

4-2 샘플링 기법 1:

Probabilistic Roadmap (PRM)

강의 요약

01

**Work Space /
Task Space**

02

**Configuration
Space /
Joint Space**

C-free

C-obstacle

고차원 공간

03

샘플링 기반

04

최적화 기반

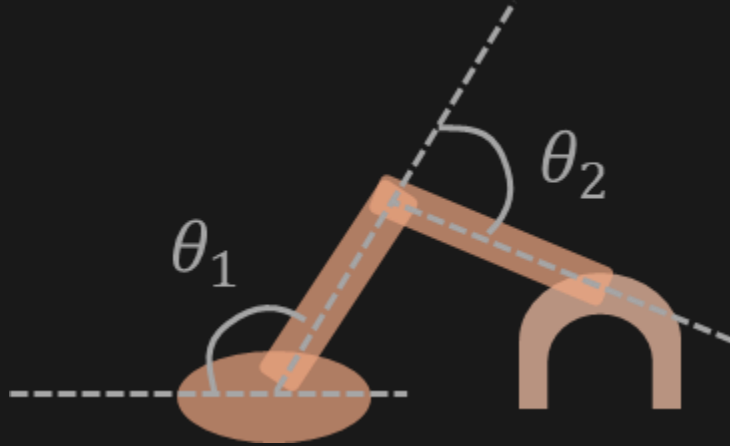
모션 플래닝의 두 가지 기법

샘플링 기반
(Sampling-based)

모션 플래닝

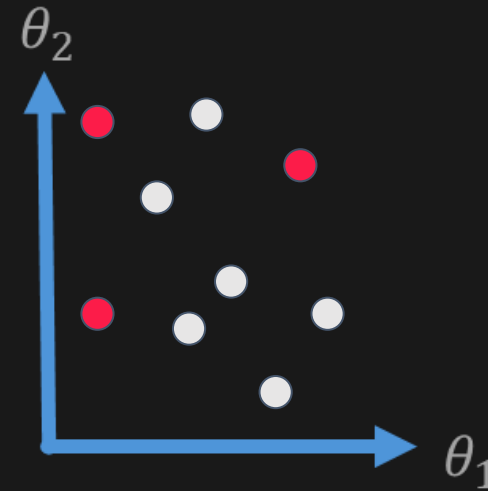
최적화 기반
(Optimization-based)

Configuration Space (C-Space)



"Work / Task Space"

- 사람이 보는 세상
- 로봇이 3차원으로 어떻게 움직이는지 관찰 가능



"Configuration / Joint Space"

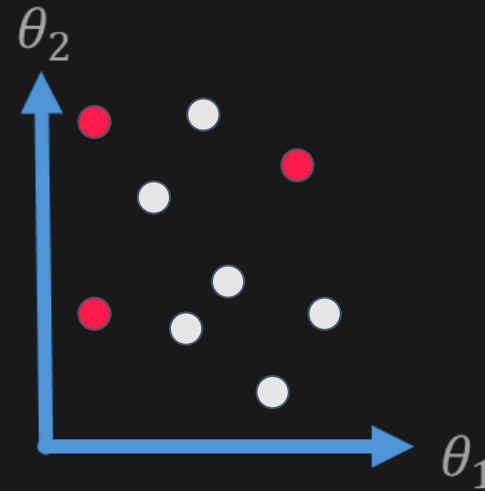
- 로봇이 보는 세상
- 로봇을 하나의 점으로 표현 가능
- C-free & C-obstacle
- 다관절 로봇의 경우, 매우 복잡한 구조 (고차원 공간)

Configuration Space (C-Space)



"Work / Task Space"

- 사람이 보는 세상
- 로봇이 3차원으로 어떻게 움직이는지 관찰 가능

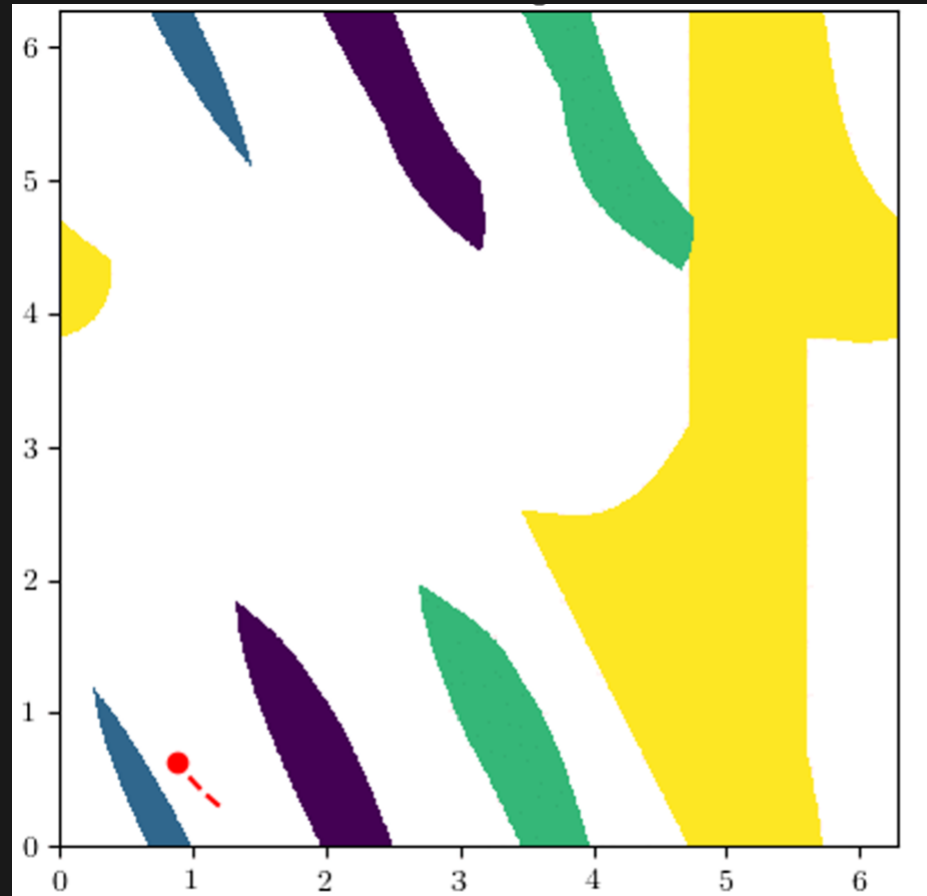


"Configuration / Joint Space"

- 로봇이 보는 세상
- 로봇을 하나의 점으로 표현 가능
- C-free & C-obstacle
- 다관절 로봇의 경우, 매우 복잡한 구조 (고차원 공간)

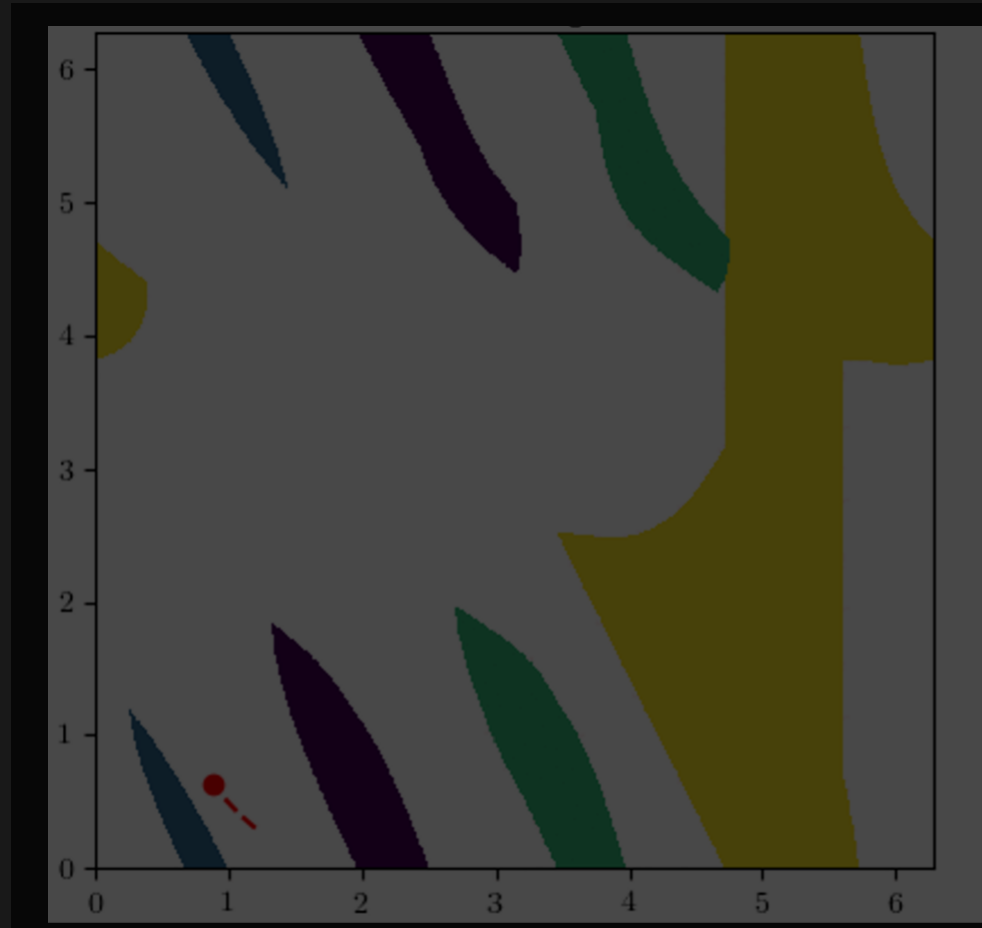
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



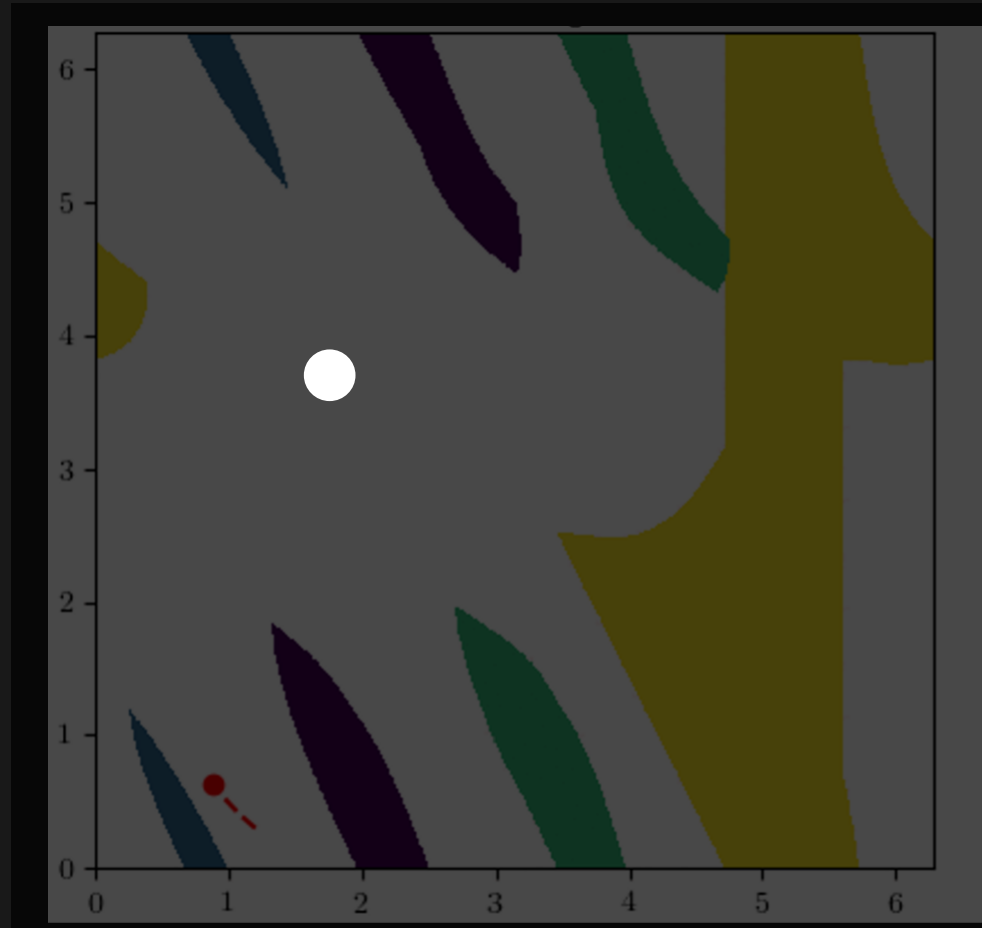
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



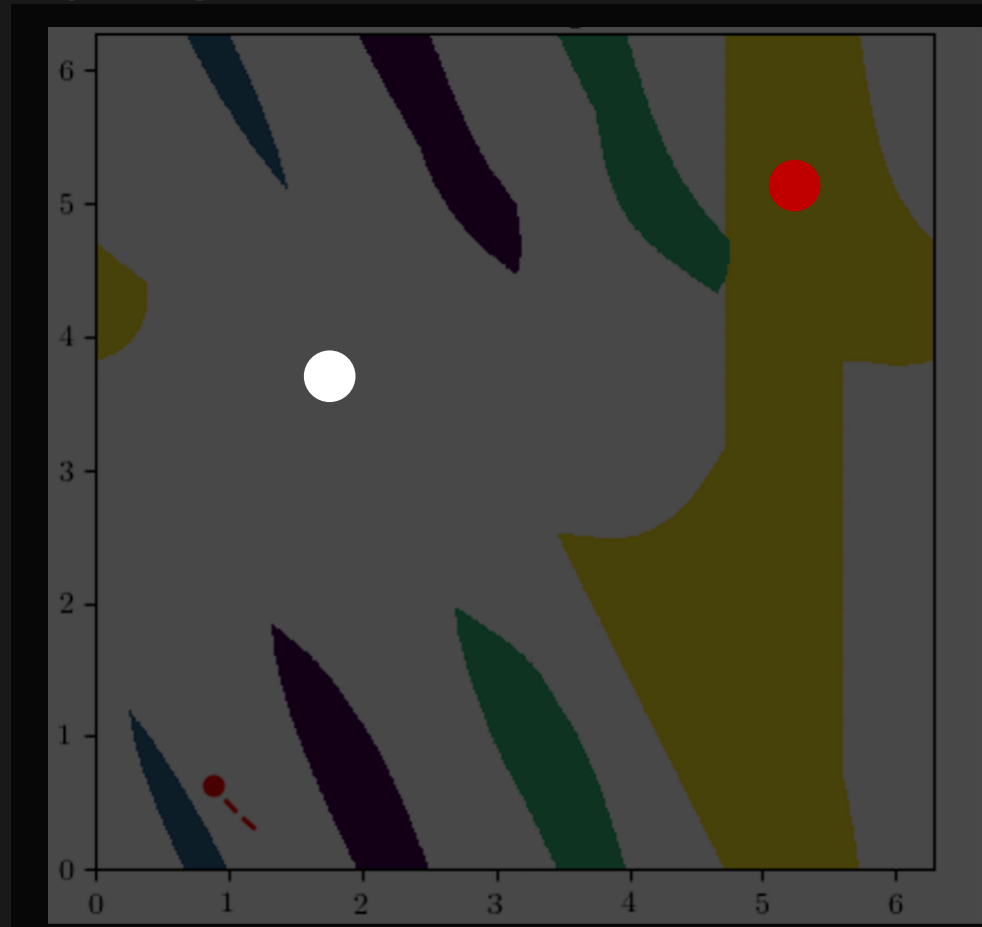
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



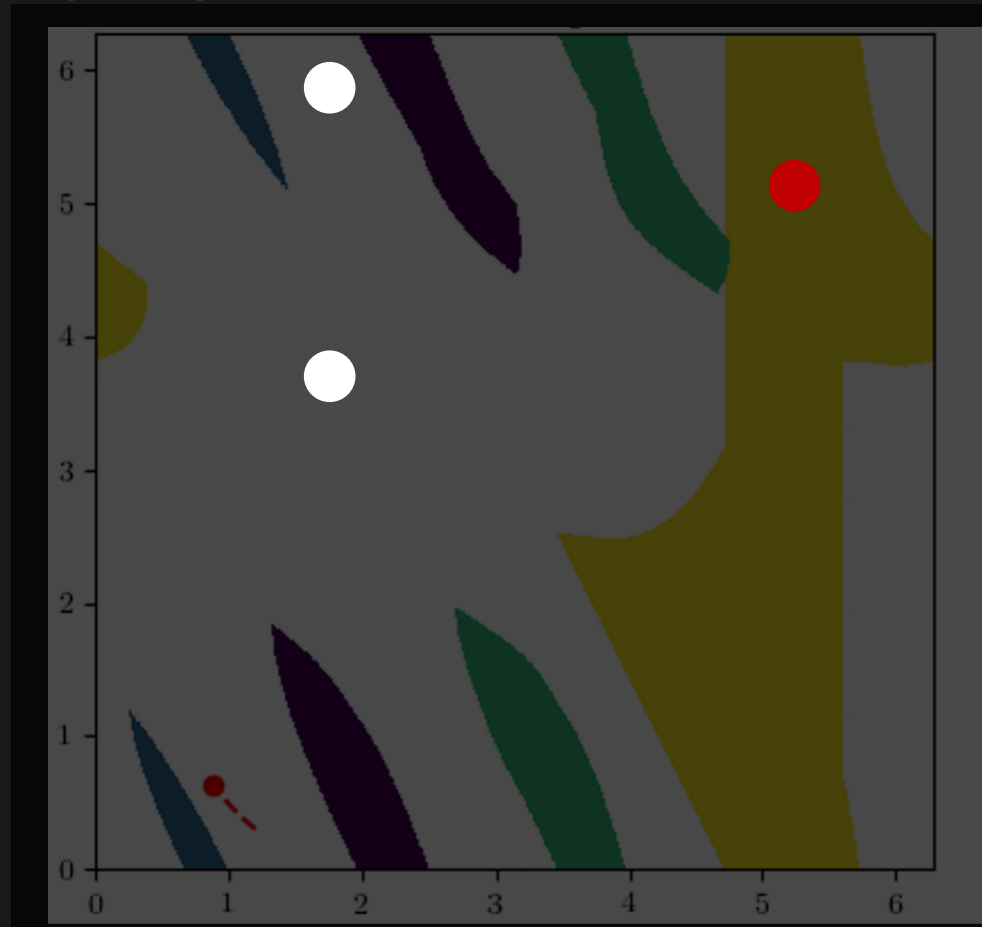
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



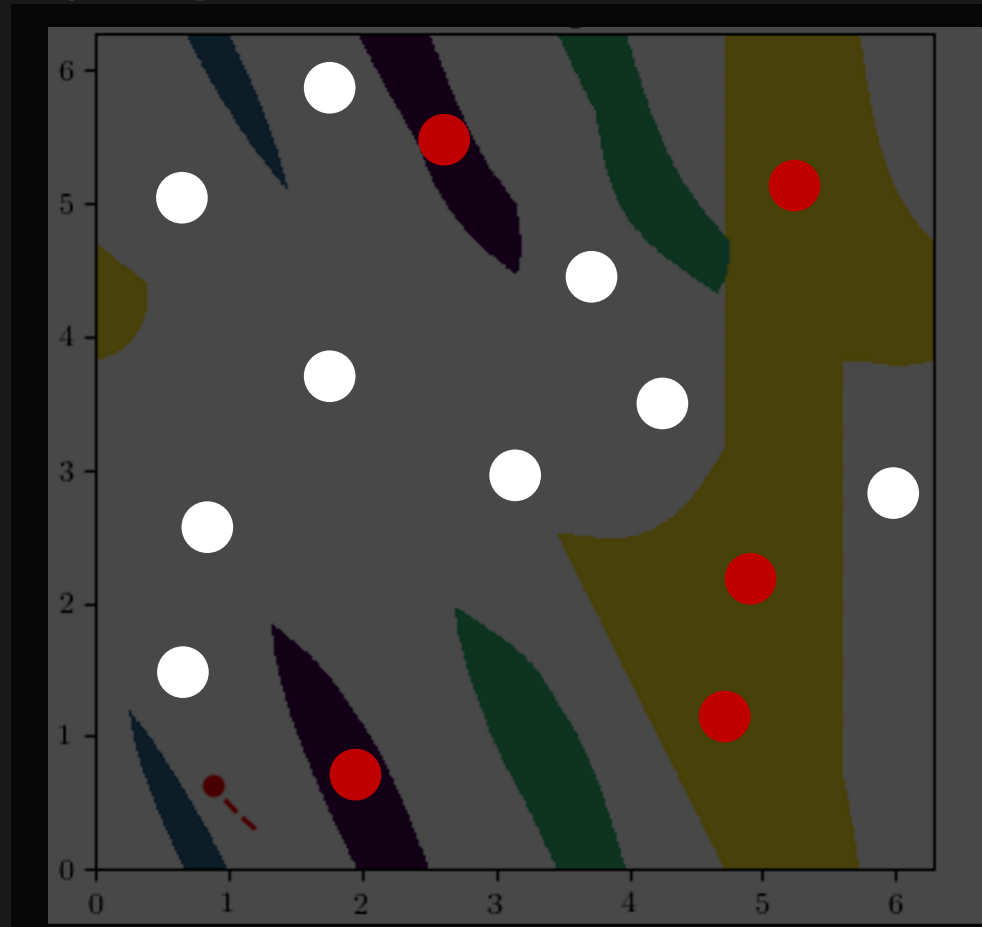
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



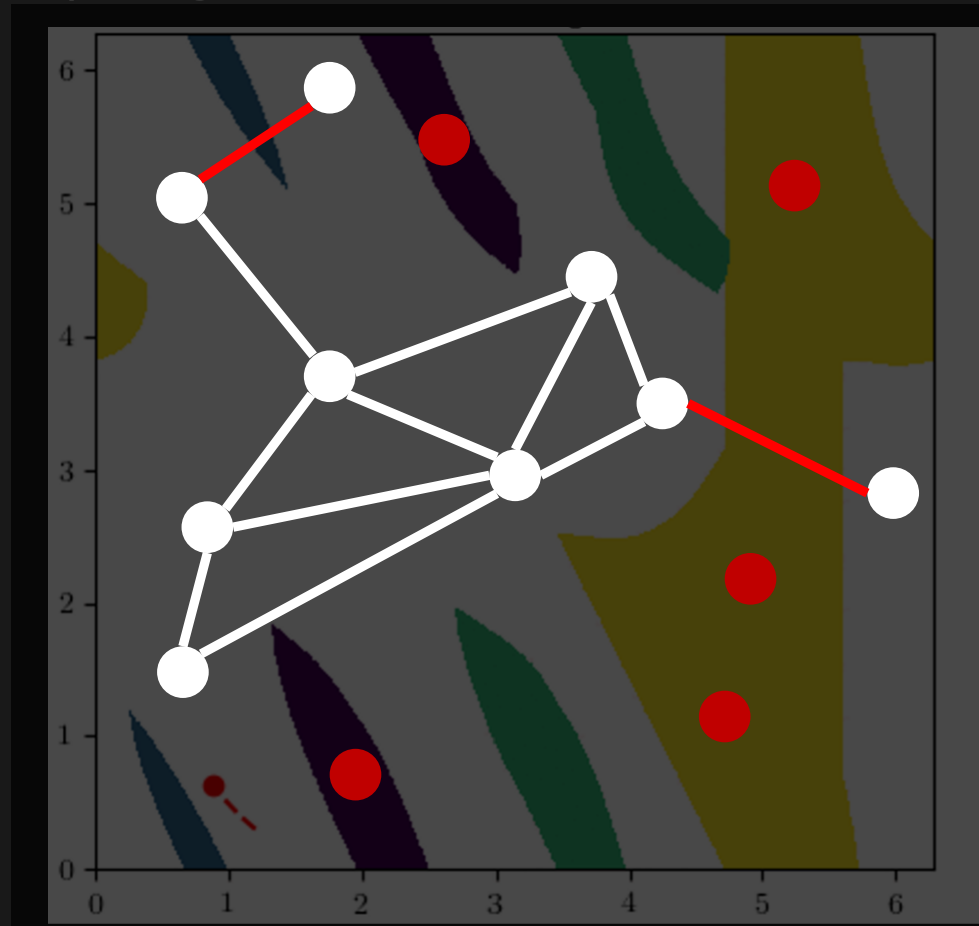
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



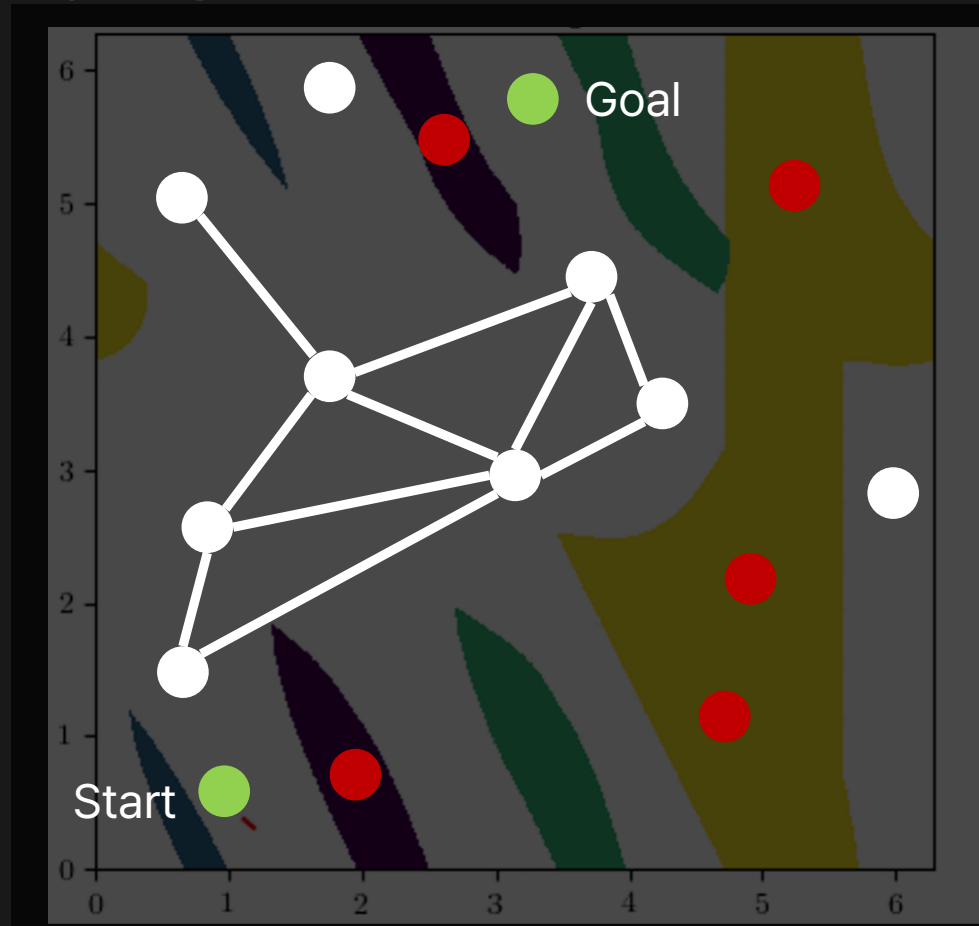
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



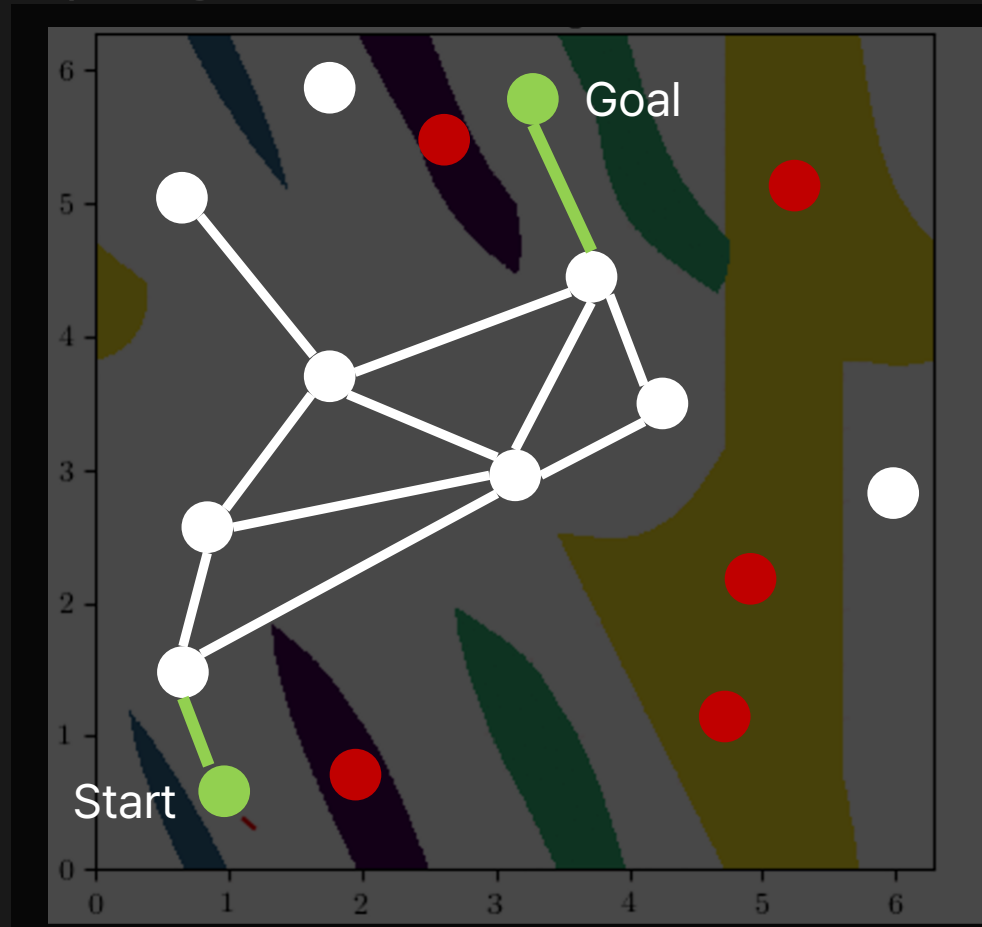
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



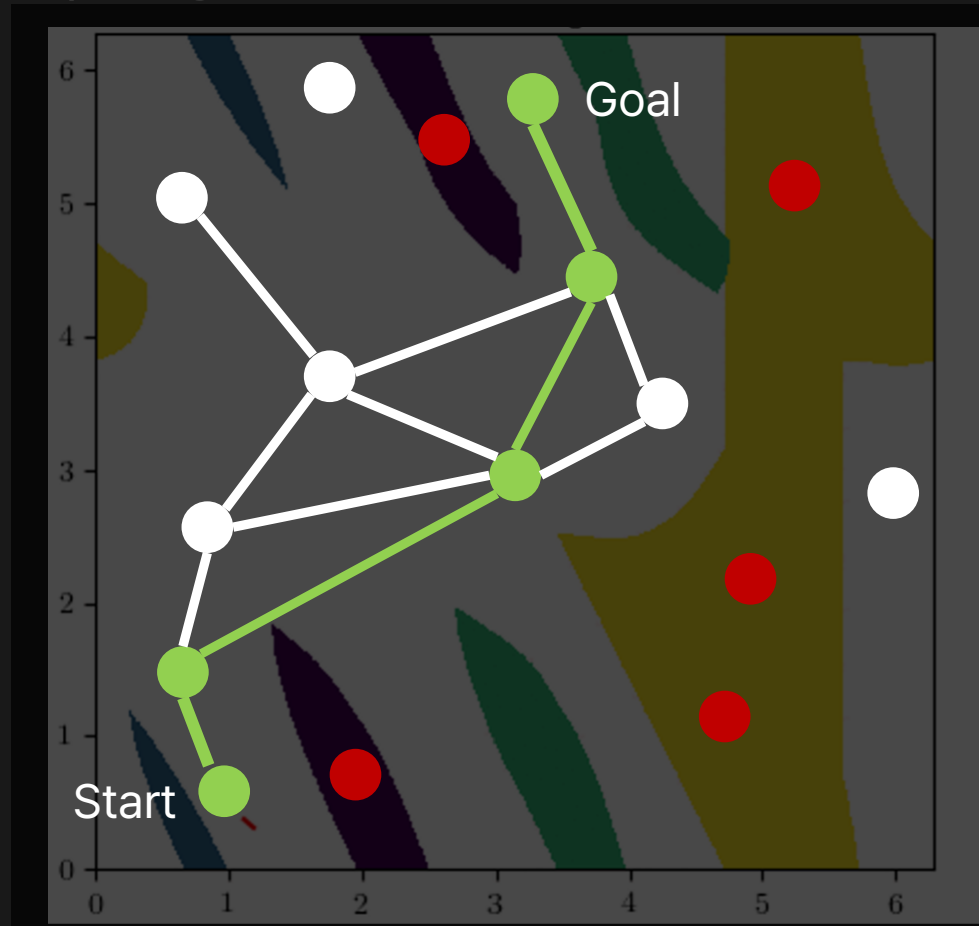
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



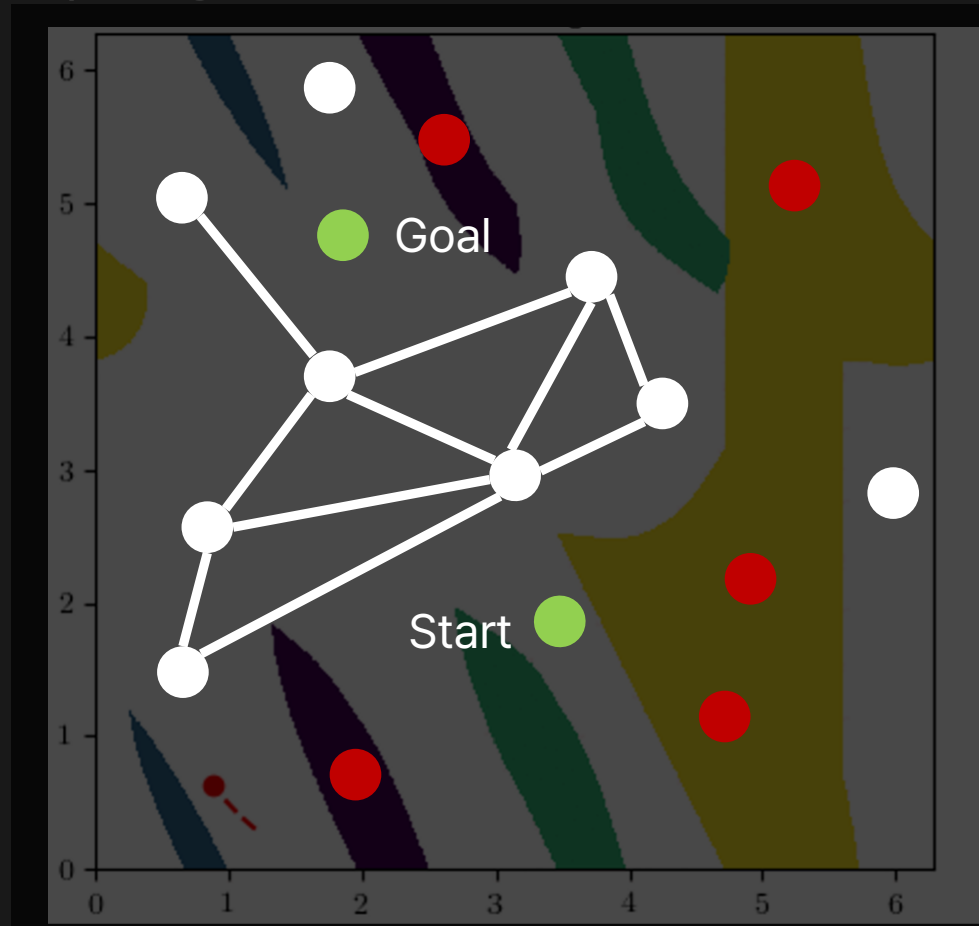
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



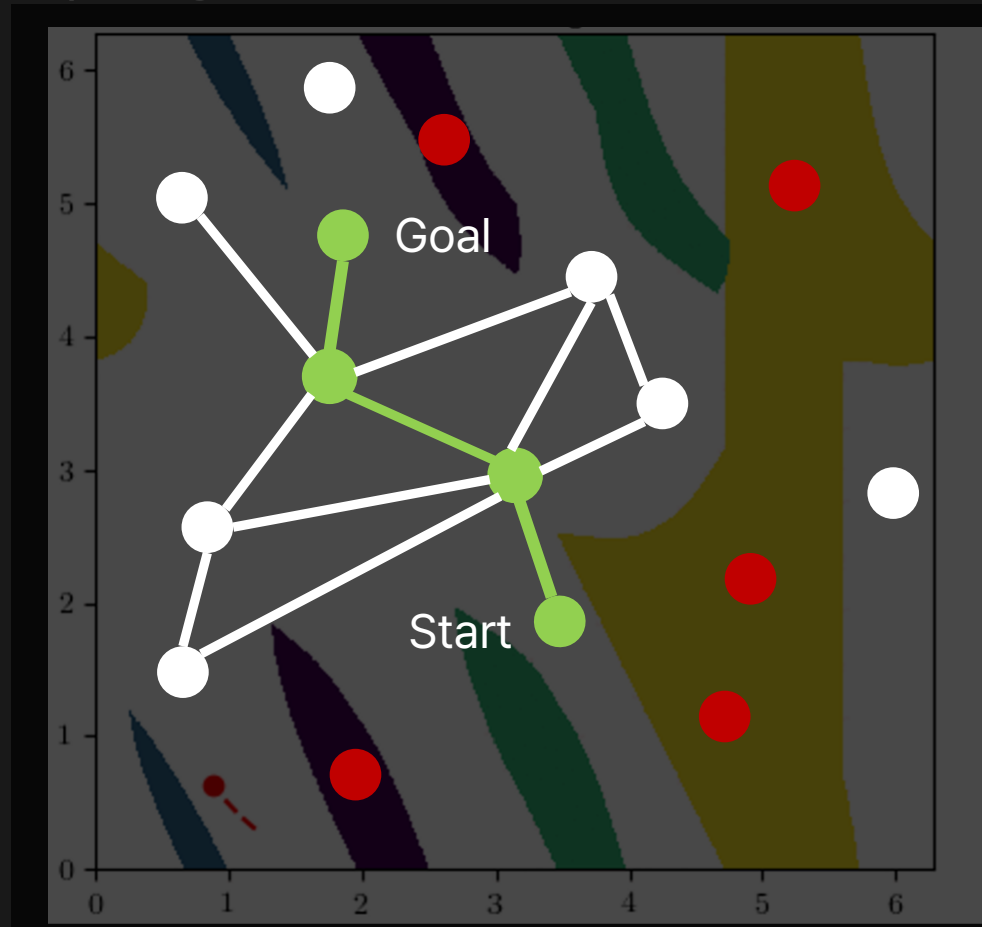
Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



Probabilistic Roadmap (PRM)

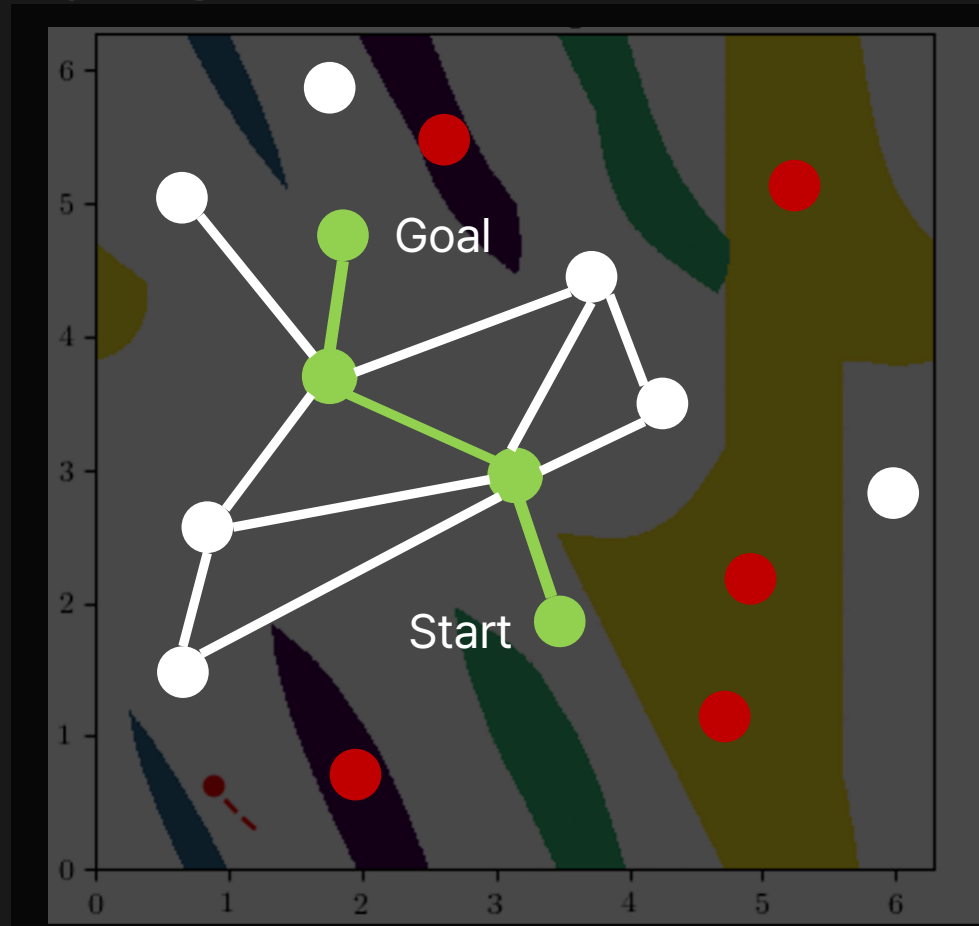
- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

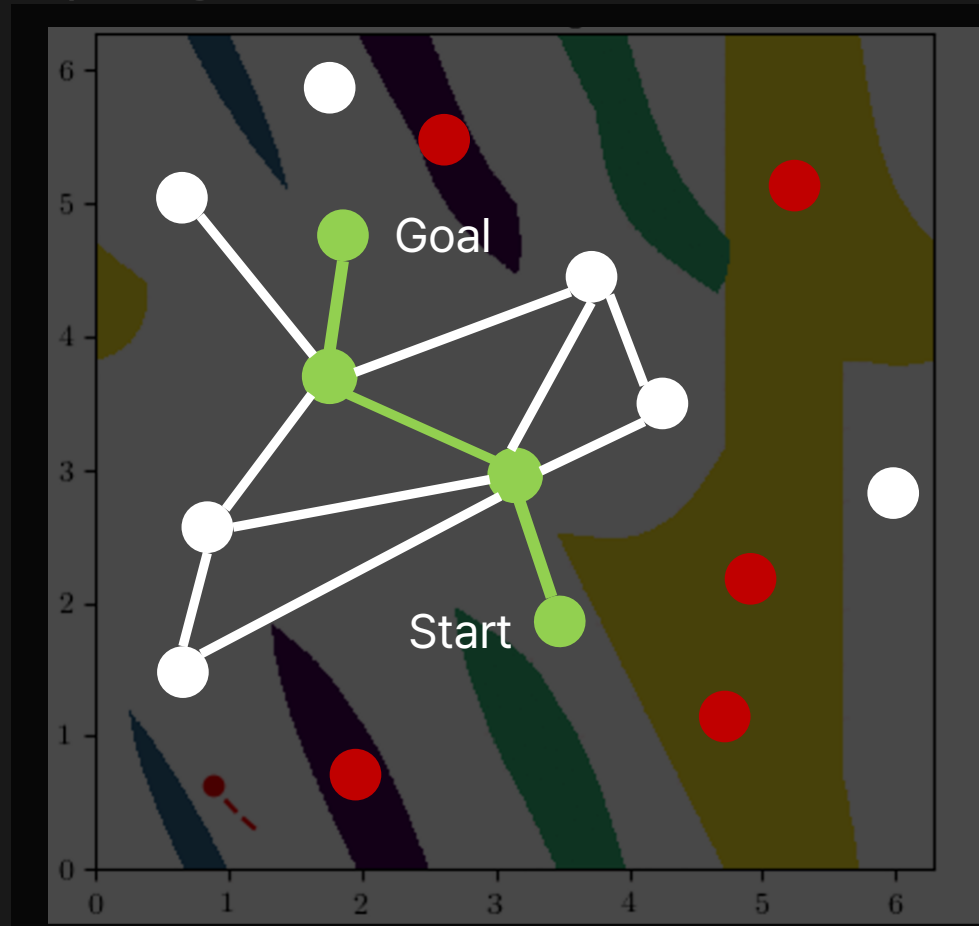
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

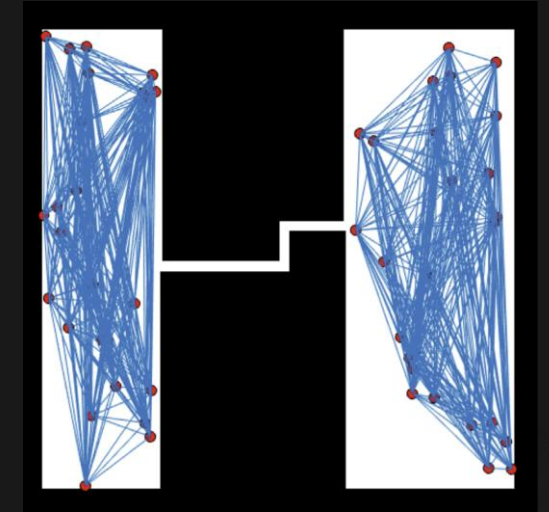
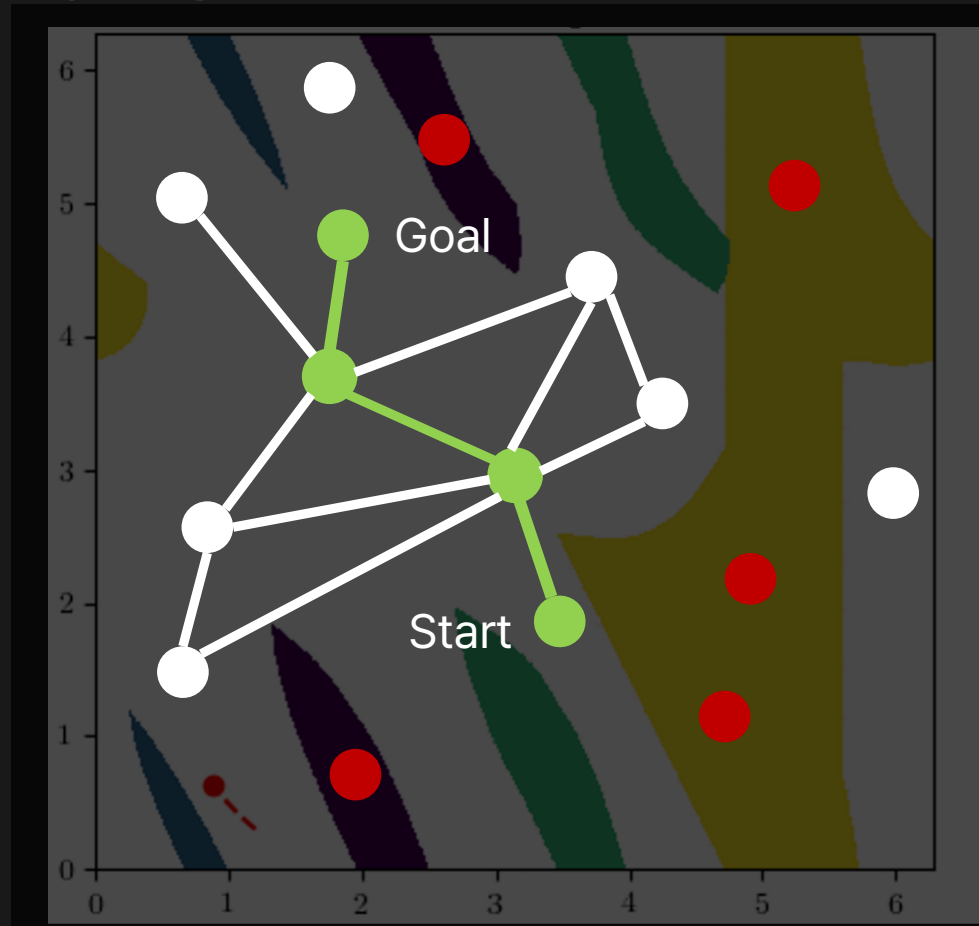
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

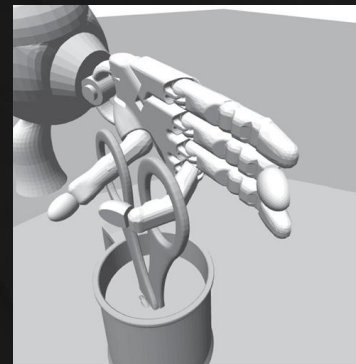
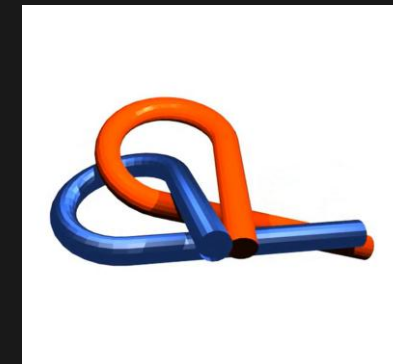
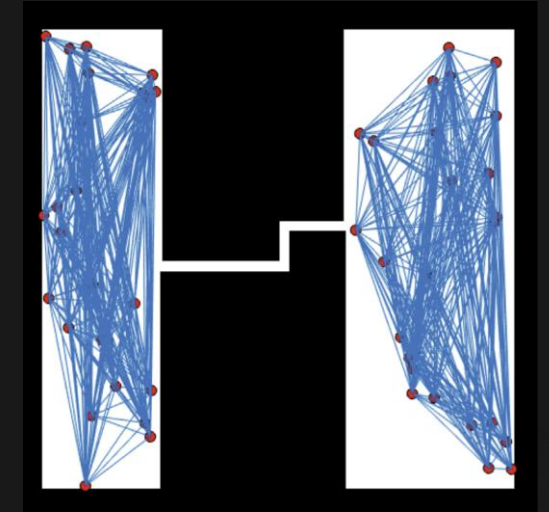
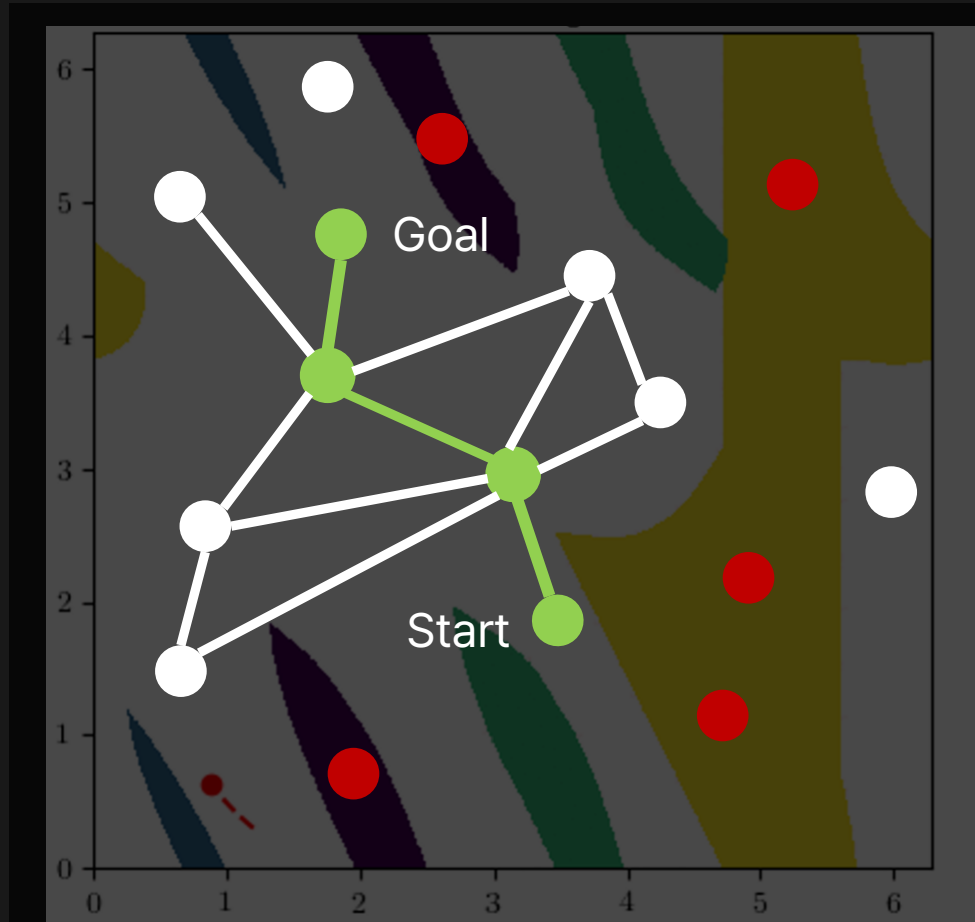
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

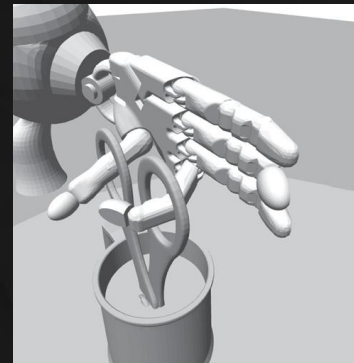
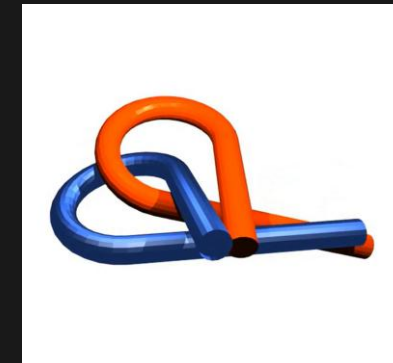
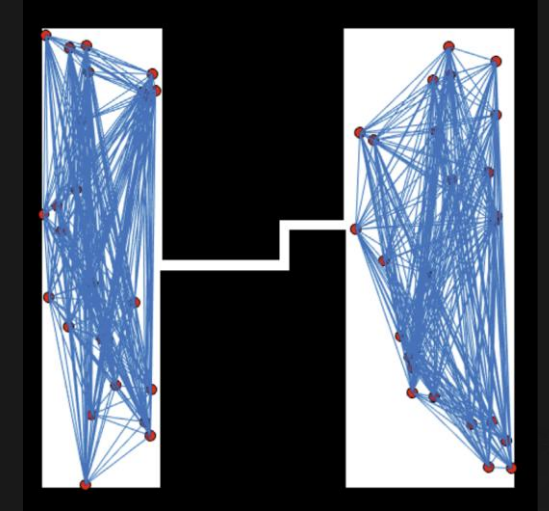
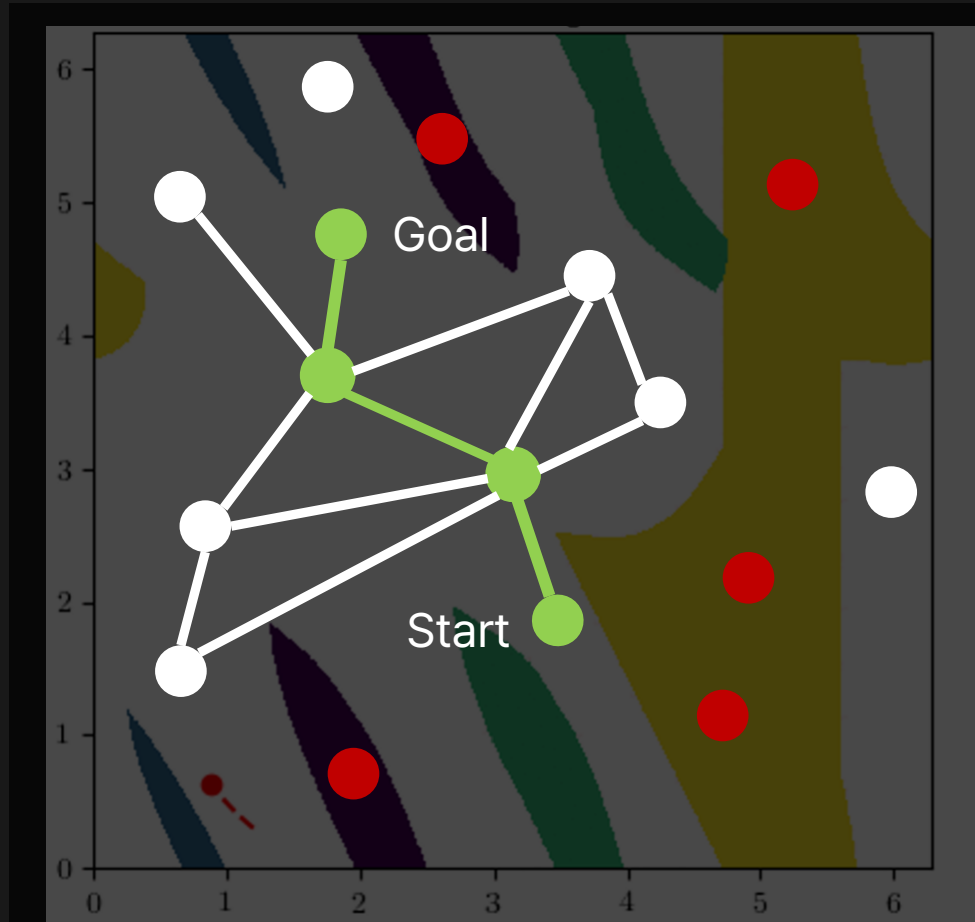
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

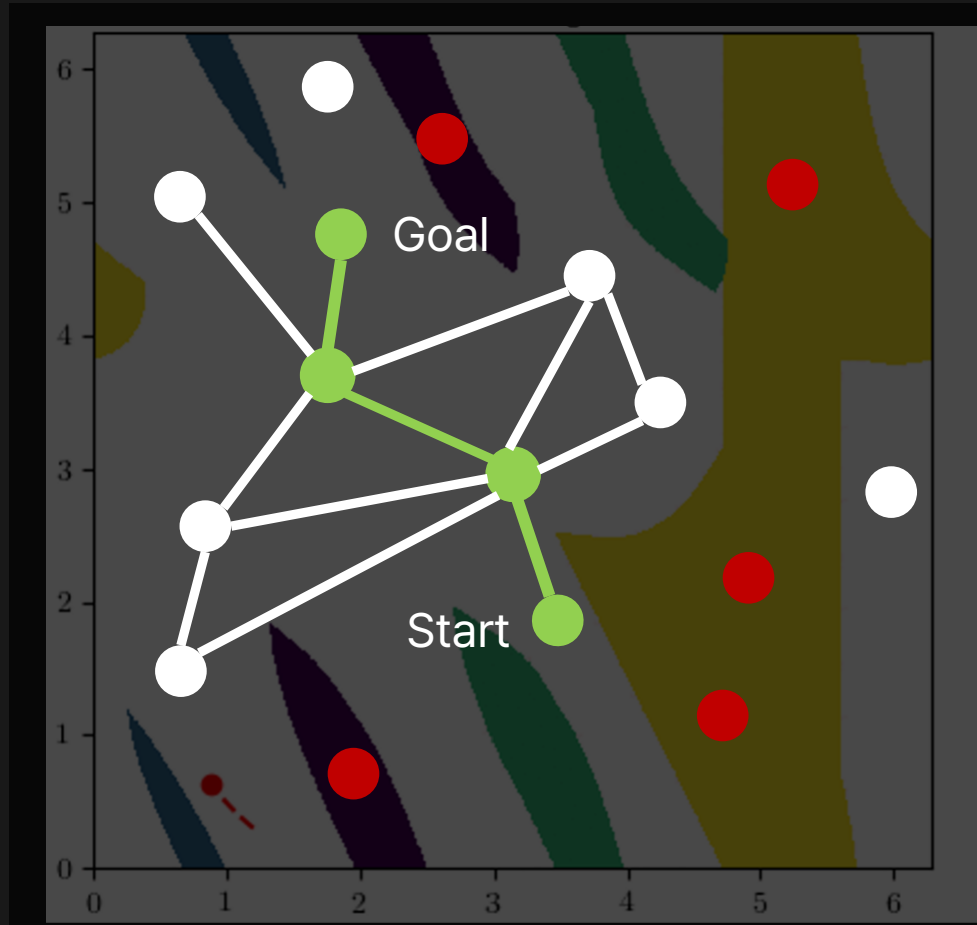
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage
 - 샘플링 방법에 따라 성능이 결정 됨



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

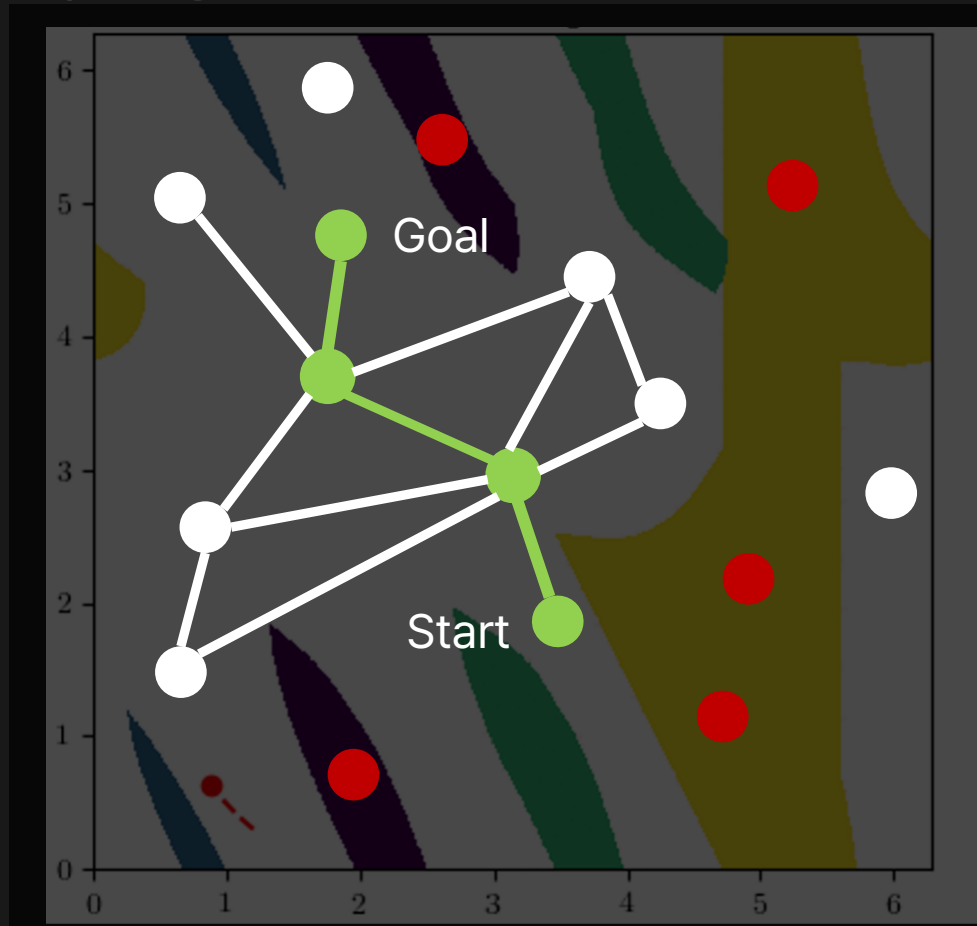
- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage
 - 샘플링 방법에 따라 성능이 결정 됨
 - 최적의 경로 보장 X



Probabilistic Roadmap (PRM)

- 샘플링을 통해서 C-Space 를 근사 (approximate)
- 연속적인 C-Space 를 불연속적인 그래프로 변형

- 주요 특징
 - 그래프 재사용이 가능 (Multi-query)
 - Narrow Passage
 - 샘플링 방법에 따라 성능이 결정 됨
 - 최적의 경로 보장 X
 - Probabilistically Complete



Probabilistic Roadmap (PRM)

Algorithm 1 Probabilistic Roadmap (PRM)

Require: Number of samples N , number of neighbors k , start q_{start} , goal q_{goal}

Ensure: A path from q_{start} to q_{goal} , if one exists

```

1: Initialize roadmap graph  $G = (V, E) \leftarrow \emptyset$ 

2: while  $|V| < N$  do
3:   Sample a random configuration  $q \in \mathcal{C}$ 
4:   if  $q \in \mathcal{C}_{\text{free}}$  then
5:      $V \leftarrow V \cup \{q\}$ 
6:   end if
7: end while
8: for all  $q \in V$  do
9:   Find  $k$ -nearest neighbors  $\text{NN}_k(q) \subset V$ 
10:  for all  $q_{\text{near}} \in \text{NN}_k(q)$  do
11:    if  $\text{LocalPlanner}(q, q_{\text{near}})$  is collision-free then
12:       $E \leftarrow E \cup \{(q, q_{\text{near}})\}$ 
13:    end if
14:  end for
15: end for

16: if  $q_{\text{start}}, q_{\text{goal}} \in \mathcal{C}_{\text{free}}$  then
17:    $V \leftarrow V \cup \{q_{\text{start}}, q_{\text{goal}}\}$ 
18:   Connect  $q_{\text{start}}, q_{\text{goal}}$  to  $k$ -nearest neighbors with collision-free edges
19:   Use graph search (e.g., Dijkstra or A*) to find path from  $q_{\text{start}}$  to  $q_{\text{goal}}$ 
20: else
21:   return No valid path (start or goal in collision)
22: end if

```

강의 요약

01

Probabilistic Roadmap (PRM)

연속적인 C-Space 를
불연속적인 그래프로 변형

02

주요 특징

- Multi-query
- Narrow Passage
- 최적 경로 보장 X
- Probabilistically Complete

03

알고리즘

04

코드 분석