



샘플링 기반의 자유 공간 추정을 이용한 최적해 모션 플래닝 가속화 알고리즘

김동혁, 윤성의

한국과학기술원 전산학부

Abstract

최적해의 계산을 위한 샘플링 기반의 모션 플래닝 알고리즘은 RRT*, RRG*, PRM* 가 제안된 이래로 이에 기반한 최적해 수렴 속도를 높이기 위한 다양한 파생 연구들이 진행되어 왔다. 본 연구에서는 자유 공간 추정을 통해 주어진 공간을 자유 공간의 구(sphere)형태로 근사하여 모션 플래너의 속도를 가속화하는 방안을 연구한다. 이러한 구 집합은 모션 플래닝 알고리즘 내에서 상대적으로 고비용 연산으로 간주되는 충돌 검사 비용을 감소하는데 활용된다. 본 연구는 제안한 기법의 이론적인 활용, 확장 가능성을 제시하고 이에 대한 분석을 담고자 한다.

Goal

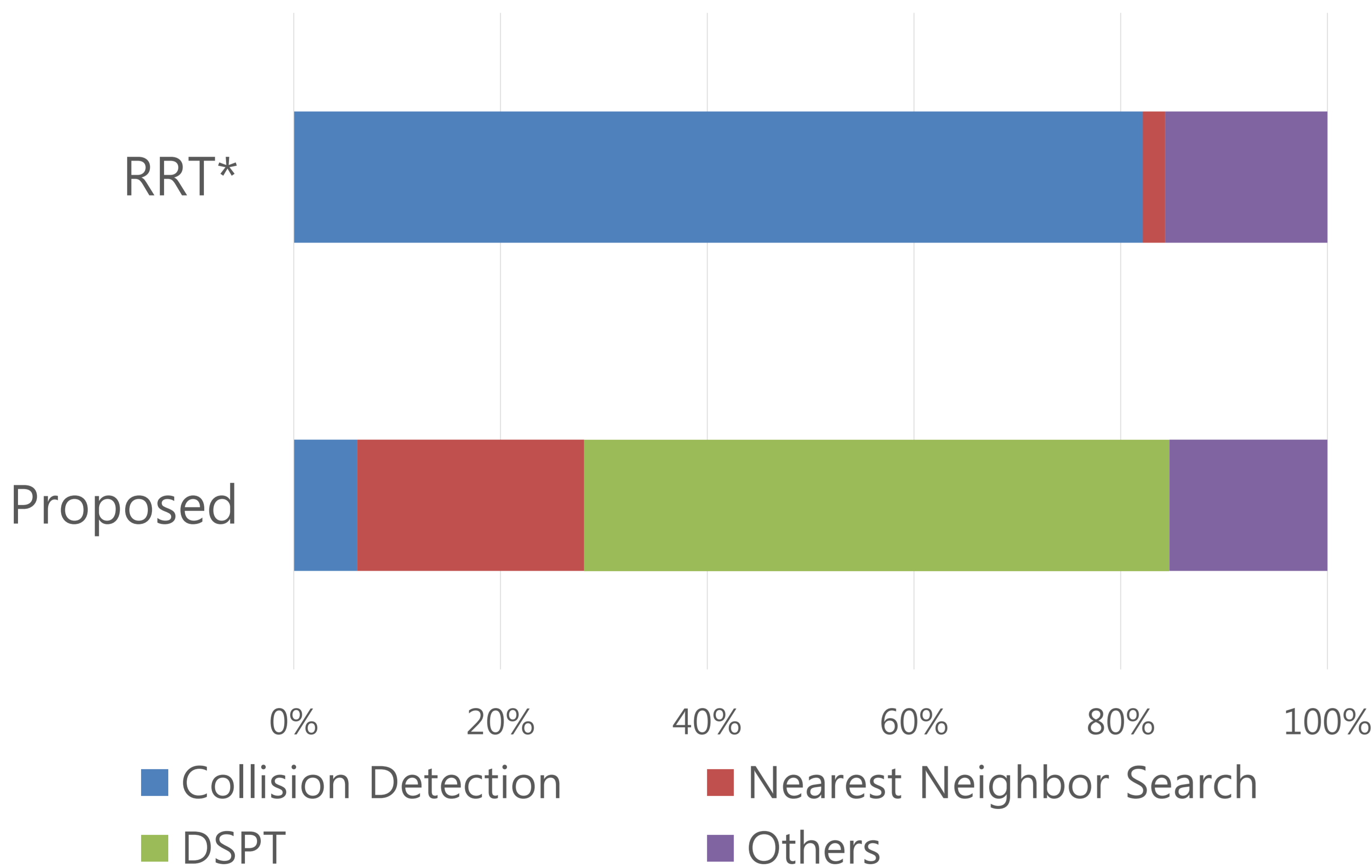
- ◆ 최적해로의 수렴 속도를 가속하여 일정 시간 동안 보다 효율적인 해를 도출
- ◆ 샘플링을 통한 자유 공간 추정 기법의 유용성을 확인하고 이의 이론적 응용 가능성 파악

Main Result

- ◆ 추정된 자유 공간 활용을 위해 lazy 충돌 검사 및 DSPT(Dynamic Shortest Path Tree)를 적용하여, 모션 플래너 계산량의 중심을 충돌 검사에서 DSPT 구축 최적화 문제로 변환
- ◆ 성능 검증을 통해 열린 공간 및 다수의 장애물로 구성된 환경하의 3-6 DOF 객체에 대한 4개의 benchmark 를 통한 평균 성능의 향상 확인

	노드 개수(= V)	충돌 검사 횟수	최종 해의 비용
RRT*	1(normalized)	1	1
Proposed	3.877	0.349	0.755

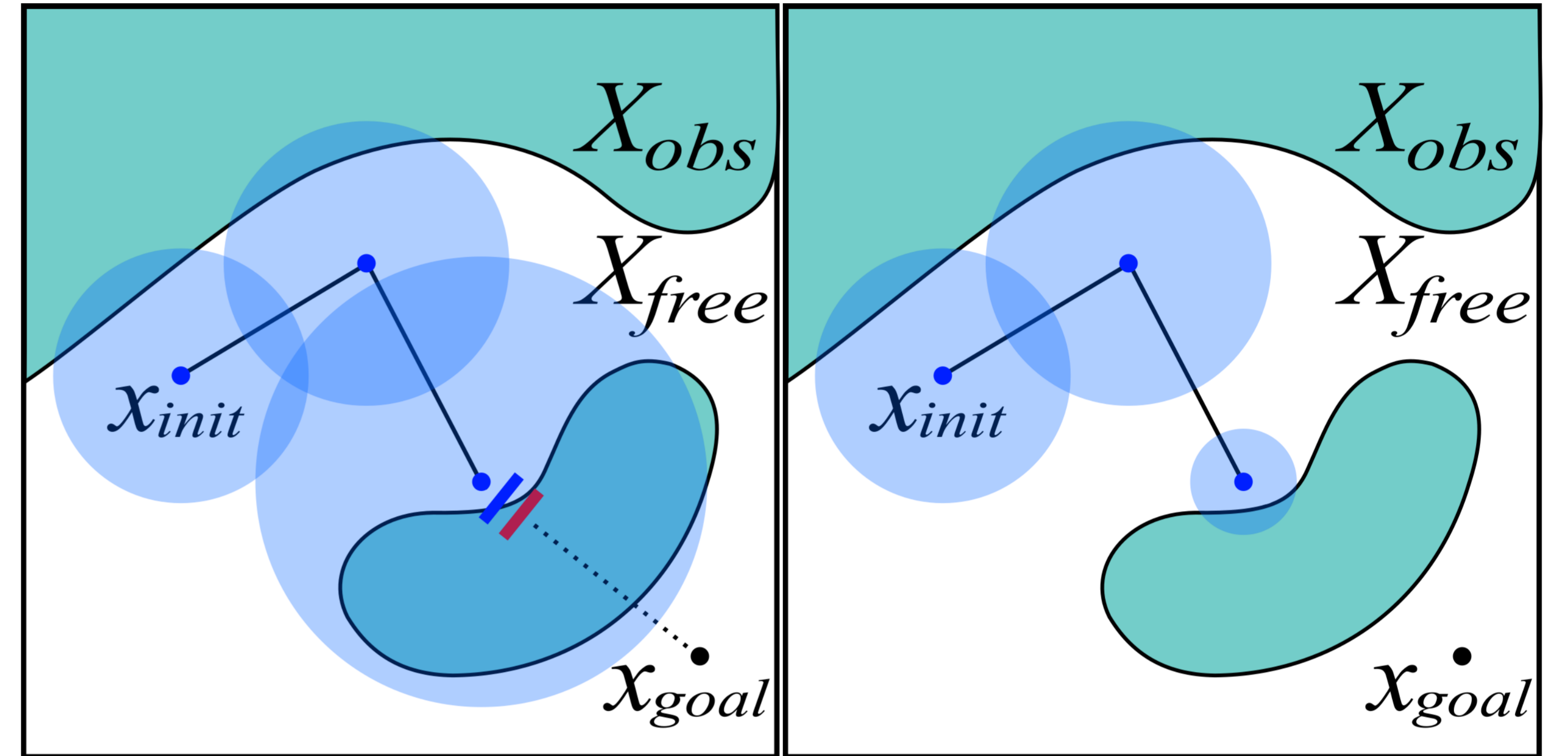
- ◆ 제안된 알고리즘과 RRT* 알고리즘과의 주요 모듈의 계산량 분포 비교



제안된 알고리즘을 통해 구축되는 그래프는 보다 많은 수의 노드를 갖게 됨에 따라 NN(Nearest Neighbor) 탐색 및 충돌 검사 방식의 변화로 인해, 전체 계산량의 중심을 그래프 관련 문제로 변환시켰다. 또한 향후 그래프 간소화 등의 연구를 통해 수렴 속도 가속화의 가능성을 갖고 있다.

Approach

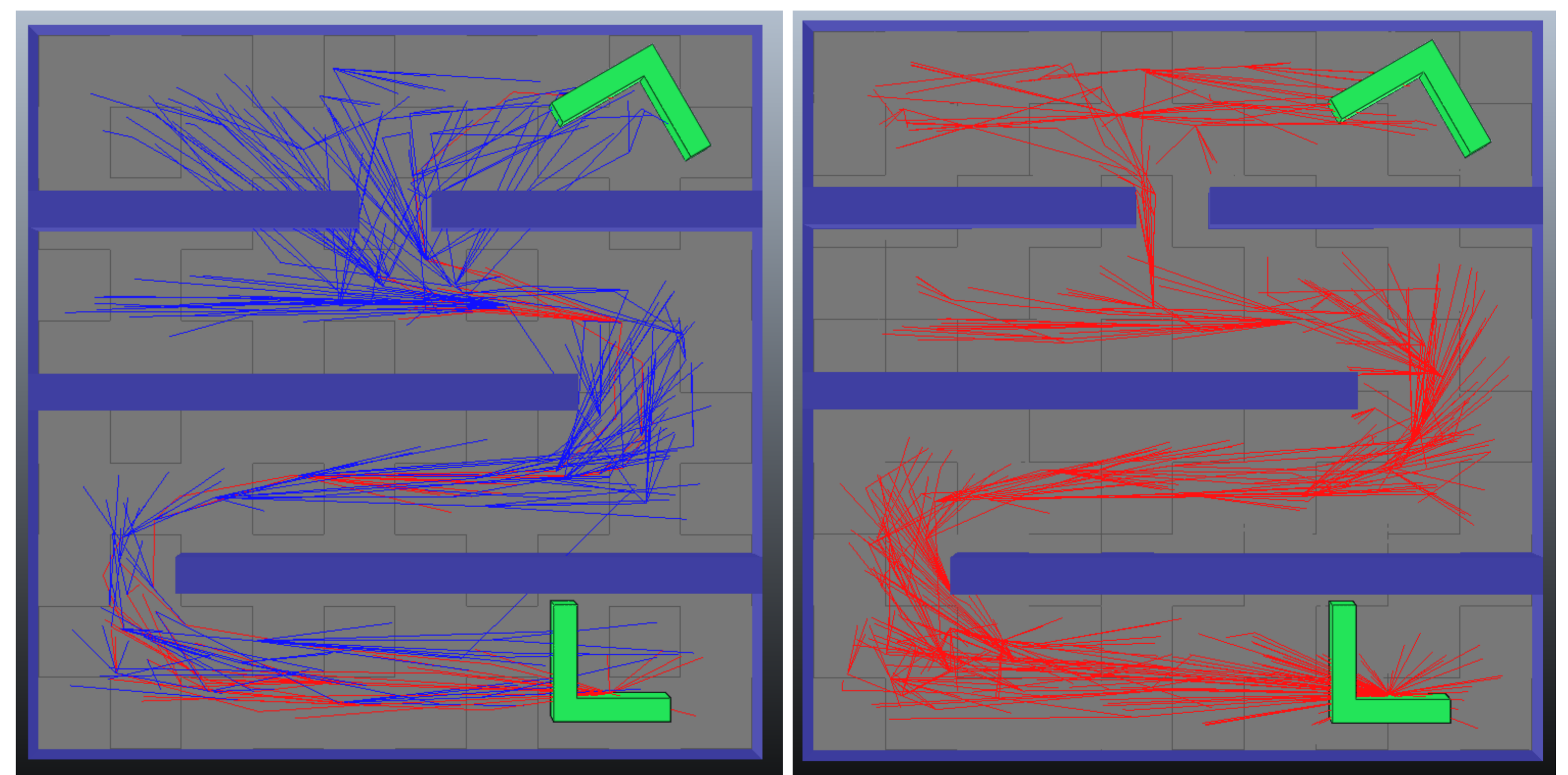
- ◆ 샘플링 기반의 자유 공간 추정



경로 탐색 그래프 $G = (V, E)$ 는 항상 구성공간 C (Configuration space)의 자유 공간(C_{free})상에 구축되어야 하는 제약으로 인해 빈번한 충돌검사를 수행하여 이에 대한 계산량이 비대해진다.

이를 완화하기 위해 제안된 샘플링 기반의 자유 공간 추정은, 그래프 확장 과정에서 필수적으로 요구되는 충돌 검사의 결과를 활용하여 각 노드 $v \in V$ 로 하여금 가장 가까운 $C_{obs}(C \setminus C_{free})$ 까지의 거리를 추정한 결과를 담고 있다. 이 수치는 계산 시간이 증가함에 실제 거리로 수렴하며, 구성 공간 상의 구(sphere) 들의 집합으로 표현된 자유 공간 추정을 통해 충돌검사가 필수적인 영역을 분별한다.

- ◆ lazy-evaluation 및 DSPT의 적용



제안된 기법(좌) 및 RRT*(우)의 경로 그래프 예시

샘플링 기반으로 추정된 각 노드가 갖는 C_{obs} 까지의 거리는 항상 실제값(ground-truth)보다 크므로 충돌 검사에 대한 false-negative 결과로 인해 계산해 낸 해가 제약 조건을 만족하지 않을 수 있다. 이를 위해 lazy-evaluation 및 가속화를 위한 DSPT를 적용하여 전체적인 플래닝 속도를 향상시켰다.