智能汽车路径规划与轨迹跟踪系列算法精讲及Matlab程序实现

第6讲 人工势场法

创作者：Ally

时间：2021/1/27

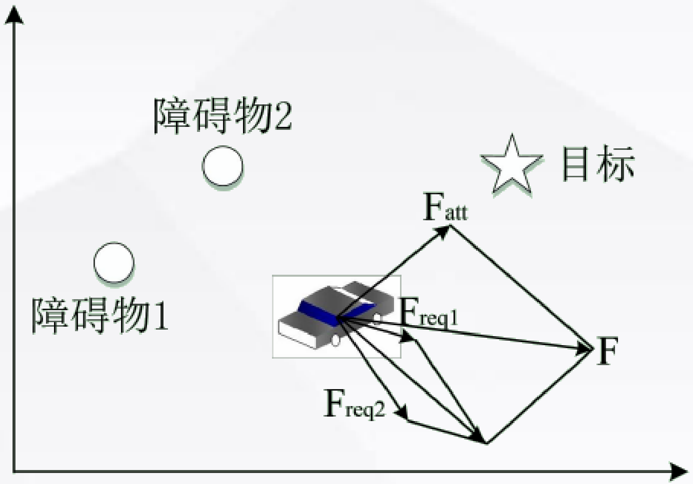
1 学习课程大纲目录

- **路径规划与轨迹跟踪系列学习视频**
  - 自动驾驶汽车定位-感知-规划-决策-控制概述
  - 全局路径规划
    - Dijkstra算法
    - 蚁群算法
    - 动态规划算法
    - A*算法
  - 局部路径规划
    - 多项式曲线法
    - 势场法
    - 贝塞尔曲线
    - B样条曲线
  - 轨迹跟踪与控制
    - 纯跟踪法
    - Stanley法
    - PID法
    - MPC法

3 局部路径规划算法——人工势场法

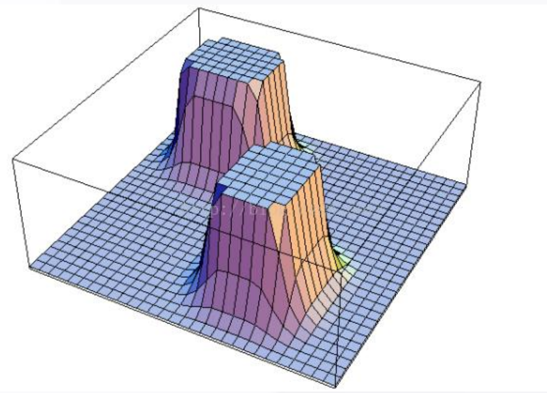
算法简介

- 1986 年 Khatib 首先提出人工势场法，并将其应用在机器人避障领域，而现代汽车可以看作是一个高速行驶的机器人，所以该方法也可应用于汽车的避障路径规划领域。

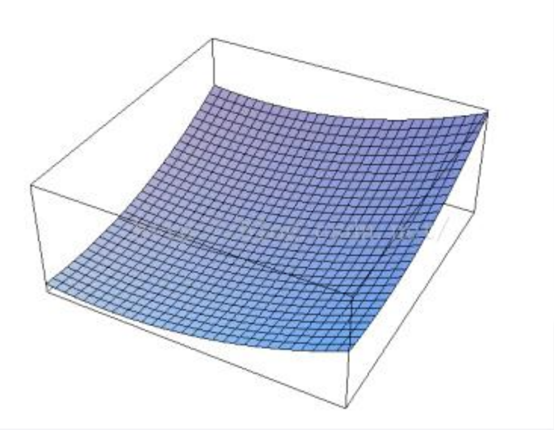


算法思想

- 人工势场法的基本思想是在障碍物周围构建障碍物斥力势场，在目标点周围构建引力势场，类似于物理学中的电磁场。
- 被控对象在这两种势场组成的复合场中受到斥力作用和引力作用，斥力和引力的合力指引着被控对象的运动，搜索无碰的避障路径。
- 更直观而言，势场法是将障碍物比作是平原上具有高势能值的山峰，而目标点则是具有低势能值的低谷。



斥力场



引力场

算法精讲

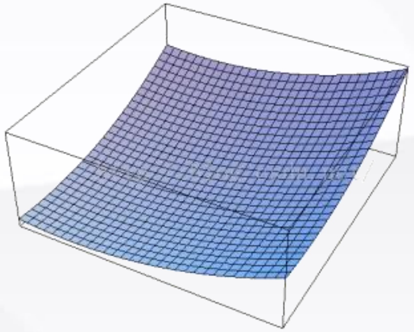
引力势场主要与汽车和目标点间的距离有关，距离越大，汽车所受的势能值就越大；距离越小，汽车所受的势能值则越小，所以引力势场的函数为：

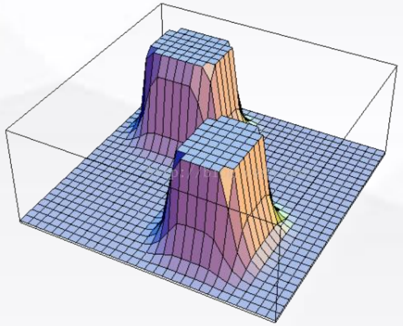
$$U_{att}(q)=\frac{1}{2}\eta\rho^2(q,q_g)$$

其中η为正比例增益系数，$\rho(q,q_g)$为一个矢量，表示汽车的位置q和目标点位置q_g之间的欧几里德距离$|q-q_g|$，矢量方向是从汽车的位置指向目标点位置。

相应的引力$F_{att}(X)$为引力场的负梯度：

$$F_{att}(X)=-\nabla U_{att}(X)=\eta\rho(q,q_g)$$





决定障碍物斥力势场的因素是汽车与障碍物间的距离，当汽车未进入障碍物的影响范围时，其受到的势能值为零；在汽车进入障碍物的影响范围后，两者之间的距离越大，汽车受到的势能值就越小，距离越小，汽车受到的势能值就越大。斥力势场的势场函数为：

$$U_{req}(X)=\begin{cases}\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)}-\frac{1}{\rho_0}\right)^2 & 0\le\rho(q,q_0)\le\rho_0\\ 0 & \rho(q,q_0)\ge\rho_0\end{cases}$$

其中k为正比例系数，$\rho(q,q_0)$为一矢量，方向为从障碍物指向汽车，大小为汽车与障碍物间的距离$|q-q_0|$，ρ_0为一常数，表示障碍物对汽车产生作用的最大距离。

相应的斥力为斥力场的负梯度

$$F_{req}(X)=\begin{cases}k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)}-\frac{1}{\rho_0}\right)\frac{1}{\rho^2(q,q_0)}\nabla\rho(q,q_0) & 0\le\rho(q,q_0)\le\rho_0\\ 0 & \rho(q,q_0)\ge\rho_0\end{cases}$$

算法精讲

- 设车辆位置为(x, y)，障碍物位置为(x_g, y_g)。则引力势场函数为:

$$U_{att}(q)=\frac{1}{2}\eta\rho^2(q,q_g)$$

$$\Rightarrow U_{att}(x,y)=\frac{1}{2}\eta\left[(x-x_g)^2+(y-y_g)^2\right]$$

- 故有

$$-gradU_{att}(x,y)=-\nabla U_{att}(x,y)$$
$$=-U'_{att,x}(x,y)\vec{i}-U'_{att,y}(x,y)\vec{j}$$
$$=-\eta(x-x_g)\vec{i}-\eta(y-y_g)\vec{j}$$
$$=\eta\left[(x_g-x)\vec{i}+(y_g-y)\vec{j}\right]$$
$$=\eta\sqrt{(x-x_g)^2+(y_g-y)^2}=\eta\rho(q,q_g)$$

斥力势场函数为:

$$U_{req}(q)=\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)}-\frac{1}{\rho_0}\right)^2\Rightarrow U_{req}(x,y)=\frac{1}{2}k\left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}-\frac{1}{\rho_0}\right]^2$$

$$-\nabla U_{req}(x,y)=-U'_{att,x}(x,y)\vec{i}-U'_{att,y}(x,y)\vec{j}$$

$$-U'_{att,x}(x,y)\vec{i}=-k\left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}-\frac{1}{\rho_0}\right]\left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}-\frac{1}{\rho_0}\right]'\vec{i}$$

$$=-k\left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}-\frac{1}{\rho_0}\right]\left\{-\frac{1}{2}\left[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2\right]^{-\frac{3}{2}}\bullet\left[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2\right]'\right\}\vec{i}$$

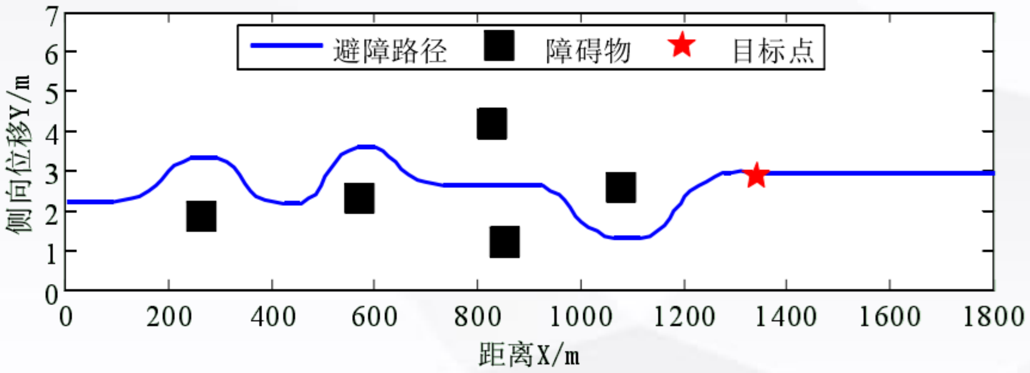
$$=k\left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}-\frac{1}{\rho_0}\right]\left\{\frac{1}{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}\left[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2\right]^{-\frac{1}{2}}(x-x_0)\right\}\vec{i}$$

$$=k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)}-\frac{1}{\rho_0}\right)\cdot\frac{1}{\rho^2(q,q_0)}\cdot\frac{1}{\rho(q,q_0)}\cdot(x-x_0)\vec{i}$$

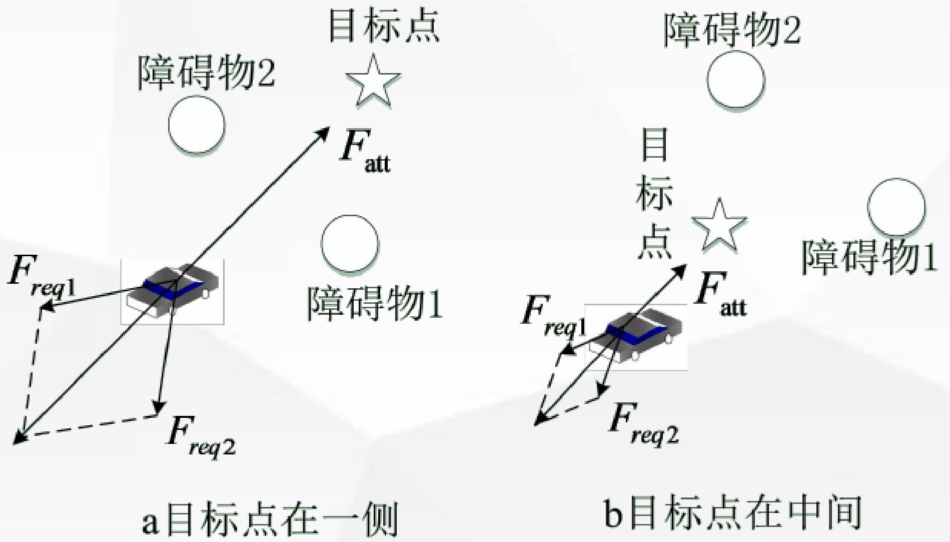
$$-\nabla U_{req}(x,y)=k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)}-\frac{1}{\rho_0}\right)\cdot\frac{1}{\rho^2(q,q_0)}\cdot\nabla\rho(q,q_0)$$

算法缺陷与改进

- 目标不可达的问题。由于障碍物与目标点距离太近，当汽车到达目标点时，根据势场函数可知，目标点的引力降为零，而障碍物的斥力不为零，此时汽车虽到达目标点，但在斥力场的作用下不能停下来，从而导致目标不可达的问题。



- 陷入局部最优的问题。车辆在某个位置时，如果若干个障碍物的合斥力与目标点的引力大小相等、方向相反，则合力为0，这将导致车辆不再"受力"，故无法向前搜索避障路径。

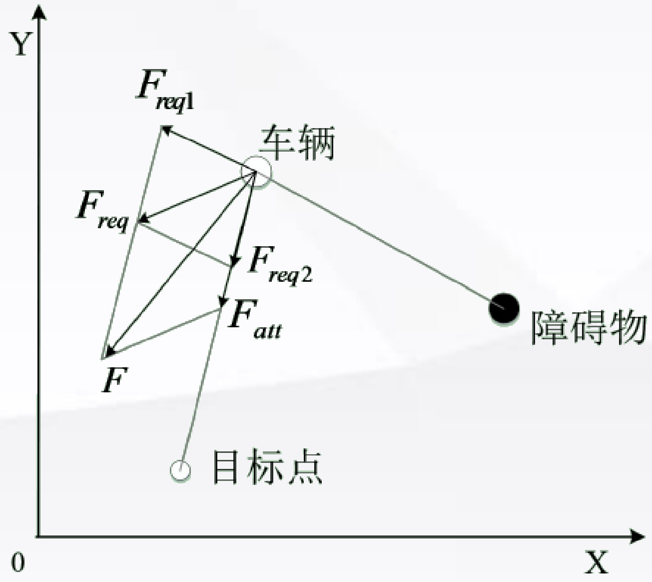


3 局部路径规划算法——人工势场法

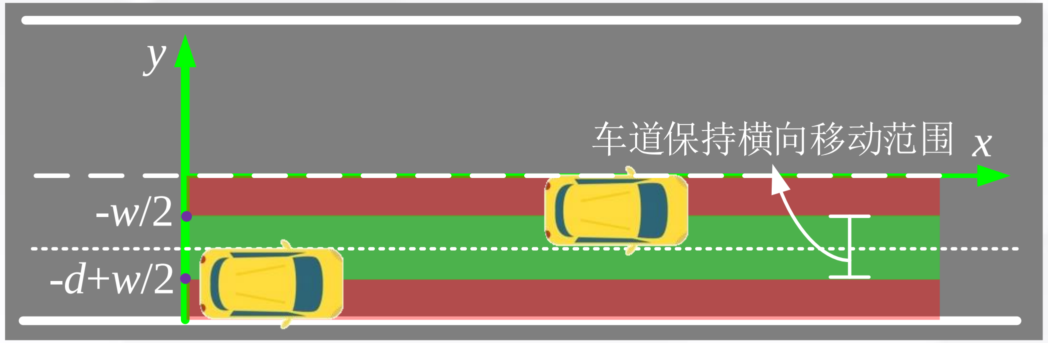
算法缺陷与改进

- 通过改进障碍物斥力势场函数来解决局部最优和目标不可达的问题；

$$\begin{cases} F_{reo1} = k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)} - \frac{1}{\rho_0}\right)\frac{\rho_g^n}{\rho^2(q,q_0)} \\ F_{reo2} = \frac{n}{2}k\left(\frac{1}{\rho(q,q_0)} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 \rho_g^{n-1} \end{cases}$$



- 通过建立道路边界斥力势场以限制汽车的行驶区域，并适当考虑车辆速度对斥力场的影响



$$F_{rep,edge} = \begin{cases} \eta_{edge} \cdot v \cdot e^{\left(\frac{-d}{2} - y\right)}, & -d + w/2 < y < -d/2 \\ \frac{1}{3}\eta_{edge} \cdot y^2, & -d/2 < y < -w/2 \\ -\frac{1}{3}\eta_{edge} \cdot y^2, & w/2 < y < d/2 \\ \eta_{edge} \cdot v \cdot e^{\left(y - \frac{d}{2}\right)}, & d/2 < y < d - w/2 \end{cases}$$