

Keyframe Selection 상세 설계

이 문서는 overall_approach.md의 Stage 4 (Keyframe Selection)의 상세 내용을 다룹니다.

1. 개요

1.1 목적

10Hz LiDAR 스캔에서 **중복을 제거**하고 대표적인 keyframe만 선택합니다. 저장 공간과 계산 비용을 절약하면서 place recognition 성능을 유지합니다.

1.2 설계 원칙

원칙	설명
Redundancy Removal	유사한 스캔 제거
Coverage Guarantee	중요한 지점은 반드시 포함
Adaptive Selection	환경 변화에 따라 적응적 선택

2. 4-Criterion Selection Strategy

다음 4가지 기준 중 **하나라도 만족**하면 keyframe으로 선택 (OR logic):

기준	조건	기본 임계값	목적
Distance	$d > d_{th}$	0.5m	충분히 이동했을 때
Rotation	$\theta > \theta_{th}$	15°	시점 변화가 클 때
Geometric Novelty	$IoU < o_{th}$	0.7	새로운 환경일 때
Temporal	$\Delta t > t_{th}$	5s	오래 대기했을 때

2.1 Distance Criterion

$$d = \|T_{\text{current}}[:3, 3] - T_{\text{last}}[:3, 3]\|_2$$

2.2 Rotation Criterion

$$\theta = \arccos \left(\frac{\text{trace}(R_{\text{rel}}) - 1}{2} \right)$$

2.3 Geometric Novelty (IoU)

$$\text{IoU} = \frac{|V_{\text{current}} \cap V_{\text{last}}|}{|V_{\text{current}} \cup V_{\text{last}}|}$$

Voxel size: 0.2m

3. Selection Logic

3.1 OR Logic (기본)

Distance, Rotation, Temporal 중 하나라도 만족하면 선택

3.2 Early Termination

Geometric novelty 계산은 비용이 높으므로, 다른 기준이 만족되면 건너뛰

기준	복잡도
Distance/Rotation/Temporal	$O(1)$
Geometric	$O(N)$

4. 파라미터 튜닝

4.1 환경별 권장값

환경	Distance	Rotation	Temporal
도심 (저속)	1.0m	10°	3s
고속도로	3.0m	15°	5s
주차장 (정밀)	0.5m	5°	2s

4.2 속도별 Distance Threshold

$$d_{\text{th}} = v \cdot \Delta t \cdot k$$

- v : 평균 속도 (m/s)
- Δt : 프레임 간격 (0.1s @ 10Hz)
- k : Reduction factor

예시: 30 km/h, 10% keyframe rate $\rightarrow d_{th} \approx 8m$

5. 요약

구성요소	역할
Distance Criterion	공간 이동 기반 선택
Rotation Criterion	시점 변화 기반 선택
Geometric Novelty	환경 변화 기반 선택
Temporal Criterion	시간 기반 최소 보장
OR Logic	하나라도 만족 시 선택

문서 생성일: 2026-01-28