

Thuật Toán Batch Informed Trees (BIT*)

Một Đóng Góp Tiên Tiến trong Lập Hoạch Chuyển Động Robot

Sinh viên: Phạm Quang Toàn

I. Giới Thiệu Thuật Toán BIT*

Tóm tắt khoa học

Batch Informed Trees (BIT*) là một trong những đóng góp nổi bật trong lĩnh vực lập hoạch chuyển động robot tối ưu, đánh dấu bước ngoặt trong việc kết hợp hiệu quả hai hướng tiếp cận truyền thống: tìm kiếm có định hướng theo đồ thị (heuristic graph search) và lập hoạch chuyển động dựa trên mẫu ngẫu nhiên (sampling-based motion planning). Thông qua mô hình hóa không gian cấu hình dưới dạng đồ thị hình học ngẫu nhiên ngầm (implicit Random Geometric Graph – RGG) và áp dụng chiến lược tìm kiếm theo lô định hướng heuristic (batch-based heuristic search), BIT* vừa đạt được tính mở rộng thời gian thực (anytime performance), vừa bảo toàn tính tối ưu tiệm cận (asymptotic optimality).

1.1. Bối cảnh và động lực

Lập hoạch chuyển động (motion planning) là một bài toán cơ bản nhưng đầy thách thức trong robot học, có tác động sâu rộng đến khả năng hoạt động tự chủ của các hệ thống như robot di động, robot thao tác, UAV, xe tự hành, và thiết bị trợ giúp thông minh trong môi trường không cấu trúc.

Hai trở ngại chính:

- Không gian nhiều chiều khiến rời rạc hóa toàn cục trở nên bất khả thi ("lời nguyền chiều không gian").
- Tính phi tuyến và phức tạp hình học của ràng buộc va chạm, động học và điều khiển khiến các phương pháp truyền thống không hiệu quả.

Hai hướng tiếp cận:

- **Tìm kiếm theo đồ thị:** Dijkstra, A*, hiệu quả trong không gian nhỏ.
- **Dựa trên mẫu:** PRM, RRT – hiệu quả cho không gian lớn nhưng thiếu định hướng.

1.2. Khoảng trống học thuật và nhu cầu tích hợp

Hiện chưa có thuật toán nào tích hợp trọn vẹn:

1. Heuristic dẫn hướng như A*;
2. Mẫu ngẫu nhiên như RRT;

3. Tối ưu tiệm cận như RRT*;
4. Tính bất cứ lúc nào như RRT-Connect.

Các thuật toán như Informed RRT* hay FMT* mới chỉ đạt một phần yêu cầu.

1.3. BIT*: Một khuôn khổ thống nhất

BIT* kết hợp mô hình RGG với A*:

- Xem mỗi batch mẫu là một phần của đồ thị ngầm.
- Tái sử dụng thông tin tìm kiếm, xử lý theo lô.
- Sử dụng hàng đợi ưu tiên $f = g + h$ như A*.
- Kế thừa triết lý incremental từ Lifelong Planning A*.

1.4. Đóng góp lý thuyết và thực nghiệm

BIT* được chứng minh:

- Hoàn chỉnh theo xác suất (probabilistically complete)
- Tối ưu tiệm cận (asymptotically optimal)

Hiệu quả vượt trội:

- Trên không gian R^2 và R^8 : tốt hơn RRT, RRT*, FMT*.
- Trên robot HERB (14 DOF): thành công trong môi trường hẹp, tiết kiệm chi phí và thời gian.

BIT* không chỉ là một thuật toán mà là một **khuôn khổ tổng quát** thích ứng tốt với môi trường thay đổi, ràng buộc động học, và các loại robot khác nhau.