

의료 코어 · 방사선치료 연구

표면유도 호흡추적 (SGRT)

환자 체표면을 광학 3D로 읽어 셋업 정합과 호흡 게이팅 신호를 만드는 표면유도 방사선치료(SGRT)의 광학 파트를 국산 센서 스택으로 구성합니다.

기간 2026.06 - present | 근거 상태 진행 중 · 연구 | 포트폴리오 구분 의료 코어

K-LINAC 대과제(주관 한국전기연구원, 세부주관 ETRI)의 디지털랙 위탁 연구로, 원거리 표면 재구성 및 근거리 실시간 호흡 추적을 상용 3D 센서로 구현하는 초기 단계 연구입니다. 상용 시스템은 센서·알고리즘 선택 근거를 공개하지 않아, 국산 스택은 그 근거부터 직접 만들어야 합니다.

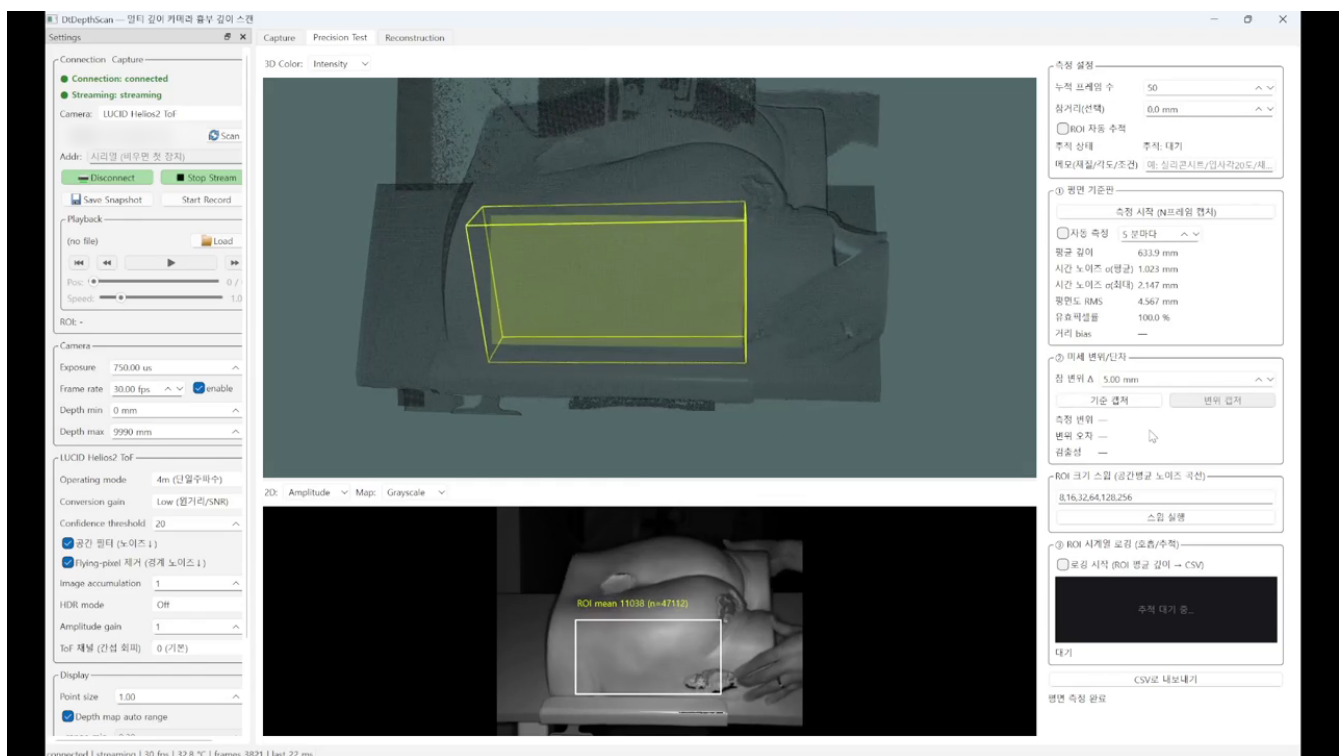


그림 1. 자체 검증 도구 DtDepthScan으로 실리콘 인체 팬텀을 재는 화면입니다. 점군 위 ROI에서 평균 깊이와 시간 노이즈 σ 를 실시간으로 산출합니다. 장비 시리얼과 주소는 가렸습니다.

문제와 시스템 경계

치료 중 환자의 위치와 호흡을 추가 촬영이나 피부 마킹 없이 알아야 합니다. 어떤 센서가 어느 거리에서 얼마나 정확한지부터 직접 재야 했습니다.

소유한 결정과 구현

개인 역할

센서 검증 실험을 총괄하고, 그 실험을 하려고 자체 검증 도구 DtDepthScan(Qt·VTK·OpenCV)을 먼저 만들었습니다 - Raw 연속 녹화와 취득 시각 기록, ROI 깊이 시계열, σ ·실측 fps·유효 픽셀 비율 자동 산출, 외부 교차 검증용 PLY·CSV 내보내기. 이어서 ROI 깊이에서 호흡 파형과 게이팅 신호를 뽑는 추적 알고리즘 설계·구현, 센서 인터페이스와 전송 프로토콜 정의, 과제 실무를 담당합니다.

두 트랙으로 나눈 광학

원거리 센서는 점군을 병합해 표면을 만들고 계획 CT에 정합하며, 근거리 센서는 흉·복부 ROI 깊이를 호흡 파형과 게이팅 신호로 바꿉니다.

검증 도구를 먼저 만들었다

카메라 계층을 추상화해 어떤 센서든 같은 절차를 돌립니다. 취득 시각을 남긴 Raw 연속 녹화로 실측 fps를 재고, ROI 깊이 시계열에서 σ 와 유효 픽셀 비율을 자동 산출하며, PLY·CSV로 내보내 교차 검증합니다.

다섯 대를 같은 절차로 재다

- 실리콘 인체 팬텀 고정, 0.5~3.0 m 다섯 거리
- 센서 5종·조건 스왑 포함 총 55회
- 회당 500프레임 연속 취득
- 재현성 ± 0.05 mm, σ 50프레임 수렴

두 광학 트랙이 하나의 출력으로 모인다



설명용 시스템 관계 다이어그램이며 사진 또는 실험 근거가 아닙니다.

검증 및 근거 원장

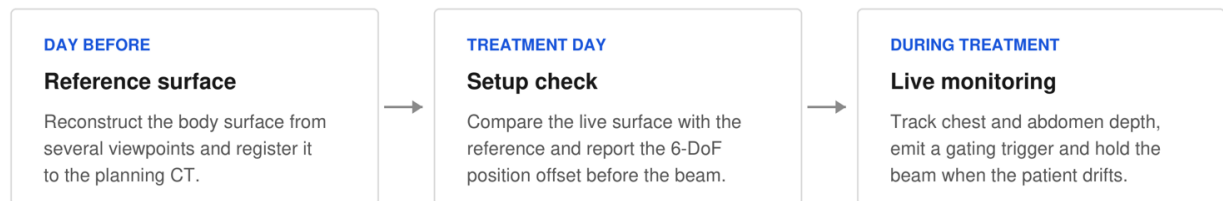
실리콘 인체 팬텀을 0.5~3.0 m 다섯 구간에서 상용 3D 센서 5종으로 총 55회, 회당 500프레임 측정해 정밀도 σ ·실측 fps·유효 픽셀 비율을 냈습니다. 반복 재현성은 ± 0.05 mm였고 σ 는 약 50프레임에서 수렴했습니다. 이 실측표와 DtDepthScan 화면이 본인 측정 근거입니다.

숫자보다 조건이 남았다

더 오래 쓸 결과는 운용 조건이었습니다. 0.5 m에서 기본 노출은 IR 포화로 측정이 안 되고, 콜드스타트 σ 는 열평형 대비 최대 1.7배 나빠집니다. 둘 다 실시간 모듈의 설계 입력이 됐습니다.

Where surface guidance sits in a treatment session

The optical part this project builds — no additional imaging dose, no skin marks



Far-field sensors serve the first two stages; near-field sensors serve the third. Both run on the same optical stack.

그림 2. 치료 세션에서 표면유도가 맡는 자리 - 전날 레퍼런스 표면, 당일 셋업 오차 확인, 치료 중 실시간 감시



그림 3. 검증에 사용한 상용 3D 센서 5종 - ToF 3종, 구조광 1종, 액티브 스테레오 1종

Precision σ of five commercial 3D sensors vs. distance

Author-measured with the in-house validation tool DtDepthScan · silicone body phantom · 500 frames per run
 σ [mm] = temporal standard deviation of the mean ROI depth (lower is better)

Sensor	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	3 m	Measured fps	Fill rate
LUCID Helios2+	0.18*	0.07	0.10	0.20	0.45	24–29	$\geq 91\%$
Helios2+ Narrow	0.09*	0.05	0.10	0.10	0.18	18–25	$\geq 93\%$
Orbbec Astra 2	N/A	0.06	0.19	0.48	2.04	16–17	100%
Basler Blaze-102	0.07	0.07	0.15	0.13	0.28	~20	100%
Intel RealSense D455	0.15	0.41	1.90	2.99	9.93	~19	$\geq 91\%$

* 0.5 m values taken with reduced exposure (250 μs) to avoid IR saturation; Astra 2 at 0.5 m is outside its minimum range (N/A).
Repeatability ± 0.05 mm between repeated runs; σ converges within ~50 frames (about 2 s). ToF sensors need a 15 min warm-up (cold-start σ up to 1.7 $\times$ higher). Units: σ in mm, fps = frames per second actually delivered, fill rate = valid-depth pixels in the ROI.

Measurements by Jinmin Kim, DIGITRACK, June–July 2026 — sensor validation for surface-guided respiratory tracking (SGRT)

그림 4. 센서 5종의 거리별 정밀도 σ ·실측 fps·유효 픽셀 비율(본인 측정)

Operating conditions found during sensor validation

Author-measured, silicone body phantom, June–July 2026 — each finding changed how the tool is used or built

Near-field exposure

At 0.5 m the default 1000 μs saturates the IR return and no depth is produced. 250 μs restores it, so exposure has to follow distance instead of staying on one preset.

Warm-up

Straight from a cold start, σ is up to 1.7 $\times$ worse than at thermal steady state (3 m: 0.77 mm cold vs 0.45 mm warm). Fifteen minutes of settling precedes every run.

Repeatability

Repeated runs under the same conditions agree to within ± 0.05 mm, and σ converges after about 50 frames (~2 s), which makes a short screening run trustworthy.

Mismatched exposure units

One sensor takes depth exposure in μs but colour exposure in 100 μs steps; setting it by hand silently ruins the run. Auto-exposure control was added to the validation tool.

These conditions are the design input for the real-time tracking module: distance-linked exposure, warm-up interlock, sensor-state monitoring.

그림 5. 실측에서 나온 운용 조건 네 가지 - 근거리 노출, 워밍업, 재현성, 노출 단위 불일치

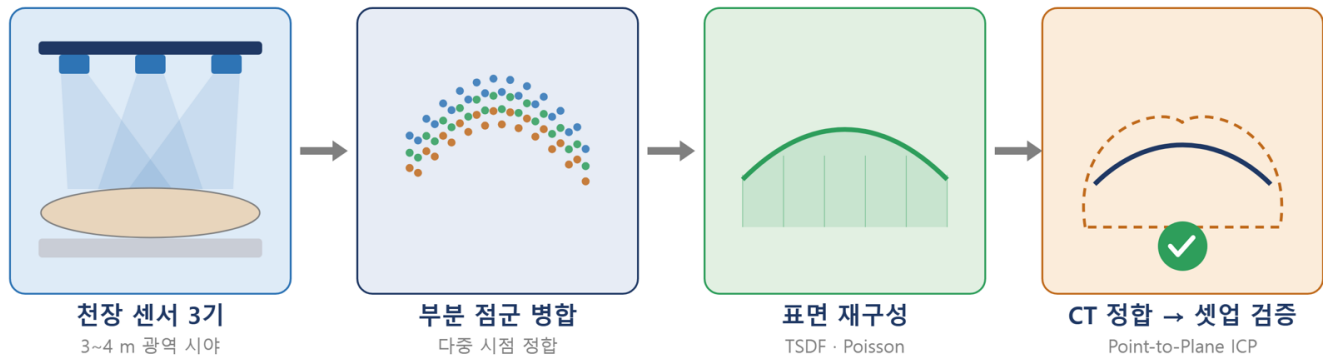


그림 6. 원거리 트랙 - 여러 시점의 점군을 병합해 표면을 만들고 계획 CT에 정합합니다

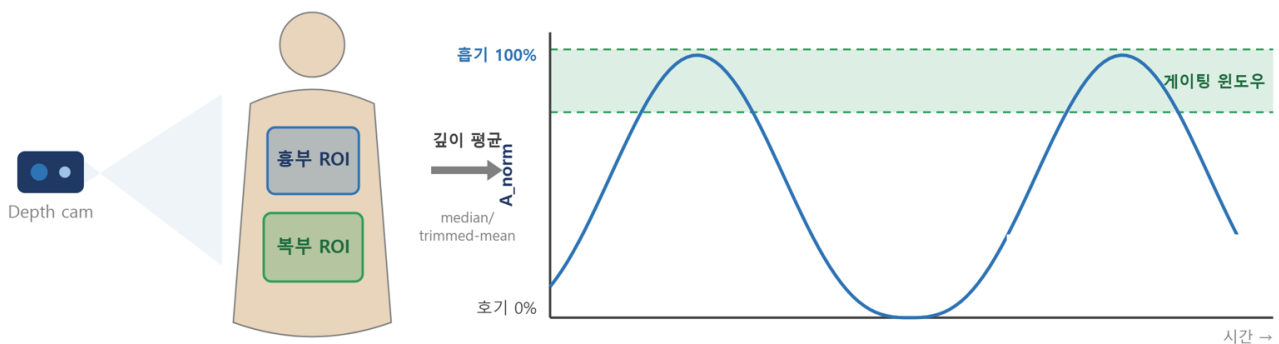


그림 7. 근거리 트랙 - 흉·복부 ROI 깊이를 호흡 파형으로 바꾸고 게이팅 윈도우를 판정합니다

역할, 팀 결과, 한계

팀 결과

컨소시엄이 4DCT 재구성, 영상유도 체계, 임상 자문을 나눠 맡습니다. 과제 전체 성과를 개인 성과로 쓰지 않습니다.

한계

1차년도 센서 검증 결과이며 임상 성능이나 과제 목표 달성을 주장하지 않고 과제 목표치·연구비·타 기관 지표는 신지 않습니다.

연구 경계

1차년도 센서·알고리즘 기초 설계 단계이며 임상 성능이나 과제 목표 달성을 주장하지 않습니다.

협업 경계

임상 기관은 서울성모병원 방사선종양학과이고, 4DCT 재구성·영상유도 체계·통합 제어 담당 기관과 인터페이스를 맞춥니다.

구현 기술

ToF camera · Structured light · Qt · VTK · OpenCV · Python · 4DCT

핵심 역량

3D 기하 및 정합 · 센서 융합 및 위치추정 · 의료 내비게이션 및 시각화

등록된 공개 근거

현재 등록된 외부 공개 링크가 없습니다.

함께 정의할 내용

문제, 데이터 또는 센서, 목표 검증, 일정을 알려주시면 좌표계와 근거 경계부터 함께 정의합니다.

uiop3847@naver.com

rafaam11.github.io