自从 1959 年恩格尔伯格发明了第一台机器人并用于生产之后，机器人这一新事物就逐渐成为科研人员研究的焦点。随着科学技术以及新兴技术在人工智能领域不断发展，机器人的相关开发成为其中的一个小分支。多类型的机器人出现在科学行业中，如类人机器人、移动机器人、水下机器人等。目前相关领域研究者的研究集于陆地移动机器人方面，该研究被细分为 3 个方面：构建地图的机器人环境、路径规划以及机器人寻路导航。20 世纪 60 年代末，斯坦福研究院研制了自主移动机器人，提出了路径规划问题是移动机器人的关键问题。移动机器人路径规划是指根据某种优化标准（劳作代价小、路径最少、耗时最短），在机器人的工作空间中探求一条从起始位置到目的位置的无碰撞最优，也可能是次优路径。现今路径规划算法主要分为传统路径规划算法和智能路径规划算法 2 大类。He 等针对路径规划问题，提出了栅格法用于解决机器人路径规划问题，此方法对机器人的运行环境进行了栅格表示，简化了规划工作。Sariff 等针对未知环境的路径规划问题，提出了人工势场法用于移动机器人路径规划，虽然收敛速度快，但存在死锁现象。马丽莎提出了一种用矩形表示不规则障碍物的可视图法，简化了路径规划中构建环境地图的工作。文献[6]提出将路径规划中的路段描述成一系列中途点，能够根据规划要求完成解空间的搜索，输出最优个体，但是存在算法编码较长的问题，导致收敛速度慢，计算量大。Ammar 等针对移动机器人在已知环境中的路径规划问题，提出了一种松弛 Dijkstra 算法，但是其结果中存在多余的路径折损，有时出现较大误差。经典的 Dijkstra 算法使用在机器人自主构思路径中所产生的路径，存在少许冗杂的点，在很多情况下整个运算过程运算次数过多且容易陷入局部最优解，所以导致整个寻路过程会走很多弯路。因此，为了将Dijkstra 算法能够应用于机器人路径规划且获得较好的规划效果，对 Dijkstra 算法进行改进十分必要。本文将蚁群算法中信息素的计算方法引入原 Dijkstra 算法中，完成算法优化。

移动机器人技术需要很多学科相融合，是很多种专业技术结合在一块的结晶。首先，应用什么移动方式是移动机器人首要考虑的问题，这里按照其驱动特性的不同分为：全向或者是差分驱动移动机器人，当然，也能按照腿式、履带式、轮式或水下推进式进行不同的选择划分。移动机器人需要多系统智能协作控制，移动机器人的自我定位的方式有很多，常见的有激光定位、卫星定位（GPS）等等，导航往往和定位是密不可分的。所以移动机器人的研究延伸到了不同的学科专业，产生了很多具有挑战性的科学理论和工程技术难题，也引起了很多科研工作者的关注和研究。1970 年前后，为了探索目前技术成果在移动机器人身上的应用，位于斯坦福研究所的 Nils Nilssen和 Charles Rosen 作出了很多研究工作，Shakey 移动机器人就是他们的杰作。这个移动机器人有着非常稳定的寻路系统，还兼有开发其他模块的扩展功能。 Shakey 是一种模型，为了移动机器人而研发，目前也进行了多次技术迭代。General Electric Quadruped和其他公司也开发了可以在未知环境中工作的步行机器人。1970 年代末期，美国 Unimation 公司开发了一种 PUMA，该 PUMA 在工业上得到了广泛应用，说明早期的机器人技术已经非常成熟，应用在工厂中很多领域，也许许多细小之处就有他们的身影。在 21 世纪初，汽车的自动驾驶成为了新的课题。 可能是不满足于研究简单的微小机器人，由斯坦福大学（Stanford University）创建的斯坦利（Stanley）无人驾驶汽车成为第一个参加并且完成了 DARPA 挑战赛。 这是当局国防部高级研究计划局在 21 世纪初发起的机器人挑战赛，对机器人有着很多严苛的挑战，要在短时间内穿越整个沙漠。微软在 20 世纪初期，经过几年艰苦专研开发出了Microsoft Robotics Studio。这个软件促进了移动机器人的常用的模块在软件实验平台上的应用。微软首席执行官在当时发表声明说，家用机器人或将会成为未来的发展趋势之一。2013 年，波士顿动力公司研发的‘阿特拉斯’研发成功，而后交付给了美军。“阿特拉斯”的问世使得它可以模仿人在危险的工作环境中进行救援工作

20 世纪 60 年代，美国工程师 Joseph F·Engelberger 制造了世界上第一台工业机器人 UNIMATION[1]，其本人因此被赞誉为“机器人之父”。自此机器人得到了飞速发展，被广泛应用于生产制造、医疗服务、教育娱乐、侦测勘探、交通物流等多个方面，逐渐在人类的日常生活中起着不可替代的作用。机器人科研人员根据用途将机器人分为工业机器人和特种机器人两大类，其中工业机器人是指面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，它通过实时操作或者预先编排程序执行工作；特种机器人区别于工业机器人，如服务人类和满足特定需求的智能机器人[2]，其具体又可以分为包括应用于农业、医用、娱乐和服务等领域的民用类机器人以及包括应用于侦查、排雷、水下作战、空中作战的无人机和预警等领域的专业军用类机器人。机器人是集计算机、控制决策、机械设计、人工智能等多学科交叉研究的综合智能系统。20 世纪欧美发达国家微电子技术的迅猛发展为现代机器人的发展提供了广阔的土壤。1968 年美国科学家 Nilssen 和 Charles Rosen 等人研制了能自主感知、环境建模、行为规划并完成任务的移动机器人(如图 1-1所示)“Shakey”[3]。之后几十年，移动机器人产业得到迅猛发展，日本 SONY公司相继研发了如图 1-2 所示的智能机器人“QRIO”和如图 1-3 所示的“AIBO”。国内的移动机器人技术研究虽然起步较晚，但随着上世纪 80 年代国家“863”计划的实施和借鉴国外研究成果，国内移动机器人研究取得了丰硕的成果[4]。2013 年 12 月 15 日，我国完全自主研发的月球车“玉兔号”(如图 1-4 所示)成功登月实现了中国人民千百年来的登月梦，这一里程碑事件标志着我国移动机器人科学技术水平达到了世界最顶尖行列。2015 年，习近平总书记在北京举行的世界机器人大会上作出了机器人科技是不断融合信息化和工业化的智能产业，正以前所未有的力量驱动社会经济发展，正成为现时代科技创新的重要标志的总结陈词。可预见在未来机器人技术将一直是我国研究的重点领域。

路径规划是移动机器人人工智能的研究热点之一，是机器人实现自主导

航和执行各种特定任务的基础。路径规划[5]是指移动机器人在给定的起始位

置和目标位置，两点间障碍物和可通行区域已知或者未完全可知的环境下，

自主规划一条满足从起始位置到目标位置路径距离最短或者移动代价最小

的安全可通行无碰撞路径。

移动机器人的路径规划根据机器人实际工作环境不同分为全局路径规划和局部路径规划两类：

(1) 全局路径规划类似于静态路径规划，移动机器人在障碍物信息完全已知的前提下，规划从起始位置到目标位置的安全可通行路径。移动机器人全局路径规划主要有以下三个步骤：

首先是环境建模，环境建模是指将机器人的实际工作环境通过一定方法建立成路径算法可以处理的计算机数据模型；其次是路径搜索，路径搜索是路径规划的核心问题，是指路径规划算法作用于相应的环境模型中，寻找符合性能要求的路径最优解；最后是路径平滑，路径平滑处理是路径规划的后处理阶段，减少和消除路径最优解中存在的不满足移动机器人实际移动安全性、可靠性要求因素。

(2) 局部路径规划相对于全局路径规划更侧重路径规划的实时性要求，机器人工作环境信息未完全可知，在未知或动态的环境中由机器人本身传感器采集并实时更新当前环境和障碍物信息，进而规划出符合要求的局部实时路径。移动机器人路径规划问题是典型的 NP-Hard(非确定性多项式困难)问题，其研究的核心是解决以下三个问题：

(1) 机器人从起始位置节点到目标位置节点移动的实现；

(2) 机器人经过必须要经过的点且避开周围障碍物；

(3) 使机器人规划得到的路径性能最优。

基于移动机器人路径规划中的上述核心问题，国内外研究人员进行了大量的研究和不断的探索。1959 年 Dijkstra[9]提出 Dijkstra 算法解决图论搜索中的最短路径问题；1968 年 Hart 等人[10]提出启发式智能算法 A\*算法求解最优路径问题；1975 年 Holland[11]提出了模拟生物进化论搜索最优解的遗传算法(GA)解决典型 NP-Hard 式的路径规划问题；1979 年 Lozano-Perez 和 Wesly[12]提出图形学路径算法可视图法(V-graph)；1983 年 Kirkpatrick[13]提出解决包括旅行商路径最优组合优化问题的模拟退火算法(SAA)；1986 年 Khatib[14]提出人工势场法(APF)解决路径规划问题；1992 年 Dorigo[15]根据仿生蚂蚁觅食中寻找路径的行为提出蚁群算法(ACO)；1995 年 Eberhard[16]提出粒子群优化算法(PSO)求解随机车辆路径问题；1996 年 Overmars 等人[17]提出了有效解决高维度空间和复杂约束中路径规划问题的随机路径图法 (PRM)； 1998 年Lavalle[18]提出快速随机树算法(RRT)。以上算法及其改进算法应用于解决路径规划问题均取得了显著成果。A\*算法是经典的启发式搜索算法[19]，其借鉴吸收了图的遍历搜索思想和Dijkstra 算法的优点，引入了启发信息引导算法选择下一步访问扩展的节点，并充分利用已知路网环境信息，具有简单高效、可操作性强、搜索速度快、准确性高和适用性高的特点，故在路径规划问题中被广泛运用。因此本文选择 A\*算法作为研究路径规划问题的基础算法，并针对 A\*算法存在的不足提出相应的改进方法。

本论文研究机器人的路径规划算法问题，要求了解机器人的工作机理，建立机器人的控制模型，设计相应的路径规划算法，实现机器人的路径规划。通过软件视图仿真和机器人运行试验来验证路径规划算法的有效性，具体研究内容为：

了解机器人的工作机理

分析并且建立机器人的控制模型

设计符合实际场景应用要求的机器人路径规划算法

将设计的算法在软件仿真和实际机器人平台上验证

理论基础：

1. 机器人的运动特性和动态特性的分析方法
2. 机器人的运动模型和控制模型的建立
3. 路径规划算法的设计和比较方法
4. C语言仿真及实际实现方法

研究方法：

基于现有的全局路径规划算法的基础上，比较诸如A-Star、D-Star、Dijistra等算法的优劣性和适用性，并且选取一种最优的路径规划算法，进行改进型的设计，通过C语言仿真和机器人实物实验的验证手段，得到最优的规划路径，从而实现机器人路径规划的最优解。

研究步骤：

1. 通过查阅相关文献学习机器人控制的相关知识（如特点、用途、控制思路）及其最新发展，基于专业知识深入进行分析，提出问题的解决思路和方法；
2. 对现有的机器人路径规划算法进行学习，分析不同算法各自的优劣性和适用场景，结合专业所学知识，设计面向平滑路径的机器人路径规划算法
3. 通过软件仿真对所设计的路径规划算法进行优化；
4. 将所设计的路径规划算法在实际机器人平台上进行试验验证
5. 在设计过程中，分析所做设计工作工程背景及对于社会、环境的影响，并说明其带来的问题及解决办法。

预期成果：

1. 针对机器人的运动特性和动态特性进行理论分析，了解影响机器人的运动轨迹的因素，建立机器人的运动模型和控制模型。
2. 掌握机器人路径规划算法的设计方法，并将其应用到机器人的运动轨迹控制当中去。
3. 通过实验平台对所设计的算法进行验证。

整理资料、仿真数据和机器人测试数据，进行论文的撰写、修改并最后完成。

机器人与人工相比，具有便于制造、便于维护、高精度、利于反复执行重复性的工作等优点，同时因为机器人本身的特性，可以替代人工去做一些较为危险或惊喜的工作。

随着电子技术和人工智能技术的发展，机器人技术得到了快速发展。目前，机器人相关的技术已经被广泛的应用在了我们生活当中。小到我们生活中的扫地机器人，大到现在的无人驾驶技术，其中无不存在着机器人技术的相关影子。相对应的，机器人的路径规划算法由此也显得越来越重要，尤其是近来火热的无人驾驶汽车，大多都采用了机器人的路径规划相关设计思路，对于路径规划算法的研究和优化在未来显得越来越重要，合适的路径规划算法可以极大地降低成本，提高效益，实现节能减排的效果，对社会的发展意义极大，有着不可替代的作用。随着对机器人路径规划算法的不断优化和改进，机器人在生活中的应用场景会越来越广泛，所能带来的效益也会越来越好。

各阶段内容：

学习机器人的控制模型，了解机器人平台的工作机理，分析设计任务，日出问题解决思路和方法

学习机器人路径规划算法，比较不同算法之间的优劣性，设计一种可以实现的路径规划算法，进行仿真并优化

将所设计的算法在机器人平台上进行试验验证

可视图法[3]在路径规划中应用的比较广泛，原因是其比较容易实现，但算法灵活性较差，随着研究的深入，基本的可视图法已经不能很好的解决实际中的一些复杂问题。文献[4]使用切线图法对环境进行可视图建模，其次使用目标导向函数求解通路径，然后应用遗传算法对通路径优化迭代。文献[5]将可视图和 A\*搜索算法相结合，提出了新的路径规划算法--Lambda\*搜索算法。栅格法是由 HOWDEN W E 在 1968 年提出的，容易实现并且使环境信息更加直观，但时空开销和求解精度存在矛盾。文献[6]提出了基于扇形栅格地图路径规划算法，将机器人所处环境划分为扇形栅格地图进行近似路径搜索，同时引入环道环区，缩短了算法运行时间，提高了实用性。人工势场法规划出的路径比较平滑，但容易陷入局部最优，以及出现目标不可达的情况。文献[7]针对传统人工势场法陷入局部极小值点问题，在搜索的过程中加入了随机逃走等策略。文献[8]针对目标不可达问题，在障碍物的斥力势场函数中加入最小安全距离，并且提出了改进人工势场法和栅格法相结合的方法来弥补人工势场法的不足。模糊算法有长处是在比较复杂的情况下能较好的解决问题，缺点是系统运行时模糊规则库没有办法改动。文献[9]提出一种基于模糊算法的路径规划策略，对障碍信息以及目标信息模糊化进行模糊化处理，奖励相应的模糊规则实现避障。遗传算法很大程度上避免了陷入局部最优，但是算法实时性较差。文献[10]提出了一种改进突变算法，同时检查自由节点和邻近的突变节点。文献[11]提出了一种改进的遗传算法，为了节省存储空间采用了一维编码的编码方式，并且对交叉算子和变异算子进行了重新定义。蚁群算法因其并行性、鲁棒性、易于与其他算法相结合的优点[12]，广泛应用于移动机器人路径规划问题，但基本的蚁群算法存在收敛速度慢、效率较低、容易陷入局部最优等缺点[13]。文献[14]加入了精英蚂蚁策略，引入视觉探视功能减少蚂蚁探索的步数。文献[15]提出了两组侦查蚁和一组觅食蚁相互协作的路径规划新方法。文献[16]提出蚁群算法与模糊控制相结合的方法，虽然能解决路径规划问题，但该方法比较复杂，较难掌握。文献[17]提出根据目标点自适应调整启发函数，信息素更新时参考狼群分配原则，并且引入了粒子群算法对蚁群算法的参数进行改进，优化了蚁群算法的性能。人工蜂群算法因其收敛速度快、控制参数少等优点，提出不久就应用到机器人路径规划中。文献[18]把机器人路径规划问题转换为求函数最优值问题，然后采用人工蜂群算法规划处路径。文献[19]采用八叉树建模，加入了群体自适应策略，对人工蜂群算法进行改进。文献[20]引入了精英保留策略和自适应搜索方法，提高了人工蜂群算法的效率。神经网络是人工智能的重要内容，在机器人路径规划中也得到了广泛应用，但它容易陷入死循环。文献[21]提出将神经网络和地图构建结合的全覆盖路径规划方法（CCPP）。文献[22]提出将 Hopfield 神经网络应用到优化路径距离的问题中。

随着研究的深入，很多学者在机器人路径规划方面已经取得了许多成果，同时也存在很多问题。由于环境的不确定性和未知性，给机器人路径规划带来了很多困难。在现实情况下，需要不断地探索从而找到一种系统的方法来应对各种可能出现的问题，近年来这方面研究中存在的主要问题如下：

（1）当机器人所处的环境比较简单时，能够满足需求，但是面对一些复杂情况，搜索的效率和准确性可能不高。当机器人的数量增多时，其相对应的目标点数量也相应增多，增大了寻找最优路径的难度。

（2）用来解决路径规划问题的大多数算法都存在缺陷，如搜索效率低、收敛速度慢、适应性差、容易陷入局部最优等，尽管许多学者已经进行了很多这方面的研究，但是不断寻求更好的解决方法一直是大家的追求，如何改进已有算法使其能够更好的解决机器人路径规划问题依然是研究的热点。

（3）环境空间的表示方法不同，对路径规划的优化程度会造成影响。以栅格法为例，若栅格数量过少，环境信息表示不准确；若栅格数量过多，会占用大量内存。在环境建模时需要根据情况选取最优的参数。

（4）在进行多机器人路径规划时，机器人间的协调避碰以及实时通讯问题还有待进一步的研究。随着各个机器人的位置以及周围的环境信息的变化，增加了许多不确定因素，很难获得一个相对通用的解决办法。

本文针对目前存在的问题，在已有算法的基础上进行改进，进一步研究从单机器

人到多机器人的路径规划问题。本文的算法能够较好的解决算法缺陷，提高算效率，改善路径规划的性能。

根据机器人对周围环境的掌握能力不同，可以将路径规划技术划分为全局路径和局部路径规划两大类，第一类是在对周围环境信息已经验证的基础上对移动机器人的路径进行规划；第二类是基于传感器信息的基础上对机器人的路径进行规划。现如今，全局路径规划主要方法有 ：可视图法、自由空间法、栅格法、拓扑法、神经网络法等。局部路径规划包括人工势场法、模糊逻辑算法、神经网络法、遗传算法等。

王田苗, 陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014, 50(9):1-13.

谭民, 王硕. 机器人技术研究进展[J]. 自动化学报, 2013, 39(7):963-972.

Nilsson N J.A mobile automation: an application of artificial intelligencetechniques[C]// International Joint Conference on Artificial Intelligence.Morgan Kaufmann Publishers Inc. 1969:509-520.

熊有伦. 机器人技术基础[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1999.