 비교하여 임계값 τ 이하이면, 해당 점은 제거하여 다음 단계로 보내지 않고, 이후 비교를 위해 $\alpha^{accu_{i,1-0}}, \varphi^{accu_{i,1-0}}, \theta^{accu_{i,1-0}}$ 에 $\alpha_{i,0}, \varphi_{i,0}, \theta_{i,0}$ 값과 $\alpha_{i,1}, \varphi_{i,1}, \theta_{i,1}$ 값의 중간값을 저장한다. 만약에 임계값 τ 이상이면 해당 점은 제거되지 않고 유지하고, $\alpha^{accu_{i,1-0}}, \varphi^{accu_{i,1-0}}, \theta^{accu_{i,1-0}}$ 은 초기화한다. 즉, k 번째 점데이터에서 $\alpha^{accu}, \varphi^{accu}, \theta^{accu}$ 가 리셋된 후 j 번째 점($k < j$)데이터까지 제거되었다면 $j+1$ 번째 점데이터는 식 3을 만족하

면 제거하고, 만족하지 않으면 유지한다.

$$|\alpha^{accu_{i,j-k}}| \leq \tau, \quad |\varphi^{accu_{i,j-k}}| \leq \tau, \quad |\theta^{accu_{i,j-k}}| \leq \tau \quad (3)$$

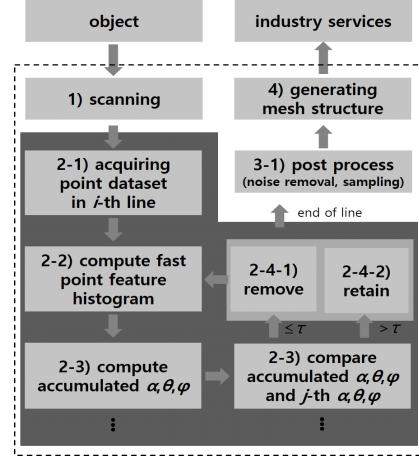


Fig. 5 Flowchart of 3D scanning work using multi-thread environment (dotted line region from step 1 to 4) and proposed method in this paper (shaded dark gray region from 2-1 to 2-4), simultaneously

그림 5는 본 논문에서 제안한 방법과 멀티스레드를 동시에 이용했을 때의 프로세스이다. 3D 스캐너로부터 점 데이터를 획득할 때 고속 히스토그램값을 계산한 후 누적하여 임계값 τ 과 비교한다. 만약 τ 이하일 경우에는 불필요하다고 판단되어 해당 점들을 초기에 제거하기 때문에 전체 3D 스캐닝 프로세스의 속도가 향상된다.

III. 실험 결과

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 방법의 효율성을 입증한다. 실험에 사용한 데이터는 실제 3D 스캐너를 이용하여 획득한 데이터를 사용하고, 추가로 다양한 환경에서의 성능을 확인하기 위해서 가상으로 3D 점데이터를 만들어 성능을 확인한다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 결과(우)이다. 같은 상황에서 스캐닝 단계에서부터 불필요하다고 판단되는 점데이터들을 제거하여 뒤처짐 없이 현재 스캐너 위치의 점데이터들을 처리하고 있다. 임계값 τ 을 크게 설정하면 처리 속도는 좀 더 빨라지지만, 영상의 깨진

(크랙) 부분이 발생하여 임계값 τ 은 15도 설정하였다.

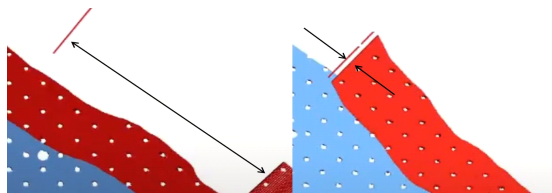


Fig. 6 When point data judged to be unnecessary is deleted by using proposed method, the position where the scanner is currently moving (red line) is being processed normally (right) compared with traditional method (left)

그림 7은 임계값 τ 을 크게 설정하여 영상의 일부분에서 크랙이 발생하여 음영 처리가 실패한 경우이다. 이는 임계값 τ 을 크게 하면 속도는 빨라지나 화질 저하 문제로 인하여 데이터에 영향이 없는 적당한 임계값 τ 을 선택해야 함을 의미한다.

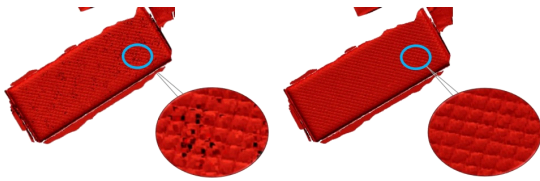


Fig. 7 In the case on the left, a τ threshold of 30 degrees is used, and on the right, a case of using 15 degrees. If the τ threshold value is set large (left), required points are judged to be unnecessary, so shading problem occurs in rendering

표 1은 본 논문에서 제안한 방법을 이용할 때 추가 연산량이다. 최악의 경우를 가정하여 가상으로 600Hz 속도로 라인당 점데이터 4,000개를 무작위로 만들고 모든 경우에 임계값 τ 이상이라고 가정한 후 추가 연산량을 계산하였다. 시간 측정은 각 데이터에 대해 두 번씩 반복하였으며 총 100개의 다른 데이터를 생성하여 실험하였다. 실험 결과 평균 12.5% 추가 연산이 필요함을 확인하였다.

Table. 1 Additional amount of computation of proposed method in the worst case (unit: %)

	data 1	data 2	data 3
additional computation	12.44	12.80	12.24
	...	data 100	average
additional computation		12.56	12.47

Table. 2 Number of point dataset deleted by proposed method (unit: %)

	data 1	data 2	data 3
number of deleted points	25.12	26.98	30.34
	...	data 100	average
number of deleted points		27.34	27.23

Table. 3 Overall performance improvement of proposed method (unit: %)

	data 1	data 2	data 3
number of deleted points	20.78	21.76	19.98
	...	data 100	average
number of deleted points		21.36	21.18

표 2는 표 1과 동일한 가상의 데이터에서 임계값을 정상적으로 고려하여 실험한 결과이다. 임계값 τ 을 15도로 설정할 때 전체 점데이터에서 평균 27.2% 정도가 불필요하다고 판단되어 제거되었다.

표 3은 최종 3D 스캐닝 프로세스에서의 속도 향상 폭을 확인하여 위하여 멀티스레드 환경을 구축한 후, 본 논문에서 제안한 방법을 이용했을 경우의 성능향상 폭이다. 데이터는 표 1과 같은 데이터를 이용하였다. 스캐닝 도중 1억 개 데이터가 획득되면 서브 스레드를 만들어 점데이터 처리를 시작하였고, 메인스레드는 계속 점데이터를 획득한다고 가정하였다. 총 3억 개의 점이 획득되면 프로세스를 멈추었다. 실험 결과 약 21.2% 성능 향상이 있었다. 실험에서는 가상으로 만든 데이터를 사용하였으나, 25개의 실제 데이터를 이용하여 실험을 수행했을 때 오차범위 3% 이내의 결과를 얻었다.

IV. 결론

3D 스캐닝 프로세스는 3D 스캐너를 사용하여 입력 받은 점데이터를 이용하여 원하는 최종 결과물을 획득하는 일련의 과정이다. 3D 스캐닝 프로세스는 한 번에 끝나는 것이 아니고 원하는 결과를 얻을 때까지 여러 번 반복해야 하므로 빠른 처리 속도가 중요하다. 최신의 3D 스캐너 성능이 향상됨에 따라서 수 분 이내의 작업

에서 1억 개 이상의 점데이터가 획득된다. 이들을 빠르게 처리하기 위한 다양한 시도들이 있었지만 한계적이었다. 본 논문에서 제안하는 방식은 3D 스캐너로부터 점데이터를 획득하는 단계에서 누적된 고속 특징점 히스토그램 계산하여 불필요하다고 판단되는 점데이터를 제거하여 전체 3D 스캐닝 프로세스를 향상하는 방법을 제안하였다.

추후 연구과제로서는 고속 특징점 히스토그램값과 비교하는 임계값을 데이터에 의존적으로 자동으로 설정하는 연구 방법이 필요하다.

References

- [1] S. Lim, "Effective criterion for evaluating registration accuracy," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 652-658, May 2021.
- [2] A. Kristály and P. Ficzer, "Study on the Photo-Based 3d Scanning Process," *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, vol. 49 no. 2 , pp. 15-18, Jan. 2021.
- [3] W. Du, X. Li, L. Jiang, F. Lv, and C. Hu, "Research on real-time scanning reconstruction control technology of 3D scene," in *Proceedings Automation and Space Science & Technology*, Online, pp. 1-5, 2022.
- [4] M. Edl, M. Mizerák, and J. Trojan, "3D Laser Scanners: History and Applications," *International Scientific Journal about Simulation*, vol. 4, no. 4, pp. 1-5, Dec. 2018.
- [5] H. Andreasson, R. Triebel, and A. Lilienthal, "Non-iterative Vision-based Interpolation of 3D Laser Scans," in *Studies in Computational Intelligence*, Berlin, Heidelberg, Springer, pp. 83-90, 2010.
- [6] M. -A. Burcklen and F.G. Galland, "Optimizing sampling for surface localization in 3D-scanning microscopy," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 39, no. 8, pp. 1479-1488, Mar. 2022.
- [7] R. B. Rusu, N. Blodow, and M. Beetz, "Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration," in *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Kobe, Japan, pp. 3212-3217, 2009.
- [8] S. Lim, "Effective criterion for evaluating registration accuracy," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 799-806, May 2021.
- [9] Q. Y. Zhou, J. Park, and V. Koltun, "Fast Global Registration," in *Proceedings European Conference on Computer Vision*, Netherlands, pp. 1-16, 2016.



임석현(Sukhyun Lim)

1999년: 인하대학교 전자계산공학과 공학사, 물리학과 이학사
 2001년, 2006년: 인하대학교 전자계산공학과 공학석사, 공학박사
 2012년: 한국전자통신연구원 선임연구원
 2018년: NHN NEXT 교수/연구원
 2021년: 3D Systems Korea 수석연구원
 2022년 - 현재: 한양여자대학교 스마트IT과 조교수
 ※관심분야: 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터비전, 게임, 통신시스템