2007-10-15

A Study on Graph-based Model Predictive Search Control

FL07-17-2

Fujita lab.
Mamoru Saito

研究背景

Search theory

targetを捜し出す確率を最大にするために
利用可能な資源のもとでagentを展開する

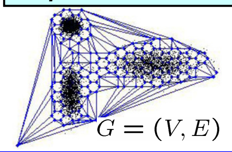
Model Predictive Control

有限時間最適制御問題を繰り返し解く手法
未来の挙動を予測して，現在の最適な入力を決定する

search problem **に対して*Model Predictive Approach* は有効**

先行研究

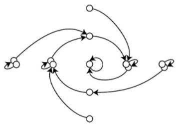
Graph-based Model Predictive Search (Riehl[2007])



$G = (V, E)$

各頂点間の遷移時間が与えられている
targetを発見する確率の時間平均が
最も高い経路を選ぶ
agentの動特性は考慮していない

Graph-based Model Predictive Control (田崎[2006])



状態の経由点，遷移時間を最適化して配置
評価関数に基づいて有向グラフを作成

研究目的

Graph-based Model Predictive Search Control **の提案**

agentの動特性に基づいたsearch algorithmを提案
なるべく少ない制御エネルギで
targetの発見確率を近似的に最大にする

targetを発見する確率に基づいて
位置の経由点を最適に配置（Optimal Coverage Problem）

⇩

状態の経由点の配置，経由点間の遷移時間の設定

⇩

最適制御問題（Optimal Control Problem）

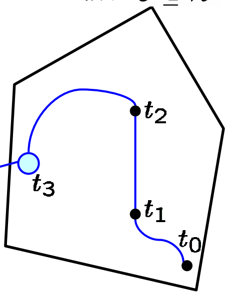
問題設定

agentはsearch領域 $\mathcal{E} \subseteq \mathcal{R}^2$ 内を動き，
離散時刻 $t_k, k = 0, 1, 2, \cdots$ において
観測（センシング）を行う
→周辺にtargetが無いかを確認

agent
$\dot{\boldsymbol{x}} = A\boldsymbol{x} + B\boldsymbol{u},\ \boldsymbol{x} := \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}^p \\ \dot{\boldsymbol{x}}^p \end{bmatrix},\ \boldsymbol{u} := \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}$
位置 : $\boldsymbol{x}^p(t) \in \mathcal{E}$

観測点 : $\boldsymbol{x}^p(t_k)$

search領域 : $\mathcal{E} \subseteq \mathcal{R}^2$

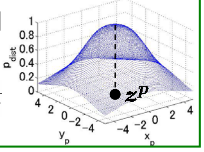


問題設定

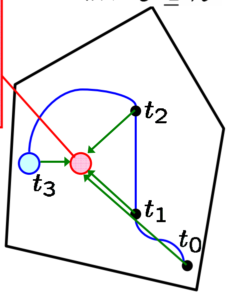
位置 : $\boldsymbol{z}^p \in \mathcal{E}$
センシングレベル :
$$z^w\left(t_k, \boldsymbol{z}^p, \boldsymbol{x}^p(t_0), \boldsymbol{x}^p(t_1), \cdots, \boldsymbol{x}^p(t_k)\right) = \prod_{i=0}^{k}\left(1 - \boxed{p(\|\boldsymbol{z}^p - \boldsymbol{x}^p(t_i)\|)}\right) \in [0, 1]$$
観測完了 未観測

センサ精度 $\in [0, 1]$
悪 良

e.g.
$$\frac{1}{1+\frac{1}{10}\|z^p - \boldsymbol{x}^p(t_i)\|^3}$$



search領域 : $\mathcal{E} \subseteq \mathcal{R}^2$



提案手法

なるべく少ない制御エネルギでtargetの発見確率を最大にしたい

⇩ 近似解を考える

$\mathcal{E} \subseteq \mathcal{R}^2 \xrightarrow{\text{離散化}} \mathcal{E}_d \subset \mathcal{E}$ $\quad \boldsymbol{x}^p(t_k), \boldsymbol{z}^p \in \boldsymbol{\mathcal{E}_d}$とする

Graph-based Model Predictive Search Control

各 $\boldsymbol{z}^p \in \boldsymbol{\mathcal{E}_d}$ のセンシングレベルに基づいて
位置の経由点を最適に配置（Optimal Coverage Problem）

⇩

状態の経由点の配置，経由点間の遷移時間の設定

⇩

最適制御問題（Optimal Control Problem）
実際の制御ではモデル予測制御を用いる

Optimal Coverage Problem

予測ステップ数 f

$\mathcal{E}_d$ 全体でのセンシングレベル z^wの総和を最小にする

f 個の観測点の集合 $\mathcal{W}^p := \{\boldsymbol{w}_1^p, \boldsymbol{w}_2^p, \cdots, \boldsymbol{w}_f^p\} \subseteq \mathcal{E}_d$ を求めたい

⇨ ${}_{|\mathcal{E}_d|}C_f$ 通りなので現実的には不可能

⇨ 一つずつ求める

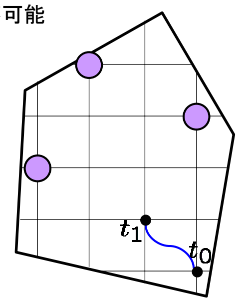
Optimal Coverage Problem

$$\sum_{z^p \in \mathcal{E}_d} z^w(t_{k+1}, \boldsymbol{z}^p, \boldsymbol{x}^p(t_0), \boldsymbol{x}^p(t_1), \cdots, \boldsymbol{x}^p(t_k), \boldsymbol{w}_1^p)$$

を最小にする w_1^p を求める

観測点に加えて上記を f 回繰り返す

計算量は $O(f \times |\mathcal{E}_d|)$



経由点配置

観測点の集合 $\mathcal{W}^p$ の各要素間の遷移における
遷移時間 $t_{i+1} - t_i$ と，速度 $\dot{w}_1^p$ を決定したい

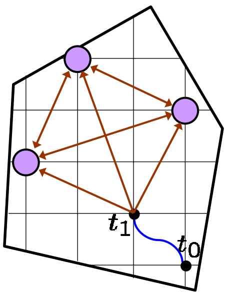
考え中…

仮に

遷移時間
$t_{i+1} - t_i = \tau(\boldsymbol{x}^p(t_i), \boldsymbol{x}^p(t_{i+1}))$

速度の経由点
$\dot{\boldsymbol{x}}^p(t_i) = g(\boldsymbol{x}^p(t_{i-1}), \boldsymbol{x}^p(t_i), \boldsymbol{x}^p(t_{i+1}))$

で与えられるとする



Optimal Control Problem

Optimal Control Problem

$$\min_{\boldsymbol{u}(t), t \in [t_k, t_{k+f})} \sum_{i=k}^{k+f-1} \underline{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \boldsymbol{u}^T(t) R \boldsymbol{u}(t) dt}$$

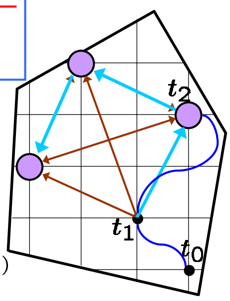
s.t. $\boldsymbol{x}^p(t_i) \in \mathcal{W}^p$

$\boldsymbol{x}^p(t_i) \neq \boldsymbol{x}^p(t_j), \forall i, j$

$= \phi(\boldsymbol{x}(t_i), \boldsymbol{x}(t_{i+1}), t_{i+1} - t_i)$

$\boldsymbol{x}(t_{k+1}), \boldsymbol{x}(t_{k+2}), \cdots, \boldsymbol{x}(t_{k+f})$ に関する
離散最適化問題に帰着

↳ 巡回セールスマン問題
→ 計算量は動的計画法を用いても $O(f^2 2^f)$



結論 と Future Work

Graph-based Model Predictive Search Control の提案

agentの動特性に基づいたsearch algorithmを提案

位置の経由点を最適に配置（Optimal Coverage Problem）

状態の経由点の配置，経由点間の遷移時間の設定
考え中…

最適制御問題（Optimal Control Problem）
考え中…

another study

多数のagent（agent群）を用いたsearch
発見したtarget（area）への群れ収束，pursuitへの応用