

《嵌入式系统设计》课题报告

自主跟随型移动机器人



精仪学院 测控二班 何嘉敏 3013202042

精仪学院 测控二班 刘弘然 3013202046

精仪学院 测控二班 刘真贝 3013202048

精仪学院 测控二班 刘 晗 3013202049

精仪学院 测控二班 张博文 3013202060

目录

1.	课题背景	1
2.	国内外发展现状	1
2.1.	机器人产业发展	1
2.2.	本课题国内外研究现状	2
2.3.	本课题主要设计方向	3
3.	外部结构及控制逻辑	3
3.1.	总体结构设计	3
3.2.	机器人控制逻辑	4
4.	各模块构成及说明	5
4.1.	双超声波测距模块	5
4.1.1.	模块实物图及相关参数	5
4.1.2.	基本超声波测距原理	6
4.1.3.	HC-SR04 模块介绍	7
4.1.4.	双超声波测距系统优点	7
4.1.5.	斜距离定位原理	7
4.1.6.	结合波束角的双测距平面定位原理	7
4.1.7.	声音报警模块	10
4.2.	蓝牙控制模块	10
4.2.1.	实物展示及功能简介	10
4.2.2.	程序及参数设置	11
4.3.	电机驱动模块	13
4.3.1.	结构图及实物图	13
4.3.2.	电机驱动状态	13
4.3.3.	电机编程指令	14
4.4.	ucosii 操作系统	15

4.4.1.	操作系统优越性	15
4.4.2.	任务调度和消息传递	15
4.4.3.	ucosii 操作系统与 STM32 的移植	16
5.	系统功能调试及改进	17
5.1.	测距模块标定及误差分析	17
5.2.	操作系统移植代码的测试	18
5.3.	实际真机调试	18
5.4.	问题分析及改进方法	19
6.	应用前景	20
7.	成本	20
8.	参考文献	22

1. 课题背景

自进入 21 世纪以来，随着人们生活水平和工作压力的提高，人们迫切的需要一种机械装置，来代替人们完成日常生活工作中的琐事。在此情况下移动机器人尤其是服务类机器人开始逐步走入人们的视野。如大型超市里的可以向顾客提供产品咨询的智能导购小车，医院里的替病人端茶倒水、送药、取病历机械护士，图书馆里整理书籍的智能管理小车，又或者在家里帮忙照看老人小孩、陪同娱乐的机器管家等。

最早的移动机器人出现在 1960 年的美国，当时被用来握持工件，从一个加工位置移到另一个加工位置。机器人可安装不同的末端执行器以完成各种不同形状和状态的工件搬运工作，大大减轻了人类繁重的体力劳动。此后，移动机器人被广泛的应用于航天、军事、工业生产等诸多领域，工作特点主要为：

1. 工作环境特殊——这些机器人工作在外界干扰比较严重的室内。
2. 传感器感知变化——这些机器人自身装载了包括电磁或光学传感器在内的自动引导装置。其服务对象是变化的需要通过自身的传感器来感知这种变化。
3. 自主规划路径——机器人的行走路线可随服务对象位置而改变，或根据障碍物位置进行自主规划。

随着科学技术的发展，移动机器人也朝着小型化和智能化的方向发展。近年来，一些具有自动操作及智能决策功能的移动机器人正逐步兴起，而且有着取代传统移动机器人的趋势。对于可以对移动目标自动跟随的智能机器人，在机场的行李搬运，工厂材料运输，以及家庭个人产品等方面均有着广泛的应用前景。而且如果多套系统可以在同一区域内同时使用，将极大地提高效率，节省人类劳动，较之传统的固定路线机器人也更方便灵活。

机器人研究是当今科技新时代下很重要的发展方向，而在机器人和无人机的世界中，正在稳步增长的一个趋势就是实现用户允许和希望的“目标跟踪”状态。

因此结合机器人研究的发展趋势及工业实际应用的需要，我们提出了本课题——自主跟随型移动机器人。

2. 国内外发展现状

2.1. 机器人产业发展

机器人在目前的应用上主要集中于工业机器人和服务性机器人两类，其中服务型机器人又分为企业商用和个人家用两类，而最容易吸引起大众关注的为个人或家庭用的服务型机器人。

新一代机器人的愿景是改变人们的生活方式、工作模式、生活的方法。人工智能带来对机器人领域的机遇则是通过理解个体（通过语音、图像、产品推荐、不同方式的学习）、建立本人物关系、喜好、行为的图谱和知识库。以此满足推荐、搜索、传播和整合。目前应用的领域主要包括医疗+AI、金融+AI、教育+AI、交通+AI、生活+AI。

而本课题则是典型的“生活+AI”类型的自主智能跟随型移动机器人。

2.2. 本课题国内外研究现状

在课题背景中已经提及，本研究方向是国际机器人研究的当今趋势。观之每年一度的 RoboBusiness 机器人大会即可对本方向国内外研究现状管中窥豹。以下列举一二来作为国外研究现状的展示——

1. 跟随领路者

CaddyTrek 推出的电动高尔夫球童已经可以取代部分劳动力，该机器人可以跟随着挥杆者的影子运动，实现目标追踪。Five Elements Robotics 推出的 Budgee 机器人针对老年人和残疾人实现轻量级机器人助力，当主人的行进速度太快，它就会用消息推送的方式提醒主人慢一些。

而 Budgee 的跟随功能通过嵌入在“耳朵”中的声纳传感器来实现，在正常工作时，主人需要将一个小小的模块安置在自己的腰带上并在对应的移动应用中设置 Budgee 的跟随距离。

2. 跟随播种者

Harvest Automation 研发的苗圃机器人 HV-100（绰号“哈维”）主要面向农业和制造业用户，可以执行多种植物处理任务，如处理间距、整合和收集等等。

HV-100 配备了多个传感器，其中一个名为 LIDAR 的传感器不仅能够帮助其准确避开障碍，还可实现对用户的追踪。但众多传感器的成本在 2000 到 3000 美元之间，这也使得 HV-100 售价十分昂贵。



图 1 苗圃机器人 HV-100



图 2 Budgee 残疾人助力机器人

2.3. 本课题主要设计方向

在当前移动机器人及目标跟随机器人成为医疗生活 AI 领域大热的研究方向的时代背景下，相较国外研究现状的如火如荼，国内市场上暂时还没有出现相对较为成熟的可投入市场使用的实用自主跟随型移动机器人。如今国内具有跟随性的产品，主要是有轨机械跟随，用于工厂的各类生产机车的一部分，或是比赛场的有轨跟随拍摄车，并没有实际针对超市、旅馆、飞机场等大众场合，以及面向家庭和个人的产品。因此我们小组在研究之后以个人或家庭用人群为目标人群，有针对性地提出自主跟随型智能机器人的设计，将 AI 与生活服务联系在一起，以超市、旅馆、飞机场等场合作为目标使用领域，希望能够实现行李箱对主人自主跟随，婴儿车自主跟随等实用生活目标。

由国内外研究现状中可发现，在实现自主跟随时定位数据尤为重要。现已有基于声纳、光纤、磁场等原理的传感器测距定位产品，但考虑到本设计的制作成本及实际应用的精度要求，经讨论后我们小组决定采用超声波测距，在能满足实际应用精度的前提下能极大降低制作成本。

3. 外部结构及控制逻辑

3.1. 总体结构设计

机器人主体设计为履带型小车，由车身，电源，内部电路模块，履带等基本组成结构组成，车体成品图如下图所示。

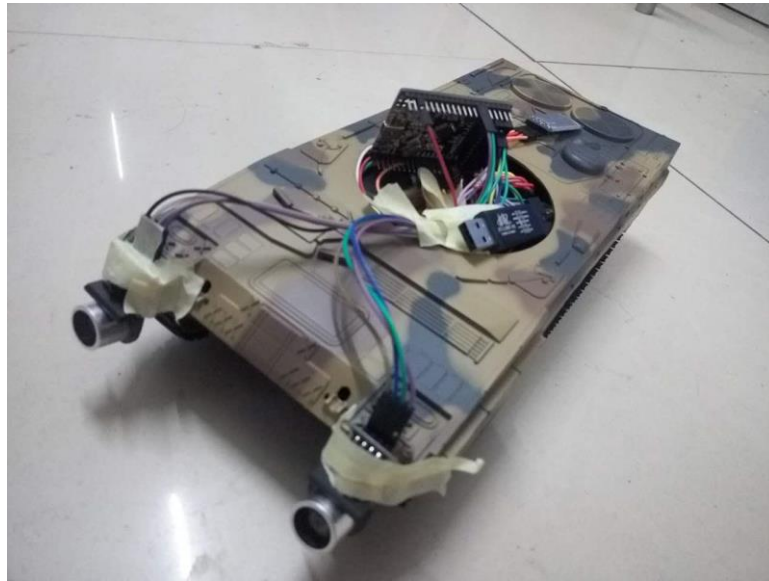


图 3 车体成品图

3.2. 机器人控制逻辑

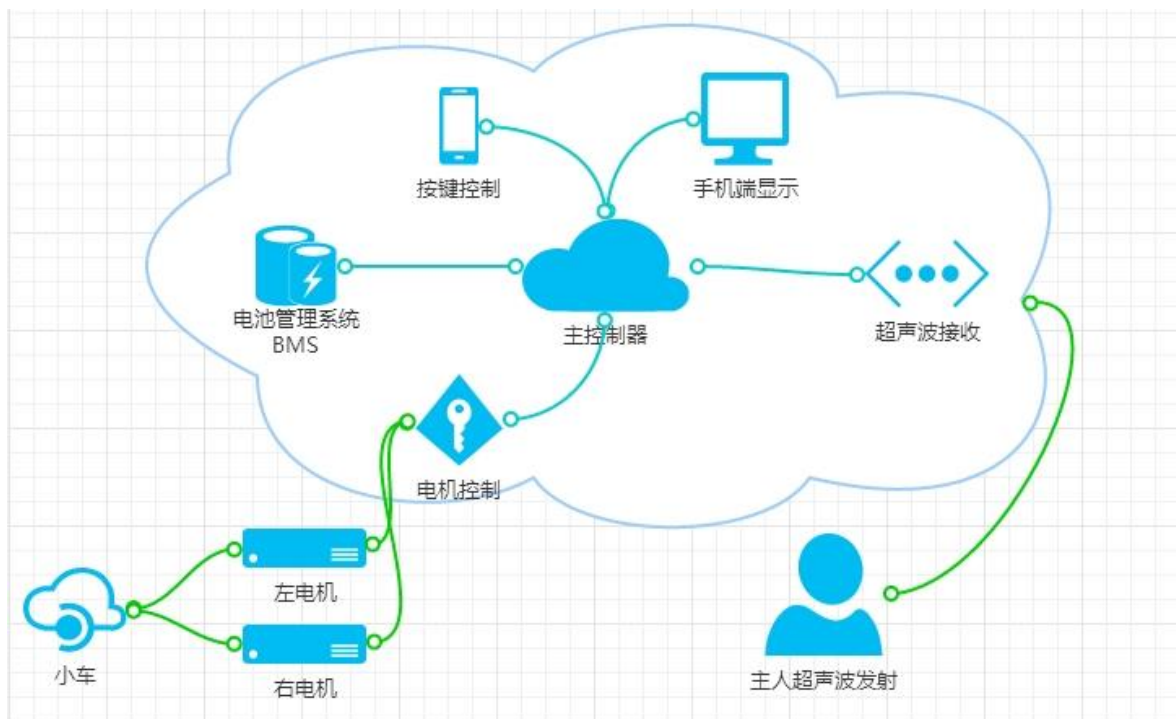


图 4 逻辑控制图

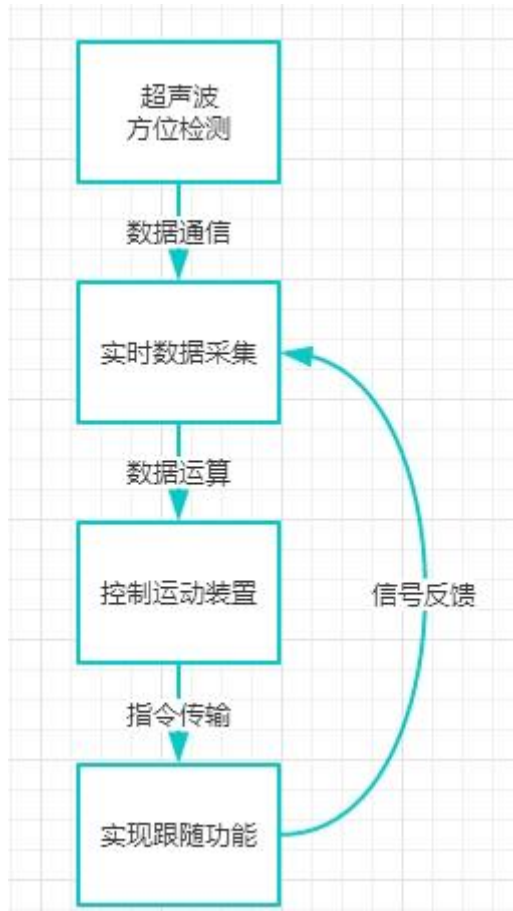


图 5 数据处理流程

4. 各模块构成及说明

4.1. 双超声波测距模块

4.1.1. 模块实物图及相关参数

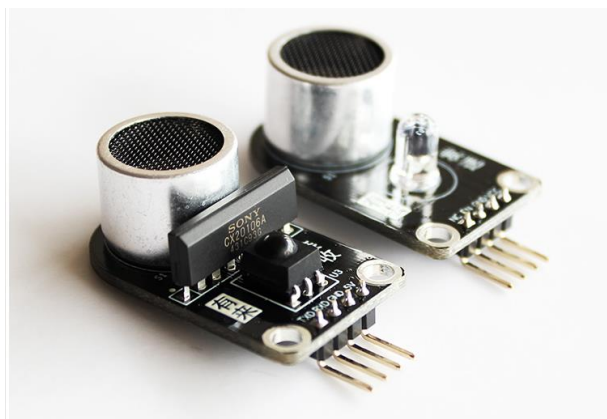


图 6 超声波测距模块实物图

表格 1 超声波测距模块相关参数

典型工作电压	5V
感应角度	90度
最大有效检测距离	6.8米
检测精度	可达1mm
检测盲区	3cm

4.1.2. 基本超声波测距原理

超声波传感器分机械方式和电气方式两类。它实际上是一种换能器，在发射端将电能或机械能转换成声能，接收端则反之。本次设计采用电气方式中的压电式超声波换能器，利用压电晶体的谐振来工作。经发射器发射出长约 6mm，频率为 40KHZ 的超声波信号，此信号被物体反射回来由接收器接收，接收头实质上是一种压电效应的换能器。当共振板接收到超声波时，将压迫压电晶片作振动，将机械能转换为电信号。它接收到信号后产生 mV 级的微弱电压信号。

超声波测距是借助于超声脉冲回波渡越时间法来实现的。其原理是超声波传感器发射一定频率的超声波，借助空气媒质传播，到达测量目标或障碍物后反射回来，经反射后由超声波接收器接收脉冲，其所经历的时间即往返时间，往返时间与超声波传播的路程的远近有关。

设超声波脉冲由传感器发出到接收所经历的时间为 t ，超声波在空气中的传播速度为 c ，则从传感器到目标物体的距离 D 的计算公式如下：

$$D = ct/2$$

在精度较高的情况下，需要考虑温度对超声波传播速度的影响。

表格 2 一些温度下的对应声速

温度/° C	-30	-20	-10	0	10	20	30
声速/m · s ⁻¹	313	319	322	331	337	344	350

结合上表对超声波传播速度加以修正，以减小误差，可得修正后公式如下：

$$D = (331.4 + 0.607 \times T)t/2$$

4.1.3. HC-SR04 模块介绍

对一个发射端和两个接收端与主控制器间采用串口通信的方式。发射端在连接电源且EN引脚为高电平时，发射模块每隔20ms发送一次超声波信号。当EN引脚未使能时，不发送信号。接收端在连接电源只需将RXD,TXD与stm32芯片的串口引脚相连即可通过串口发送检测到的数据给单片机。接收端发送的是数据格式为3个字节的数据包，包含一个字节的字头标志位0XA5和两个字节的的数据。

本设计设置串口参数为波特率115200、8位数据，无校验位，1位停止位。

4.1.4. 双超声波测距系统优点

在传统的单一传感器的超声波的渡越时间检测法中，需要换能器（接收器）尽可能对准被测平面，而当超声波探头与平面的夹角很大，由于平面的漫反射作用将使得测量的误差增大，为提高精确度，设计了双超声波传感器测距系统。

该双超声波传感器测距技术基于斜距离测量原理。此原理已被广泛应用于多站址分布的雷达定位系统中。引入角度参量，利用两个传感器的数据对平面进行定位测量。

进行实物设计时，将两个超声波传感器水平对称固定在小车上，通过对两个传感器测量数据的分析来判定发射器平面和接收器平面间的夹角，最后利用夹角和斜距离计算并确定被测平面的垂直距离。此设计可以有效克服单一传感器测量的缺陷，避免波束角带来的偏差。

4.1.5. 斜距离定位原理

设发射器位于T的位置上，其位置矢量为 $\mathbf{x} = [x, y, z]^T$ ，而两个接收器位置分别为 $\mathbf{x}_i = [x_i, y_i, z_i]^T, i = 1, 2$ ，由此即可求得两传感器中心与发射器间的距离 d 并得两接收器分别测得目标斜距 $d_i, i = 1, 2$ ，对发射器位置及接收器斜距测量值进行方程求解则可实现被测目标的三维空间定位。

由于两接收器的距离测量是独立的，而测量误差之间是互不相关的。可认为距离测量误差经系统误差修正后是零均值的，故认为两接收器的位置误差互不相关，可在后续数据处理时对定位数据误差进行修正。

4.1.6. 结合波束角的双测距平面定位原理

单超声波传感器产生误差如下图所示。当传感器与被测平面的夹角大于波束角的 $1/2$ 时，就会出现下图所示的情况，此时传感器所测得的距离数据不是传感器到被测平面的实际距离 d ，而是图中的 a_{11} ，即误差为

$$e = a_{11} - d$$

由于 a_{11} 与传感器和被测平面的夹角呈正比，故 e 随着角度值增加而增大。

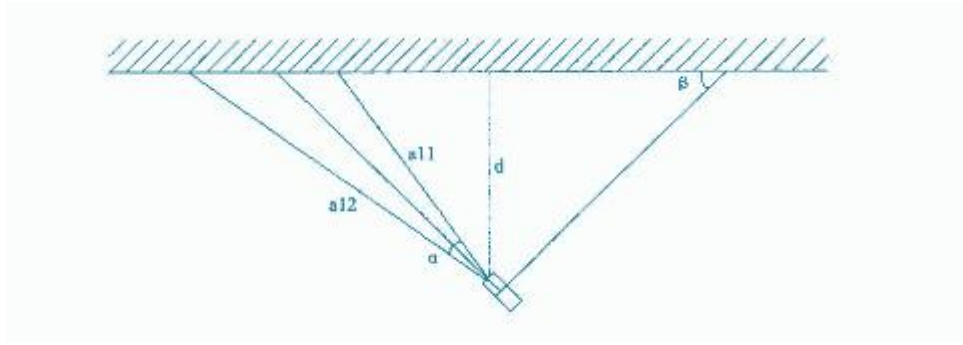


图 7 单超声波传感器产生误差示意图

采用双超声波传感器测距时原理图如下图所示。

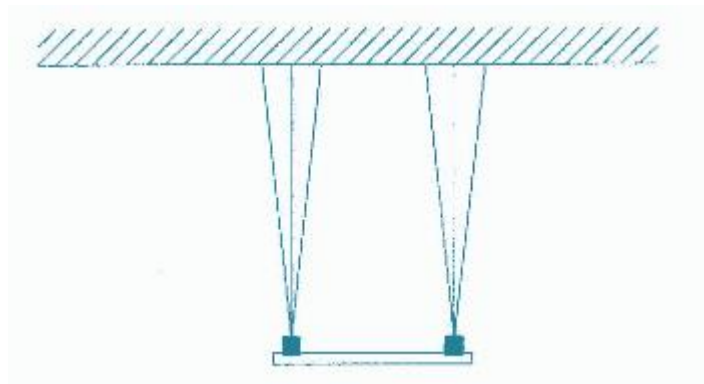


图 8 双超声波传感器测距装置示意图

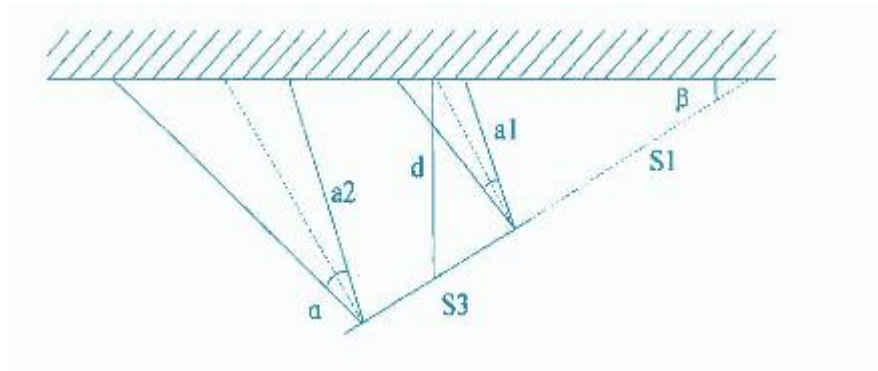


图 9 双超声波传感器测距原理示意图

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{S_1}{S_1 + S_3}$$

$$S_1 = \frac{a_1 \times S_3}{a_2 - a_1}$$

从而可得到小车中心与目标平面的距离为：

$$d = \left(\frac{S_3}{2} + \frac{S_3 a_1}{|a_2 - a_1|} \right) \times \sin \beta$$

在双超声波传感器测距系统建立在直角坐标系中，将两接收器连线作为 x 轴。
由斜距离测量原理

$$r_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}}$$

即得斜距为

$$r_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{\frac{1}{2}}, i = 1, 2$$

分析波束角的影响，即得：

当 $\beta > \frac{\pi}{10}$ 时，

$$d = \left(\frac{0.4r_i}{|r_2 - r_1|} + 0.2 \right) \times \sin \beta$$

当 $\beta \leq \frac{\pi}{10}$ 时，

$$d = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

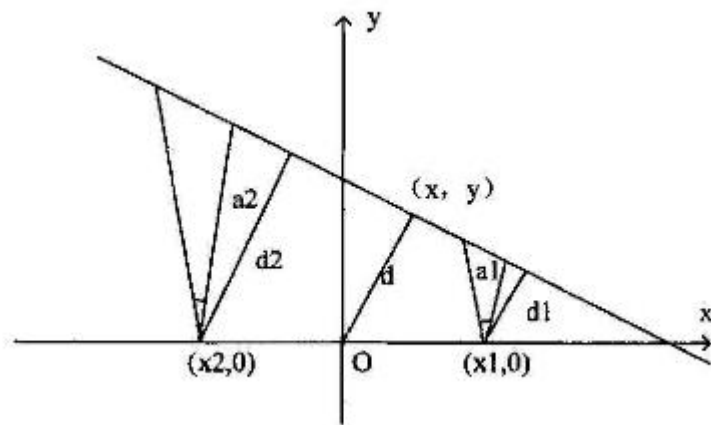


图 10 双声传感器测距系统建立直角坐标系

4.1.7. 声音报警模块

采用蜂鸣器，利用主控制器对其输出一定频率信号，连接到蜂鸣器，使其发声。当小车和信号源处于无效测量情况（距离过大或过小），或小车未能检测到信号源信号时，操作系统做出相应处理，使能蜂鸣器，蜂鸣器发声报警。该声音报警模块使得本设计更具人性化，人机交互性更强，用户体验更好。采用有源蜂鸣器作为报警发音器件，一是器件成本低，二是便于动态扫描显示的软件编程。

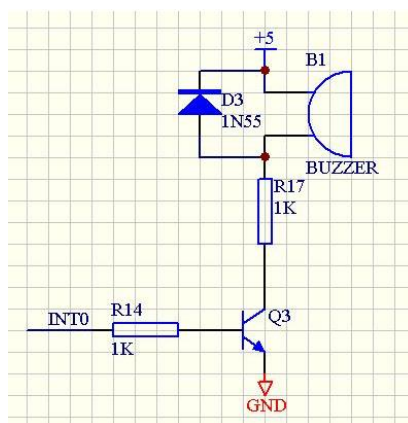


图 11 蜂鸣器电路原理图

4.2. 蓝牙控制模块

4.2.1. 实物展示及功能简介

在本设计中采用 HC-05 蓝牙模块，该模块具有两种工作模式：命令响应工作模式和自动连接工作模式，在自动连接工作模式下模块可分为主（Master）、从（Slave）和回环（Loopback）三种工作角色。当模块处于自动连接工作模式，将自动根据事先设定的方式连接的数据传输；当模块处于命令响应工作模式下能执行所有 AT 命令，用户可发送各种 AT 命令，为模块设定控制参数或发布控制命令。通过控制模块外部引脚输入电平，可以实现模块工作状态的动态转换。

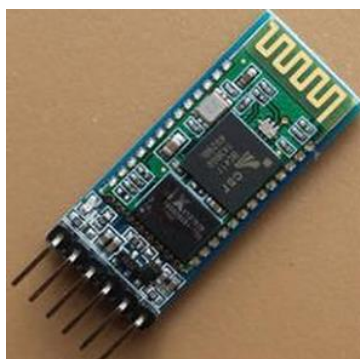


图 12 蓝牙模块实物图

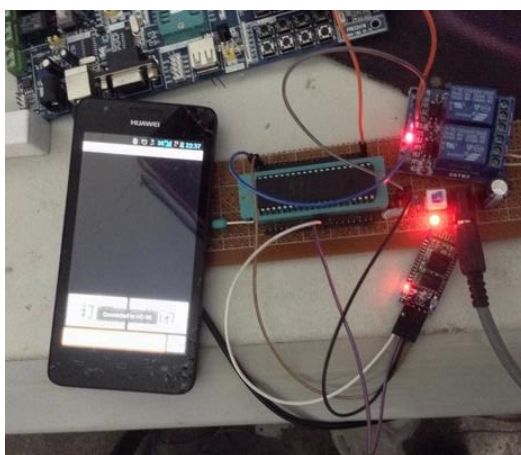


图 13 蓝牙通信模块

4.2.2. 程序及参数设置

通过设置主机和从机，发送 AT 指令来控制小车的前进、后退和转弯。

1	AT+NAME=Bluetooth-Slave \\蓝牙名称为 Bluetooth-Slave
2	AT+ROLE=0 \\蓝牙模式为从模式
3	AT+CMODE=0 \\蓝牙连接模式为任意地址连接模式
4	AT+PSWD=1234 \\蓝牙配对密码为 1234
5	AT+UART=9600, 0, 0 \\蓝牙通信串口波特率为 9600，停止位 1 位，无校验位
6	AT+RMAAD \\清空配对列表

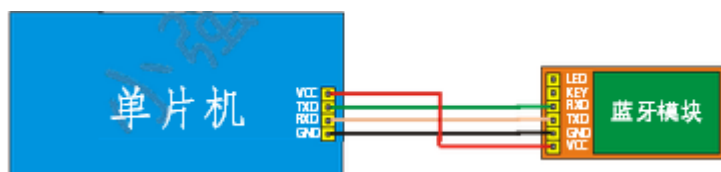


图 14 蓝牙模块与单片机通讯

HC-05 特点：

1. 使用方便，两模块通电后自动连接，非常方便
2. 具备 3.3v/5v 两种接口
3. 发射通讯距离远，开阔地 10 米

HC-05 应用范围：

1. 主要是用于代替串口线，包括 TXD 和 RXD 两组信号，可以直接接入单片机等带有串口的系统或设备，也可以通过 MAX232 芯片转换成 RS232 电平后使用
2. 单片机通过电脑蓝牙适配器和电脑连接，无线收发数据
3. 单片机和智能手机蓝牙连接，实现单片机和智能手机之间的无线串口通讯

通过串口通讯软件和 AT 指令对蓝牙主从模块参数进行设置，先上电，然后手动按下 ATMode 按钮，进入后 Status 灯慢闪，此时可以对蓝牙模块的参数进行自定义设置，步骤如下：

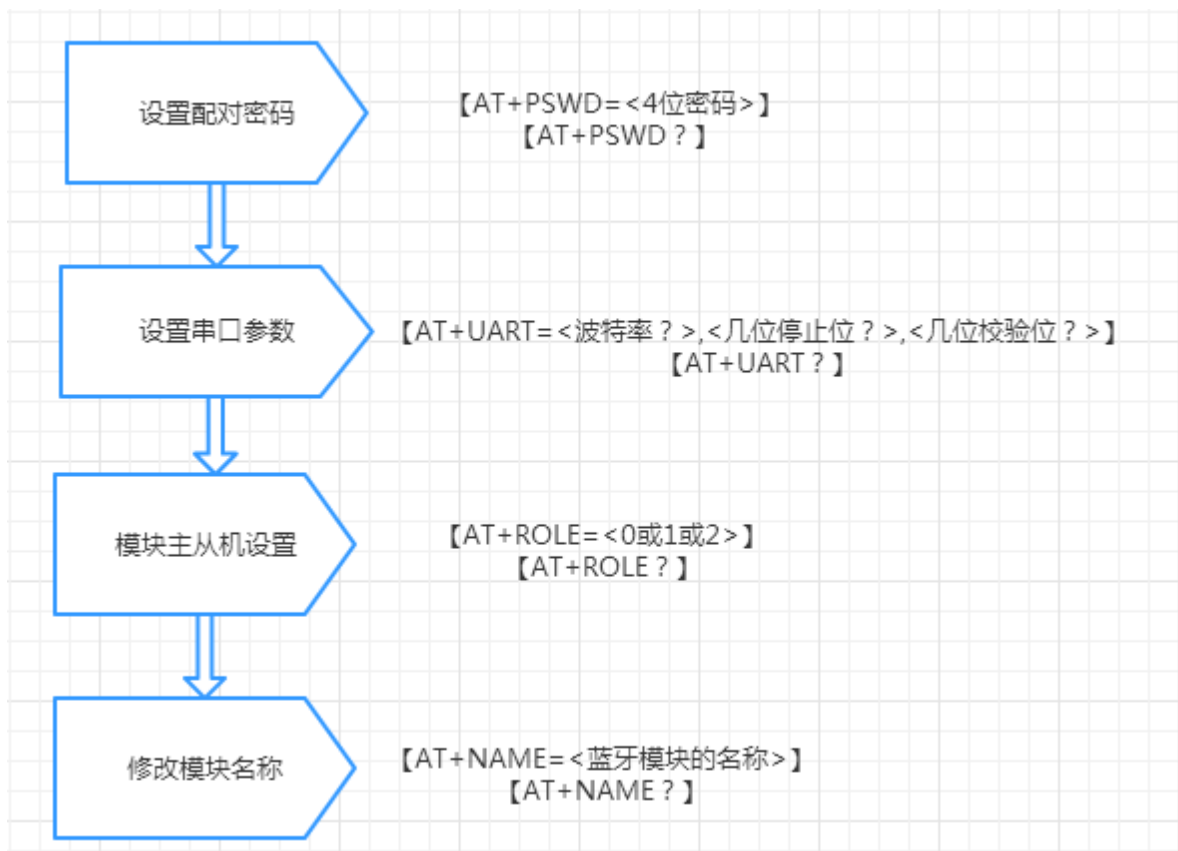


图 15 蓝牙模块参数设置

4.3. 电机驱动模块

4.3.1. 结构图及实物图

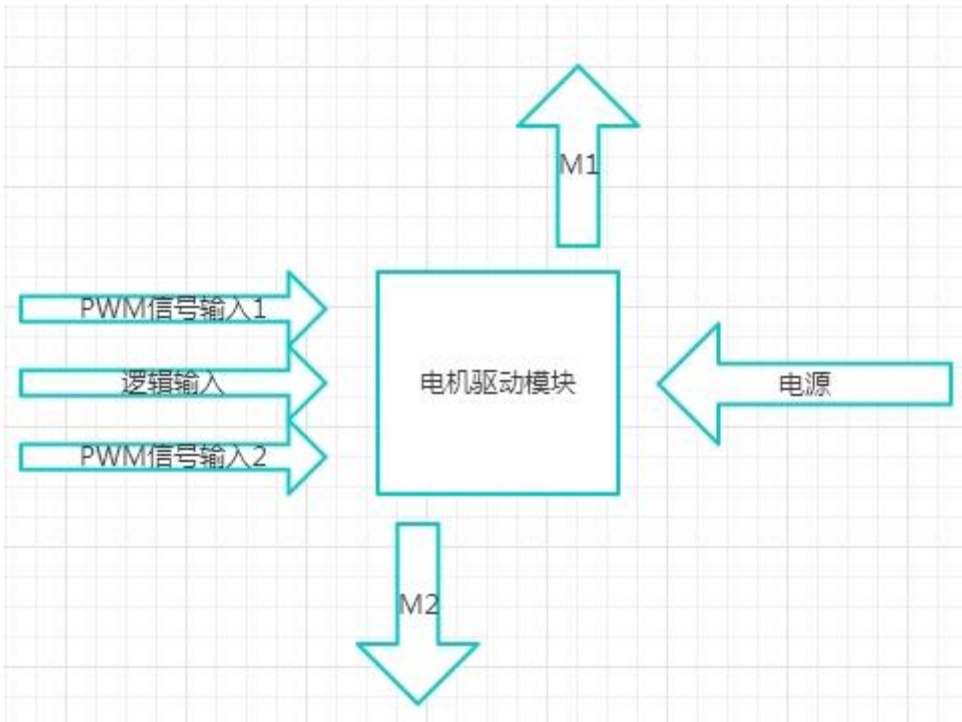


图 16 电机驱动结构图

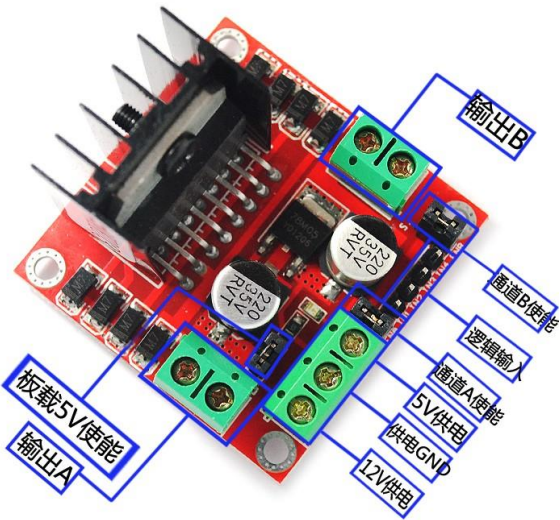


图 17 电机驱动实物图

4.3.2. 电机驱动状态

表格 3 控制方式及直流电机状态表

ENA	IN1	IN2	直流电机状态
-----	-----	-----	--------

使能	X	X	停止
1	0	0	制动
1	0	1	正转
1	1	0	反转
1	1	1	制动

小车的电机驱动分为左电机（LEFT）和右电机（RIGHT），两个电机都由操作系统控制。两个电机的转动分为正转，反转和不转。正转代表前进，反转代表后退，不转代表停止。以左电机为例。当左电机为 LEFT Y 时为正转状态，此时，若 LEFT Y 为使能（Y），则左电机正转；若为非使能（N），则左电机停止。当左电机为 LEFT N 时为反转状态，此时，若 LEFT N 为使能（Y），则左电机反转；若为非使能（N），则左电机停止。正转状态和反转状态不可同时存在。对 IN1 和 IN2 进行设置，确定电机转向后，在使能端输出 PWM 脉冲即可实现直流电机的调速。当使能信号为 0 时，电机处于自由停止状态；当使能信号为 1 时，且 IN1 和 IN2 为 00 或 11 时，电机处于制动状态，阻止电机转动。

4.3.3. 电机编程指令

1. 当左右电机均为正转使能状态（LEFT Y（Y）；RIGHT Y（Y））时，小车前进。
2. 当左右电机均为反转使能状态（LEFT N（Y）；RIGHT N（Y））时，小车后退。
3. 当左右电机均为非使能状态（LEFT Y（N）；RIGHT Y（N）或 LEFT Y（N）；RIGHT N（N）或 LEFT N（N）；RIGHT Y（N）或 LEFT N（N）；RIGHT N（N））时，小车停止。
4. 当左右电机均使能但旋转状态不同（LEFT Y（Y）；RIGHT N（Y）或 LEFT N（Y）；RIGHT Y（Y））时，小车（向右或向左）转弯。

由上述 4 种状态，便可控制小车的前进，后退，停止和转弯。

表格 4 小车控制指令代码块

1	LEFTY(Y), LEFTN(N) //左电机正转
2	LEFTY(N), LEFTN(Y) //左电机反转
3	RIGHTY(Y), RIGHT(N) //右电机正转
4	RIGHTY(N), RIGHT(Y) //右电机反转

4. 4. ucossii 操作系统

4. 4. 1. 操作系统优越性

ucossii 是一个简单高效的嵌入式实时操作系统内核，支持 x86、ARM、PowerPC、MIPS 等众多体系结构，具有可抢占的实时多任务调度功能，提供了许多系统服务，如信号量、消息队列、邮箱、内存管理、时间函数等。经过学习，我们认识到操作系统的优越性主要有以下几点：

- 1. 操作系统可以显著降低开发难度——协调多个程序之间的耦合关系，各部分程序各自执行自己相关部分的工作，程序之间的协调工作由操作系统完成，同时又能隔离各功能程序让它们的耦合程度降低。

对于本设计，功能模块较多，操作系统的这一优点体现的尤为明显。

- 2. 操作系统让每一个任务都认为自己独占 CPU，方便代码编写——每段功能模块均以无限循环的方式执行，结构清晰，可读性强。
- 3. 操作系统使团队分工更高效，极大地提高开发效率——可以很容易地把庞大复杂的工作拆分成细小的单线程任务。

经过学习与各自的思考，我们认为，操作系统的存在是为了提高开发效率，不用操作系统，同样可以进行高效开发，但需要先做出充分的准备和有合理的架构。使用操作系统则可以很容易地切分任务，使得开发者可以把精力集中在具体的工作上，大大减轻开发者的负担，这对我们作为初学者来说是很有益处的。

4. 4. 2. 任务调度和消息传递

系统根据某一种机制在特定时刻保存当前上下文切换的目标代码执行实现了多任务，这种机制成为任务调度算法。

而任务切换，代码调度等都是数据结构为基础来完成。

从代码的角度，任务块可以被描述为以下形式：

表格 5 代码块形式

1	void uCOSTask(void *p)
2	{
3	while(1)
4	{
5	任务具体的功能;

6	}
7	}

从内存中来看，任务由三个部分构成：任务的代码部分、任务堆栈和任务控制块。其中任务控制块保存任务的属性；任务堆栈在任务进行切换时保存任务运行的环境；任务代码部分就是宏观上看到的 C 语言代码。

任务存储结构如图所示：

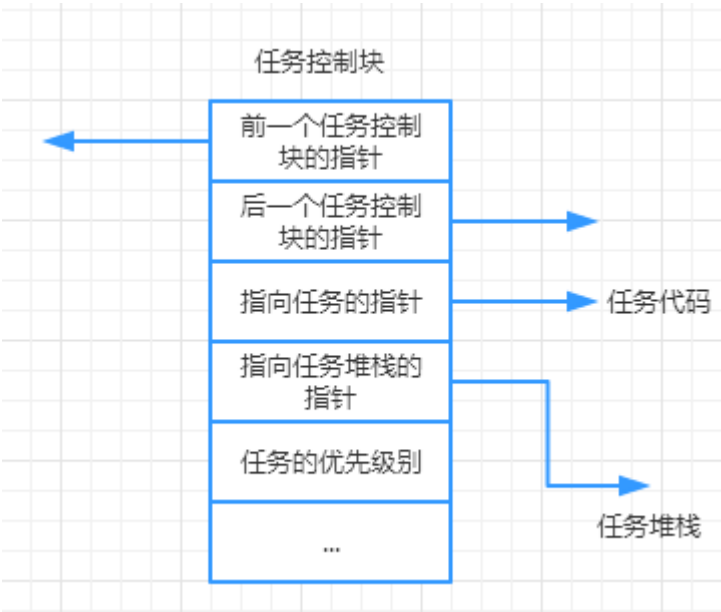


图 18 任务存储结构图

4. 4. 3. ucossii 操作系统与 STM32 的移植

操作系统的移植，是使一个实时操作系统能够在某个特定的微处理器平台上运行，移植的主要工作是修改部分与处理器硬件相关的代码。

要使 ucossii 正常运行，必须满足以下要求：

1. 处理器的 C 编译器能产生可重入代码；
2. 在程序中可以打开或者关闭中断；
3. 处理器支持中断，并且能产生实时中断；
4. 处理器支持能够容纳一定量数据的硬件堆栈；
5. 处理器有将堆栈指针和其他 CPU 寄存器存储和读出到堆栈的指令

5. 系统功能调试及改进

5.1. 测距模块标定及误差分析

在本文中采用发射——接收模式的超声波测距模块，型号为 HC-SR04，中心频率为 40KHZ，探测距离范围在 4mm~4m 之间，误差为 4%。

小车车体上已固定好两个超声波接收器，超声波发射器与待跟随目标（主人）一起构成信号源。因此构成 2 个测量通道，每个测量通道都能进行测距。

当距离大于最大测量距离或小于最小测量距离时，超声波接收器会给单片机返回一个信号（A51A90），表明目标未在有效范围，单片机会给警报器发出信号，警报器报警。

当信号源发射的信号没有被超声波测距仪检测到，如发射方向和接受方向一致而导致接收信号失败时，超声波接收器同样会给单片机返回一个信号（A51A90），表明未检测到信号，单片机也会给警报器发出信号，警报器报警。

由于测距模块在使用过程中，发送超声波、接收并处理回波存在着时间延迟及其它不稳定因素，所以测得数据与真实值之间存在一定的误差，为了减小测距误差，在实际系统调试过程中，我们首先对其进行了准确标定，在同一行程上的 50cm~2m 距离之间移动接收器及发射器，测得数据后采用最小二乘法对数据进行拟合，得到了较为精准的测距数学模型。对测得数据进行分析可知，测量偏差主要由超声波发射器与接收器的发散角和特定障碍物的特殊结构产生。

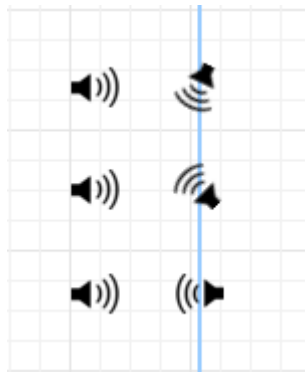


图 19 误差一：超声波发射器与接收器的发散角

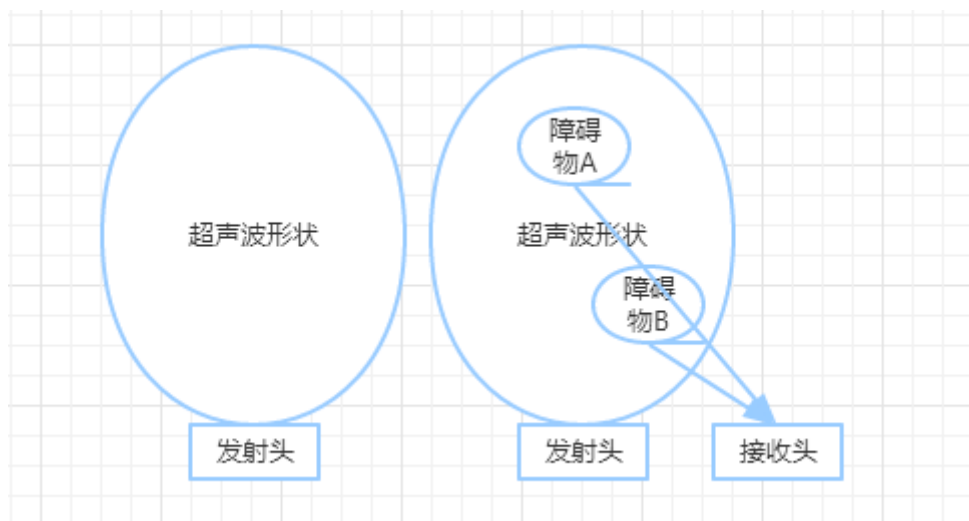


图 20 误差二：特定障碍物的特殊结构

经讨论，解决方式有两种：

1. 更换发散角更小的发射头与接收头
2. 避免探测到特殊结构的障碍物

5.2. 操作系统移植代码的测试

当完成 ucossii 的移植后，系统是否能够正常工作，需要检验，只有通过了测试，ucossii 的移植才算完成。

1. 不添加任务应用代码，测试内核自身的运行状况，这样可以避免问题复杂化，同时可以排除应用代码的问题，使反映出的问题清晰化。先允许所有的 ucossii 功能，在主程序中不添加任何复杂代码，进行测试。
2. 修改文件，设置 OS_TASK_STAT_EN 为 0，禁止统计任务，仍然不添加用户应用任务，此时运行的唯一任务是空闲任务，进行测试。
3. 如果前两节此时通过，证明堆栈结构正确，可以添加一个简单的应用任务，从该任务切换到空闲任务，进行测试。
4. 测试实际应用任务。

5.3. 实际真机调试

上电后先执行初始化，进行开始任务创建接下来开始第一个任务：模式选择发送 0x00 进入蓝牙遥控功能，可通过相应按键是小车执行相应的运动。

发送 0x32 进入自动跟踪功能，小车自动跟随超声波发射器运动，保持约 60cm 的距离

两个模式可以随时切换。

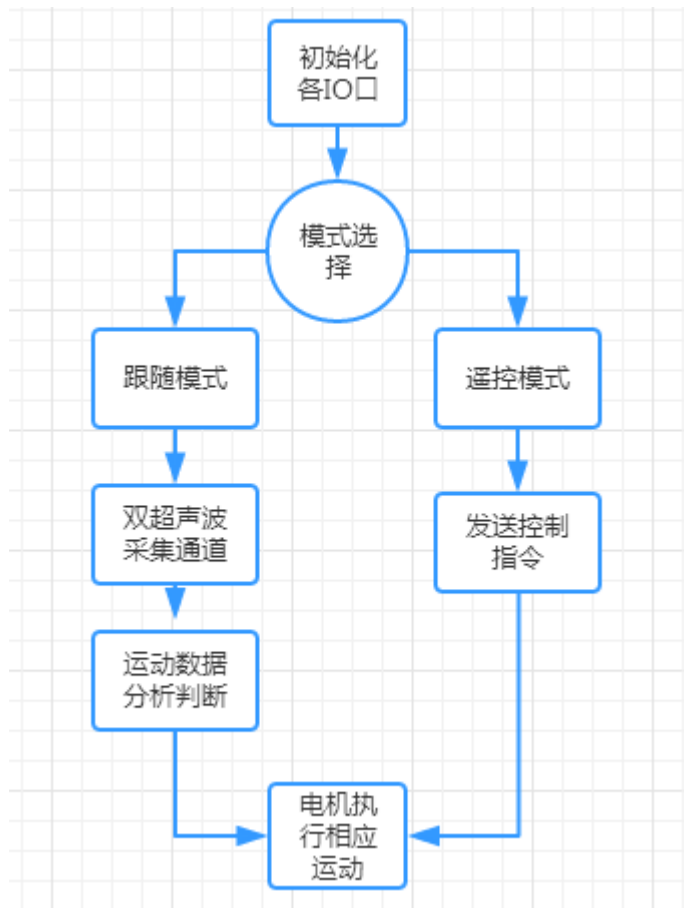


图 21 实物真机调试逻辑图

5.4. 问题分析及改进方法

进行真机调试后，我们发现了以下问题并经过讨论后提出相应的改进方法：

1. 跟随模式的距离定位不够精确，未显现出超声波测距模块 3mm 精度的优势

分析：得到的定位信息不够精确

改进：通过不断执行来实现渐进式调节；使用三角定位算法，根据余弦定理，已知两个接收器之间距离，通过比较两个通道测距结果，判断目标是在左侧还是右侧，再根据三角关系求出目标方向与小车前进方向的偏差角度，控制点击实现精确调节，一次完成转向工作

2. 系统缺少对极端情况的处理能力（如目标突然移动很大距离）

分析：仅使用开环控制，缺少反馈

改进：引入 PID 控制系统，计算同一个通道两次测距结果的变化量（相当于对偏差进行积分）当变化量超过一定阈值（目标突然移动很大距离的情况）执行对应的跟随方案，如先原地转向再前进。

3. 小车不能精确地控制转向角度和距离

分析：电机驱动不够精确

改进方法：加入编码盘，结合 pwm 调速完成精准控制；或引入伺服电机结构，对电机工作状态进行更精确地控制

6. 应用前景

随着社会现代化和老龄化，自动跟踪技术的完善符合社会需求趋势。

后期解决了载重问题和能源驱动问题后，可以运用在自动跟踪行李箱、婴儿车、轮椅、高尔夫球车等上。

因为技术限制信号源采用的超声，后期扩展了蓝牙信号之后可以与手机相连，配合实时定位和报警功能。

在人口老龄化和劳动力不断上涨的今天，机械替代手工的搬运和承重是趋势所趋。在家居方面，智能婴儿车，智能轮椅等方便的移动工具能够解放双手。婴儿车和轮椅通过对特异性的目标进行识别然后跟踪，并且在离开一定距离之后通过距离判定对受跟踪个体进行警告，这样在家庭外出时有老人和小孩的时候家庭成员既不用花费大量的精力照顾老人和婴儿，也不用担心在分神的时候会丢失婴儿车和婴儿和老人。

配备了大功率电机和长时间续航供电的能源后，自动跟踪技术还能够解决生活中大多数的搬运问题，比如行李的携带重物的搬运和大件物体的移动等。自动跟踪小车在解决了搬运问题之余，也解决了复杂的控制问题，不需要多余的操控工具和操控程序，自动识别跟踪目标。

7. 成本

名称	价格/元	备注
车体机械结构	30	未来可考虑 3D 打印车体外壳，实现个性化
超声波测距模块	60	
HC05 蓝牙通信模块	15	
直流电机	20	
stm32f103c8 最小系统板	19	

总价	144	
----	-----	--

8. 参考文献

- [1]. 徐智, 尹基年, 黄铭清, 许之洋, 基于 PLC 的自动跟踪小车在高尔夫球场的应用, 江苏: 三江学院电气及自动化工程学院, 2015
- [2]. 聂宪波, 邵泽箭, 巩文文, 关立强, 赵昊宁, 基于单片机自动跟踪小车的设计与制作, 哈尔滨理工大学荣成学院