

文章编号: 2095-2163(2020)09-0174-04

中图分类号: TP273

文献标志码: A

# 一种基于人工势场法的自动驾驶汽车主动避障路径规划算法

张鹏<sup>1</sup>, 葛中盛<sup>1</sup>, 徐效农<sup>2</sup>, 赵奉奎<sup>1</sup>

(1 南京林业大学 汽车与交通工程学院, 南京 210037; 2 上海汽车集团股份有限公司技术中心, 上海 201804)

**摘要:** 自动驾驶汽车是近年来智能交通领域的研究热点, 主动避障路径规划是其研究的关键问题。本文提出一种基于模拟退火算法的人工势场法, 针对传统人工势场法陷入局部极小值和震荡问题, 在引力场函数中加入影响距离极限值并引入模拟退火法的方案实施避障。经过 MATLAB 仿真, 结果表明该方法使自动驾驶汽车跳出局部最小值, 减少撞车事件发生, 提高避障路径规划的安全性。改进的人工势场法实现了自动避障路径规划, 对于自动驾驶汽车的研究具有重要的参考价值。

**关键词:** 自动驾驶; 主动避障; 路径规划; 模拟退火算法; 人工势场法

## An active obstacle avoidance path planning algorithm for automatic driving vehicle based on artificial potential field method

ZHANG Peng<sup>1</sup>, GE Zhongsheng<sup>1</sup>, XU Xiaonong<sup>2</sup>, ZHAO Fengkui<sup>1</sup>

(1 College of Automobile and Traffic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;  
2 Technical center of Shanghai Automotive Group Co., Ltd, Shanghai 201804, China)

**【Abstract】** Self-driving cars have been a research hotspot in the field of intelligent transportation in recent years and active obstacle avoidance path planning is the key issue of it. This paper proposes an artificial potential field method based on simulated annealing algorithm. Aiming at the problem of local minimum value and oscillation caused by traditional artificial potential field method, this method adds the influence distance limit value to the gravity field function and introduces the simulated annealing method to the implementation of obstacle avoidance. According to the MATLAB simulation, the results shows that this method makes the self-driving car jump out of the local minimum, solves the problem of inaccessibility and reduces crashes. The safety of obstacle avoidance path planning is improved. The improved artificial potential field method realizes automatic obstacle avoidance path planning, which has important reference value for the study of autonomous vehicles.

**【Key words】** autopilot; active obstacle avoidance; path planning; simulated annealing algorithm; artificial potential field method

### 0 引言

近年来,随着智能交通以及人工智能技术的兴起,越来越多的企业与科研机构积极推动无人驾驶领域的发展,避障路径规划算法是自动驾驶汽车的重要组成部分<sup>[1]</sup>。自动驾驶汽车的路径规划是指在一个有障碍物的环境中,为汽车寻找一条从起始位置到终点位置的最优或次优的运动路径,使汽车在运动过程中能够安全、没有碰撞地避开所有障碍物<sup>[2]</sup>。学者们对其开展研究,取得了一些研究成果。江明等提出了基于改进蚁群算法的路径规划<sup>[3]</sup>;于海蕊等提出一种基于遗传算法的多模式路径规划算法<sup>[4]</sup>,此类智能路径规划算法,能够在复杂环境中较好的路径规划。赵晓等提出了改进 A\* 算法,是一种常用于静态路网中求解最短路径的启发式搜索方法,对环境信息反应速度快,鲁棒性

好<sup>[5]</sup>;修彩靖等提出人工势场法,其规划的运动轨迹平滑,易于底层控制、计算量小<sup>[6]</sup>。虽然上述几类算法在机器人路径规划中被广泛应用,但难以同时满足自动驾驶汽车时效性以及车辆行驶的约束条件。

本文提出一种基于模拟退火法的人工势场法,改进吸引立场函数,有效解决传统人工势场法容易导致目标不可及,陷入局部最小值的问题,能够安全高效避障。

### 1 人工势场法工作原理

人工势场法是由 Khatib 提出的一种虚拟力法。人工势场法的基本原理是将汽车放在一个势力场中,由汽车行驶目标的终点产生的吸引力场,和行驶环境中各种车辆,行人,红灯,隔离带或实线等组成的障碍物产生斥力场,形成一个势力场,在目标点产

**基金项目:** 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(17KJB150024);江苏省产业前瞻与共性关键技术重点项目(BE2017008-2)。

**作者简介:** 张鹏(1999-),男,本科生,主要研究方向:汽车电子;葛中盛(1998-),男,本科生,主要研究方向:车辆电子;徐效农(1987-),男,博士,工程师,主要研究方向:车辆能耗经济性及驾驶性评价;赵奉奎(1986-),男,博士,讲师,主要研究方向:智能汽车环境感知。

**通讯作者:** 赵奉奎 Email: zfkseu@163.com

**收稿日期:** 2020-07-08

生的引力中汽车向目标点移动,途中遇到障碍物,由障碍物产生的斥力而远离障碍物<sup>[7-8]</sup>。人工势场法的自动驾驶汽车避障主要的特点是可以实时避障,运动轨迹平滑,对未知环境的适应性较强,计算速度快,结构简单,易于学习。将人工势场法用于自动驾驶汽车避障路径规划,避障轨迹平滑,便于改进和优化。人工势场法也有缺点:出现目标不可达,局部极小值等问题。因此,如何设计“引力场”就成为该方法的关键。

本文将吸引力场加以改进,并引入模拟退火法,能够有效解决目标不可及,陷入局部最小值的问题,实现高效路径规划。

人工势场法中自动驾驶汽车所在环境中所受的力,由目标点发出的引力场和道路上的障碍物,或行驶缓慢的车辆对自动驾驶汽车的斥力场组成。引力场由运动终点发射出,斥力场由障碍物,如其他汽车,行人,隔离带等,产生的斥力场组成<sup>[9]</sup>。因此,人工势场法的势场函数定义为引力场与斥力场的和,汽车的移动方向为势场函数下降的方向。这样汽车就可以找到一条无碰撞的路径。势场函数如式(1)表示:

$$U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q), \quad (1)$$

其中,  $q$  是自动驾驶汽车的坐标点;  $U_{att}(q)$  是引力场;  $U_{rep}(q)$  是斥力场;  $U(q)$  是势场和。势场函数的负梯度定义为人力,人力由引力和斥力组成。引力为引力场的负梯度,斥力为斥力场的负梯度。因此,汽车在势场中所受力可用公式(2)表示:

$$F(q) = - \nabla U(q) = - \nabla U_{att}(q) - \nabla U_{rep}(q) = F_{att}(q) + F_{rep}(q). \quad (2)$$

斥力场的计算公式(3):

$$U_{rep} = \begin{cases} 0, & \rho_{obs}(q) \geq \rho_0; \\ \frac{1}{2} K_{rep} \frac{1}{\rho_{obs}(q)} - \frac{1}{\rho_0} \frac{1}{\rho_{obs}^2}, & \rho_{obs}(q) < \rho_0. \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $K_{rep}$  为斥力增益常数;  $\rho_{obs}(q) = \|q - q_{obs}\|$ ;  $q_{obs}$  为障碍物坐标;  $\rho_0$  为最大影响距离。若障碍物与自动驾驶汽车距离大于  $\rho_0$ ,则将斥力场视为0。设置  $\rho_0$  可以消除离自动驾驶汽车较远的障碍物对汽车轨迹的影响,  $\rho_0$  的值取决于汽车速度与加速度大小。斥力的计算公式(4)为:

$$F_{rep} = - \nabla U_{rep} = \begin{cases} 0, & \rho_{obs}(q) \geq \rho_0; \\ K_{rep} \frac{1}{\rho_{obs}(q)} - \frac{1}{\rho_0} \frac{1}{\rho_{obs}^2} \frac{q - q_{obs}}{\|q - q_{obs}\|}, & \rho_{obs}(q) < \rho_0. \end{cases} \quad (4)$$

$F_{rep}$  斥力方向由障碍物点指向自动驾驶汽车,  $F_{rep}$  合力可以分解为坐标轴  $X$  方向和  $Y$  方向的力,如

式(5),式(6)所示:

$$F_{repx} = \begin{cases} 0, & \rho_{obs}(q) \geq \rho_0; \\ K_{rep} \frac{1}{\rho_{obs}(q)} - \frac{1}{\rho_0} \frac{1}{\rho_{obs}^2} \frac{x - x_{obs}}{\|q - q_{obs}\|}, & \rho_{obs}(q) < \rho_0. \end{cases} \quad (5)$$

$$F_{repy} = \begin{cases} 0, & \rho_{obs}(q) \geq \rho_0; \\ K_{rep} \frac{1}{\rho_{obs}(q)} - \frac{1}{\rho_0} \frac{1}{\rho_{obs}^2} \frac{y - y_{obs}}{\|q - q_{obs}\|}, & \rho_{obs}(q) < \rho_0. \end{cases} \quad (6)$$

以上的斥力计算是针对单个障碍物而言。但是环境中往往有多个障碍物,所以斥力场与斥力应该是多个障碍物对汽车的斥力场和与斥力和,则如式(7),式(8)所示:

$$U(q) = U_{att}(q) + \sum_{i=1}^n U_{rep}(q), \quad (7)$$

$$F(q) = F_{att}(q) + \sum_{i=1}^n F_{rep}(q). \quad (8)$$

其中,  $n$  为障碍物个数,  $F$  为汽车所受合力。自动驾驶汽车受力情况如图1所示。

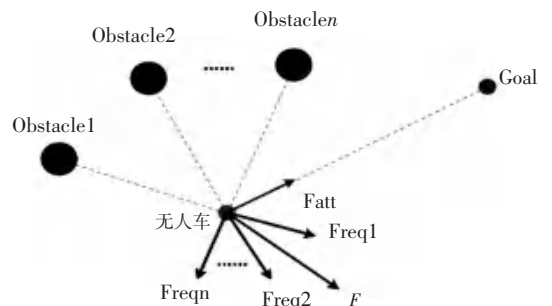


图1 自动驾驶汽车受力情况

Fig. 1 Stress condition of self-driving vehicle

引力场的计算公式(9):

$$U_{att} = \frac{1}{2} K_{att} (q - q_g)^2. \quad (9)$$

其中,  $K_{att}$  为引力增益函数,  $q_g$  为目标点的位置。根据式(9)可以计算引力大小,式(10):

$$F_{att} = -\tilde{N}U_{att}(q) = -K_{att}(q - q_g). \quad (10)$$

$F_{att}$  的方向指向目标点,  $F_{att}$  可以分解为  $X$  轴方向的力与  $Y$  轴方向的力,式(11)和式(12):

$$F_{attx} = -k_{att}(x - x_g), \quad (11)$$

$$F_{atyy} = -k_{att}(y - y_g). \quad (12)$$

基于人工势场法的路径规划用于自动驾驶汽车还存在一些问题。当引力与斥力大小相等方向相反时,导致汽车缺少引力,从而导致目标不可及;当自动驾驶汽车陷入多个障碍物之间时,中间会形成极小的势力场,陷入局部最小值,无法穿过障碍群。

## 2 改进的人工势场法

### 2.1 人工势场法吸引立场改进

传统人工势场法引力部分与汽车和目标点位置距离随距离越大而增大,当汽车距离目标点较远时,引力部分过大,可能导致汽车与障碍物相撞。针对这一问题,对引力场公式进行改进。

引力场的大小由汽车与目标点的距离决定,当距离非常大时,引力将会变得非常大,斥力相对于引力而言就会变得非常小,从而导致汽车与障碍物相撞。因此,对引力场加以改进,公式(13)如下:

$$U_{att} = \begin{cases} d K_{att} (q - q_g)^2, & (q - q_g) \geq d; \\ \frac{1}{2} K_{att} (q - q_g)^2, & (q - q_g) < d. \end{cases} \quad (13)$$

$$U_{att} = \begin{cases} -K_{att}(q - q_g), & (q - q_g) \leq d; \\ -d K_{att} \frac{q - q_g}{\|q - q_g\|}, & (q - q_g) > d. \end{cases} \quad (14)$$

其中,  $d$  为影响距离极限值,当汽车与目标点距离  $\leq d$  时,引力与距离成平滑直线;当汽车与目标点距离  $> d$  时,将引力视为常数。

### 2.2 基于模拟退火法的人工势场法

模拟退火法的算法流程如图2所示。当人工势场法陷入局部极小值时,在当前点  $x$  处选择一个随机点  $x_1 = x + \Delta x$ ,  $\Delta x$  为附近一个随机点,距离点  $x$  一个步长。根据式(1)分别计算出点  $x$  与点  $x_1$  处的势场  $U(x)$  与  $U(x_1)$ , 如果满足  $U(x) \geq U(x_1)$ , 则接受点  $x_1$  作为下一个点;若满足  $U(x) \leq U(x_1)$  以概率  $P$  设置  $x = x_1$ , 其中  $P = e^{-\frac{\Delta}{T}}$ ,  $\Delta = U(x_1) - U(x)$ 。设置一个随机概率  $a$ , 当  $P > a$  时, 设置  $x = x_1$ ; 反

之,这个随机点为失败的随机点,重新设置随机点,重复上述步骤直到逃离局部极小值。

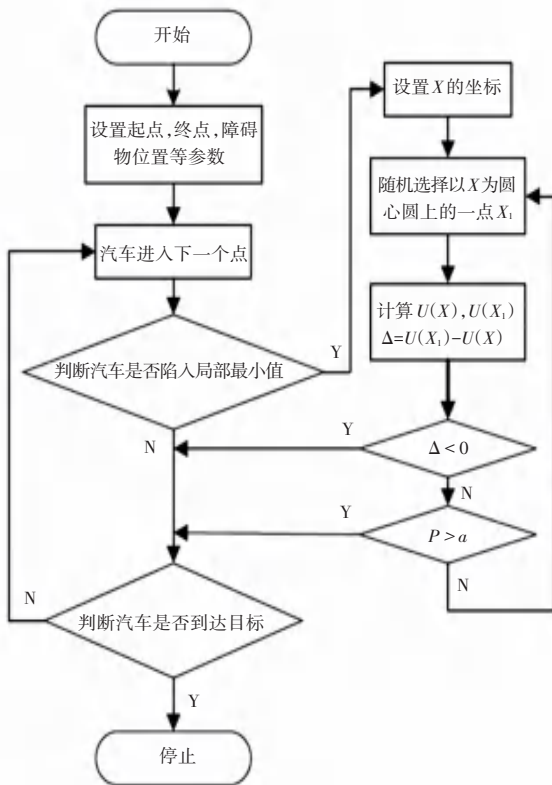


图2 模拟退火法算法流程图

Fig. 2 Flow chart of simulated annealing algorithm

## 3 路径规划仿真分析

由于实车实验控制复杂,本文采用软件仿真的方法对所设计的路径规划算法进行验证,采用MATLAB软件进行仿真分析。为了对所提算法进行充分的测试,本文建立了超车和左转两种工况进行模拟。超车工况如图3所示,图中黑色矩形代表预设的行驶车辆,虚线代表车道线,共有六辆大小不等的车辆分布在四条车道上,仿真车辆起点和终点坐标分别为(50, 50)和(700, 350)。引力增益系数  $K_{att} = 5$ , 斥力增益系数  $K_{rep} = 15$ , 障碍影响距离设为2, 步长设为0.1, 循环迭代次数设为1000, 由图3规划路径可知,自动驾驶汽车能够识别周围障碍,选择无障碍物车道行驶。左转工况如图4所示,建立双车道十字路口模型,其中分布着5个矩形障碍代表其他行驶车辆,仿真车辆起点和终点坐标分别为(201, 250)和(302, 539)。由图4规划路径可知,自动驾驶汽车能够识别十字路口,避开障碍物实现左转弯。

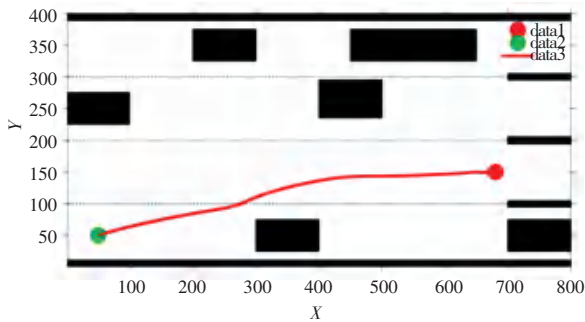


图3 超车情形

Fig. 3 Overtaking situation

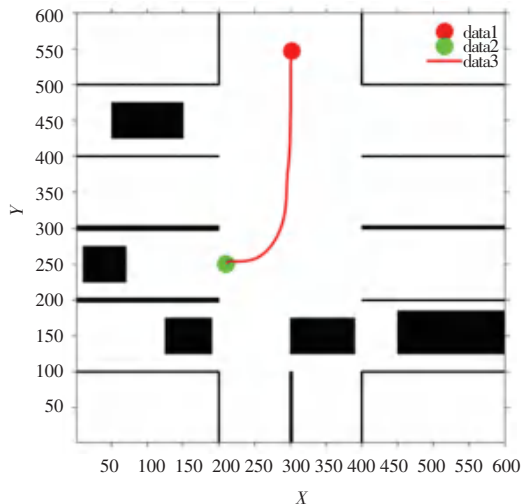


图4 十字路口左拐情形

Fig. 4 Turning left at intersection

## 4 结束语

本文使用模拟退火法与改进引力场函数解决人工势场法在自动驾驶汽车避障路径规划中的两个问题:自动驾驶汽车无法抵达终点,汽车会陷入局部最小值。通过仿真证明,运用模拟退火算法和改进引力场函数方法对自动驾驶汽车避障路径规划有着极好的避障效果。本文中虽然对改进的人工势场法在局部路径下进行路径规划取得了一定的效果,但是该算法在全局路径规划上存在不足,可以考虑把人工势场法与全局路径规划方法结合起来使用。

## 参考文献

- [1] 吴建清,宋修广. 智慧公路关键技术发展综述[J]. 山东大学学报(工学版),2020,50(4):1-18.
- [2] 刘博,罗霞,朱健. 自动驾驶汽车自动避障路径规划仿真研究[J]. 计算机仿真,2018,35(2):105-110.
- [3] 江明,王飞,葛愿,等. 基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划研究[J]. 仪器仪表学报,2019,40(2):113-121.
- [4] 于海璐,陆锋. 一种基于遗传算法的多模式多标准路径规划方法[J]. 测绘学报,2014,43(1):89-96.
- [5] 赵晓,王铮,黄程侃. 基于改进A\*算法的移动机器人路径规划[J]. 机器人,2018,40(6):903-910.
- [6] 修彩靖,陈慧. 基于改进人工势场法的自动驾驶汽车局部路径规划的研究[J]. 汽车工程,2013,35(9):808-811.
- [7] GE S S. CUI Y J. New Potential Functions for Mobile Robot PathPlanning[J]. IEEE Transactions on robotics and automation, 2000,16(5):615-620.
- [8] BARRAQUAND J, LANGLOIS B. LATOM BE J-C. Numerical Potential Field Techniques for Robot Path Planning [J]. IEEE Transactions on Systems. Mannand Cybernetics (S001S.9472), 1992,22(2):224-241.
- [9] 丁家如,杜昌平,赵耀,等. 基于改进人工势场法的无人机路径规划算法[J]. 计算机应用,2016,36(1):287-290.

(上接第173页)

## 3 结束语

网约车平台已然改变了乘客的出行方式,随着网约车的社会地位被逐渐认可,各竞争者更要把握好这一发展机会,保持自己的竞争优势,让自己的网约车平台能够在市场上脱颖而出。本文通过采用Stackelberg模型,分别在竞争、合作状态下对网约车三大平台进行博弈分析,得到以下结论:

(1) 合作收益总是大于各方竞争时的收益;

(2) 新进入者可以模仿成功者的行为,入局网约车市场瓜分收益。虽然任何一个企业,总是在与它的竞争对手不断竞争博弈中成长壮大起来的,但是一味地恶性竞争只会导致全行业的价格体系崩溃。

所以要在竞争中,建立一定的合作关系,理性的竞合方式不仅能够惠及各网约车平台,而且将会提高小客车资源的利用率以及提升乘客的出行体验,

有利于整个网约车行业持续健康发展。

## 参考文献

- [1] 于跃,李雷鸣. 从出租车到网约车的乘客出行方式选择行为演化博弈分析[J]. 软科学,2019,33(8):126-132.
- [2] Niels Agatz, Alan Erera, Martin Savelsbergh, et al. Optimization for dynamic ride-sharing: A review [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 223(2): 295-303.
- [3] ROGERS B. The Social Costs of Uber [J]. Social Science Electronic Publishing, 2015, 28: 85-102.
- [4] 张冬阳. 专车服务: 制度创新抑或违法行为? [J]. 清华法学, 2016, 10(2): 149-168.
- [5] 吴俊林. 滴滴出行市场扩展的发展变化分析[D]. 北京邮电大学, 2019.
- [6] 郭稳,孙凯,耿新. 基于博弈论的外卖平台竞合关系研究[J]. 科技与管理, 2019, 21(4): 92-97.
- [7] KIM D. Equilibrium analysis of a two-sided market with multiple platforms of monopoly provider [J]. Int. Telecommun. Policy Rev., 2012, 19(3): 1-22.
- [8] Luca Colombo, Paola Labrecciosa. Stackelberg versus Cournot: A differential game approach [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2019, 101: 239-261.
- [9] 威尔森. 网约车市场的发展现状及展望 [J]. 汽车与配件, 2020(8): 34-36.