

---

**基于 Android 系统的智能导航小车设计**

**An Intelligent Navigation Design Based on  
Android System**

领 域：控制科学与工程

作者姓名：王烨

指导教师：薛俊韬 副教授

企业导师：朱昕炤 高工

天津大学电气与自动化工程学院

二零一三年十一月

---

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：

签字日期：

年

月

日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

年

月

日

签字日期：

年

月

日

# 摘要

智能移动机器人的主要作用是利用机器人的特性完成人类不易完成的工作，目前智能机器人除了用于探索未知区域，帮助人类执行危险任务以外，越来越多的民用机器人已经出现在我们的日常生活中。

目标识别、路径规划，障碍物识别作为移动机器人研究的难点与热点，一直受到广泛的关注。本文使用新型的 Android 智能手机作为智能小车控制核心，搭建移动小车控制平台，通过蓝牙协议和 WIFI 协议进行无线通信，实现了小车间最短时间无碰的行驶至目标地点的控制目标。系统设计分为智能小车系统设计，手机系统设计和 PC 软件设计三部分。

论文讨论了如何使用手机摄像头作为传感器分析环境参数，如何根据视觉测距获取环境地图等问题，并使用图像融合技术将地图与摄像头采集图像融合，指导小车运动。

随着摄像头设备的普及，作为新兴的非接触式测距方式，视觉测距具有十分广泛的应用前景。本文根据设计特性提出了一种基于地面的单目视觉测距算法，能够较好的满足设计需求。实验结果验证了本文提出的测距算法的可靠性，结果比较令人满意。

论文对多种路径规划算法进行比较分析，并设计实现了蚁群算法的改进算法。采用本文提出的改进算法求解最短路径，可加快算法执行速度，输出更适合小车行驶的折线路径。

最后，论文通过实验验证设计的执行效果，实验证明论文中各项研究数据基本正确，可以获得较满意的结果。

**关键词：** 智能小车 Android 系统 无线通信协议 视觉测距 蚁群系统

# ABSTRACT

As a part of artificial intelligent, the Robot has been studied in the field of traffic, industry, and military. Except of being used to explore outer space or to execute a dangerous mission, more and more Robots have been produced for civil use.

Target recognition, path planning, obstacle recognition are the top three issues in robotics research, which have been widespread concerned. Paper used the new Android smart phone as the control center, designed a smart mobile car with using Bluetooth and wifi wireless communication to transform messages. The main task is controlling the car to move to the target in shortest time without touching any possible obstacle. System can be divided into three parts: smart car hardware design, system design on smart phone and software design on PC.

Paper discussed how to transform the camera on phone to an environmental sensor. The environmental map was built on the data acquired by visual ranging module. The camera picture was combined with the map via image fusion for the purpose of navigation.

With the popularity of camera equipment, as a new non-contact distance measurement mode, the application prospects of visual ranging is very bright. Paper presented a new algorithm on monocular vision ranging, which is called ground-based vision ranging. Experimental results demonstrate that the proposed ranging algorithm has high reliability, the results were satisfactory.

After comparing variety of path planning algorithm, the Ant Colony algorithm had been chosen for path planning and some improvement had been applied on the Ant System. Using the proposed algorithm for solving the shortest path problem can speed up the execution; the output is more suitable for car traveling line paths.

Finally, the paper verified by experiments performed design effect, the experiment proved the basic thesis of the research data is correct, you can get satisfactory results.

**KEY WORDS:** Android system, Vision Ranging, Ant System, Intelligent Navigation

# 目 录

第一章 发展历史与发展现状 .....	1
1.1 引言 .....	1
1.1.1 智能手机的发展 .....	1
1.1.2 路径规划发展现状 .....	2
1.1.3 视觉测距发展现状 .....	3
1.1.4 基于智能手机系统研究的优势与前景 .....	4
1.2 本文主要工作 .....	5
1.3 本文组织结构 .....	5
第二章 智能小车系统设计 .....	6
2.1 控制系统设计 .....	6
2.1.1 控制系统分析 .....	6
2.1.2 控制体系结构 .....	7
2.2 硬件设计 .....	8
2.2.1 智能小车简介 .....	8
2.2.2 硬件电路设计 .....	8
2.3 手机软件设计 .....	10
2.3.1 无线通讯协议 .....	10
2.3.2 程序界面 .....	11
2.3.3 软件设计框图 .....	12
2.4 PC 软件设计 .....	14
2.4.1 软件设计框图 .....	14
2.4.2 程序界面 .....	16
2.4.3 目标提取模块 .....	16
2.4.4 摄像头标定模块 .....	17
2.4.5 算法简介 .....	17
2.5 本章小结 .....	17
第三章 视觉测距算法研究 .....	19
3.1 视觉测距算法举例 .....	19

3.2 视觉测距原理分析 .....	20
3.2.1 摄像头成像原理.....	20
3.2.2 参考物的选择.....	21
3.2.3 本文视觉测距原理.....	22
3.3 摄像机标定.....	24
3.4 地面识别.....	25
3.5 实验测试结果.....	26
3.6 本章小结.....	26
第四章 路径规划 .....	28
4.1 路径规划研究现状 .....	28
4.2 路径规划总体设计 .....	29
4.3 虚拟地图.....	31
4.3.1 地图在路径规划中的作用 .....	31
4.3.2 绝对坐标地图与相对坐标地图.....	31
4.3.3 地图与实时图像信息融合 .....	32
4.4 目标识别.....	33
4.4.1 Mean-Shift 算法 .....	33
4.4.2 提取目标与获取目标 .....	34
4.5 路径规划.....	35
4.5.1 蚁群算法 .....	35
4.5.2 本文所做的改进.....	36
4.6 本章小结.....	39
第五章 实验结果 .....	40
5.1 整体运行测试.....	40
5.2 结果分析.....	42
第六章 总结与展望 .....	43
6.1 系统总结.....	43
6.2 系统展望.....	44
参考文献.....	45
发表论文和参加科研情况说明 .....	47
致    谢.....	48

## 第一章 发展历史与发展现状

### 1.1 引言

移动机器人是一个比较复杂的综合系统，即包括环境感知内容，又包括决策规划功能。目前，移动机器人在许多领域中都发挥着重要的作用。例如，工业生产中利用移动机器人进行对人类来说危险的作业；太空探险使用机器人探测人类无法到达的地点；军事上利用机器人进行无人侦查，代替人类作战；民用方面，智能型家居机器人帮助人类打扫房间，为盲人提供帮助等。但是由于移动机器人设计相对复杂，在具体研究中，通常对移动机器人系统进行简化，只保留必要的系统组件，这种简易化的系统通常被称之为智能小车。

实验室中基于智能小车的研究可以分为两个方向：应用于自动驾驶的自动驾驶汽车和偏向于理论研究的小型轮式移动机器人，虽然两者的应用场合与研究重点不同，但具备相似的运动方式及控制理论，具有一定的共通性。本文主要针对小型轮式移动机器人展开研究。

传统的轮式机器人由嵌入式控制系统，电机驱动系统以及用于捕获距离信息的传感器系统组成，在此基础上对自主避障行驶功能进行研究。考虑到当今智能手机的发展，大部分智能手机都内嵌前后摄像头、红外传感、全球定位系统等，而且手机本身就是一个强大的嵌入式系统，所以本文尝试以 android 智能手机为控制核心搭建智能小车，在视频测距与路径规划方面进行相关研究。

#### 1.1.1 智能手机的发展

从早期功能单一的手机开始，经过十几年的发展，当今手机已经发展成为一种可以与电脑相媲美的移动终端，其发展历程可以分为硬件与软件两方面。硬件上，随着电子芯片技术的发展，新兴的 ARM 架构提供了在移动设备上运行完整操作系统的可能性，从而使得移动设备具有与 PC 机的相似结构和性能。另外，随着集成模块技术的发展，在集成硬件配备方面，智能手机超越 PC 机，高灵敏度触摸屏，高清摄像头，GPS 定位系统，重力感应，陀螺仪等已经成为当今各主流智能手机的标准配置。

软件方面，智能手机系统的出现引发了革命性的变革。早期的智能系统有 Symbian、Win CE 和 Linux 等，由于种种原因，这三种智能系统并没能引领时代的变革。2007 年 1 月 9 日，APPLE 公司正式宣布发售 iphone 第一代手机，并

推出专用于 iPhone 的操作系统 MAC OS X，以此为原点，开启了新智能手机时代。

在众多手机操作系统中，Android 操作系统有着其他操作系统不可比拟的优势：第一点是相对开源，由于 Android 操作系统发展自 Linux 系统，而且营销策略以免费提供为主，用户对系统修改有很高的自由度，所以相对更适合用于开发。第二点是广泛的用户群体，当今 Android 系统在国内的市场占有率已达到 70% 以上，基于该系统开发的软件更容易被大众接受，而且随着版本的不断更新，系统也在功能、安全性以及稳定性上不断成熟，已经成为手机应用开发的首选平台之一。

### 1.1.2 路径规划发展现状

路径规划的目的是在一张地图中求解出从起始点到目标点的无碰路径，由于地图环境的复杂性与随机性，这一课题一直以来都具有很高的难度，受到广泛关注。从机器人采集环境信息的角度出发，路径规划可以分为全局路径规划和局部路径规划两种，两者的区别在于全局路径规划事先已知全部环境信息，局部路径规划则在小车行驶过程中实时采集环境信息。

本文所采用的路径规划方式为全局路径规划指导下的局部路径规划，即先通过全局路径规划得出最佳路径序列点，标记出大范围内的行驶方向与推荐路线；然后以局部路径规划作为指导，实时控制小车安全避障，抵达目标点。在行驶过程中对环境信息进行更新，作为下次全局路径规划的依据。

通过阅读相关文献，目前较成熟的路径规划算法有以下几种：

可视图法：即根据环境地图在已知起始点和目标点的条件下，利用某种算法计算出无碰路径曲线轨迹，控制车辆按轨迹行驶。

栅格法：由于环境地图信息量比较复杂，不利于运算处理，所以将环境地图按照一定的分辨率分割为一个个的栅格，在栅格的基础上进行路径规划，规划后的路径也由栅格序列。

人工势场法：由万有引力作为启发思想，人工势场法中假设各种物体之间存在引力和斥力，对于机器人来说，可以简单的理解为机器人与障碍物之间存在斥力，而与目标物体之间存在引力。以计算出的假想力作为运动指导，控制机器人运动方向与速度。虽然结构原理简单，但人工势场法具有十分明显的缺点：(1) 存在陷阱区域；(2) 无法分辨障碍物十分接近的情况；(3) 在障碍物前震荡；(4) 在狭窄通道中摆动。

模糊推理算法：模糊推理算法是基于人的驾驶经验知道机器人运动，机器人会在障碍物信息中查找相似案例，并根据经验进行决策。这种控制算法比势场法



更易得到准确的结果，实时性好，但需要可靠的驾驶经验作为基础。

遗传算法：遗传算法是一种基于自然择优进化原理的算法，是一种启发式算法。通过一段时间的学习过程，遗传算法可以较好的搜索到全局最优解。但它在复杂障碍物环境中仍会出现几个问题：(1)用于遗传进化的个体设计不合理，将会导致进化缓慢甚至进化失败的结果；(2)遗传算子选择难度大，若不合适将会导致进化效果不明显；(3)进化过程中需要结合环境知识进行计算，否则会影响算法效率。

蚁群算法：不同于以上几种算法，蚁群算法是模拟现实中蚁群的活动规律，采用信息素更新以及多次迭代寻找的方法得出最佳路径。某些场合下，蚁群算法相比于 A\*和 D\*算法，在求解最短路径问题上具有更加优良的性能。

经过仔细的思考与比较，基于蚁群系统算法本文提出两点改进意见，在实际实验中取得了比较理想的结果。

### 1.1.3 视觉测距发展现状

近年来，随着摄像头模块技术的成熟，摄像头设备已经在我们的日常生活中随处可见。在日常应用中，基于摄像头的视觉测距技术也受到了广泛的关注，在实验室中，各种视觉测距算法正在日趋成熟。

计算机视觉测距是对摄像机所采集的环境图像进行分析处理，从二维平面图像信息中提取出三维空间信息，进而得出检测目标与摄像机之间的距离。视觉测距的实现方法有很多种，根据应用设备与算法原理的不同，主要有：立体视觉测距方法，运动视觉测距方法和单目视觉测距方法。

(1)立体视觉测距系统也称双目(或者多目)视觉测距系统，其原理是利用两个或者两个以上的摄像机在不同位置对同一景物进行拍摄，获取同一物体从不同角度拍摄的图片，由于不同的摄像机位于不同的成像坐标系中，所以可以通过坐标系转换得出现实坐标系，求出目标距离。

双目视觉测距系统具有测量精度高，应用范围广泛等优点，在实际应用中，双目视觉测距算法有一些无法避免的问题：双目视觉测距需要匹配多幅图片，特征点检测与匹配耗费大量资源；在复杂场景中，图片匹配变得难以实现，易造成结果误差严重。

(2)运动视觉测距法是指利用摄像机在一段时间内采集一系列连续的目标图像，依据目标图像中特征点的时间和空间变化来获得摄像机与被测目标之间的距离。这是一种利用一台摄像机模仿多台摄像机的做法，由于摄像机的位置不同，不同时间拍摄的图片所在坐标系也不同，从而可以进行坐标系转换计算目标距离。与双目视觉测距相比，运动视觉测距在实时性上的性能更差。

运动视觉测距法和双目视觉测距法都需要对多张图片进行匹配处理，并计算出特征点之间的位移量。提取目标图像的特征点是一项非常耗时和复杂的工作，且这两种方法受限于遮挡问题，利用它们对距离进行实时测量的难度较大。

(3)单目视觉测距方法是指只使用一个摄像头采集图像，只利用一张图片信息即求取出摄像机与目标之间的距离。与双目视觉测距和运动视觉测距不同，单目视觉测距不需要考虑特征点匹配问题，相对计算量以及算法复杂度会小一些。单目视觉测距的难点在于参照物的实现，没有参照物，单从一张图片是无法获取距离信息的。通过对以往文献的阅读，作者认为以地面作为测距参考物比较适合，作为移动测距的需要，采取地面作为参照物比采取某一固定物体具有更广泛的可靠性。基于这一点，本文提出了一种基于地面信息的单目视觉测距算法，为移动机器人的路径规划与智能避障提供必要的距离信息。

### 1.1.4 基于智能手机系统研究的优势与前景

对于智能小车的研究，主要停留在实验室中，从早期的单片机控制小车，发展到嵌入式系统控制小车，目前大部分实验室使用的是基于 ARM 与 DSP 芯片构建的小车控制系统。在智能手机普及后，也有部分兴趣爱好者开发出了智能手机控制的小车。与传统的 ARM 与 DSP 芯片构建的小车控制系统相比，基于智能手机控制的小车具有以下几点优势：

(1)完备的硬件条件。相比于自己搭建的嵌入式操作系统，智能手机平台提供了更为稳定的运行环境，而且将高性能 CPU，GPU，高像素摄像头，蓝牙，WIFI，3G/4G 等硬件设备集成在一起，方便使用。缺点是不易于扩展与修改硬件构成，在本研究中，智能手机系统所提供的硬件设备已足够使用。

(2)更加优秀的操作系统。经过几年的发展，智能手机操作系统已由之前的单任务单进程操作系统发展为多任务操作系统，并在不断完善，在实时性、安全性、稳定性等方面甚至可以与 PC 操作系统相媲美，而且作为一款成熟的产品，智能手机操作系统已提供相应硬件的驱动程序，大大减少了研究的工作量。而且智能手机系统中也集成了 openCV, OpenGL 等常用的图像处理程序库，方便研究应用。

(3)易于学习的专业开发环境。Android 应用程序有专门的开发软件 Eclipse，Eclipse 是一个开发 java 应用程序的可扩展开发平台，最大的特点是其本身作为一个框架或一种服务，可以通过扩展配置实现不同功能的需求。Eclipse 附带了一个标准的插件集，包括 Java 开发工具（Java Development Kit，JDK），可以通过在 Eclipse 配置 android SDK 实现 android 程序的编写。

所以，相比于从芯片开始搭建嵌入式控制系统，直接使用智能手机进行研究开发可以更节约资源，提高效率，将研究的重点放在算法研究上。

## 1.2 本文主要工作

本文设计了一个基于 Android 系统的智能导航小车，系统任务为接收人为指定的目标，控制小车寻找目标并行驶至目标地点，规划路径要求在距离短的前提下尽量使小车直线行驶，以提升小车行驶的平均速度。本文的主要工作有以下几点：

1、搭建移动小车平台，实现执行与转弯的控制，在无线传输通信方面，为了与手机取得联系，搭载蓝牙通信模块，通过蓝牙模拟串口通信接收由手机放送来的控制命令。

2、设计智能手机软件，作为通信控制中心，利用蓝牙通信控制小车移动，利用 WIFI 通过 TCP 协议向 PC 传输摄像头采集图像，并接收 PC 计算出的最佳路径序列点。

3、PC 软件负责算法的执行计算，根据摄像头图像进行视觉测距生成虚拟地图，在虚拟地图的基础上进行路径规划处理，再将结果输出给手机控制小车移动。

## 1.3 本文组织结构

本文根据智能小车设计实现的过程进行编写，每章节介绍使用的理论依据和本系统的实现方法与设计流程。

第一章：主要介绍智能小车的发展历史与智能手机系统的发展历史，解释智能手机系统应用于实验研究的优势与前景。

第二章：总体介绍控制系统结构与控制方法，分硬件设计和软件设计两部分解释设计细节，并对无线通信模块进行重点介绍。

第三章：对于视觉测距算法进行研究，提出基于地面的单目视觉测距算法，并进行实验验证其可靠性与实时性。

第四章：研究路径规划相关内容，在原有蚁群算法的基础上结合本设计实际情况改进蚁群算法，得出最佳折现路径序列点，同时还介绍了本设计的地图生成机制。

第五章：对整个系统进行实验测试，列举各项实验结果，分析系统性能与不足，提出加以改进的方案。

## 第二章 智能小车系统设计

为了搭建以智能手机为核心的控制系统，本文使用了两种无线传输方式，蓝牙与 wifi 无线连接。本章从智能小车的系统任务入手，分别介绍了控制系统结构，无线连接方式，手机软件设计，以及 PC 软件设计等内容。

### 2.1 控制系统设计

#### 2.1.1 控制系统分析

本系统实现了以智能手机为控制核心的智能小车设计，系统任务为：利用智能手机搭载的摄像头获取实时影像确定目标地点，在上位机 PC 的辅助计算下，确定行驶至目标地点的最佳路径，并避障无碰的行驶至目标地点。

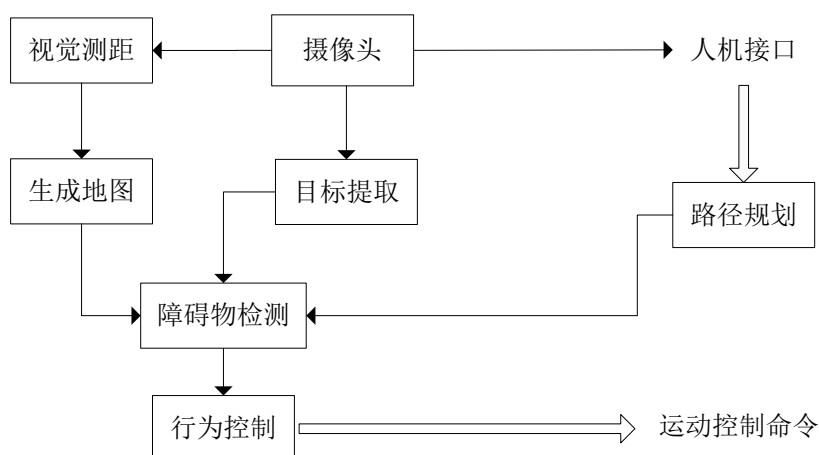


图 2-1 系统结构图

如图 2-1 所示，本系统分为图像采集与分析，地图生成，路径规划，运动控制等几个模块，下面分别进行介绍。

图像采集方面主要采用智能手机后置摄像头采集图像，采集的图像通过无线传输技术传输到 PC 进行相应分析处理。图像分析涉及目标提取，障碍物检测与视觉测距几个方面，详细内容见之后相应章节。

基于图像分析的结果，生成全局地图。在这里使用图像融合技术将所生成地图与小车摄像头采集图像进行融合，以达到可以在小车行进过程中实时控制与监

视的作用。并在此地图的基础上进行路径规划，得出最优路径。

本文所采用的路径规划方法是一种改进的蚁群算法。考虑到所设计小车易于直线行驶不易于转弯的特性，对蚁群算法进行修改，使得到尽量直行的最优路径，从而不仅在路程上达到最优，在运行时间与操作复杂度上也达到最优。

运动控制模块中，要求在小车运行过程中，可以实时检测障碍物并躲避障碍物行驶。本文在这部分内容中做的比较简单，并没有加入过于复杂的算法，只是保证该功能可以正常实现。

### 2.1.2 控制体系结构

基于路径规划的小车控制分为两种，一种是基于全局地图的控制，一种是基于局部地图并辅以全局地图信息的控制，本文采用的是第二种控制方式，控制体系结构如图 2-2 所示。

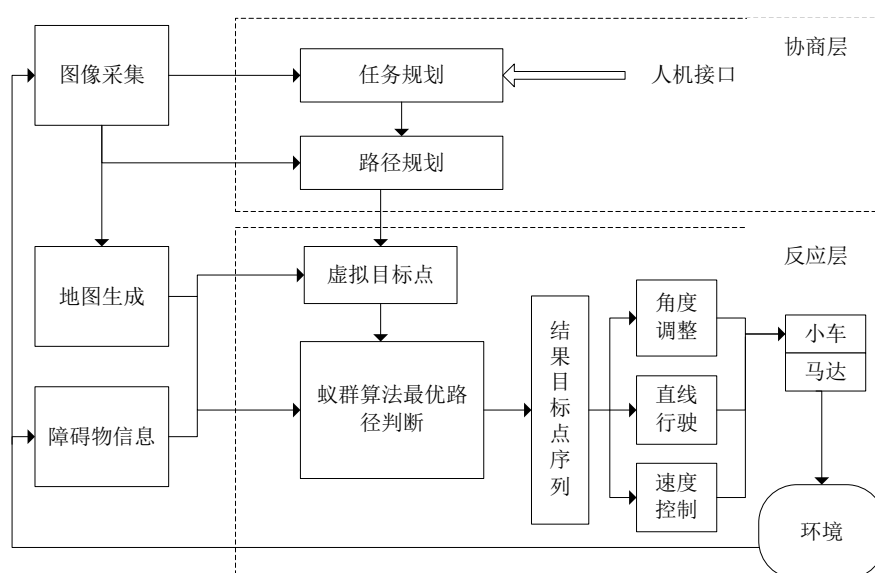


图 2-2 控制体系结构图

系统控制结构有协商层与反应层两层构成，在协商层中，执行任务规划和路径规划内容，属于全局性的控制；反应层对实时性要求更高，主要用于小车实际运行中的沿轨迹行走与避障检测，属于局部控制。

在任务规划模块中，系统根据所得到目标图像，利用图像提取方法确定目标地点，并标记在地图中。图像采集、地图生成和障碍物信息为两层内容提供支持，并且为了保证运行的准确性，保持于实时更新状态，即时刻根据所采集的图像信息对地图进行修正和更新。

根据地图与目标地点，进行全局路径规划，在运行过程中，对路径进行比对，并再次进行局部路径规划以达到结果最优的效果。在反应层中，对障碍物的实时

检测位于环境反馈中，如果发现新的障碍物，则及时更新地图，并重新判断最优路径。本系统所使用的传感器主要是摄像头，通过对图像的处理判断得出周围环境信息，通讯方式采用的是蓝牙与 wifi 无线传输，具体实现细节见本章第 3 节与第 4 节。

## 2.2 硬件设计

### 2.2.1 智能小车简介



图 2-3 智能小车外观

如图 2-3 所示，本文所设计的智能小车平台使用 AVR 单片机系统搭建，为了达到可以与智能手机通信的目的，安装了蓝牙无线通信模块。小车采用两个直流电机作为驱动轮，前方有两个从动轮，通过电机控制芯片 T298 控制直流电机转动：通过输出 PWM 波形控制电机转速，从而达到控制小车运行速度的目的，智能小车的行驶速度有 0-100 个等级；通过分别控制左右驱动轮的速度以实现小车的左转和右转，经过多次实验，小车旋转精确度可以控制在 5 度以内。

### 2.2.2 硬件电路设计

硬件结构框图如图 2-4 所示，Android 手机放置于智能小车平台上，通过蓝牙通讯协议与小车控制系统进行通讯；同时，作为人机接口的 PC 机，通过 wifi 无线通信与 Android 手机连接，获取小车信息，并向 Android 手机发布控制指令。智能小车系统中，通过解析蓝牙传输来的指令，控制小车按指定路线行驶，实现系统任务。

在电源方面，智能小车采用双电源供电模式，一个 9V 电源专门用于给小车电机驱动供电，另一个 9V 电源通过降压后为整个单片机系统供电。

本系统所使用的蓝牙传输模块为 HC06 蓝牙模块，其作用是为单片机提供串口数据转换为蓝牙无线传输功能。具体实现细节是通过数据转换将串口数据类型转换为蓝牙协议指定数据类型，然后通过蓝牙协议传输给客户端，在客户端处再进行解析恢复为串口数据类型。原计划使用 usb 线对手机和小车移动平台进行有线连接，但由于所用手机系统版本问题，未获得控制 usb 接口的权限，所以使用蓝牙进行连接，在以后升级系统后可以改为有线连接，节约通信成本。

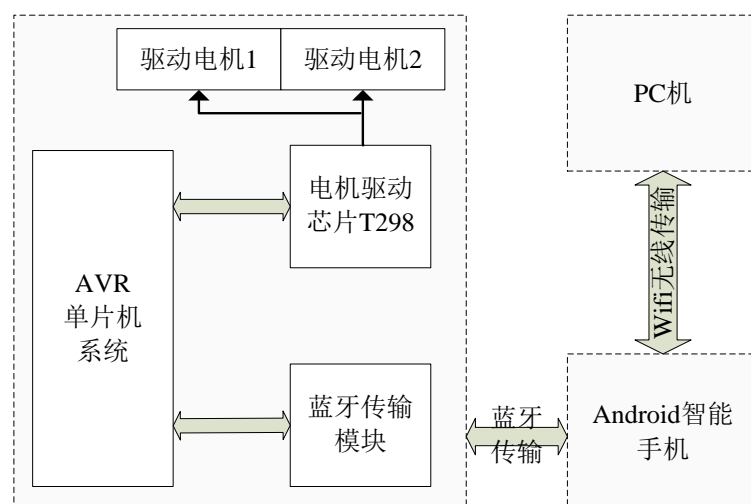


图 2-4 硬件结构框图

小车驱动使用双驱动方式，即左右驱动轮分别使用不同的马达进行驱动。与单驱动方式相比，这样做的好处是可以更精确的控制转弯，而且小车动力更加充足，缺点是可能由于左右马达动力不同引起直行的偏差，需要利用软件技术保证直线行驶。在控制速度时，采用 PWM 波形控制电机转速，不同的速度级别对应不同的 PWM 波形占空比，由于所使用 AVR 系统不具备 PWM 波形发生器，所以用定时器模拟编程实现。实验中采用的小车速度级别为 30-50，转弯精度为 5 度每次。

Android 手机选用 HTC T320 型号手机，搭载系统为 Android 4.1 版本系统，该手机具有后置摄像头，蓝牙，wifi 等功能，可以满足实验要求。蓝牙无线通讯主要完成智能小车与 Android 手机之间的通信，wifi 负责在 PC 与 Android 手机之间传输命令，传输环境图像等任务。

本系统的软件设计分为智能小车软件设计、手机软件设计、PC 软件设计三部分，智能小车软件设计之前已经有所提及，下面主要介绍手机软件设计和 PC 软件设计。

## 2.3 手机软件设计

手机软件的主要功能是控制智能小车的移动，接收并执行人机接口发出的指令，同时能够实时地将环境信息反馈到 PC 机中。采集环境信息所使用的传感器为手机后置摄像头，手机向 PC 机传输数据的方式是 wifi 无线连接。此外，系统中应用蓝牙模拟串口方式建立手机与智能小车的通信，所以手机软件设计的主要内容其实是两种无线通讯协议的实现。

### 2.3.1 无线通讯协议

无线通讯的发展经历了由早期的射频无线通信技术，到红外无线通信技术、蓝牙短距离通信技术的过渡，目前常用的无线通信技术有蓝牙通信、wifi 通信、IrDA（红外线通信）、UWB（超宽带技术）、ZigBee 通信等。

蓝牙技术作为一种短距离无线通信技术，从其出现开始就具有很高的关注度，目前，蓝牙技术已是一种无线数据与语音通信的开放性全球性规范。蓝牙技术以低成本的短距离无线连接为基础，为各种终端设备比如手机、个人笔记本电脑等提供廉价的点对点连接服务。其传输频段为全球通用的 2.4GHzISM 频段，传输速率最大可达 1Mbps，传输距离为 0-10m。目前，许多无线设备都采用蓝牙协议与电脑或手机连接，蓝牙具有成本低廉并且安全可靠等特点。

蓝牙技术并不是在实验室中起源的，它是由 Ericsson 公司开发的一种低成本、低功耗无线连接接口。1994 年，Ericsson 公司决定开发蓝牙协议；1998 年，蓝牙协议获得 Ericsson、IBM、Intel、NOKIA、Toshiba 等 5 家公司的支持，成为一个全球性的开放标准。蓝牙协议的版本已经由最初的 1.1 版本发展到现在的 3.0 版本，目前市场上覆盖最广泛的是蓝牙 2.0 通信设备。

现在，蓝牙通信技术已经作为标准模块被搭载于大部分个人终端产品中，方便用户短距离无线传输文件。另外，市场上也出现了许多以蓝牙为连接协议的无线外部设备。

wifi 与蓝牙一样，也是一种短距离无线通信协议，正式名称是 IEEE802.11b。wifi 作为一种无线联网技术，已经代替有线网线广泛应用于局域网连接中。Wifi 最高速率可达 11Mb/s，有效连接距离是 100m 左右，虽然传输速率不如蓝牙快，但范围更广。而且 wifi 无线协议是以太网的一种无线扩展，可以使用户通过 wifi 无线连接连入 web 网络，这也是最近无线路由器高速发展的原因之一。与蓝牙点对点传输不同，wifi 无线连接允许多点连接，几台 PC 机或手机可以通过无线路由器搭建局域网，从而使连入局域网中的设备共享数据。另外，由于信号强弱不均，在有墙壁阻隔的情况下，无线连接有效距离会缩短。



名称	Wifi	蓝牙	Zigbee	UWB	RFID	NFC
传输速度	11-54Mbps	1Mbps	100Kbps	53-480Mbps	1k1	424k
通信距离	20-200 米	20-200 米	2-20 米	0.2-40 米	1 米	20 米
频段	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	3.1GHz	10.6GHz	13.56GHz
安全性	低	高	中等	高		极高
国际标准	IEEE.802.11b IEEE.802.11g	IEEE.802. 15.1x				ISO/IEC18092 ISO/IEC21481
功耗成本	10-50mA	20mA	5mA	10-50mA	10mA	10mA
主要应用	无线上网	通信/IT	无线传感器	无线传感器	读取数据	近场通信

表 2-1 无线通信技术参数表

目前许多操作系统都加入了对 WIFI 的支持,许多地方利用 WIFI 连接网络已经取代了原来的有线连接方式。如表 2-1 所示,列举出各种无线通信的协议的各项参数及应用场合。

### 2.3.2 程序界面

手机软件程序界面如图 2-5 所示,从界面上看,手机软件包含三部分功能:作为客户端与服务器无线连接,无线遥控智能小车行走,以及从手机后置摄像头采集图像信息。下面分别进行介绍。

右图所示程序为测试版本,其中许多按钮在实际运行中不会使用,只是在部分功能测试时作为功能调试的开关。

手机与 PC 机通过 wifi 无线网络实现连接,应用 TCP/IP 协议进行数据传输。本系统中,手机作为客户端主动寻找服务器进行连接,服务器功能由 PC 机软件提供。

蓝牙连接方面,本质上利用蓝牙简历通信通道,然后通过 TCP/IP 协议传输串口数据,以达到模拟串口控制的目的,这里,手机作为服务器,客户端是智能小车上的蓝牙模块。

摄像头采集数据功能由 Android 系统本身提供,右图下方为后置摄像头预览画面。采集图像的分辨率为 640\*384,并进行图片压缩,保证每张图片大小控制在 10KB 以内,以满足实时传输的要求。另外,手机摄像头支持自动变焦,分别



图 2-5 手机软件界面

为近景焦距，中景焦距与远景焦距。考虑到具体应用场合，本系统规定只使用中景焦距，即摄像头焦距  $F = 0.386$ 。

本设计中要求实时地采集环境图像，即每一时刻摄像头所采集景象都应该以最快速度传输给 PC 机，理想情况下应保证每秒 30 帧图片。为达到这一要求，本设计除了压缩传输图像文件大小以外，还采用多线程处理技术和阻塞通信技术等。多线程处理技术，即采用独立的线程处理客户端配对以及数据收发处理，从而提高系统反应速度；阻塞通信，即当有大数据文件进行传输时，关闭其他通信功能，专门处理文件数据的传输，提高文件传输速度。从结果上看，在网络条件好的情况下，可以获得比较好的实时性。

在无线通信方面，主要分为蓝牙通信设计与 WIFI 通信设计，下面结合软件设计框图分别进行介绍。

### 2.3.3 软件设计框图

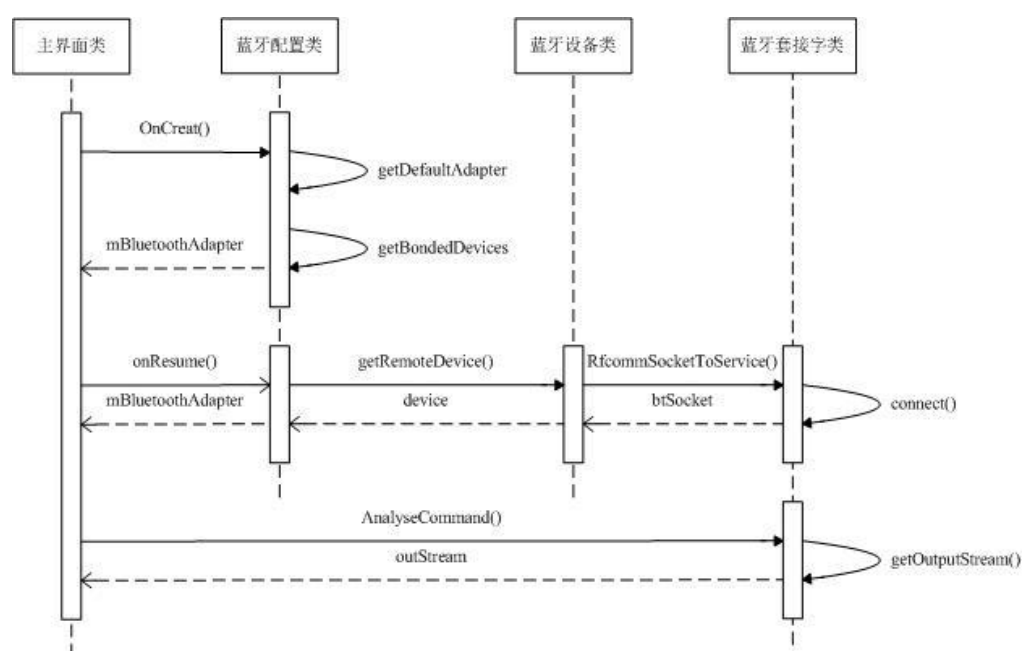


图 2-6 蓝牙传输流程图

蓝牙无线传输流程图如图 2-6 所示，其中，共有蓝牙配置类、蓝牙设备类、蓝牙套接字类三个对象，分别抽象表示蓝牙适配器、蓝牙设备与蓝牙套接字。蓝牙适配器用于绑定本机中的蓝牙设备，获取设备地址，效验码等信息；蓝牙设备作为具体蓝牙设备的抽象对象，起到对蓝牙设备进行封装控制的目的；蓝牙套接字将蓝牙设备模拟为一个 socket 套接字，以此套接字为基础，进行网络连接和数据传输。所谓 socket，英文原意为“孔”或“插座”，在网络传输中，用于描述 IP 地址和端口，是一个通信链的句柄。

本系统中小车控制命令由 3 个字符内容组成，前两个字符包含速度信息，最

后一个字符表示行驶方向。控制命令由函数 `RfcommSocketToService` 传输到智能小车中，该函数的作用就是将字符串模拟为串口信息传输给下位机，从而实现蓝牙无线传输到串口有线传输的模拟。

主界面类为主进程类，由于蓝牙传输属于间歇性传输，可以合并在主进程中进行，`AnalyzeCommand` 函数的作用是分析由 PC 传来的指令，并启动蓝牙传输最终控制指令。相对于 WIFI 连接，蓝牙传输属于单向传输，只有手机向智能小车发送命令一种形式。

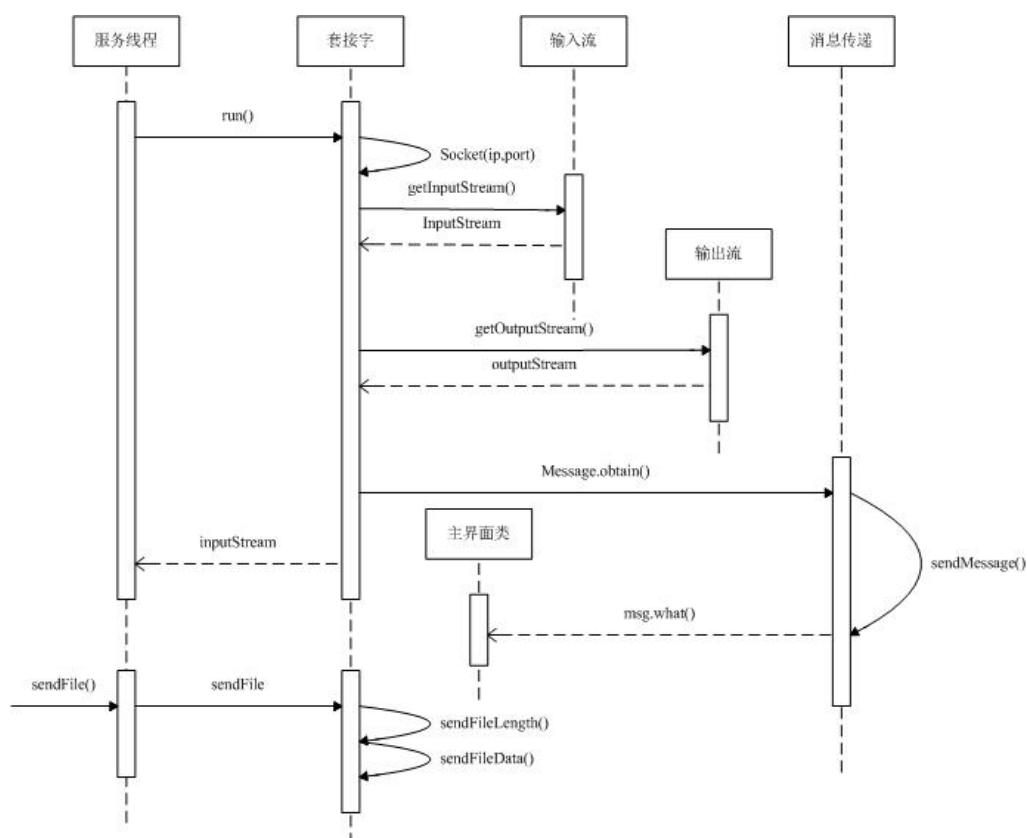


图 2-7 WIFI 传输流程图

如图 2-7 所示，为 WIFI 无线控制流程图，由于 WIFI 无线传输为双向传输，而且传输数据量远远多于蓝牙传输，所以也相对复杂一些。

WIFI 无线传输的任务有：接收 PC 机发来的指令，解析指令，如果指令中包含采集图片信息命令则开启摄像头采集图片，并将图片数据发回给 PC 机。PC 机的命令格式分为两种，纯数字指令格式，即为小车控制命令，由 3 个数字组成，前两个数组表示速度，最后一个数字表示方向；纯英文字符指令格式为手机控制命令，根据英文字符内容的不同所表示的含义不同，当为一个单字符“T”时，表示采集图片命令，此时手机拍摄图片并向上位机传输。

由图 2-7 可知，手机 Socket 作为 TCP/IP 协议中的客户端工作，在与服务器连接后，处于阻塞传输状态，并且常态下持续等待接收数据，当要发送数据时，

暂时挂起接收数据任务，发送数据结束后返回等待数据接收状态。其中，消息传递对象实现子线程与主线程之间的信息传递，具体功能就是将接收到的数据传输给主线程中的 `AnalyzeCommand` 函数进行命令分析。

对于图片数据，为了尽可能减少数据传输时间，在压缩图片的基础上，采用流式数据传输技术，此技术由 `TCP/IP` 协议提供，大大提高了数据的传输率。并且在传输数据前，先输出图片文件大小，实现数据流的精确接收，这样做可以在实时采集图片时减少传输一张图片与下一张图片之间的间隔时间。

有关图片的处理分析，并没有添加到手机软件中，而是采用在 `PC` 中进行辅助计算的方式，这是由于处理图片对芯片的性能要求很高，实验用手机配置并未达到要求，而且 `PC` 机上图片处理算法软件比较成熟，更易于研究开发。图片处理算法可以在以后改进过程中再移植到手机程序中。

## 2.4 PC 软件设计

### 2.4.1 软件设计框图

`PC` 软件设计框图如图 2-8 所示，该软件从功能上划分，可以分为人机接口、路径规划层、图像处理层、实时控制层、数据收发层和网络传输层几部分。其中，人机接口、路径规划和图像处理运行于主线程中，实时控制、网络传输等运行于子线程中。

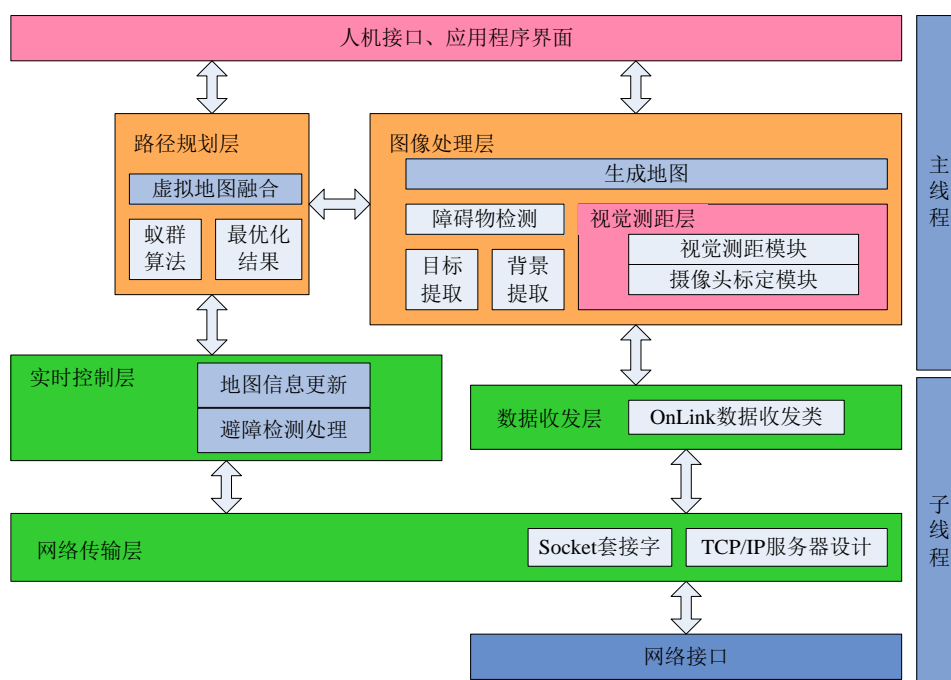


图 2-8 PC 软件设计框图

在网络传输方面，本设计采用的是 TCP 连接协议。这种协议的优点在于可以提供稳定快速的数据传输，在建立连接过程前，基于 TCP 协议的客户端与服务器必须先进行配对，交换 ACK 与 SYN 包；在传输数据过程中，每次传输都具有寻址和校验功能，保证数据的准确送达。与 UDP 协议相比，TCP 协议可以提供更低的丢包率，更稳定的网络连接。本设计采用作为 TCP 协议的服务器，接收来自手机的 TCP 客户端请求，并使用阻塞式数据传输模式，即在一个数据包发送完或接受完之前，不允许进行下一个数据包的收发。数据收发层主要用于控制连续图片数据的收发，保证图片的接收快速而准确；网络传输层的作用则是完成发送命令与接收数据的调度，这里指的接收数据为摄像头所采集的环境数据，发送命令来自于路径规划层输出的最佳路径点序列。

PC 软件执行任务的流程如下：从人机接口中接收人为指定的命令，并在地图中利用路径规划模块找出最佳路径，在此之前需要做一些准备工作，主要为在图像处理层中生成环境地图；然后依据最佳路径序列向智能小车发送移动指令；并在智能小车移动过程中根据实时环境数据判断行驶效果，若出现新的障碍物或行驶效果不理想，则及时进行避障处理，并更新地图信息，从当前地点开始重新获取最佳路径；如此循环执行直至行驶到指定目标地点。

其中，路径规划层中包括路径规划与虚拟地图融合两部分。路径规划即为利用实用蚁群算法在已知地图中寻找最佳路径，虚拟地图融合是指将虚拟地图信息与实际采集图片相融合，使地图与摄像头采集数据达到可以同步处理的水平。这样做的原因是本设计主要基于图像处理分析出环境信息，提取目标、确定目标位置以及确定目标距离都是基于采集图像的，将地图信息与采集图像融合后，可以更直观的得出运行轨迹，并且可以在 PC 机中模拟小车运行效果，而不用每次都通过采集图片分析得出，节约通信成本与通信时间。如图 2-8 所示，第一张图内三张图片分别为实际采集图片、虚拟地图和与实际图片融合后的融合地图。

图像处理层包括障碍物检测、视觉测距层和生成地图三部分。在执行障碍物检测之前需要指定地面信息，根据地面信息判断障碍物轮廓，具体执行算法见第 4 章。视觉测距层内容比较复杂，涉及到单目视觉基于地面测距算法内容，这部分在第 3 章进行详细介绍。将视觉测距得出的距离信息，以及目标检测得出的目标信息和障碍物信息在地图生成模块中综合处理，生成虚拟地图。

地图从所选参考物角度可以分为绝对参考物地图和相对参考物地图两类。相对参考物地图一般以移动物体本身作为坐标原点，记录周围环境相对于自己的坐标；绝对参考物地图是以相对于地面不动的物体作为参考物，这种地图中，任何物体的移动都可以记录下来，本设计中采用的是绝对参考物地图，如图 2-8 所示，虚拟地图为栅格式地图，实验中每一个栅格表示 20cm\*20cm 的方形地面。图中，

蓝色栅格表示小车所在地点，红色栅格表示障碍物，绿色栅格表示目标地点，灰色栅格表示路径序列点。

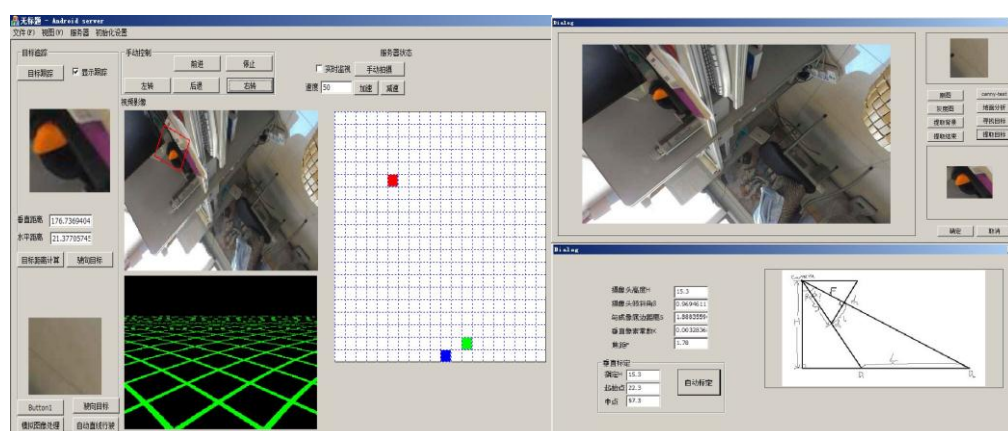


图 2-9 程序界面

## 2.4.2 程序界面

图 2-9 为 PC 程序界面，程序由三个对话框组成，左边图片为程序主界面，上面有网络连接控制，手动遥控等按钮，其显示区三张图片为手机采集图像、虚拟地图和融合虚拟地图。右边第一张图片为目标提取模块界面，在此模块中，完成目标提取与背景提取功能，背景提取用于障碍物检测。右边第二张图为摄像头标定模块，在进行视觉测距前，需要对摄像头进行标定，以取得相应计算参数，摄像头标定的准确性对视觉测距具有十分重要的意义。

## 2.4.3 目标提取模块

本设计中目标物体的确定是由从采集图像中识别出目标物体的方法实现的。在小车开始行驶之前，先录入目标物体图片，然后在行驶过程中，寻找目标物体，当目标物体进入小车视野后，确定目标地点，进行路径规划。目标提取模块的作用就是录入目标物体参考图片。本设计假想的情况是，当小车最初视野存在目标物体时，则进行自动导航行驶至目标物体；而当最初视野中没有目标物体时，则在地图中指出目标地点的大致位置，先控制小车行驶至大致位置，此时视野中应该已有目标物体，再行驶至目标地点。

除了提取目标物体以外，目标提取模块还提供了背景提取功能。背景提取用于障碍物检测层，为了检测到地面上的障碍物，本系统需要一些地面信息作为参考，应用平均灰度值的方法进行匹配判断，找出采集图片中为障碍物像素的点集合，然后再反向利用视觉测距得出障碍物实际坐标，作为地图的更新信息。障碍物检测原理虽然简单，但运行速度快，在背景单一的条件下结果较满意，可以在

小车行进过程中同步运行。由于本设计的重点并非是目标检测与地面判断，所以在这两点上并没有进行过于深入的研究。

#### 2.4.4 摄像头标定模块

摄像头标定模块需要标定的摄像头参数有：摄像头高度  $H$ 、摄像头倾斜角、与成像底边距离  $S$ 、垂直像素常数  $K$ 、焦距  $F$  以及起始点据摄像头垂直距离和图片中点据摄像头垂直距离。基于单目摄像头据测的重点是确定好的参照物进行距离计算，本设计中采用地面作为参照物，则要求摄像头主要指向地面进行拍照，并且需要实现标定好上述标定参数，在依据摄像头成像原理与几何知识计算出在地面上的点与摄像头之间的垂直距离。

但是本设计所提出的单目视觉测距并不是完美的，缺点在于只能计算出地面上的点的距离，而不能计算不在地面上的点的距离。正因为如此，如果地面判断失误的话将会严重影响结果的准确性。在实验中，为了消除误差，采用背景单一的实验环境，并且所选障碍物与地面易于区分，得出的结果基本满意。

#### 2.4.5 算法简介

本文提出了两个改进的算法：基于单目视觉的视觉测距算法和一种改进的蚁群算法，该蚁群算法倾向于寻找折线行驶的路径。

视觉测距算法之前已经有所介绍，主要是基于地面进行视觉测距计算，具体内容将在第三章中解释。

改进的蚁群算法，蚁群算法灵感源自于大自然中蚁群搬运食物的行动规则，蚁群算法经常被用于寻找最佳路径问题中。各种蚁群算法的关键都在于随机路径的选择以及信息素的分布，本文中，结合工程应用的实际情况，在原有蚁群算法的基础上，对所得曲线路径进行优化，得出更适用于智能小车行驶的折线路径，并且对算法进行优化进一步节省了算法的运行时间。有关路径规划内容详见第四章。

### 2.5 本章小结

本章介绍了智能小车控制系统的总体硬件设计和软件设计内容，并对一些模块进行了重点介绍。智能小车控制系统分为智能小车子系统，手机控制子系统，PC 机控制子系统三部分，各个子系统之间通过无线传输进行连接，无线连接的方式有蓝牙无线连接和 wifi 无线连接两种，通信协议所采用的都是 TCP 通讯协

议。

硬件设计上，主要包括智能小车系统的单片机控制系统与蓝牙传输模块和电机驱动系统；软件方面，主要包括手机软件设计和 PC 机软件设计；算法研究方面，本文主要提出了一种基于地面的单目视觉测距算法，并为了适应智能小车实际运行情况，提出一种改进的蚁群路径规划算法。



## 第三章 视觉测距算法研究

距离测量在工程应用中占有很重要的地位，能够准确的得到目标之间的距离信息能够保证更加精确的完成任务。随着红外线，声波传感器的出现，距离测量从原先的接触式测量发展为非接触式测量，现在常用的非接触式测量方法有激光距离测量、红外线距离测量、声波距离测量以及图像距离测量等。

图像距离测量方法即视觉测距，相比于其他非接触式测距方法，图像测距方法具有较强的抗干扰能力，不会因为环境温度变化，噪声影响以及环境震动产生较大的结果偏差，而且对测量物体的适应能力强，辅以适当的图像处理算法，可以灵活处理各种复杂的测距环境。随着视觉测距理论的发展，视觉测距精确度也在不断提高，在许多场合已经取代红外测距等测距方式，逐步成为未来测距应用的主流。

### 3.1 视觉测距算法举例

在第一章中已经有所提及，视觉测距算法从算法结构上可以分为立体视觉测距，运动视觉测距和单目视觉测距三类。

单目视觉测距一般基于摄像机成像模型，经几何变换确定出图标点的第三维信息。对于二维平面图来说，最多只可以描述两维空间坐标，现实生活中的坐标系为三维，所以要根据一张图片计算出目标点与摄像机距离，必须设法向二维图片信息添加第三维坐标信息。根据摄像机成像模型，如果有一点的三维信息已知，则可以根据这一点与其他点的关系求出整个图片的三维信息，这个点就叫做参考点或参考物。单目视觉测距分为静态测距与动态测距两种：静态测距比较容易实现，周围环境不变的条件下，以周围环境作为参照物确定坐标系转换参数，进而计算距离；动态测距由于采集图像中背景物体和摄像机角度时刻发生变化，坐标系转换参数也随之变化，所以静态测距方法并不适用。

应用于单目视觉测距的方法有很多，例如文献 1 所述，作者在已知运动和已知物体的条件下，对路面车辆进行距离计算，这种距离测量属于静态的距离测量。在智能小车行进过程中，无法找到确定的已经物体，所以静态测量方法不适应于此设计，文献 2 提供了一种动态测量的方法：利用物体的已经运动和采集到的前后几张图片进行对比得出距离比例，从而计算出目标距离。但这种方法需要使用

特征点匹配，一方面增大了系统的开销，另一方面易引起计算误差，效果并不理想。文献 3 描述了一个飞行器上的特殊距离测距任务，其实现方式为利用激光标记摄像头所在平面，在采集图像中寻找激光点，通过几何变换得出激光投射点的深度信息。这种方法比较可行，计算准确且效率较高，在此方法启发下，本设计提出了基于地面的测距算法。下面从测距原理，摄像头成像，具体实现等几个方面介绍此方法。

## 3.2 视觉测距原理分析

### 3.2.1 摄像头成像原理

基于单目视觉的距离测量需要从二维的图像信息中得出三维的世界坐标信息，必须要寻找能够提供更多位置信息的参考物或其他信息来源。在此之前，确定摄像机成像坐标系与现实中三维世界坐标系的精确对应关系也很重要，这一过程叫做摄像头标定。为了完成摄像头标定，必须将摄像头抽象化为一种线性模型，常用的摄像头线性模型为针孔模型。

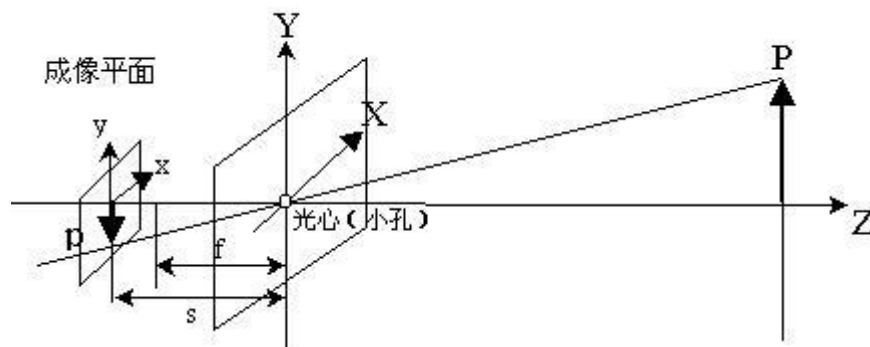


图 3-1 小孔成像原理

如图 3-1 所示为小孔成像原理，此原理解释了摄像机采集图像的具体工作过程。图中光心为摄像头镜头位置，成像平面为感光芯片，现实世界中的光线通过光心投射到成像平面上，在成像平面上形成一个与原物体位置颠倒的图像，这个图像即为摄像头采集的原始图像。此时所形成的原始图像并不是我们平常所见到的图片，而是只包含红、绿、蓝三种像素点的图像，原始图像经过贝尔运算、白平衡处理、颜色校正等步骤以后，才最终映射出现实世界影像。该影像与现实世界物体的几何模型遵循小孔成像原理。图中  $F$  为摄像机焦距， $S$  为像平面底部距离光心的距离。

经过简单的几何变换，可以将小孔成像模型转换为针孔模型，如图 3-2 所示。根据等价变换的原理，将成像平面翻转至于摄像机前方，保持成像平面与光心距

离和成像角度不变，这样就得到了摄像机针孔模型。一般基于此模型进行摄像机标定及距离算法公式推导。

关于摄像机标定，存在两个坐标系，现实三维坐标系和成像平面二维坐标系。现实坐标系一般以摄像机作为原点， $x$  轴与  $y$  轴平行于地平面， $x$  轴方向与摄像机方向重合， $z$  轴垂直与地平面；而摄像机坐标系一般以  $u, v$  向量表示，原点即为图像中心， $u$  轴平行于图像底边， $v$  轴垂直于图像底边。摄像机标定的作用就是找到这两个坐标系之间的变换矩阵，从而利用图片二维坐标表示现实三维坐标。实际上，视觉测距的关键就在于变换矩阵的确定，在准确获得现实三维坐标以后，距离计算只需进行简单的欧氏计算即可。

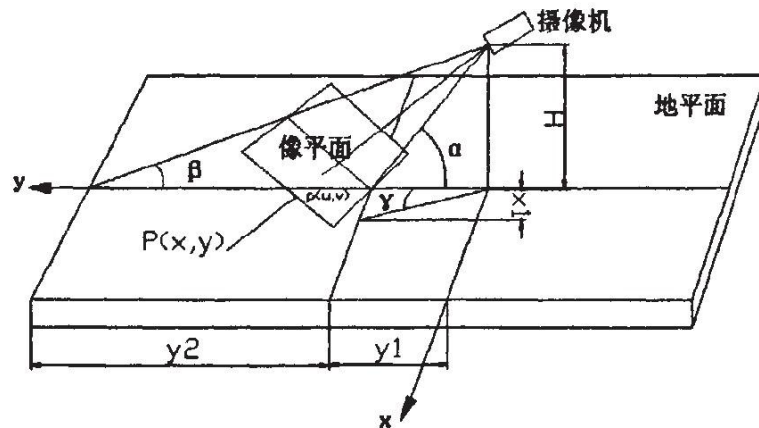


图 3-2 摄像机针孔模型

### 3.2.2 参考物的选择

要从二维的图像坐标信息中分析出三维的现实坐标是不可能的，必须寻找另外的信息源。在双目视觉测距与运动视觉测距中，它们分别通过处理多张图片获取多张图片之间变化的特征信息，从而补全二维坐标系中无法表示的第三维坐标。

而在一般交通应用中，视觉测距则通过参考固定的参考点实现，它们在被测道路两边放置比例标杆，以此作为参考计算出现实世界中的坐标值。在本设计开始阶段，笔者也考虑过在小车上防止类似于距离标杆的物体辅助测距，但实现起来比较麻烦，而且易受外界干扰，削弱了视觉测距的优势。由于小车处于移动状态中，所以寻找一个在移动状态下也能检测的参考物是应该考虑的方向。

本设计主要运行在室内或比较开阔的平坦地域，地面突起低洼的情况发生较少，所以取地面作为参考物。这样做的好处在于地面的位置不会因为小车的移动而变化，而且检测路面的同时还可以进行障碍物识别，将生成地图信息功能和避障行驶功能二者合一。选取地面作为参考物的第一个任务是准确的识别出地面，由于地面的复杂纹理和不同光照条件下的反光效果加大了识别的难度，但这些超

出了本设计研究的范围，在实验中选取的是颜色纹理较单一的地面，复杂地面的分析可以在以后研究中加以改进。

### 3.2.3 本文视觉测距原理

本文视觉测距原理可以用图 3-2 来表示。图中，已知摄像机距离地平面的高度  $H$ ，可以把  $H$  记为地平面上的点的  $z$  轴坐标值。通过对成像图片进行地面检测取得地面上的点在成像平面中的投影，在已知成像平面，地平面和摄像机焦距的基础上，理论上可以求出另外两个轴的坐标值。

设计中并没有进行具体坐标值的计算，这是因为本算法的最终目的是测距而非生成现实坐标系。在已知坐标系对应关系的基础上，直接计算得出目标点距离，然后再生成虚拟地图。这里所说的目标点距离是相对与小车而言的，即实际算法中输出的是以小车为原点的相对坐标值。下面从垂直方向和水平方向两方面阐述计算规则。

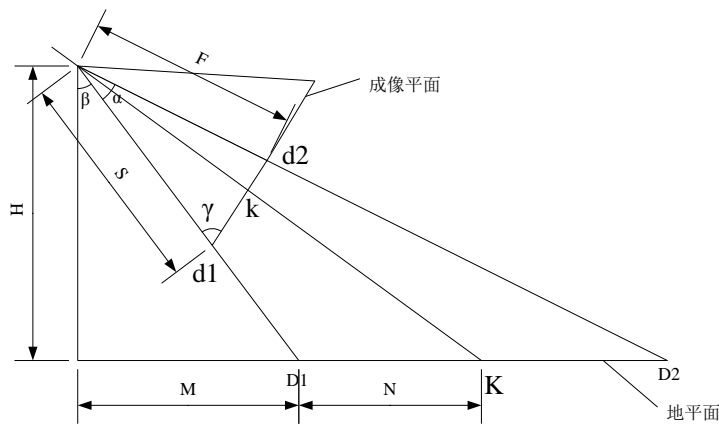


图 3-3 垂直剖面图

图 3-3 表示的是针孔模型垂直剖面图，成像平面与地平面位置如图所示，其中， $F$  表示摄像机焦距，所谓焦距，就是成像平面与镜头的垂直距离，焦距的远近将会影响成像的景深，适当调整焦距可以清晰成像出远处物体或近处物体，由于本设计中景物距离比较固定，所以采用固定焦距  $F = 1.78\text{mm}$ 。 $H$  表示摄像机高度， $\beta$  为摄像机倾斜角， $\alpha$  为摄像机可视角度， $D_1$ 、 $K$ 、 $D_2$  为地平面上的点，从图中可以看出，这三个点投影在成像平面上的点为  $d_1$ 、 $k$ 、 $d_2$ 。其他信息如图中标注所示， $d_1$  点为所采集图片最底端的点，而  $d_2$  为采集图片的垂直中点， $k$  可以理解为任意一点，测垂直距离的目标就是计算出  $K$  点与小车之间的距离  $Z=M+N$ 。

引入比例系数  $p$  表示实际距离和图像像素点间距离的比例，即

$$p = G/g$$

$G$  表示采集图像的垂直像素值，即图片高度，以像素为单位； $g$  表示成像平面在现实世界中的大小，以毫米为单位。由于在图片处理中只能以像素点为单位进行计算，所以引入比例系数  $p$  实现图像内部到外部现实世界的转换。

由图 3-3，根据几何定理，三角余弦公式等，有以下一组方程式存在：

$$\tan \beta = M/H \quad (1)$$

$$\tan(\alpha + \beta) = D_2/H \quad (2)$$

$$\cos \alpha = F/S \quad (3)$$

$$S^2 + k^2 - l^2 = 2Sk \cos \gamma \quad (4)$$

$$H^2 + (M + N)^2 = L^2 \quad (5)$$

$$\alpha + \gamma = \pi/2 \quad (6)$$

其中  $l$  为  $k$  点到摄像机的距离， $L$  为  $K$  点到摄像机的距离。上述方程组中存在 9 个未知数，在测得  $H$ 、 $M$ 、 $D_2$  的条件下，剩下六个未知数理论上可以得出唯一解。本设计中，摄像机高度  $H$  已知， $M$  即为最近点距摄像机的距离， $D_2$  为图像中点对应地面点距摄像机距离，均可以通过摄像机标定过程确定。计算比例系数  $p$ ，进一步得出  $k$  值，根据公式(1)、公式(2)计算出  $\alpha$  与  $\beta$ ，由公式(3)计算  $S$  值，求出  $\alpha$  相当于也知道了  $\gamma$  值，代入公式(4)求出  $l$ ，进而再应用一次余弦定理求出  $L$ ，由勾股定理得  $Z=M+N$  值。

$Z$  表示目标点距离小车的垂直距离，对于水平距离需要对水平剖面进行分析计算，如图 3-4 所示。

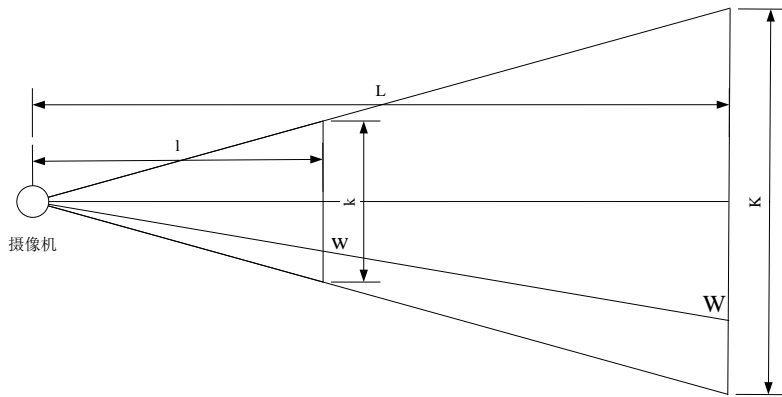


图 3-3 水平切面图

图中所示水平切面并非平行于地平面，而是沿着  $k$  到  $K$  的直线方向并与垂直切面相垂直的切面。如图所示， $W$  点为地平面上的点，简记其与中线的距离为  $W$ ； $w$  为成像平面上的点，简记其与中点的距离为  $w$ 。为了计算  $W$  值，需要注意由于  $K$  点据小车垂直距离的不同，图中  $L$  值会产生相应变化，故需要先计算  $L$  与  $l$ ，再计算水平距离。

$L$  与  $l$  在垂直距离计算中已经得出,  $w$  可以通过比例换算得出, 运用如下公式即可得出  $W$  值。

$$\frac{w}{W} = \frac{l}{L}$$

需要注意的是, 这里得出的垂直距离  $Z$  与水平距离  $W$  都是相对于小车本身而言的, 处于以小车为原点的相对坐标系中。在地图生成模块中将实现相对坐标系到绝对坐标系的转换。

### 3.3 摄像机标定

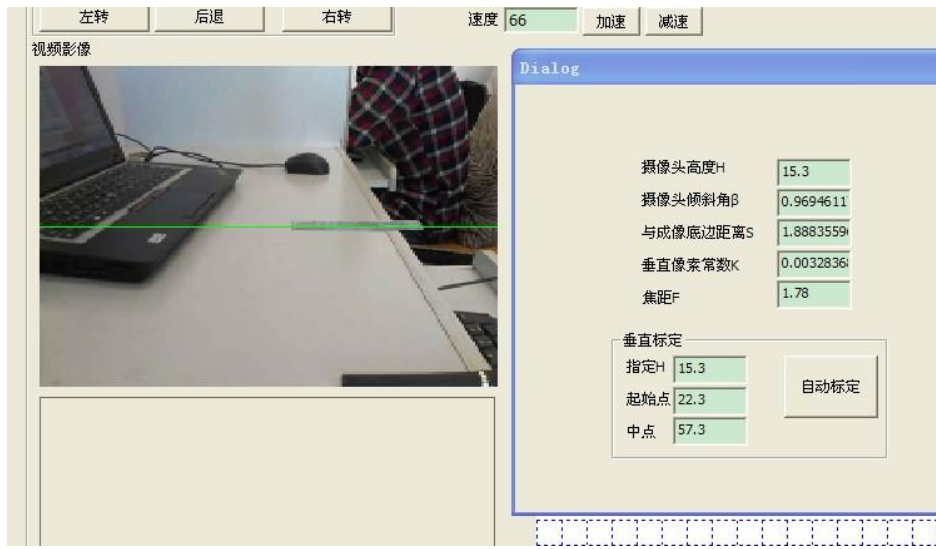


图 3-4 摄像机标定

摄像机标定的作用是确定现实世界坐标系到图像坐标系的转换关系  $f$ 。即

$$Z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中,  $(x, y)$  为点  $P$  在图像中的物理坐标,  $(X_c, Y_c, Z_c)$  为空间点  $P$  在现实坐标系中的坐标值。

本设计中,  $(x, y)$  由像素距离经过比例系数  $p$  变换得到,  $(X_c, Y_c, Z_c)$  的计算公式如下:

$$\begin{bmatrix} Z_c \\ Y_c \\ X_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & f_1 & 0 \\ 0 & 1 & f_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ D_1 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

其中  $f_1, f_2$  为垂直距离  $Z$  与水平距离  $W$  的计算函数, 可由之前所列方程组推导求出。根据变换矩阵可知, 摄像机标定过程中需要确定的变量为  $H$ 、 $D_1$  与

$D_2$ 。如图 3-4 所示，具体测量方法为用摄像机拍摄标定标尺，确定  $D_1$  与  $D_2$ ，然后适当测量  $H$ ，经过“自动标定”计算得出其他参数值。为了保证标定的准确性，还需在初始确定参数中进行微调，本设计中是以计算中点时间距离来作为判断依据，逐步调整参数直至测试误差下降到允许范围以内。

### 3.4 地面识别

测距算法中的基础在于明确识别出地面平面，地面平面的检测中还包含障碍物位置的检测，有关地面检测流程图如下所示：

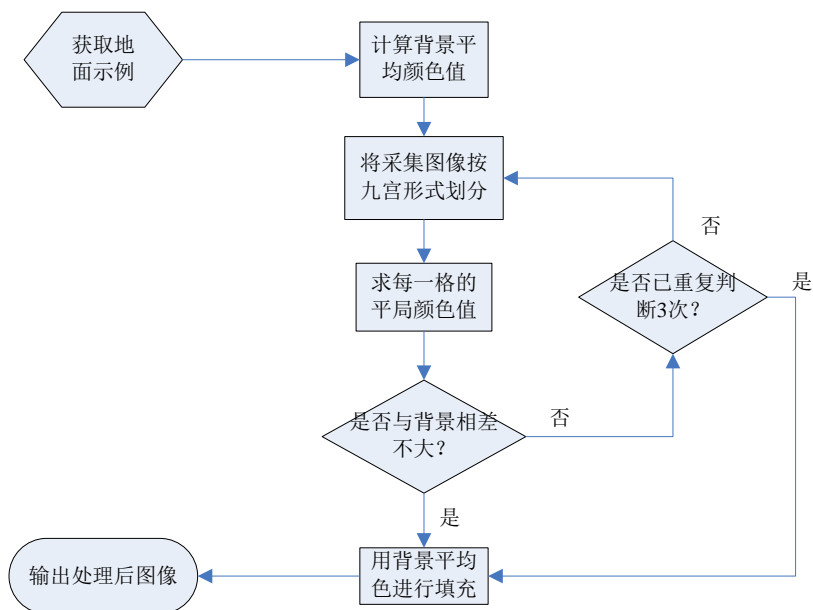


图 3-5 地面识别流程图

如图所示，地面识别是基于图像颜色进行判别的。不同地面的纹理与裂纹不同，而且易因光照、灰尘沉积等因素发生变化，但通常一片区域的地面颜色相差不大，采用平均颜色进行判断还可以消除纹理与裂纹对结果的影响。基于这一观点，本设计预先采集地面示例进行地面颜色分析，然后采用由大到小的判定方法，先将判别区域分为 9 个大的矩形区域，进行粗判断，然后再对疑似区域进行细分判断，最终得出与示例颜色相符合的部分，并用背景色进行填充，为下一步判断做准备。

有关障碍物识别，采用的则是轮廓判断法。经过地面识别以后，输出图形大部分区域被背景颜色所覆盖，障碍物一定存在于非背景区域中。障碍物检测的标准基于轮廓检测法，应用 canny 边缘提取算法得出非背景区域内物体的轮廓，若轮廓区域大于一定值时，则表示此轮廓所代表的物体无法忽视，即视为障碍物，

记录坐标并执行更新地图任务。

### 3.5 实验测试结果

为了测试视觉测试算法的可行性，本文为其单独设计了测试实验。实验中经过反复测试，得出各参数标定值为摄像机高度  $H=15.3\text{cm}$ ，起始点距离  $D_1=22.3\text{cm}$ ，中点距离  $D_2=57.3\text{cm}$ ，摄像头倾斜角  $\beta=0.97$ ，成像底边距离  $S=1.89\text{cm}$ ，焦距  $F=1.78\text{cm}$ ，比例系数  $p=0.00328$ 。

在测试过程中，以智能小车为原点，分别选取位于其正前方、左前方、右前方的坐标点若干，计算距离值与实际距离值对比见下表：

测试点	实际垂直距离	实际水平距离	计算垂直距离	计算水平距离	垂直距离误差	水平距离误差
P1	70.0cm	0cm	64.6cm	1.92cm	5.4cm	1.92cm
P2	40.0cm	0cm	41.2cm	0.46cm	1.2cm	0.46cm
P3	40.0cm	20cm	41.21cm	21.8cm	1.2cm	1.8cm
P4	100.0cm	18cm	105.6cm	21.1cm	5.6cm	3.1cm
P5	22.0cm	4cm	23.2cm	3.12cm	1.2cm	0.88cm
P6	25.0cm	18cm	25.03cm	17.3cm	0.03cm	0.7cm

表 3-1 距离测试结果表

从测试结果可以看出，距离摄像头越近误差最小，随着垂直距离的增加，误差越来越大，这是由于起初参数标定的误差随着距离越来越远，对结果的影响也越来越大，如何能够获得更加精确的参数是本算法未来进行的方向。综合考虑计算结果准确度，计算时间成本等因素，该算法可以满足智能小车行驶过程中的测距需求。

### 3.6 本章小结

本章从计算机视觉的角度解释了设计中关于视觉测距方面的内容，提出一种基于地面进行视觉测距的算法，经实验证明，该算法准确可靠，可以应用于工程实践中。

基于地面视觉测距的第一步是地面识别，基于颜色的地面识别算法运行快速，在简单背景下可以获得很好的效果，将障碍物检测模块同步运行，可以减少



系统开销，为生成地图节省时间。在已知地面信息的条件下，通过摄像机针孔模型对地面上的点进行坐标分析，通过摄像机标定模块计算出各摄像机参数值，主要需要标定的参数有摄像机高度  $H$ ，起始距离  $D_1$ ，中点距离  $D_2$ 。

视频测距的关键在于变换矩阵的确定，变换矩阵指将二维图像坐标转换为现实世界三维坐标的矩阵。根据标定参数，带入已知方程组，即可得出转换函数  $f_1$ 、 $f_2$ ，依据转换函数，最终确定目标距离小车的水平距离和垂直距离。

最后本文对该算法进行实验测试，测试结果比较满意，可以应用于接下来的研究。

## 第四章 路径规划

60年代末期,移动机器人的研究开始在实验室中兴起,逐渐人们将研究的主要经历都放到了机器人的导航与定位两个重点问题上。移动机器人的导航就是根据环境信息进行机器人导航,目前各种导航技术有路标导航,视觉导航与味觉导航等。而机器人的定位则与位资关系密切,为了能够准确的指导机器人行走,能够准确感知机器人的位资尤其重要。

移动机器人的任务目标是行驶至目标地点,期间需要完成路径规划,定位与避障行驶环节。其中,路径规划是最基本的环节之一,优秀的路径规划算法,会在目标物与机器人之间求解出一条最优的无碰路径。根据路径规划对环境信息的知道程度,可分为对全部地图信息都预先已知的全局路径规划和在起始时对地图信息未知或只知道一部分,通过行驶过程中实时采集环境信息进行障碍物判断并避障行驶的局部路径规划。

### 4.1 路径规划研究现状

全局路径规划包括环境建模和路径搜索两方面内容,其中环境建模的主要方法有:可视图法(V-Graph)、自由空间法(Free Space Approach)和栅格法(Grids)等。

可视图法又称直线选择法,就是将机器人视为一点,同时将目标点与障碍物边缘也用直线连接起来,寻找适当的直线组合。要求机器人到达目标点的直线组合均不跨越障碍物,即直线两端是直接可见的。对于可视图法进行最优搜索时就是寻找这些连线中的最小值,可以解决最短路径搜索问题。可视图法的缺点在于要将机器人视为一点,可能会发生与障碍物碰撞的情况;而且搜索时间长,算法时间复杂度平均为  $O(N^2)$ 。

自由空间法是利用标准几何图形如三角形矩形和广义锥形等填充可移动空间,并将可移动空间表示为连通图,此连通图记为自由空间,然后在自由空间内进行最优路径搜索。该算法比较灵活,一旦地图确定则连通图也确定;但算法的复杂度与障碍物多少有关,障碍物复杂的情况下不易获得最短路径。

栅格法是一种地图简化方法,将地图信息分解为一系列具有二值信息的网格单元,在网格单元的基础上通过优化算法完成路径搜索。在栅格内部,环境信息被简化为二值信息,一般包括障碍物栅格与空白栅格两种状态。栅格法中,栅格

的大小起到很重要的作用，栅格大环境信息存储量小，算法运行时间短，但可能会出现路径发现能力弱的现象；栅格小环境分辨率高，发现路径能力强，但环境信息量大，对处理速度将产生影响。经典的最短路径算法主要有 A\*算法和 D\*算法等。

目前应用比较多的局部路径规划算法有：人工势场法(Artificial Potential Field)、遗传算法(Genetic Algorithm)和模糊逻辑算法(Fuzzy Logic Algorithm)等。

人工势场法：Khatib 为路径规划提出了一种虚拟力法，其基本思想是假设机器人处于周围环境的引力影响下，目标物体对机器人产生吸引力，障碍物对机器人产生排斥力。根据合力算法计算机器人受到的假想力之和，进一步指导机器人运动的方向与速度。人工势场法原理简单，易于实现，在实时避障和平滑轨迹控制方面应用广泛；但其存在许多明显的缺点，容易产生死锁现象，在复杂环境中效果不佳。

遗传算法：遗传算法由 J.Holland 在 60 年代初提出，以自然选择理论作为基础，利用选择、交叉与变异来培养样本，通过程序模拟自然进化得出方程的最优解。遗传算法用于路径搜索属于一种多点搜索算法，与人工势场法不同，遗传算法可以避免陷入局部最优问题，求解出可靠的全局最优解。但是遗传算法需要样本学习时间长，进化规则规划复杂，容易影响实时性。

模糊逻辑算法：模糊逻辑算法相当于一种经验算法，就是根据驾驶员的驾驶经验构成一个经验表，当机器人遇到障碍物时通过查表获得处理方法。该方法即克服了人工势场法的缺点而且实时性好，在有一张可靠的经验表的前提下，可以获得较好的运行效果。

除上述传统算法外，还有诸如模拟退火算法、蚁群算法等启发式路径搜索算法。其中，蚁群算法以其优良的特性在许多类型的路径规划问题中得到了广泛的应用。蚁群算法(Ant System)的基本思想是模拟自然界中蚁群的运动规则，模拟一群蚂蚁进行路径搜索。在搜索过程中，通过全局信息素更新和蚂蚁搜索结果反馈知道下一批蚂蚁的搜索路径，并最终确定出最短路径。

在实际应用中，依据具体环境进行选择相应方法，而且经常出现一种路径规划算法为主，辅以另一种路径规划算法的情况，在硬件条件允许的情况下，这样做可以获得更优的结果。本设计中对路径规划的研究属于全局路径规划，并在小车行驶过程中加入局部路径规划以确保任务正确执行。

## 4.2 路径规划总体设计

路径规划的目的是控制智能小车尽快行驶至目标地点，在本文中，采用改进

的蚁群算法进行全局路径规划，小车行进过程中，若遇到新出现的障碍物，则临时调用局部蚁群算法修正最优路径。路径规划模块设计流程图如图 4-1 所示：

如图所示，路径规划包括总体规划设计层与执行行为控制层两部分。两层内容共同为行驶至目标地点服务，总体规划起导向作用，行为控制负责具体实现与反馈误差。

总体规划设计层的输入为地图信息与障碍物信息，输出为一段最短路径上的点序列，这是因为本文中改进的算法将结果路径折线化，尽量减少转弯点，以适应小车易于直线行驶不易于转弯的特性。当小车直线行驶时，容易达到最高速度，本设计中小车通过双轮驱动，转弯时只有转弯一侧驱动轮转动，小车基本不会向前移动，所以转弯点少的路径反而比距离短的路径更加理想。

行为控制层除了图中所示模块以外，还有行为控制模块，主要负责控制小车行进，转弯以及停止。与总体规划层相比，行为控制层主要根据实时采集图像分析小车位姿，控制小车行驶至规划路径中的下一个目标点。结合障碍物识别结果，控制小车及时避开障碍物行驶，并且当发现所检测障碍物与地图信息不符时，触发更新反馈，以小车当前点作为出发点，重新进行路径规划。本层中，还包含一部分的局部规划内容：当小车前方出现障碍物时，根据序列点确定临时避障点，然后经由临时避障点行驶至目标序列点。

智能小车的速度控制策略为：规定两档速度，出发与临近转弯点时低速行驶，长距离直线行驶中高速行驶；有关小车的转向判断经过实验经验获得，小车转向时速度固定，转角度为每秒 22.5 度。

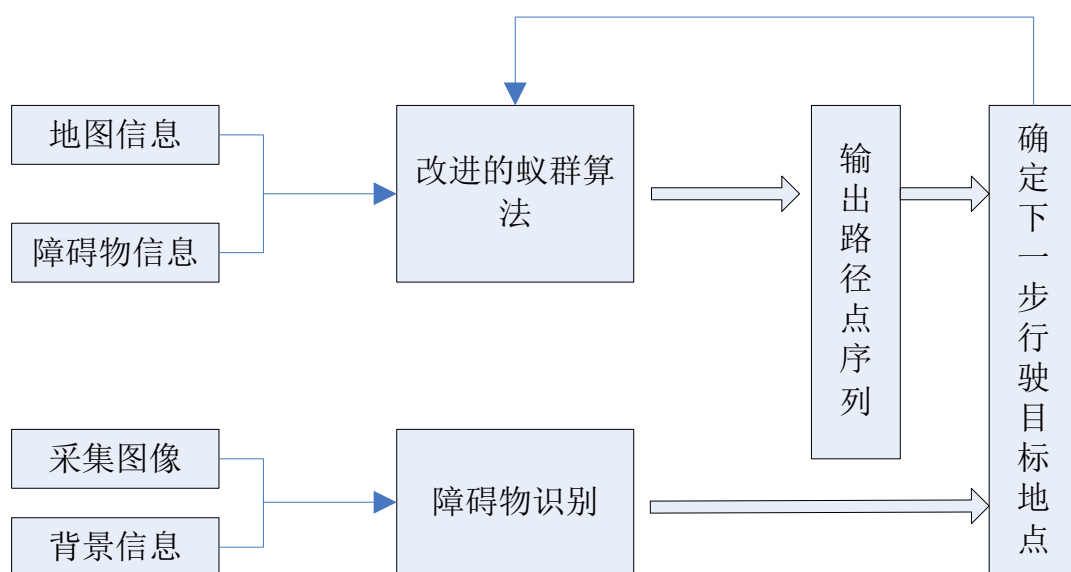


图 4-1 路径规划设计流程图

### 4.3 虚拟地图

#### 4.3.1 地图在路径规划中的作用

无论是全局路径规划还是局部路径规划都是以地图作为规划基础的，随着所采用方法的不同，地图的种类也很多。例如在可视图法和自由空间法中使用的二维坐标系地图，而栅格法对二维地图进行栅格化处理，形成了比较简单的栅格地图；在局部规划图中，人工势场法生成势场地图，遗传算法与蚁群算法等也都在运算之前准备相对于小车的相对坐标地图。

地图的作用就是以简单易懂的形式表示出区域路况，标记可行驶地点与不可行驶地点。依据功能不同有多种不同用途的地图，在路径规划中最常用的是坐标系地图。在某些涉及三维空间规划中还应用三维地图，与二维地图类似，只是距离计算时需要考虑第三维参数。

有关最短路径的分析存在两种情况：一种是计算一张地图中从目标 A 行驶到目标 B 的最短路径；另一种是计算一条最佳路径，使得利用最短的路程分别访问多个目标点 A、B、C...至少一次。基于第一种情况，成熟的算法有 A\*算法与 D\*最优算法等，其基本思路类似于优化的穷举法，计算复杂度较高，遗传算法、蚁群算法是解决这类问题较新提出的方法，在训练合适的条件下，可以降低计算复杂度，获得更优的结果；而对于第二种情况，蚁群算法的解决效果比较理想，相关方面的研究也已经日趋成熟。本文的研究属于第一种最短路径求解。

#### 4.3.2 绝对坐标地图与相对坐标地图

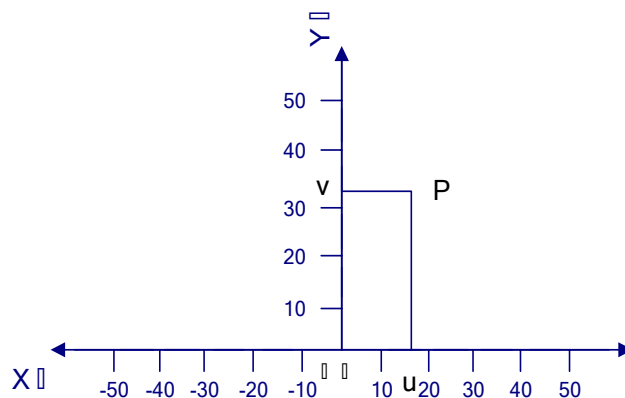


图 4-2 相对坐标地图

本设计采用相对坐标地图如图 4-2 所示，利用视觉测距标定目标在此坐标系中的坐标值。如图，智能小车位于坐标系原点，点 P 纵轴坐标  $v$  为 P 距离小车的

垂直距离  $Z$ ，横轴坐标  $u$  等于  $P$  距小车水平距离  $W$ 。相对坐标地图的作用是以小车为中心获取周围环境信息，在小车行进过程中实时采集周围环境情况，并通过转换对绝对坐标地图进行信息补充。

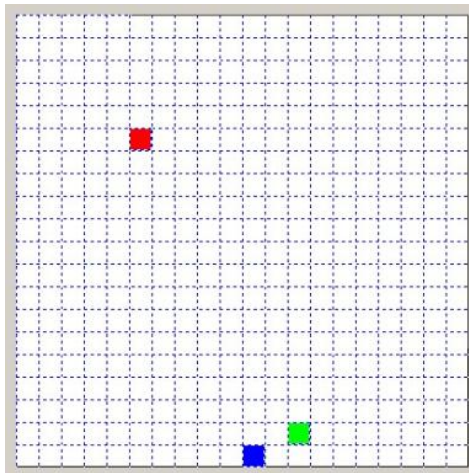


图 4-3 绝对坐标地图

如图 4-3 所示，绝对坐标地图相当于现实地图，它记录了小车、障碍物以及目标物体相对于地面的绝对位置。在绝对地图上运行最短路径检测，输出最短路径序列点。为了便于显示，本文对绝对坐标地图进行栅格化处理，图中一个栅格代表地面上一个  $10*10\text{cm}$  的方格。

相对坐标地图与绝对坐标地图的转换基于以下原理：记相对坐标地图  $P$  点坐标为  $(x, y)$ ，小车在绝对坐标地图的坐标为  $(X, Y)$ ， $P$  点在绝对坐标地图上的坐标为  $(P_x, P_y)$ ，两坐标的转换关系可由下式表示：

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

### 4.3.3 地图与实时图像信息融合

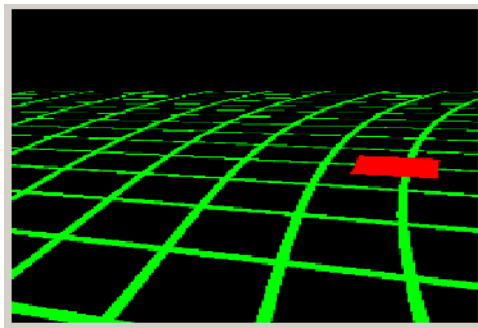


图 4-4 融合图像

为了获得更好的控制效果，将绝对地图信息与实时采集图像进行融合，其结果如图 4-4 所示。图中网格为栅格地图的坐标线，红色标记为目标地点。控制时

先通过调整小车角度是目标地点位于小车前方，然后驱动小车前进行驶至目标点，注意，这里所说的目标点不是最终任务目标点，而是输出最佳路径中的某一序列点。

融合图像的生成原理是经过对地面信息进行视觉测距以后，可以已知地面各点的距离信息，即其相对坐标值，根据公式 4-1 计算出绝对坐标值，然后与图像距离信息进行对比绘制融合地图。由于距离信息计算耗时较长，在获得初始距离信息以后，根据小车行驶演算距离信息：当小车前进时相应方向上坐标值递增，转弯时利用直角坐标系旋转公式进行计算。直角坐标系旋转公式为：

$$X = x * \cos \theta + y * \sin \theta$$

$$Y = x * \sin \theta + y * \cos \theta$$

## 4.4 目标识别

目标识别作为设计任务的第一步，其作用是在摄像机图像中寻找目标物体，为系统提供目标地点。图像识别作为研究热点，近年来不断出现新的更好的算法，本文中采用的图像识别算法是 Mean-Shift 算法，总体来说具有比较好的识别效果。

### 4.4.1 Mean-Shift 算法

MeanShift 算法是指一个迭代计算均值漂移的步骤，即先计算出第一点的均值漂移，然后以此均值漂移为起点，计算相对于起点的新的均值漂移，以此类推直至满足一定的停止条件。将 MeanShift 算法应用于特征空间分析，图像平滑处理与分割处理可以得到良好的效果。MeanShift 算法不需要任何先验知识，完全依靠特征空间中的样本点进行分析，收敛速度快，近年来在基于图像的目标跟踪领域得到广泛的应用。

基于 MeanShift 算法的目标跟踪算法是一种半自动跟踪算法，在跟踪算法执行之前需要对跟踪目标进行初始化，一般的做法是通过鼠标框选要跟踪的目标区域，这个目标区域也是核函数的作用区域，跟踪窗口半径  $h$  等于跟踪区域的大小。然后计算特征空间中每个特征值的概念，这里的特征值即指跟踪区域中的像素点。在后续帧的图片中寻找目标候选区域，并对其特征空间每个特征值进行计算。利用 Bhattacharyya 相似函数(简称 BH 系数)度量初始帧目标模型和当前帧候选模型的相似性，通过求相似函数最大得到关于目标的 MeanShift 向量，这个向量即是目标从初始位置向正确位置移动的向量，由 MeanShift 算法的收敛性，不断迭代计算 MeanShift 向量，在当前帧中，最终目标会收敛到目标的真实位

置，从而达到跟踪的目的。

#### 4.4.2 提取目标与获取目标

Mean-Shift 目标跟踪算法对目标需要进行初始化处理，本设计中的做法是事先拍摄一张包含目标的图片，在图片中框选目标以提供目标图片。

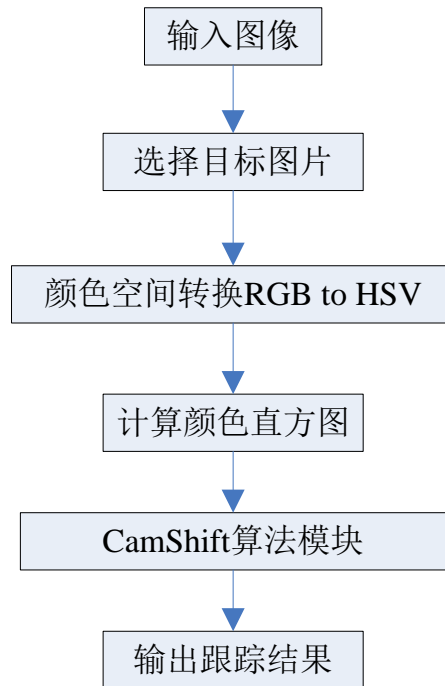


图 4-6 目标识别流程图

图 4-6 表示的是本文目标识别模块流程图，在取得目标图片以后，在环境采集图像中寻找跟踪目标物体。为了减少光照变化对颜色值判断的影响，先将图片颜色空间由 RGB 空间转换为 HSV 颜色空间。应用 HSV 颜色空间进行颜色判断，可以对光照强度进行单独处理，从而提升对光照变化的抗干扰能力。

CamShift 算法是一种改进的 MeanShift 跟踪算法，其优点在于当目标大小发生变化时，CamShift 算法可以自适应继续跟踪目标，而传统的 MeanShift 算法无法做到这一点。CamShift 算法的基本思想是对视频图像所有帧都进行 MeanShift 运算，并依帧与帧之间的顺序将上一帧的结果即搜索目标值作为下一帧 MeanShift 算法的输入目标值，如此不断迭代下去，达到不断跟踪目标的目的。

本设计中目标跟踪的应用场合为发现目标物体以后持续跟踪，若目标消失于视野以外，则记录消失点，并将消失点作为 CamShift 算法的输入，等待目标再次进入视野以后继续跟踪。目标物体的坐标信息由视觉测距模块和地图生成模块处理。



## 4.5 路径规划

本文对蚁群算法进行改进，使其更加适合工程实际应用。下面先介绍蚁群算法，然后描述本文所进行的改进研究内容。

### 4.5.1 蚁群算法

蚁群算法(ant colony optimization, ACO)，又称蚂蚁算法，是一种用来在图中寻找优化路径的机率型算法，它由 Marco Dorigo 于 1992 年在他的博士论文中提出。蚁群算法是一种模拟进化算法，用于路径规划研究相比于其他方法具有许多优良的性质。

蚂蚁算法求最短路径的原理是先利用模拟蚁群进行目标的寻找，经过一段时间训练以后，蚁群路径稳定，即得出最短路径。其实现的具体步骤为：从起点开始，以概率  $P_{ij}^k(t)$  选择下一节点 *NextPoint*，在此，建立向量表  $allowed[n]=\{0,1,0...\}$  存储各节点间的连通关系，若可连通则值为 1，否则记 0。概率  $P_{ij}^k(t)$  的计算公式为：

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k \in allowed(k)} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta}$$

其中， $\tau_{ij}(t)$  为连接边  $\langle i, j \rangle$  在  $t$  时刻上的信息浓度素，所谓信息浓度素就是标记路径点对蚁群吸引力的一种抽象概念； $\eta_{ij}(t)$  表示  $t$  时刻边  $\langle i, j \rangle$  上的能见度，即  $i$  点对于  $j$  点的可见度，一般最近可见度为 1，越远值越小，不可见为 0。 $\alpha$  与  $\beta$  为系数参数，用于标定蚂蚁运动过程中所积累的信息和启发因子在蚂蚁进行下一路径选择时的重要程度，值越大对结果影响越大。在所有蚂蚁都找到目标地点以后，各路径上信息素更新公式为（局部信息素更新）：

$$\tau_{ij}(k+1) = (1-p) \times \tau_{ij}(k) + \Delta\tau_{ij}(k)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}(k)$$

其中， $p$  的值介于 1 与 0 之间，表示路径上信息素恢复的快慢程度， $\Delta\tau_{ij}(k)$  表示第  $k$  只蚂蚁对路径  $\langle i, j \rangle$  上信息素值产生的增量， $\tau_{ij}(k+1)$  为路径上信息素总量值，每一次蚂蚁走过后，其值增加，若没有蚂蚁经过，则适当衰减。

局部信息素更新还应与蚂蚁行走路径有关，间接通过控制路径残留信息素强度诱导蚂蚁找到最短路径：

$$\Delta\tau_{ij}(k) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{蚂蚁 } k \text{ 在本次周游经过边 } \langle i, j \rangle \\ 0, & \text{否则结束} \end{cases}$$

其中,  $Q$  为一常数用于作为分子,  $L_k$  为第  $k$  只蚂蚁所寻找的路径的长度。若蚂蚁未找到目标点, 则视为寻找失败, 收回蚂蚁,  $\Delta\tau_{ij}(k)$  等于 0。

由于基本蚁群算法学习时间长, 算法执行时还易陷入局部最优问题, 出现停滞现象, 所以出现了一种改进的蚁群算法, 蚁群系统算法。它是在基本蚁群算法的基础上引入局部信息素更新规则, 并添加全局信息素更新规则仅仅应用于最佳搜索路径上。具体的信息素更新规则如下:

局部更新规则:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho_{localupdate} \tau_{ij}(t) + (1 - \rho_{localupdate}) \Delta\tau_{ij}$$

其中,  $\rho_{localupdate}$  为局部信息素挥发系数, 并且  $0 \leq \rho_{localupdate} \leq 1$ , 其他参数定义与基本蚂蚁方法算法中定义相同。

在局部信息更新的基础上, 修改全局信息素更新规则为:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho_{globalupdate} \tau_{ij}(t) + (1 - \rho_{globalupdate}) \Delta\tau_{ij}^*(t, t+1)$$

其中, 全局信息素挥发系数为  $\rho_{globalupdate}$ ,  $\Delta\tau_{ij}^*(t, t+1)$  为  $t$  时刻到  $t+1$  时刻对应路径上所发生的信息素变化值, 具体计算公式为:

$$\Delta\tau_{ij}^*(t, t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{gb}}, & \text{如果路径 } \langle i, j \rangle \text{ 是所找到最优解的一部分} \\ 0, & \text{否则结束} \end{cases}$$

其中,  $L_{gb}$  为全局最优路径的目标函数值。

经过反复实验, 使用蚁群系统进行最短路径分析, 所得结果不差于 A\*算法、D\*算法得出的结果, 在障碍物复杂的情况下还能得出更优的解答。因此, 在本设计中采用蚁群系统算法作为寻找最佳路径的主体算法, 在其基础上进行改进, 使其更加适用于实际应用。

#### 4.5.2 本文所做的改进

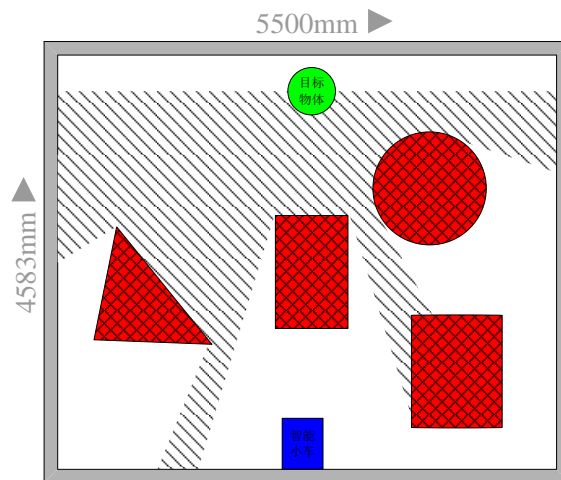


图 4-7 改进原理图 1

上述蚁群系统算法应用到本设计中时，需要对地图中可行驶的每一点进行遍历，相应处理次数增加，并且计算复杂度与障碍物的多少无关，在障碍物少的情况下依旧需要对坐标点依次遍历寻找。并且在寻找最短路径方面，其输出结果并非直线行驶，多数情况下整体呈直线，局部曲线较多，虽然这样路径长度最短，但转弯过多，反而加大了小车行驶至目标地点的时间。针对以上两个缺点，本文提出了相应的改进方案。

如图 4-7 所示，图中虚拟了一种包含有限个障碍物的现场情况，为了说明算法，并没有设计的十分复杂。图中蓝色矩形表示智能小车，绿色圆形为目标地点，红色几何体表示障碍物。为了简化蚁群系统的运算，先对地图进行栅格化处理，即将地图粗略地划分为  $40 \times 40$  个方形栅格，每个栅格具有小车、目标地点与障碍物三种状态。如果采用原始蚁群系统算法进行运算，则需要依次分析每一个栅格，蚁群的行动也是从一个栅格运行到与其紧邻的下一个栅格，蚁群发展速度慢。如图所示，图中斜线阴影部分为可以直接看到目标地点的点，即表示当小车运行到阴影部分时，可以直接调整角度直线行驶至目标(小车大小理想化为一个质点，小车边缘可能与障碍物相碰的情况这里暂时忽略不计)。由于两点之间直线行驶距离最短，所以当蚁群查找至阴影区域内时，可以直接指向目标地点，提前完成查找任务。

基于这一原理，本文在设计中引入对目标可见度概念  $Targ et(k)$ ，与点与点之间可见度  $allowed(k)$  共同决定下一节点选择概率  $P_{ij}^k(t)$ ， $k$  表示坐标点， $t$  表示某一时刻，其计算公式为：

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k \in allowed(k)} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta} + Targ et(k)$$

其中  $Targ et(k)$  的取值为 0 或 1，当  $k$  点对目标点可见时值为 1，反之为 0。经实验证明，加入目标可见度判断以后，大大缩短了算法运行时间，可以在短时间内计算出最短路径，但其效果与障碍物环境的复杂程度成反比。

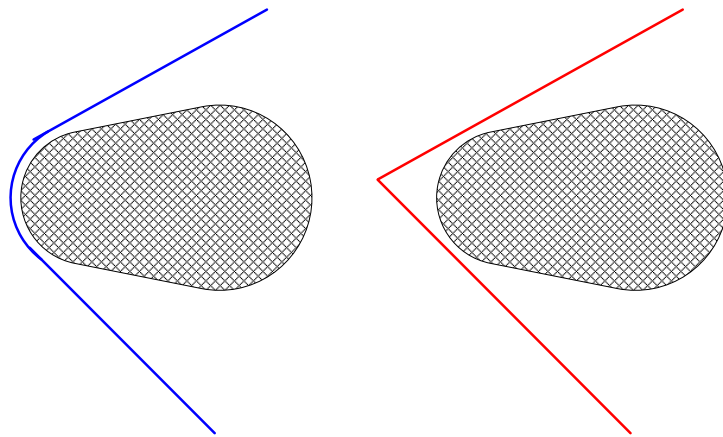


图 4-8 改进原理图 2

图 4-8 显示了规划路径折线化处理的情况，图中交叉线阴影表示障碍物，左图显示蚁群系统输出的规划路径，右图为经过折线化处理以后的情况。折线化处理基于这样的事实：如果下一节点与路径方向  $N$  不在同一条直线上，则计算下一节点与当前节点的连接直线  $A$ ，求取  $A$  与  $N$  的交点  $M$ ，若两直线相交过程中不存在障碍物且总长度小于允许长度，则进行路径更新：取交点  $M$  作为下一节点，路径方向  $N$  更新为  $A$ ；若存在障碍物，表示无法进行折线化处理，保持原有路径不变。折线化处理相当于对结果的后续加工，最终路径经过折线化处理以后，只需输出路径序列节点即可，在工程上更加易于实现，达到的控制效果更加理想。

将这两点改进思路具体应用于蚁群系统中，整个设计的求解路径规划流程图如图 4-9 所示，其中节点与节点之间的可见度信息由距离和节点之间是否存在障碍物决定，一般而言，距离越远可见度越低，但如果节点之间存在障碍物，则可见度骤减为 0。同时，折线化处理对可能出现的曲线情况进行了向内收敛的处理，其简单原理为用直线连接相邻的节点，若可以连通，即之间不被障碍物阻隔，则消除相邻节点间的其他节点。

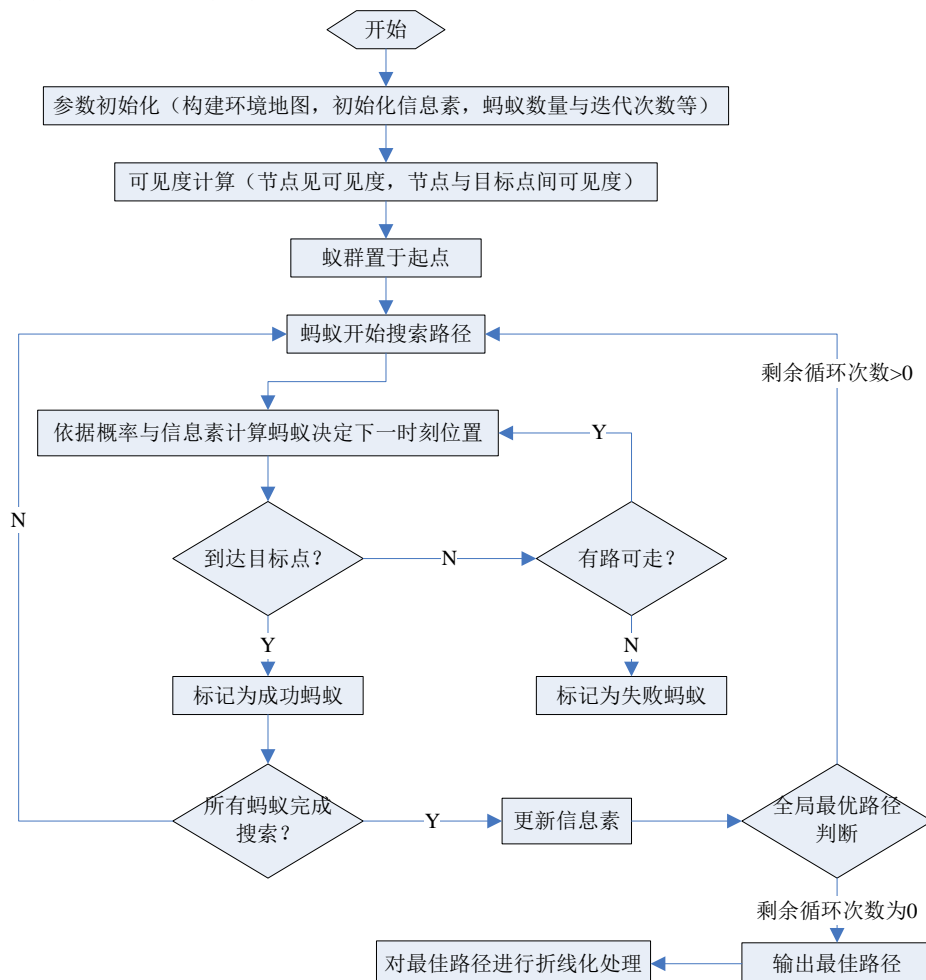


图 4-9 整体路径规划流程图

## 4.6 本章小结

路径规划作为智能移动机器人的研究热点问题，已经提出了许多具有代表性的算法思想。作为本设计的主要任务之一，作者在参考学习各种路径规划的基础上，采用蚁群算法作为智能小车的主要路径规划算法。同时，为了使算法更加适合工程应用，提出了两点改进思想并加以实现。

本章从地图设计开始，分别介绍了智能小车路径规划过程中的地图生成模块，目标识别模块以及最短路径模块，各个模块之间相辅相成，前一模块的输出作为后一模块进行处理的基础，最终输出最佳路径点序列。

## 第五章 实验结果

### 5.1 整体运行测试

本设计在实验室环境下进行了实物测试，在实验室已有小车的基础上进行改造，智能手机选用 HTC W320 型号。为了达到更好的实验效果，专门搭建了一个实验平台，平台大小 150\*150cm，障碍物选用颜色鲜明的几何状物体，目标物体为一个蓝色墨水瓶。测试任务设定为智能小车在搭建障碍物环境中寻找蓝色墨水瓶。系统实验图如图 5-1 所示：



图 5-1 实验环境

如图所示，实验过程中先采集目标图片，然后将小车置于起始点开始自动导航。在路径规划算法方面，为了满足实时性的要求，蚁群系统算法采用固定迭代次数方法执行，蚁群参数为：蚁群数目  $m=40$ ，迭代次数  $N=20$ ，信息素启发权值  $\alpha=1$ ，方向启发权值  $\beta=4$ 。

为了更直观的显示实验结果，本文采用仿真程序仿真小车运行轨迹，手动输入障碍物信息对假想障碍物进行模拟行驶。从简单到复杂共设计了三组实验：第一组实验为小车直行测试，使目标位于小车前方，使其直线行驶至目标；第二组实验为简单障碍物避障实验，在环境中加入有限个障碍物，测试小车运行情况；第三组实验增加环境障碍物数量，观察智能小车运行状况。最后，对每次路径长度，任务执行时间，小车平均运行速度进行了统计。实验结果及各项数据如下所示：



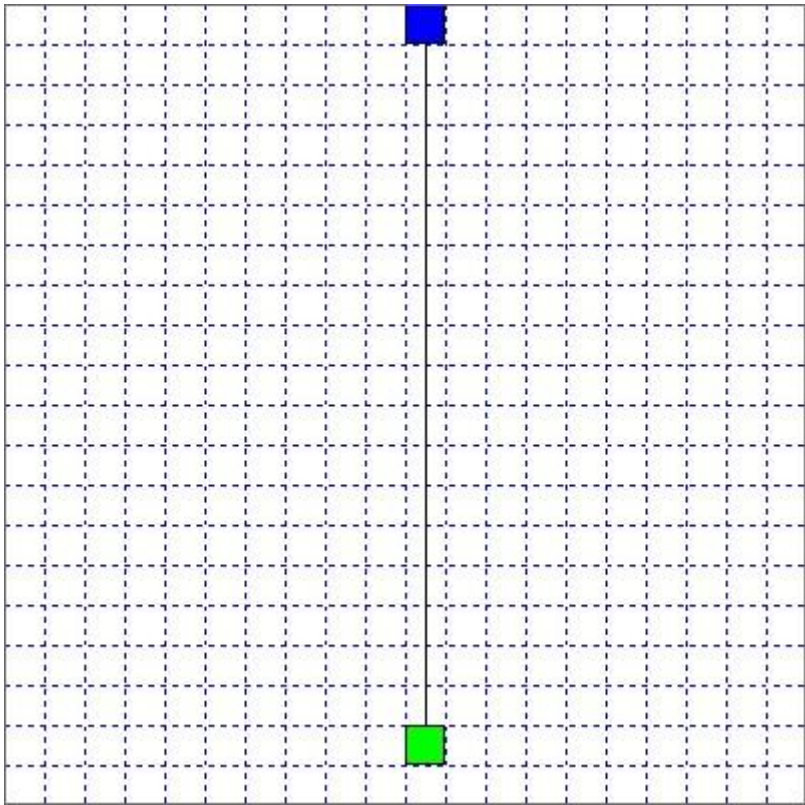


图 5-2 实验一运行结果

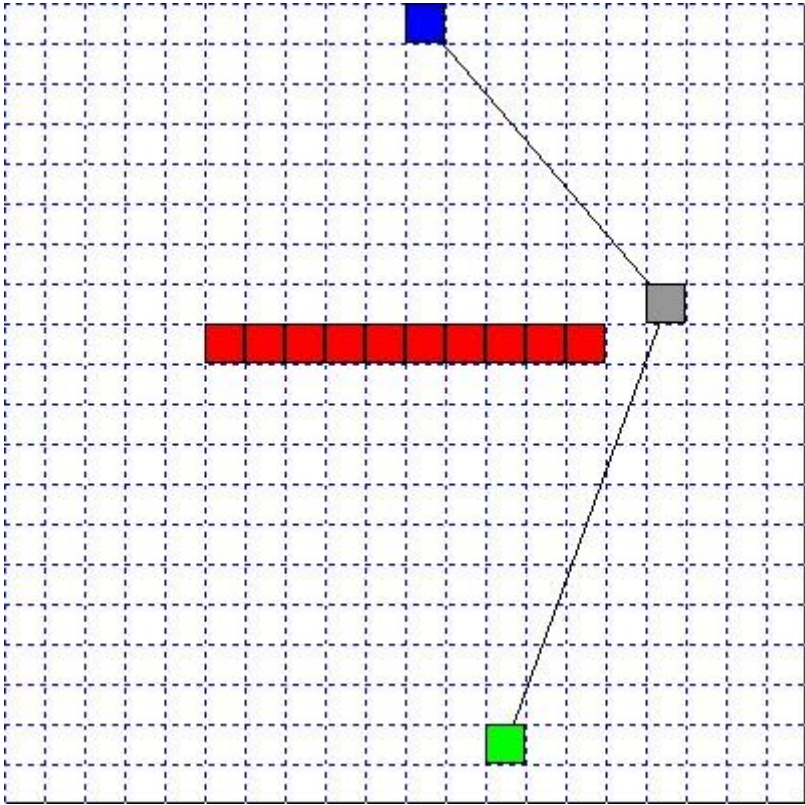


图 5-3 实验二运行结果

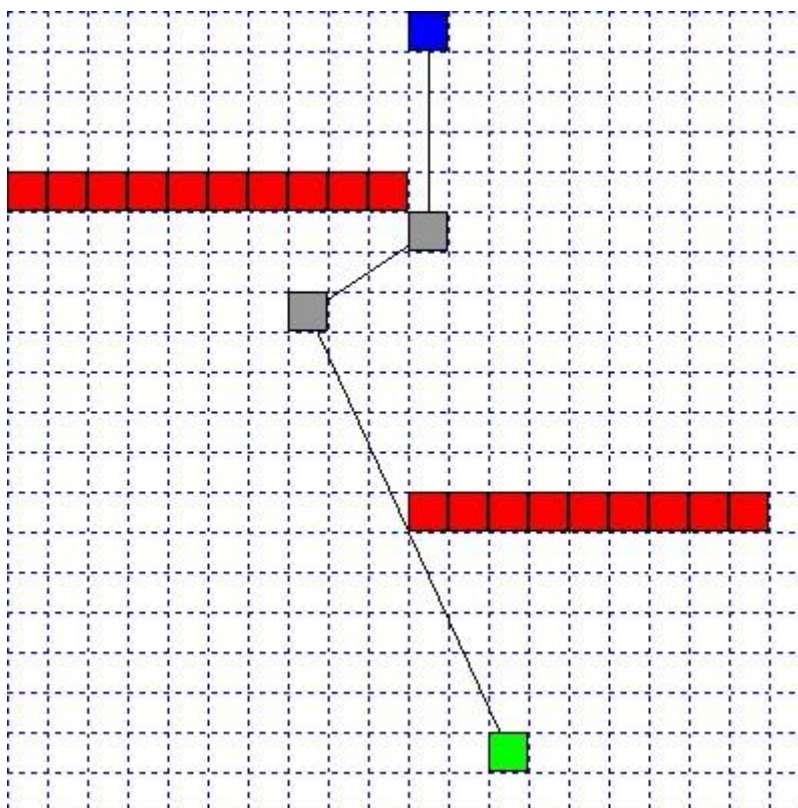


图 5-3 实验三运行结果

实验项目	路径长度	执行时间	平均速度
实验一	73cm	29''	1.506m/min
实验二	134cm	1'05''	1.236m/min
实验三	112cm	1'14''	0.96m/min

表 5-1 实验结果统计

## 5.2 结果分析

如表 5-1 所示，在直线行驶、简单障碍物和复杂障碍物环境下，系统都可以较好的规划出最佳折线路径，将小车平均速度控制在 1m/min 的水平上，小车最快速度为 1.8m/min，基本达到预期效果。



## 第六章 总结与展望

### 6.1 系统总结

自 1966 年 Nils Nilssen 和 Charles Rosen 等人研制第一台移动机器人 Shakey 以来, 机器人技术已经发展了将近 60 年。在目标识别、避障行驶、路径规划等热点问题上, 提出了许多新的思想与算法, 机器人的智能水平也在不断提高。应用方面, 智能机器人技术已经走出实验室, 在军工领域应用广泛, 并逐步为民用需求提供服务。可以预见, 智能机器人技术将作为几十年以内的研究重点继续发展下去。

本文通过对现有机器人技术的学习与研究, 从硬件方面入手, 摒弃原先通过 ARM+DSP 设计智能小车的方式, 尝试采用新型的 Android 智能手机作为控制核心搭建智能小车控制系统。随着智能手机技术的发展, 手机本身已经是一个集位置传感器、图像传感器和声音传感器为一体的智能系统, 加之其拥有更高性能的 CPU 和 GPU, 直接使用智能手机搭建智能小车比传统的方法或许会获得更好的性能。而且智能手机的普及程度高, 易于研究成功的民用化发展。

按组成系统划分, 本设计分为智能小车系统, Android 手机系统和 PC 软件系统三部分。智能小车系统由单片机系统组成, 主要功能是提供蓝牙接口与控制小车电机驱动; Android 手机系统作为系统中枢, 提供蓝牙传输与 wifi 传输, 主要功能是控制小车移动, 以及与 PC 机进行通讯, 接收由 PC 机辅助计算的最佳路径序列; PC 软件设计主要包括三个功能: 接收手机发来的环境数据, 利用视觉测距生成实时环境地图, 利用路径规划算法求解最佳路径。说明, 为了保证算法执行的准确性, 先将路径规划与视觉测距算法置于 PC 软件中实现, 在后续工作中, 将把这两部分内容移植到手机软件中。

视觉测距是摄像头研究应用的一部分, 作为一种新兴的非接触式测距方式, 在某些场合具有比红外测距, 激光测距等更优秀的性能。本设计利用手机后置摄像头实现视觉测距, 并提出了一种基于地面的单目视觉测距技术, 经实验验证, 测距效果基本理想, 误差在允许范围以内, 可以满足系统需要。

本设计算法研究的另一个重点是路径规划算法研究, 比较多种目前流行的路径规划算法以后, 选择蚁群算法这种启发式路径规划算法作为最短路径求解的方法。这是因为蚁群算法迭代次数固定, 运算速度相比于 A\*算法、D\*算法快, 可

以满足设计的实时性要求。为了使蚁群系统算法更加使用于工程应用，本文提出了两点改进意见：加入目标可见度变量，提高蚁群寻找目标速度；后期处理中加入折线化处理，使输出结果转弯点减少，适应所用小车易于直线行驶不易于转弯的特点。

最后，对系统进行整体测试。实验结果表明，本设计可以较好的完成系统任务，满足系统设计的要求。所用算法效果明显，执行速度快。

## 6.2 系统展望

本系统研究的初衷是设计一个能够自动驾驶的智能小车，希望可以为机动车自动驾驶技术提供一些参考内容。由于时间紧迫，本设计只实现了系统要求的核心任务，在抗干扰、运行稳定性等方面都没有进行深入研究，可以说本设计尚处于初级状态。接下来需要进行的改进有以下几点：

### 1、成熟算法的手机软件实现

作为智能小车系统的控制核心，视觉测距、路径规划等内容应该放置于手机软件中运行，这样做同时也减少了无线通讯的负担，改善系统响应时间。目前所使用的智能手机在性能上已经可以满足算法计算的需要，但是由于手机系统对图像处理算法的支持尚不是很好，所以选择先在 PC 上进行算法效果测试，再将成熟算法移植到手机中的设计方式。

### 2、目标识别算法研究

本文主要研究视觉测距与路径规划两方面内容，对于智能移动机器人研究的另一个热点问题：目标识别并没有进行深入研究。为了使系统达到更好的效果，必须配备以更好的目标识别算法，可以做到在复杂环境下也能准确识别并跟踪目标物体。

### 3、复杂背景下地面识别研究

作为视觉测距技术的基础，地面识别对视觉测距准确性起到至关重要的作用。本设计实现的是简单背景下的地面识别，无法应用于具体实际中。需要在以后改进中研究复杂地面的识别算法，并在识别的基础上准确确定出障碍物轮廓。

## 参考文献

- [1] Wasif Naeem, George W. Irwin and Aolei Yang, COLREGs-based collision avoidance strategies for unmanned surface vehicles, *Mechatronics*, 2012, 22. 669–678
- [2] Antonio Sgorbissa and Renato Zaccaria, Planning and obstacle avoidance in mobile robotics, *Robotics and Autonomous Systems*, 2012, 60. 628–638
- [3] Luc Duviolbourg and Sébastien Ambellouis, Obstacle detection using a single camera stereo sensor, *Third International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System*, 2012. 979-986
- [4] Changhui Yang, Hitoshi Hongo, and Shinichi Tanimoto, A New Approach for In-Vehicle Camera Obstacle Detection by Ground Movement Compensation, the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008. 151-156
- [5] Guanglin Ma, Manoj Dwivedi, Ran Li, etc, A Real-Time Rear View Camera Based Obstacle Detection, the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2009. 408-413
- [6] Yuan Gao, Xiao Ai, John Rarity, etc, Obstacle Detection With 3D Camera using U-V-Disparity, 7th International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, 2011. 239-242
- [7] Ikuro Sato, Chiharu Yamano, and Hirohiko Yanagawa, Crossing Obstacle Detection with a Vehicle-Mounted Camera, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2011. 60-65
- [8] Ding Chengjun, Yan Bingsen, Duan Ping, The remote control of mobile robot based on embedded technology, *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2011. 907-910
- [9] Cheng-Liang Lin, Yi-Hsuan Hung, etc, Content-aware Smart Remote Control for Android-based TV, *2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 2012. 678-679
- [10] Raul Ionel, Gabriel Vasiu, Septimiu Mischie, GPRS based data acquisition and analysis system with mobile phone control, *Measurement*, 2012, 1463-1470
- [11] Ting-Fang Chueh, Yong-Yi FanJiang, *International Symposium on Computer, Consumer and Control*, 2012. 658-661
- [12] 顾士平, 丁爱国, 黄前红, 等, 基于 Andriod 多屏互动的遥控器设计, *电视技术*, 2012, 36(4): 30-31

- [13] 郭利全, 谢维波, 基于 Android 平台的可视对讲系统的设计与实现, 微型机与应用, 2012, 31(5): 4-7
- [14] 徐理英, 基于语音辨识的遥控小车的设计, 微型计算机信息, 2009, 25(4): 126-127
- [15] 廖传书, 陈鹏飞, 基于语音识别的遥控小车研究, 武汉理工大学学报, 2007, 29(12): 70-72
- [16] 李宗恒, 李俭伟, 主要智能手机操作系统发展现状及前景展望, 移动终端, 2009, 4: 115-118
- [17] 刘建业, 付占稳, 朱维璐, 等, 自动送药遥控小车及视频监控系统, 火工品, 2007, 2: 42-44
- [18] 蔡型, 张思全, 短距离无线通信技术综述, 现代电子技术, 2004, 3: 65-68
- [19] 徐利超, 张世武, 基于改进蚁群算法的障碍环境下路径规划研究, 机械与电子, 2013, 7: 61-64
- [20] 李露蓉, 王蕾, 高应波, 等, 基于优化蚁群算法的动态路径规划问题研究, 广西大学学报, 2013, 38(2): 359-367
- [21] 石明明, 鲁周迅, 三种无线通信协议综述, 通信技术, 2011, 44(7): 72-74
- [22] 王翔, 无线通信技术发展分析, 通信技术, 2007, 6: 60-62
- [23] 李磊, 叶涛, 谭民, 等, 移动机器人技术研究现状与未来, 机器人, 2002, 24(5): 475-480
- [24] 孙树栋, 曲彦宾, 遗传算法在机器人路径规划中的应用研究, 西北工业大学学报, 1998, 16(1): 79-83
- [25] 黎忠文, 覃志东, 王全宇, 等, 游戏引擎最短路径搜索优化遗传算法设计, 计算机应用研究, 2013, 31: 59-63
- [26] 乐阳, 龚健雅, Dijkstra 最短路径算法的一种高效率实现, 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(3): 219-212
- [27] 张洪, 袁健, 动态路径规划的多用户导航策略, 计算机工程应用技术, 2013, 3: 162-164
- [28] 程红萍, 机器人避障中最短路径的算法研究及应用, 电子设计工程, 2013, 21(16): 56-60
- [29] 李彦刚, 机器人躲避多静态障碍物的路径规划模型, 自动化与仪器仪表, 2013, 2: 160-163
- [30] 严寒冰, 刘迎春, 基于 GIS 的城市道路网最短路径算法探讨, 计算机学报, 2000.2, 23(2): 210-215
- [31] 周利坤, 刘宏昭, 自适应蚁群算法在轮式机器人三维路径规划中的应用, 机械科学与技术, 2013.1, 32(1): 54-58
- [32] 陆锋, 最短路径算法: 分类体系与研究进展, 测绘学报, 2001, 30(3): 269-275

## 发表论文和参加科研情况说明

### 发表的论文:

Juntao Xue, Ye Wang, Shucheng Wang, "File Encryption System Based on Fingerprint", 2012 31st Chinese Control Conference(CCC 2012), pp.3875-3879. (EI: 13223700)

## 致 谢

本论文的研究得到了我的导师薛俊韬副教授的大力支持，为我提出了许多指导性的建议，帮助并督促我及时完成毕业设计。在两年半的研究生生活期间，薛老师积极严谨的工作态度深深的影响了我，同时劳逸结合的生活理念也让我学会如何平衡生活与学习，能够保持较高的学习效率。在此由衷的感谢薛老师对我的关心与指导，这两年半来辛苦您了。

同时非常感谢张老师在实验室工作中对我的照顾，为我提供了许多实践项目机会，使我得到了锻炼，体会到如何在压力下工作以及在社会中如何与人相处交流。在此对张老师表示由衷的谢意。

在研究生学习期间，感谢刘正光老师、王萍老师、杨正瓴老师、岳士弘老师、路志英老师对我的教育指导，各位老师治学严谨、兢兢业业的态度教会了我很多。在完成毕业论文期间，感谢各位老师对论文给予的意见和帮助。

由衷的感谢我的同学：李岩、惠龙云、朱志强、李文远、王翠容、孙美娜。在学习中我们相互鼓励，在生活上互相帮助，十分高兴这两年半能与你们一同渡过，留下了珍贵的回忆。

最后，感谢我的父母以及一切关心我支持我的人。虽然研究生期间并没有遇到什么特别大的阻力，但你们给了我完成学业的动力，从考研开始一直支持我到现在，衷心的感谢你们。