

정밀한 로봇 피니싱을 위한 Geodesic Hermite 곡선 기반 가공 경로 계획

김의찬, 심재윤, 김연우, 이승연, 심재윤, 최혁렬*

성균관대학교 지능형 로봇학과

Tel: +82 31-290-7928, Email: euichan00@g.skku.edu

연구개요

- 3D 모델을 활용해 작업물의 표면 형상을 반영한 가공 경로 생성 방식이 활발히 연구되고 있음
- 기존 Iso-parametric (ISP) 방식과 Iso-plane 방식은 간접적인 방식으로 균일하지 않은 경로가 생성될 수 있다는 한계 보유
- 이를 개선하기 위해 작업물 표면에 직접 작업 경로를 생성하는 **Geodesic** 방식과 더불어 가공 법선 벡터를 **Barycentric 좌표계**를 이용해 스무딩하는 방법론을 제안

가공 경로 생성

- Euclidean 공간에서의 **Hermite** 곡선 수식을 작업물 메쉬 표면 위의 **Geodesic** 형태로 변환

$$C(t) = b_0(1-t)^3 \oplus 3b_1(1-t)^2 t \oplus 3b_2(1-t)t^2 \oplus b_3t^3$$

- Geodesic Hermite 곡선의 제어점

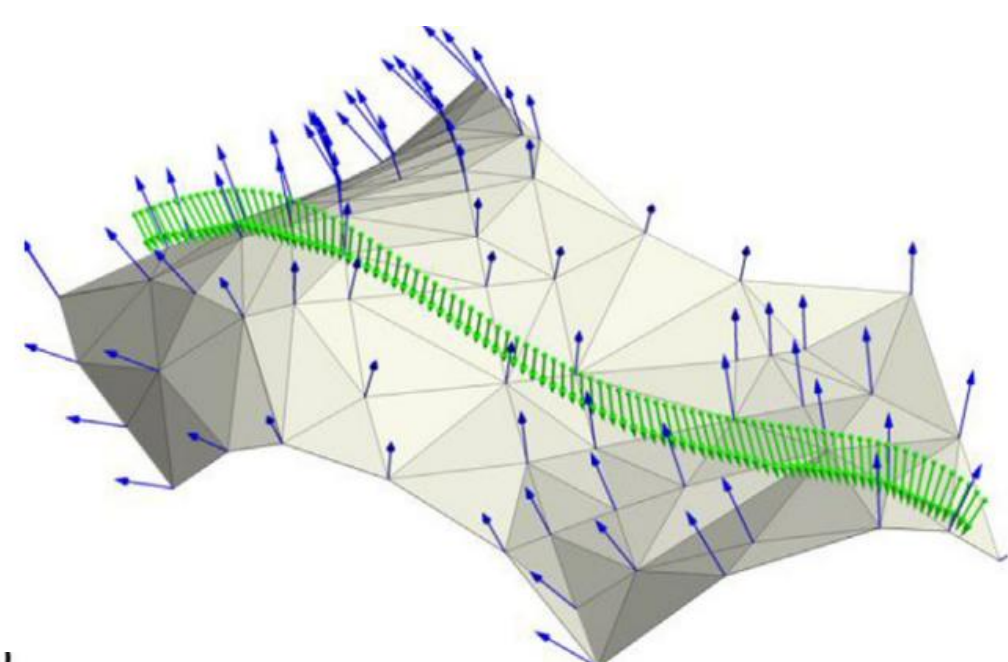
$$b_0 = P_i$$

$$b_1 = P_i \oplus \frac{d_g(P_i, P_{i+1})}{3} \hat{v}_{p_i}$$

$$b_2 = P_{i+1} \ominus \frac{d_g(P_i, P_{i+1})}{3} \hat{v}_{p_{i+1}}$$

$$b_3 = P_{i+1}$$

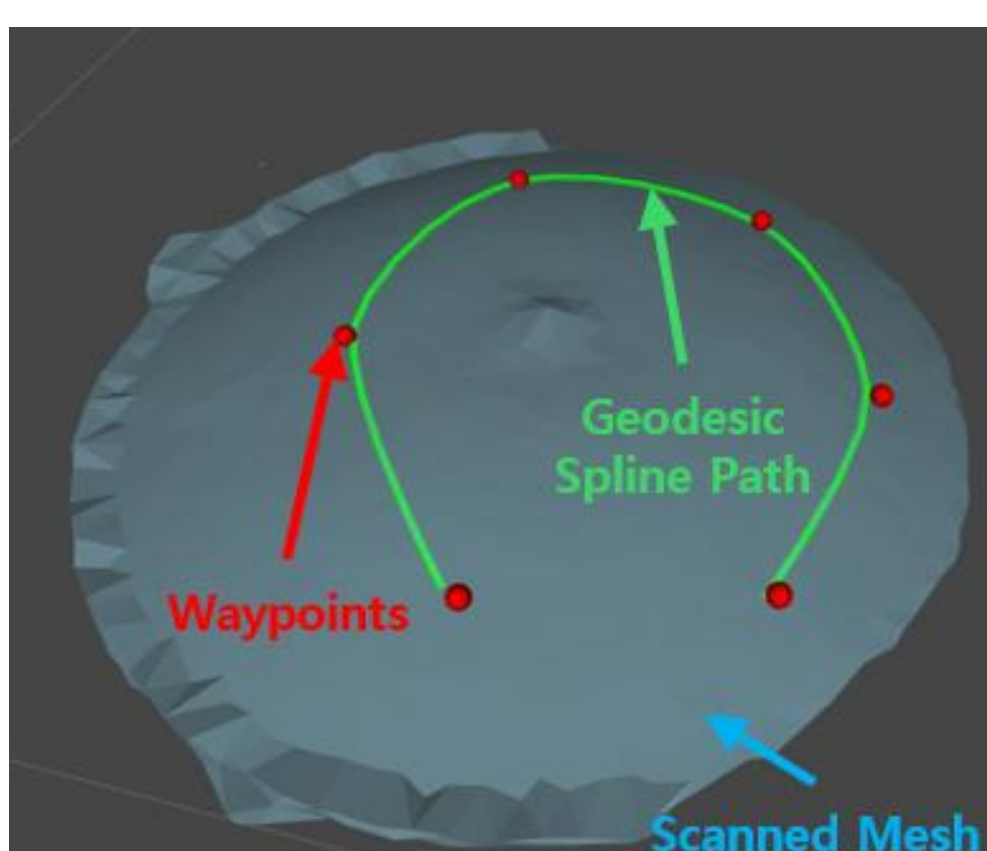
- 생성된 가공 경로 $C(t)$ 의 경로점들에 대해 작업물 표면에 수직한 방향으로 **가공 벡터**를 **Barycentric 좌표계**를 이용해 가변적으로 부드럽게 할당



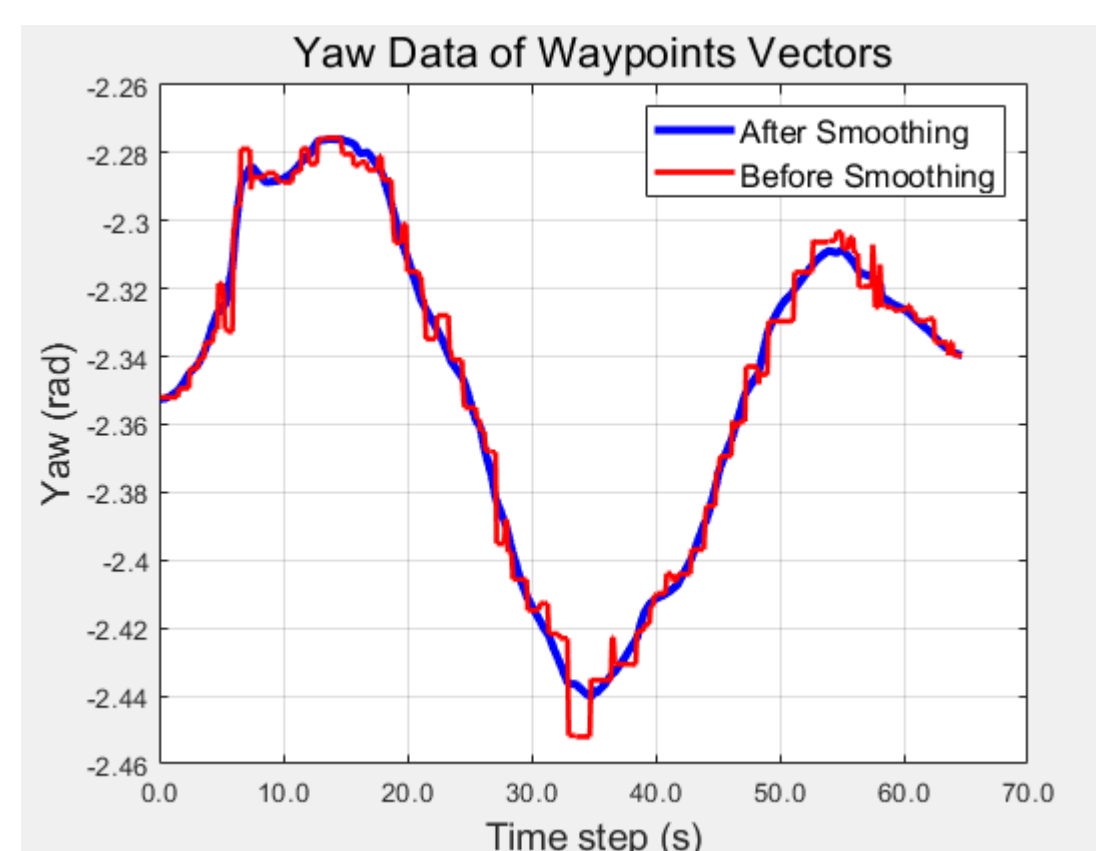
Finishing Vector Smoothing using Barycentric Coordinate

가공 경로 생성 실험

- 가공 벡터의 Yaw 값을 통해 가공 벡터의 **Smoothness**를 확인
- 3D 메쉬 데이터 위에 **경로점** 설정 이후 경로점을 지나는 **Geodesic Hermite** 곡선 생성, 곡선의 경로점들에 대해 **가공 벡터**를 부드럽게 할당하는 방식으로 실험 진행



Workpiece & Geodesic Path



Comparison of Waypoints' Vectors Before & After Smoothing

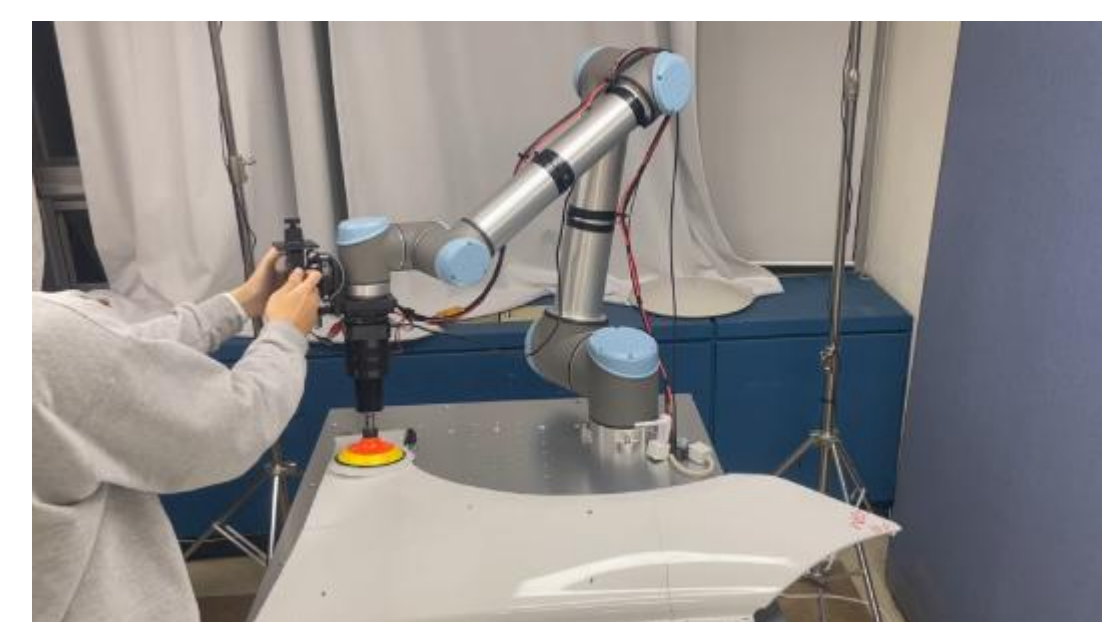
가공 경로 생성 및 힘 제어 포함 폴리싱 실험

실험 목적

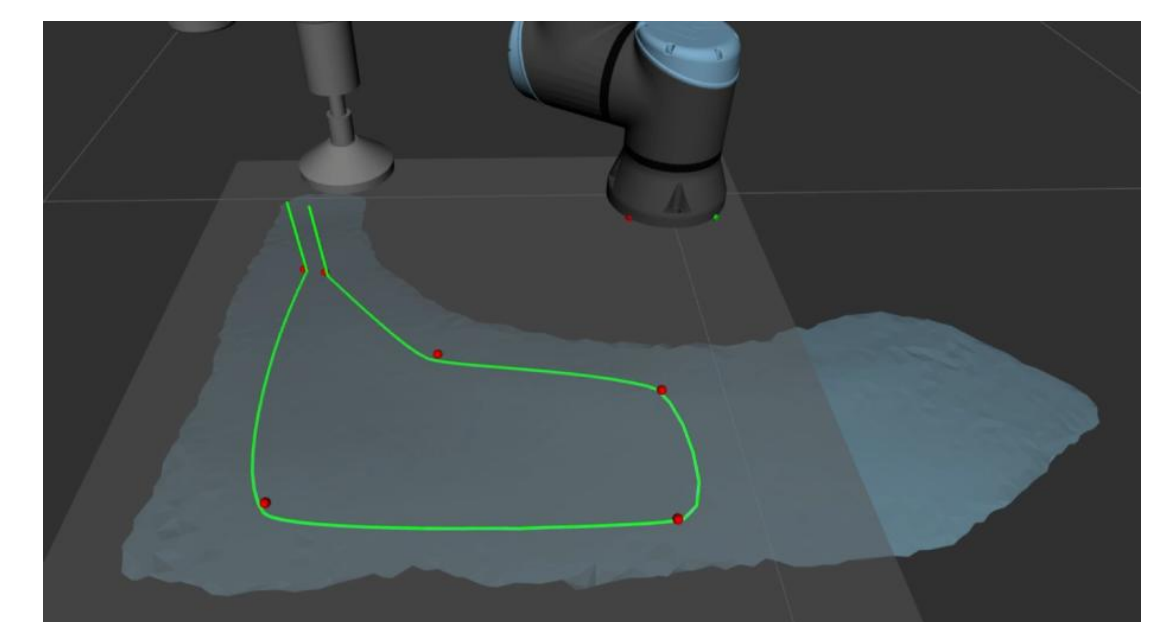
- 가공 경로 계획이 균일한 표면 가공에 미치는 영향을 확인

실험 방식

- 6축 힘/토크 센서 및 어드미턴스 힘 제어를 이용해 자동차 외장재(헨다)를 균일한 힘으로 폴리싱 및 힘 측정
- 직접 교시를 이용해 대략적인 경로를 생성하는 방식과 3D 메쉬 데이터를 이용해 **Geodesic** 경로와 **가공 벡터**를 모두 생성하는 방식을 비교

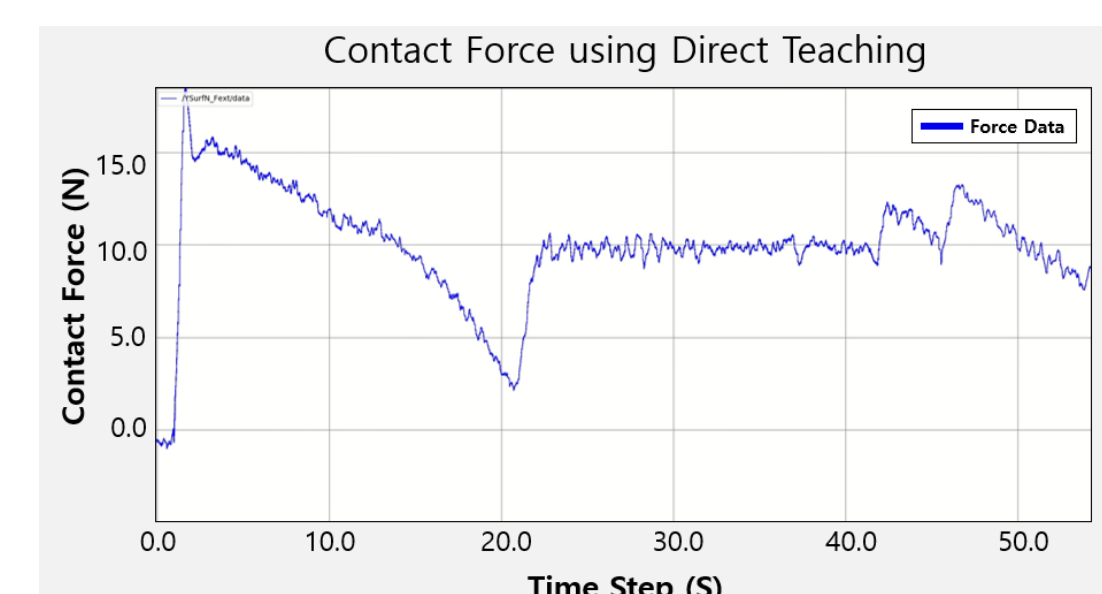


Path Generation using Direct Teaching

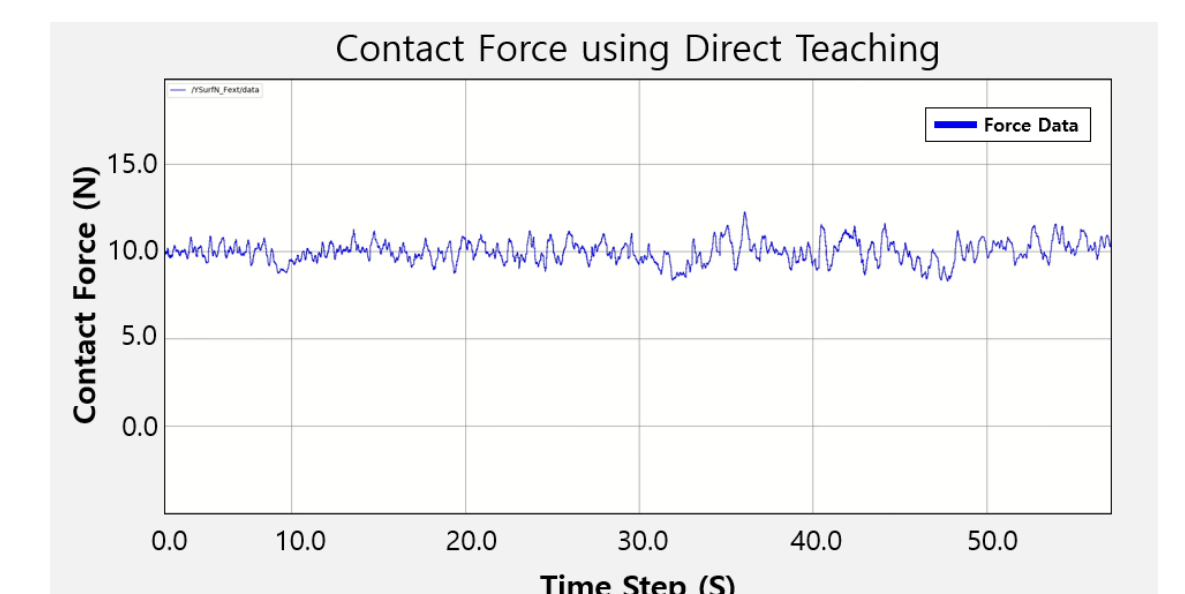


Path Generation using Proposed Method

실험 결과



Contact Force using Direct Teaching



Contact Force using Proposed Method

- 10N의 접촉력을 유지하도록 제어를 하였을 때, 직접 교시 방식에 비해 Geodesic 경로 및 가공 벡터를 생성하는 방식이 **힘 제어 성능이 우수함**을 확인

결론

- 3D 메쉬 데이터를 이용하여 매끄러운 작업 경로와 가공 벡터를 생성하는 방법을 제시
- Geodesic Hermite 곡선과 부드러운 가공 벡터 할당을 통해 **작업 정밀도와 안정성이 증가함**을 확인
- 추후 폴리싱, 샌딩 등의 **피니싱 공정 자동화 솔루션**에 적용할 수 있음을 기대

후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. P0026249)