

# 一种基于 A\* 算法的虚拟力场避障导航算法<sup>①</sup>

陈超波, 张煜, 高嵩

(西安工业大学 电子信息工程学院, 西安 710032)

**摘要:** 针对传统 A\* 算法在实际应用中需要所有的节点信息, 算法忽略车身实际宽度的问题, 提出了基于 A\* 算法同时结合使用虚拟力场法的避障导航算法. 该改进算法解决了 A\* 算法在实际应用中存在的问题, 也避免了单独使用虚拟力场法存在的容易陷入局部极小点、在目标点附近有障碍物时无法到达以及摆动剧烈的问题. 仿真实验验证了新算法的有效性, 实验结果表明该算法拓宽了原有算法的使用范围并且提高了无人车实时路径导航的能力.

**关键词:** 无人车; A\* 算法; 虚拟力场法

## Method of Path Planning Based on Virtual Force Field and A\* Algorithm

CHEN Chao-Bo, ZHANG Yu, GAO Song

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** The traditional A\* algorithm requires all the node information and neglects the width of the vehicle in practical application. To solve the problem, we proposed a new algorithm which is based on A\* algorithm and uses VFF method together. When using the new algorithm, problems such as that vehicle falls into local minima and swings violently when there are obstacles near the target can be avoided. The simulation results verify the effectiveness of the new algorithm. The experimental results show that the proposed algorithm widens the use range of the original algorithms and improves the ability of real-time navigation for unmanned vehicles.

**Key words:** unmanned vehicles; A\* algorithm; virtual force field

无人车根据对周围环境的感知情况, 其避障导航可以分为两种: 基于完整环境信息的全局路径导航和基于无人车自身传感器信息的局部避障导航. 前者是基于环境信息完全已知的离线路径规划, 后者是一种通过不断更新传感器信息以探测到无人车周围障碍物的位置、形状和尺寸等信息的避障规划<sup>[1]</sup>.

国内外现在比较常用的全局路径导航算法有两类: 一类是基于图论理论的算法, 如 Dijkstra<sup>[2]</sup>算法、弗洛伊德算法等; 另外一类是基于人工智能理论的算法, 如 A\* 算法<sup>[3]</sup>、遗传算法<sup>[4]</sup>等. Dijkstra、弗洛伊德这一类算法在各个方向上平均搜索, 计算量非常大, 效率低下. 另外一类算法中, 遗传算法的设计比较繁琐, 虽然算法本身有较高的鲁棒性, 但是算法难以保证无

人车对实时性的要求. A\* 算法, 与以上所述的算法相比, 在实时性与鲁棒性都不算最优, 但两项指标都占优势. A\* 算法在每一步寻找最佳路径的时候, 都有效地利用了估价函数中的启发信息, 使得算法的效率与实时性大大提高. 同时, 算法也具有相当的稳定性. A\* 算法在应用中存在的问题是只有在掌握所有环境信息的情况下算法才可以进行规划路径. 针对这一问题文献[5]首先提出了根据现在已知的环境信息使用 A\* 算法, 再利用车身所带传感器获得未知环境信息, 如果检测到有阻止无人车移动的障碍物就重新规划路径. 文献[5]提出的算法功能可以实现, 但效率极低. 文献[6]使用 A\* 算法规划路径, 在遇到障碍物的情况下, 随机选择沿障碍物边缘绕行障碍物移动, 在离开障碍物

<sup>①</sup> 基金项目: 陕西省教育厅自然科学专项(12JK0502)

收稿时间: 2014-01-04; 收到修改稿时间: 2014-03-09

后按原来规划的路线径直向目标点行进. 这种方法不能保证每一次都规划出路径, 并且获得的路径不是最优最短路径. 由此可见, 单独使用全局路径规划并不能获得非常好的避障效果.

国内外在局部避障算法上比较常用的有模糊逻辑算法、虚拟力场法<sup>[7]</sup>等. 模糊逻辑算法是根据环境的实时信息来对避障情况进行模糊推理. 算法的困难之处在于对模糊控制规则库的设计生成需要大量数据支持, 否则规则的制定有很大的盲目性. 同时, 后期也需要根据实际经验对规则库进行不断调试. 虚拟力场法的基本思想是将无人车的运动, 设计成一种抽象的人造引力场中的运动, 目标点对无人车产生“引力”, 障碍物对移动无人车产生“斥力”, 最后通过求合力来控制移动机器人的运动. 应用虚拟力场法规划出来的路径一般是比较平滑并且安全, 实时性好. 算法在数学描述上简洁、美观. 但是这种方法的局限性主要表现在, 即当目标附近有障碍物时, 无人车将永远也到达不了目的地. 因此, 如何利用虚拟力场法才能发挥算法优势, 解除局限性很重要.

### 1 A\* 启发式搜索算法

A\* 算法是一种建立在 Dijkstra 算法基础上快速有效的启发式搜索算法. 相比于 Dijkstra 算法, A\* 算法的优势在于探索下一个节点时引入了已知的路网信息, 特别是目标节点信息, 可以有效减少扩展节点和搜索节点的个数, 使算法效率大大得以提高<sup>[8]</sup>. 通常 A\* 算法只能找到次优解, 但是由于算法的高效性得到了广泛的应用.

A\* 算法采用评价函数  $F(n) = G(n) + H(n)$  来对开启列表中的扩展节点进行选择. 其中  $G(n)$  是状态空间中从初始节点沿着产生的路径到第  $n$  节点的实际代价;  $H(n)$  是从节点  $n$  到目标节点最佳路径的代价估计. 函数  $H(n)$  可以用不同的方法估算, 比较常用的方法是曼哈顿方法. 如果所有路径搜索问题中的节点  $n$ , 存在  $H(n) \leq H^*(n)$  (更为保守的估计), A\* 算法就一定可以通过反复遍历开启列表并且选择具有最低  $F$  值的方格来生成一条最优路径<sup>[9,10]</sup>. A\* 算法示意图如下:

A\* 算法将起点周围的节点加入开启列表, 分别计算由起点到开启列表中当前节点的代价, 移动一格按 10 计算. 再计算当前节点到目标节点的代价, 与之前的代价加总求和. 当开启列表中所有节点遍历结束后,

选择总代价最低的确定为路径的第一步. 依次类推, 以选定的节点做为起点, 继续寻找下一步. 由于 A\* 算法在某一节点的估计值由  $G(n)$  和  $H(n)$  两部分组成, 而这两部分都与环境信息紧密联系. 因此, A\* 算法只有在全局的环境信息已知的情况下才能规划出合适的路径. 如果有事先未知的障碍物出现, 仅凭这一算法很难得到理想的路径规划结果. 另外, 由于 A\* 算法规划路径时是将无人车理想化成了一点, 而真实的车辆都会有一定的宽度, 车辆边缘在有些障碍物环境下可能会发生与障碍物的碰撞, 因此存在使用 A\* 算法规划的路径在实际应用中是无法执行的. 针对以上 A\* 算法应用中存在的问题, 本文后面提出了结合使用全局路径规划 A\* 算法与局部避障算法的改进算法, 从而达到良好的避障导航效果.

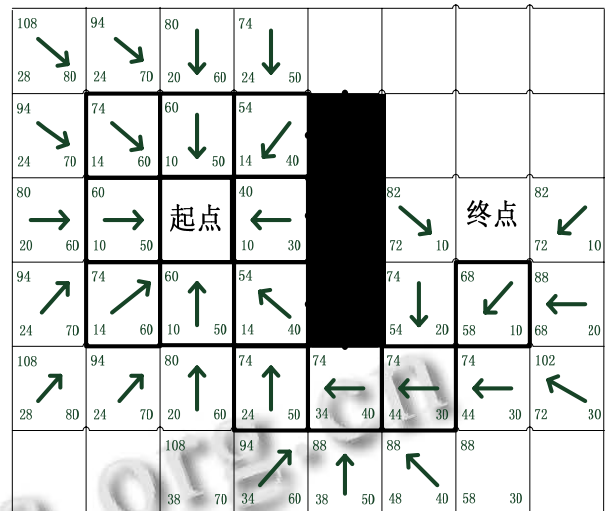


图 1 A\* 算法示意图

### 2 虚拟力场法

在单独使用 A\* 算法规划不出优秀路径的情况下, 我们提出将 A\* 算法这一全局算法与局部避障算法结合使用. 综合考虑无人车车身配备的多个传感器, 我们选取实时性非常好的局部避障算法——虚拟力场法 (Virtual Force Field Method). VFF 算法是使用栅格来表示环境, 同时使用力场法对无人车进行控制的局部避障算法. 算法的基本思想是假想障碍物会对无人车施加一定的排斥力, 目标点对无人车产生一定的虚拟吸引力, 这两个力的合力决定了无人车行进的方向和速度<sup>[11]</sup>. 具体来说, 我们将无人车通过传感器获得的周围环境信息分成若干个单元格, 再综合车身周围若干

超声波、红外传感器的信息获取障碍物的位置和大致形状。每个单元格因为障碍物分布的不同会对无人车产生不同大小的斥力作用。定义  $C_i$  表示单元格中存在障碍物的可信度， $C_i$  值越高表示此单元格中存在障碍物的确定性越大，每个单元格的斥力大小与  $C_i$  成正比，与无人车和障碍物间的距离成反比<sup>[12]</sup>。

虚拟力场法在应用中存在如陷入局部极小值点、在相近障碍物间不易找到路径，容易在障碍物前出现震荡，在狭窄通道中摆动这些问题<sup>[13]</sup>。目前，针对这些问题，已经有提出的改进措施。在 VFF 算法基础上，Borenstein 提出了向量场直方图法 VFH，VFH 算法可以使无人车在多障碍物环境中穿行，不存在摆动问题。但是，VFH 算法将无人车作为一个点来处理，没有考虑宽度、动力学和运动学特性，实际上，路径规划并不成功。随后，Iwan 和 Johann 在 VFH 算法的基础上提出 VFH+ 算法，充分地考虑了无人车的宽度和轨迹，无人车可以逐步转向预定的角度，满足了动力运动学性能要求。但是，VFH+ 作为一种单一的局部算法，仅具备局部避障的特性，当无人车转向角度选择不够优化，在多障碍物的环境下无人车方向容易迷失。虽然 Iwan 和 Johanna 之后又对 VFH+ 算法进行了改进，加入了对无人车位置与周围环境的预测，在几个可能的角度之间进行了优化选择，但是，本质上这仍然是一种局部避障算法，有局部静态环境避障的局限性<sup>[14-16]</sup>。针对 VFF 方法存在的几个问题及其若干改进方法的局限性，本文后面给出了结合全局算法的虚拟力场法改进算法。

### 3 改进算法 A\*VFF

由前文可见，无人车在实际应用中单独使用 A\* 算法或是虚拟力场法的情况下，避障导航方面的效果都不是非常理想的。因此，本文创新性地提出将这两种算法结合起来使用。无人车首先利用全局算法——A\* 算法对路径进行初步全局规划，找到一条较为优化的从起点到目标点的完整路径。当无人车根据车身传感器信息感知到车身已经靠近障碍物时，利用虚拟力场法进行局部避障绕行。局部避障是指在可能的情况下，无人车将自身的车身宽度考虑进去，围绕障碍物刻意绕行，避免碰撞的发生。当无人车行驶中陷入凹陷区域时，或是遇到传统虚拟力场法可能出现的局部极小点，虚拟力场法失效导致无人车无法行进。此时，

A\*VFF 算法设计无人车原路退出凹陷区域，根据原来全局规划的路径行进。

A\*VFF 算法的伪代码如下：

Combination of global and local algorithm:

- L1 Compute the initial optimal path using the Init\_A\* function
- L2 The unmaned vehicle starts to follow the global path information
- L3 While the vehicle moves and the goal is not reached
- L4 Read data from ultrasonic sensors infrared sensors
- L5 If the target is reached, the vehicle stops
- L6 If new obstacles are detected, the vehicle uses the Case\_A\* function
- L7 Read the global path information to get the direction to move.
- L8 If the direction exists, the unarmed vehicle uses this direction to move
- L9 Else, the vehicle calculates the local direction to move
- L10 In case the car is cornered, retreat and follow the global algorithm again

为了验证改进算法的有效性与实时性，在 Matlab 软件环境下编写程序并进行仿真，仿真结果如下图所示。绿色节点代表起点，红色代表终点。

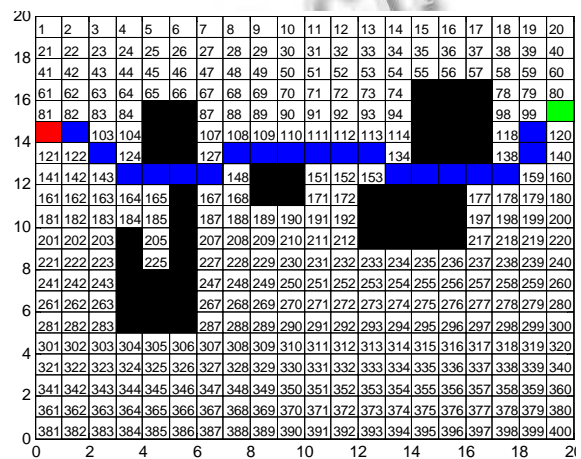


图 2 A\*VFF 算法仿真一

从图 2 当中可以看到，起点设在了最右边的栅格，编号为 100，终点设置在一行之隔的最左侧编号为 101 的栅格。从上到下，从左到右，障碍物共有五处，形状并不规则。利用 A\*VFF 算法规划出来的路径，选择了

穿行障碍物中间的一条路径. 比较明显, 这是一条最短路径.

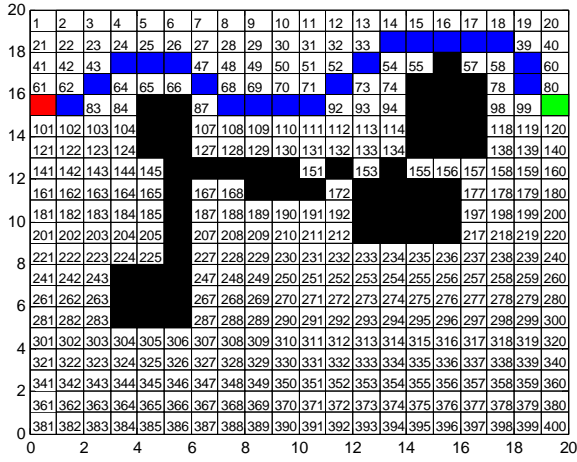


图 3 A\*VFF 算法仿真二

图 3 中, 障碍物分布与图 2 有所不同, 障碍物中间, 已经没有可以通行的路径了. 那么, 从右侧起点到左侧终点, A\*VFF 算法规划出来的路径也发生了改变. 直线距离无法通过的情况下, 选择了通过向上绕行障碍物的方法到达目标点. 同样比较明显地可以看出, 规划出来的路径比较优秀.

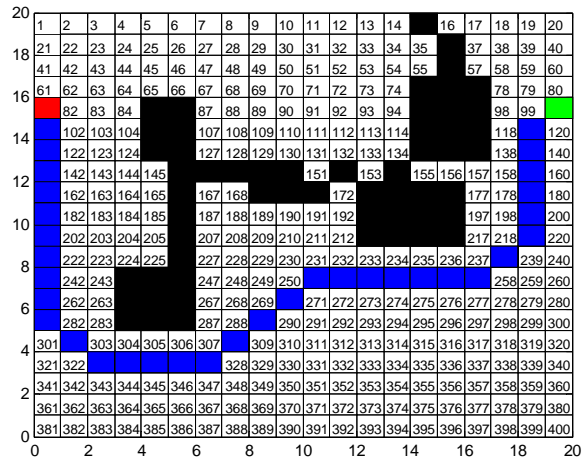


图 4 A\*VFF 算法仿真三

在图 3 的基础上, 我们继续增加障碍物的复杂程度, 现在, 从右到左不论是直线通过, 还是上方绕行都有障碍物堵住了. 运行 A\*VFF 算法, 依然可以规划出一条较为优化的路径, 从下方绕行障碍物, 到达目标点.

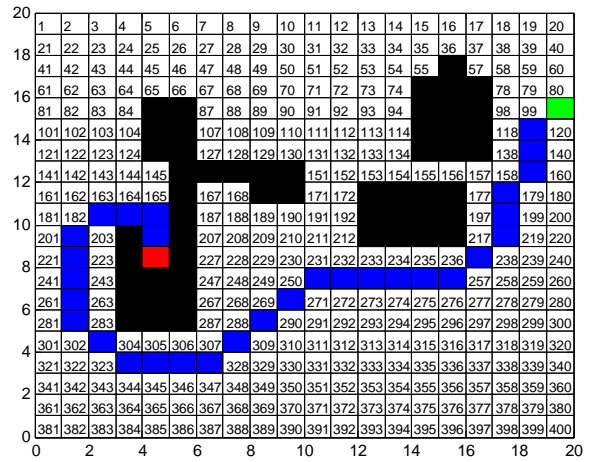


图 5 A\*VFF 算法仿真四

如果我们将起点依然设在右侧, 将终点设在一个障碍物密集的凹陷区域, 那么单独使用虚拟力场法, 程序是无法规划出来路径的. 但是, 利用 A\*VFF 算法, 如图 4 所示, 依然可以规划出路径, 靠近目标点时没有出现震荡、摆动现象.

从几幅仿真图可以看出: 应用 A\*VFF 算法规划, 车辆在靠近障碍物时会有刻意的绕行, 可以避免碰撞; 虚拟力场法自身内在的不足得以避免, 在障碍物前震荡、当目标点附近有障碍物时无法达到目标点的现象不再出现. 在算法效率方面, 改进算法明显优于 Dijkstra 算法.

表 1 算法效率比较表

	算法速度(ms)				
	第 一 次	第 二 次	第 三 次	第 四 次	第 五 次
Dijkstra	5.12	6.98	7.87	7.32	6.27
A*	0.56	1.02	1.32	0.96	0.85
A*VFF	1.38	1.63	2.01	1.01	1.21

总体来说, A\*VFF 算法可以在较为复杂的环境下为无人车规划出一条较优的路线, 遇到密集障碍物时可以沿障碍物绕行, 继而再按照全局规划的路径达到目标点.

## 参 考 文 献

- 1 王荣本,李宾,施树明,李斌.世界智能车辆研究概述.公路交通科技,2001,18(5):13-17.
- 2 鲍培明.距离寻优中 Dijkstra 算法的优化.计算机研究与发展,2001,38(3):307-311.
- 3 Alexopoulos C, Griffin PM. Path planning for a mobile robot. IEEE Trans. on System Man and Cybernetics, 1992, 22(2): 318-322.
- 4 Barbehenn M, Hutchinson S. Efficient search and hierarchical motion planning by dynamically maintaining single-source shortest paths trees. IEEE Trans. Robotics and Automation, 1995,11(2):198-214.
- 5 顾新艳,金世俊.基于 A\*算法的机器人路径规划.科技信息,2007,(34):36-39.
- 6 Goto Y, Stentz A. Mobile Robot Navigation: The CMU System. IEEE Expert, 1987,2(4):44-54.
- 7 Lumelsky VJ, Stepanov A. Dynamic Path Planning for a Mobile Automation with Limited Information on the Environment. IEEE Trans. on Automatic Control, 1986, 31(11):1057-1063.
- 8 Khatib O. Real time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. Int. J Robotics Research, 1986, 5(1): 90-98.
- 9 熊伟,张仁平,等.A\*算法及其在地理信息系统中的应用.计算机系统应用,2007,16(4):14-17.
- 10 王丽.移动机器人路径规划方法研究[学位论文].西安:西北工业大学,2007.
- 11 张建英,刘瞰.基于人工势场法的移动机器人最优路径规划.航空学报,2007,28(增刊):183-188.
- 12 朱毅,张涛,等.未知环境下势场法路径规划的局部极小问题研究.自动化学报,2010,36(8):1122-1130.
- 13 Ulrich I, Borenstein J. VFH+: Reliable obstacle avoidance for fast mobile robots. Proc. of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998, 15: 1572-1577.
- 14 Ulrich I, Borenstein J. VFH\*: Local obstacle avoidance with look-ahead verification. Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2001,4: 2505-2511.
- 15 马兆表,袁曾任.基于栅格方法的移动机器人实时导航和避障.机器人,1996,18(6):344-3481.
- 16 郝向荣.在智能搜索中 A\*算法的应用与研究[学位论文].西安:西安建筑科技大学,2007.