

# 智能轮椅室内导航路径规划算法<sup>①</sup>

徐 彪<sup>1</sup>, 蒋朝阳<sup>2</sup>, 朱健铭<sup>3</sup>, 陈真诚<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 桂林 541004)

<sup>2</sup>(昆明理工大学 现代农业工程学院, 昆明 650500)

<sup>3</sup>(桂林电子科技大学 生命与环境科学学院, 桂林 541004)

**摘 要:** 智能轮椅为丧失行走能力的人提高生活质量和生活自由度. 适用于智能轮椅的路径规划问题是其重要的技术之一. 实际环境中行走的难易程度是有区别的, 对此提出一种新的路径规划算法, 即寻找最优路径的导航方法, 对室内环境进行栅格模型建模, 并利用最邻近关系结合改进的 A\* 算法来规划两个位置之间的最优全局路径, 采用虚拟力场算法实现途中的局部路径规划. 此算法只需要采集用户需要到达目的地的信息, 智能轮椅能自动导航到达目的地, 经实验验证, 该算法运用到智能轮椅室内导航系统中路径得到较好的改善并具有反应快、工作稳定可靠、使用灵活方便和扩展性强等优点.

**关键词:** 智能轮椅; 路径规划; 虚拟力场; A\* 算法

## Path Planning Algorithm for Smart Wheelchair Indoor Navigation

XU Biao<sup>1</sup>, JIANG Zhao-Yang<sup>2</sup>, ZHU Jian-Ming<sup>3</sup>, CHEN Zhen-Cheng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(School of Electronic Engineer and Automatic, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

<sup>2</sup>(Faculty of Modern Agriculture Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

<sup>3</sup>(School of Life and Environmental Sciences, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The smart wheelchair improve the quality of life and give more freedom for people who lose the ability to walk. Path planning for smart wheelchair technology is one of an important Technology. Research method The degree of difficulty walking in the actual environment is difference. A new path planning algorithm for a kind of navigation methods to find the optimal path has been proved. Firstly the grid modeling has been established for indoor environment, and the adjacent relation with the improved A\* algorithm has been used to optimal planning of global path between the two positions, then the virtual force field algorithm can be implemented for the local path planning on the way. Results and Conclusions This algorithm just needs to gather the information where you want to reach, then the smart wheelchair can automatically navigate to the destination. The experiments show that the algorithm is applied to the smart wheelchair indoor navigation system to reach the expectations and has the advantages of quick response, stable performance, easy to use and strong extensibility.

**Key words:** intelligent wheelchair; path planning algorithm; the virtual force field algorithm; A\* algorithm

随着越来越明显的社会老龄化的人口结构现状和趋势以及各种意外造成人们行走能力的丧失成为社会急需解决的问题. 为了提高老年人和残疾人的生活质量和, 最大限度的恢复自身的正常活动, 使他们重新获得生活自理能力并融入社会<sup>[1]</sup>. 智能轮椅的需求是不言

而喻的. 然而我国智能轮椅现状具有智能化程度不高、整个使用过程都需人工控制. 现在已有的路径规划算法有很多. 实现局部导航的人工势场法, 该方法存在局部最小的问题, 在凹形障碍物前该算法极易失效; 实现全局导航的一种智能轮椅的静态路径规划方

① 基金项目: 研究生教育创新计划资助项目(GDYCSZ201429); 国家科技支撑计划(2013BAI03B01); 广西信息科学实验中心项目基金(20130106)

收稿时间: 2014-12-10; 收到修改稿时间: 2015-01-29

法<sup>[3]</sup>, 没有考虑环境的变化, 能以适应动态环境; 采用人机结合的方式, 即在轮椅运行中由人控制运行路径, 如陈真诚等人通过采集用户的脑电信息来判断其运行意图从而达到控制轮椅的目的, 该方法适用于高度瘫痪患者; 中国科学院自动化所设计的多模态交互智能轮椅、嵌入式智能轮椅等<sup>[8]</sup>, 这些算法大致可以分成两类, 在了解环境信息的前提下实现全局路径规划和运用传感器探测周围环境信息的局部路径规划. 其中全局路径规划算法大致有两类: 一类是运用图论理论的算法, 另外一类是运用人工智能理论的算法. 如基于蚁群算法, 神经网络, 人工势场法, 遗传算法导航或是其中一种或几种结合起来构成导航系统等<sup>[2]</sup>. 其中前一类算法计算量非常大, 难以实现. 后一类算法在实时性和鲁棒性难以同时兼顾, 并且该类算法实现起来成本高、实时性不好.

针对以上不足, 设计出适用于智能轮椅的算法, 实现全局路径规划, 当智能轮椅传感器探测到障碍物时采用虚拟力场法实现智能轮椅局部路径规划, 当智能轮椅陷入虚拟力场法不能实现的情况将重新启动全局路径规划算法<sup>[3]</sup>. 整体来说该算法可以在比较复杂的环境下规划出一条适用于智能轮椅的路径. 该算法比较平滑并且安全, 实时性好. 算法在数学描述上简洁、美观. 利用该算法设计了一种导航系统, 该系统只需要采集到用户需要达到的目的地信息即可, 智能轮椅将自主导航实现用户的要求, 主要提高了智能轮椅接收人类的指令并自主动作的执行能力. 采用脑电以及语音控制, 能够更加充分地为用户进行交流和沟通, 用户可以更方便地控制轮椅, 从而减少甚至可以摆脱对他人的依赖, 更自主的实现控制轮椅的目的<sup>[2]</sup>. 在导航过程中尽可能的模拟人类的思维模式, 比如遇到障碍物可以绕过绕行, 实现无障碍的移动.

### 1 系统概述

智能轮椅导航系统主要包括三个部分: 定位系统、导航系统以及人机交互设计. 采用 S5PV210 嵌入式 ARM 微处理器进行数据采集、算法处理、导航命令输出. 人机交互设计包括用户电脑上位机和 Android 手机平台. 人机交互系统上的监控软件将获得智能轮椅采集的数据进行存储, 并通过上位机在绘制的地图上显示位置、路径以及距离等信息. 与此同时下位机也能接收上位机传送来的数据与指令, 从而

控制智能轮椅. 安装在智能轮椅的防意外模块信息如不能及时有效的发送给用户, 后果不堪设想. 为使信息能及时有效的反映给用户监护人, 采用 android 手机能有效解决这一问题<sup>[4]</sup>, 系统总体框图如图 1 所示.

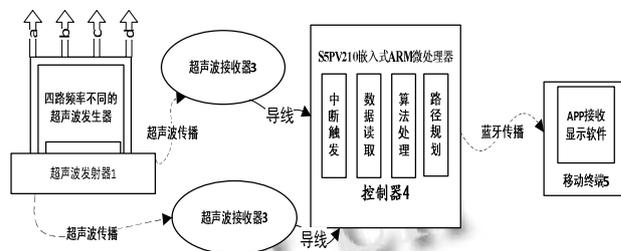


图 1 系统总体框图

### 2 室内环境栅格模型模型建模

对智能轮椅进行路径规划, 具体按照以下步骤实施: 如图 2、3 所示, 将室内三维图进行数学建模, 将路径规划问题转换成数学问题, 当给定目标地时 A\*算法会搜索整个地图, 直到所有可达到的方格都被通过开启列表和关闭列表的计算<sup>[6]</sup>, 浪费了大量的运算时间. 可以通过预先确定这些区域来避免这种情况的发生, 用某些特殊数组记录这些信息, 在开始寻路前屏蔽它. 下面将室内需要导航的区域简称为导航区.

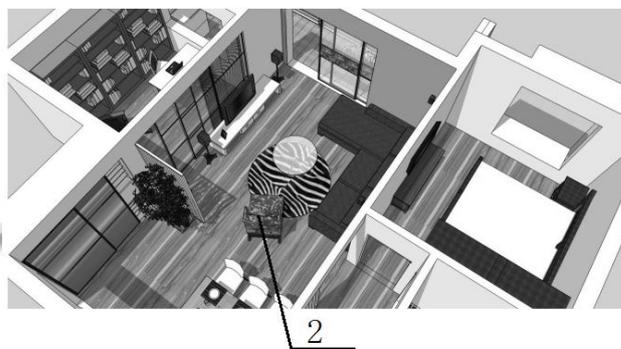


图 2 室内环境信息图

为了简化导航区域, 将其划分成了方形网格, 将室内某些危险地方以及机密地方设为非导航区, 例如将书房设为非导航区, 这是导航的准备工作, 利用这种方法把搜索区域简化成了一个二维数组. 数组的每一个元素是导航区域网格中的一个小方格, 方格被标记为可通行方格(用 0 表示, 图中使用距起始点步数表示)和不可通行方格(用 1 表示). 路径被描述为从起始方格(a[1][3])到目标方格(a[16][16])需要经过的方格的集合. 在导航区域方格化环境下, 为了从起始方格

到达目标方框过程中能避开障碍物并找到最优路径。

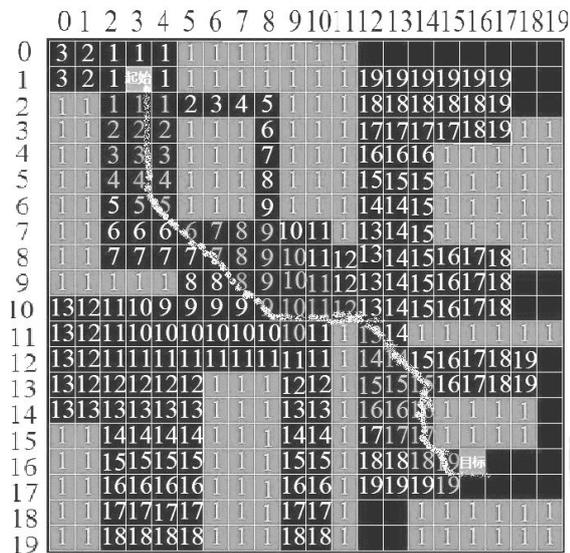


图 3 室内环境栅格建模图

### 3 最优路径规划算法

蚁群算法、遗传算法等有较强的全局搜索能力，但整个过程耗时太长，而且存在局部最优解等缺点，A\*算法理论时间复杂度是很好的，但是也有缺点，它的空间复杂度呈指数级别增长的<sup>[5]</sup>。在此基础上进行改进，其主要原理如下：如图 3 所示，除了起始方格周围之外的标为 1 的数字方格为障碍物，第一步：开始搜索保存起始点到目标点步数以及每步的方格数组，从起始方格开始先计算需要移动一格才能到达的所有方格并保存成数组 X[1]( a[0][2]、a[0][3]、a[0][4]、a[1][2]、a[1][4]、a[2][2]、a[2][3]、a[2][4] )，再计算至少需要移动两个方格才能到达的方格并保存成数组 X[2]，依次进行下去直到 X[n]里包含目标方格为止，如图 3，到达目的地只需要 20 步，20 步以内每步能达到的方格数组。第二步：保存可能最优解的路径数组，从数组 X[n-1]中找与目标方格邻近的方格并保存到数组 M[1](a[16][15]、a[17][15])，再从数组 X[n-2]中找与 M[1]方格邻近的方格并保存 M [2] (a[16][14])，同步保存路径数组，例如由 M[1]、M[2]就可以得到两条路径，N[1](a[16][15]、a[16][14].....)、N[2](a[17][15]、a[16][14].....)，依次进行就得到了若干合适的路径规划数组 N[i](数组 N[i]

一定包含 20 个方格数组)。第三步：初步选择最优路径，由于轮椅转向速度会变慢、运行稳定性也变差，所以必须要考虑使轮椅在运行过程中尽量少转向，通过计算数组下标就可以计算出每条路径转向次数，选择出转向最少的那条路径数组，比如轮椅现在运行 12 步方格 a[10][11]，12 步方格前一格为 a[10][10]，后一格为 a[11][12]方格数组下标变化趋势不一致，判断在这里有一个转向，如果变化趋势一致则不存在转向。第四步：设置难度系数并求出最优路径，实际环境中，轮椅行走的路况有好与不好的情况，而且移动过程中水平或者垂直方向比对角线方向路径短也需要考虑，所以对每一步运行到下一格设置一个参数，用来表示从这一方格到下一方格难易程度，暂时简称为难度系数，令正常方格水平或者垂直移动时难度系数为 1，对角线方向难度系数为 1.41，如图 3，轮椅有一定的宽度，一个方格勉强能通过，但难度很大需要减慢速度，所以这样的方格难度系数定位 2，还有其他特殊情况都可以在这里添加难度系数，使路径规划的时候适当避开这些方格，然后在已选路径中计算每条路径的难度系数和，选择出难度系数最少的路径数组便是最优路径，最终规划出最佳路径，智能轮椅便会采取该条路径实行自导航行驶到达目的地。室内导航还有一个特点，从一个房间到另一个房间必须要经过门，所以将门口这个数组元素设为必经路径可以大大的减少时间复杂度和空间复杂度。从理论上分析该算法的可行性，从起点方格开始，依次下一方格运行，直到找到目标地方格或者不存在通路，因为一个方格只要第一次被访问，即获得了从起点方格到该方格的最短路径，一个格只需要更新一次路径信息，所以从起点到目标的路长不会超过方格总数  $n^2$ ，可以得知该算法必在有限步数内停止，算法是可行。

在规划好的全局路径中可能存在变动的障碍物，而且由于非静摩擦运动等可能会造成轮椅在行进过程中未能按照设定的理想路径运动，实际运行路径与设定路径之间会存在一定的偏差，故在此就需要利用红外传感器实时地检测运行过程中轮椅与周边障碍物之间的距离，当两者之间的距离已过了警戒范围后，就必须采取自动避障措施，对轮椅接下来的运行路径进行局部规划以保证轮椅的无碰行驶<sup>[6]</sup>。在此涉及到的主要避障思路如图 4。

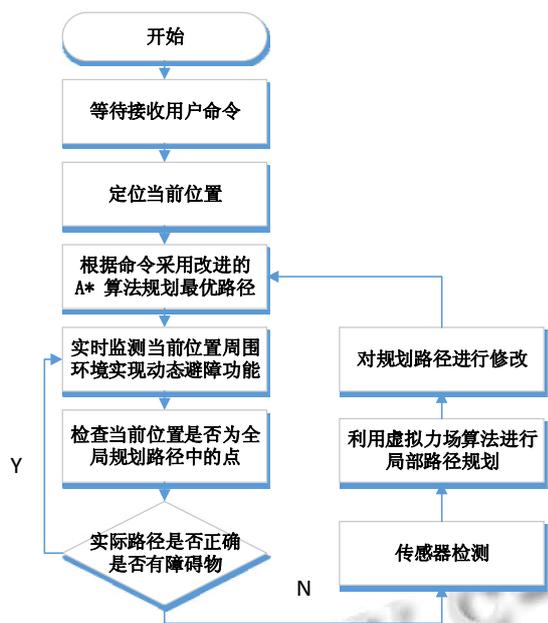


图 4 算法流程图

轮椅运行过程中，实时监测传感器检测信息。一旦存在障碍物就应用虚拟力场算法进行的局部路径规划<sup>[7]</sup>。采取避障处理后继续监测，若没有障碍物信息则直行，否则执行上一步。下图为智能轮椅 PC 机控制终端。

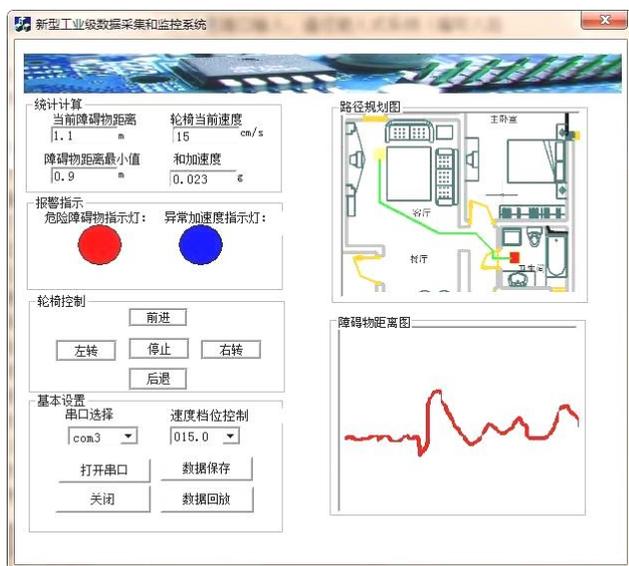


图 5 PC 机控制终端

### 4 算法分析

用户只需要给出目的地命令，控制器自行定位，路径规划并实现导航。比如用户在客厅看电视，需要

去洗手间，用户在手机软件上点击需要去的目的地。轮椅识别目的地方格、定位初始方格，根据初始方格和目标方格规划出最优路径，最后轮椅按照这条路径将用户送达目的地。如图 3 所示，考虑到轮椅的特点，该路径是实现了转向尽量少、路径尽量短的最优路径。该算法还提供多种模式选择，如设置过道的难度系数，设置转向最优路径还是路程最优路径等。不难看出改进的 A\* 算法量化环境中路径的难易程度，当智能轮椅所处环境比较复杂，障碍物多且不规则时，该算法也能快速准确地对智能轮椅的运动轨迹进行合理地规划。

表 1 各种算法性能对比

算法	轮椅运行时间(s)	路径综合难度系数	转弯次数
蚁群算法	60.9	191.4	12
A*算法	51.1	165.8	11
改进算法 1	38.6	100.4	6
改进算法 2	40.5	97.4	6
改进算法 3	37.7	80.8	5

该算法有以下几个优点，(1) 该算法的方格计算范围可以扩展到 1000×1000，完善补充了遗传算法求解范围小的不足，(2) 该算法求解时间快，适用于智能轮椅这样的实时系统。(3) 该算法对环境复杂性不敏感，可以迅速得到最优解，并具有可扩展性，应用广泛。

为验证此算法的性能，在 MATLAB 上进行仿真测试，改进后的路径规划算法表现出较强的优越性，尤其在转弯次数和路径质量方面(与周围环境有关)。仿真结果表明改进后的算法在降低转弯次数和运算时间方面有显著提高，从而证明了此算法的有效性和可行性。

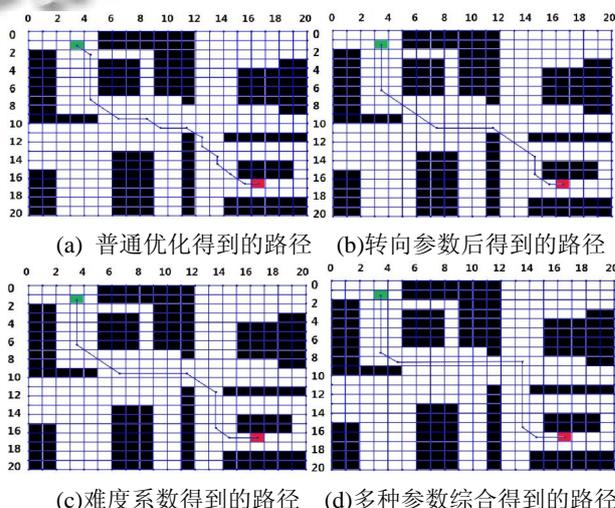


图 6 20X20 各种优化措施后路径对比

## 5 结 论

导航也能基本实现,实时性很好,命令发出系统很快就规划出最优路径,在运行过程中也会遇到图中表示是可行区域的障碍区,在此尽可能的模拟人类的思维模式,将根据左右障碍物探测传感器来决定从左边绕行还是从右边绕行,取得了很好的导航效果。

室内定位导航技术研究日趋成熟,然而大部分技术不能针对轮椅的特殊情况,轮椅作为特殊的服务机器人要求平稳、安全、智能<sup>[8]</sup>。针对上述问题,提出的一些改进算法,考虑了轮椅转向不便以及导航区中的危险区域,都用数学定量分析其特点,规划出一条最优路径而不是最短路径,该算法在智能轮椅中进行了实验与验证,且具有较高的精度和效率。为将来其他定位导航领域研究打下基础。此系统不仅可以应用于智能轮椅中,而且在军事和民用领域的目标跟踪方面有非常重要的研究与应用价值<sup>[9]</sup>,具有很大的市场潜力。将来随着人类文明的不断进步,人们对生活质量要求的提高,对定位与导航要求也会越来越严格<sup>[10]</sup>,所以研究路径规划问题具有长远的意义。

### 参 考 文 献

- 1 贾文川.四足机器人脑机协作导航与规划[博士学位论文].武汉:华中科技大学,2011.
- 2 Sina D, Syn S, Julianne U, Andreas H, Wolfgang S, et al. Navigation within buildings: Novel movement detection algorithms supporting people with visual impairments. Research in Developmental Disabilities, 2014, 9(35): 26–34.
- 3 董晓倩.一种智能轮椅的静态路径规划方法.教育部中南地区高等学校电子电气基础课教学研究会第二十届学术年会会议论文集(下册),郑州:2010:642–645.
- 4 Hector BM, Carlos S, Youcef M, Jean-Bernard H, et al. Visual navigation of wheeled mobile robots using direct feedback of a geometric constraint. Autonomous Robot, 2014, 2(37): 137–156.
- 5 徐彪,朱健铭,蒋朝阳,等.通用型工业级数据采集和监控系统设计.计算机测量与控制,2014,22(10):3192–3195.
- 6 Zou JM, Kusyk J, Uyar MU, Gundry S, Sahin CS. Bio-inspired and voronoi-based algorithms for self-positioning autonomous mobile nodes. IEEE Military Communications Conference. 2014. 6–12.
- 7 杨剑峰.蚁群算法及其应用研究[博士学位论文].杭州:浙江大学,2007.
- 8 鲁涛,原魁,朱海兵.智能轮椅研究现状及发展趋势.机器人技术与应用,2008,2:1523–1535.
- 9 Ghazaleh P, Magnus J. Vision-aided inertial navigation based on ground plane feature detection. IEEE-ASME Transactions Mechatronics, 2014, 4(19): 1206–1215.
- 10 张鑫.基于嵌入式定位系统的研究[硕士学位论文].西安:西安科技大学,2011.
- 11 Kosei D, Yuichi K. A navigation method using the mutual feedback of waypoints and self-positions. Advanced Robotic, 2012, 14(26): 1677–1691.