

上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

学士学位论文

THESIS OF BACHELOR



论文题目 多功能模块化移动机器人的控制系统设计

学生姓名 崔运凯

学生学号 5090209365

指导教师 费燕琼教授

专 业 机械电子

学院（系）机械与动力工程学院

Submitted in total fulfilment of the requirements for the degree of
Bachelor
in Mechanical Engineering

Design of a Multifunctional Mobile Modular Robot System

YUNKAI CUI

Supervisor

Prof. FEIYAN QIONG

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION, SCHOOL OF
MECHANICAL ENGINEERING
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY
SHANGHAI, P.R.CHINA

Jun. 4th, 2010

上海交通大学

毕业设计（论文）学术诚信声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：_____

日 期：_____年____月____日

上海交通大学

毕业设计（论文）版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保 密 ☐，在 ____ 年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密 ☐。

（请在以上方框内打“√”）

作者签名：_____

指导教师签名：_____

日 期：_____年 ____月 ____日

日 期：_____年 ____月 ____日

多功能模块化移动机器人的控制系统设计

摘 要

上海交通大学是我国历史最悠久的高等学府之一，是教育部直属、教育部与上海市共建的全国重点大学，是国家“七五”、“八五”重点建设和“211工程”、“985工程”的首批建设高校。经过115年的不懈努力，上海交通大学已经成为一所“综合性、研究型、国际化”的国内一流、国际知名大学，并正在向世界一流大学稳步迈进。

十九世纪末，甲午战败，民族危难。中国近代著名实业家、教育家盛宣怀和一批有识之士秉持“自强首在储才，储才必先兴学”的信念，于1896年在上海创办了交通大学的前身——南洋公学。建校伊始，学校即坚持“求实学，务实业”的宗旨，以培养“第一等人才”为教育目标，精勤进取，笃行不倦，在二十世纪二三十年代已成为国内著名的高等学府，被誉为“东方MIT”。抗战时期，广大师生历尽艰难，移转租界，内迁重庆，坚持办学，不少学生投笔从戎，浴血沙场。解放前夕，广大师生积极投身民主革命，学校被誉为“民主堡垒”。

新中国成立初期，为配合国家经济建设的需要，学校调整出相当一部分优势专业、师资设备，支持国内兄弟院校的发展。五十年代中期，学校又响应国家建设大西北的号召，根据国务院决定，部分迁往西安，分为交通大学上海部分和西安部分。1959年3月两部分同时被列为全国重点大学，7月经国务院批准分别独立建制，交通大学上海部分启用“上海交通大学”校名。历经西迁、两地办学、独立办学等变迁，为构建新中国的高等教育体系，促进社会主义建

设做出了重要贡献。六七十年代，学校先后归属国防科工委和六机部领导，积极投身国防人才培养和国防科研，为“两弹一星”和国防现代化做出了巨大贡献。

改革开放以来，学校以“敢为天下先”的精神，大胆推进改革：率先组成教授代表团访问美国，率先实行校内管理体制改革，率先接受海外友人巨资捐赠等，有力地推动了学校的教学科研改革。1984年，邓小平同志亲切接见了学校领导和师生代表，对学校的各项改革给予了充分肯定。在国家和上海市的大力支持下，学校以“上水平、创一流”为目标，以学科建设为龙头，先后恢复和兴建了理科、管理学科、生命学科、法学和人文学科等。1999年，上海农学院并入；2005年，与上海第二医科大学强强合并。至此，学校完成了综合性大学的学科布局。近年来，通过国家“985工程”和“211工程”的建设，学校高层次人才日渐汇聚，科研实力快速提升，实现了向研究型大学的转变。与此同时，学校通过与美国密西根大学等世界一流大学合作办学，实施国际化战略取得重要突破。1985年开始闵行校区建设，历经20多年，已基本建设成设施完善，环境优美的现代化大学校园，并已完成了办学重心向闵行校区的转移。学校现有徐汇、闵行、法华、七宝和重庆南路（卢湾）5个校区，总占地面积4840亩。通过一系列的改革和建设，学校的各项办学指标大幅度上升，实现了跨越式发展，整体实力显著增强，为建设世界一流大学奠定了坚实的基础。

交通大学始终把人才培养作为办学的根本任务。一百多年来，学校为国家和社会培养了20余万各类优秀人才，包括一批杰出的政治家、科学家、社会活动家、实业家、工程技术专家和医学专家，如江泽民、陆定一、丁关根、汪道涵、钱学森、吴文俊、徐光宪、张光斗、黄炎培、邵力子、李叔同、蔡锷、邹韬奋、陈敏章、王振义、陈竺等。在中国科学院、中国工程院院士中，有200余位交大校友；在国家23位“两弹一星”功臣中，有6位交大校

友；在 18 位国家最高科学技术奖获得者中，有 3 位来自交大。交大创造了中国近现代发展史上的诸多“第一”：中国最早的内燃机、最早的电机、最早的中文打字机等；新中国第一艘万吨轮、第一艘核潜艇、第一艘气垫船、第一艘水翼艇、自主设计的第一代战斗机、第一枚运载火箭、第一颗人造卫星、第一例心脏二尖瓣分离术、第一例成功移植同种原位肝手术、第一例成功抢救大面积烧伤病人手术等，都凝聚着交大师生和校友的心血智慧。改革开放以来，一批年轻的校友已在世界各地、各行各业崭露头角。

截至 2011 年 12 月 31 日，学校共有 24 个学院/直属系（另有继续教育学院、技术学院和国际教育学院），19 个直属单位，12 家附属医院，全日制本科生 16802 人、研究生 24495 人（其中博士研究生 5059 人）；有专任教师 2979 名，其中教授 835 名；中国科学院院士 15 名，中国工程院院士 20 名，中组部“千人计划”49 名，“长江学者”95 名，国家杰出青年基金获得者 80 名，国家重点基础研究发展计划（973 计划）首席科学家 24 名，国家重大科学研究计划首席科学家 9 名，国家基金委创新研究群体 6 个，教育部创新团队 17 个。

学校现有本科专业 68 个，涵盖经济学、法学、文学、理学、工学、农学、医学、管理学和艺术等九个学科门类；拥有国家级教学及人才培养基地 7 个，国家级校外实践教育基地 5 个，国家级实验教学示范中心 5 个，上海市实验教学示范中心 4 个；有国家级教学团队 8 个，上海市教学团队 15 个；有国家级教学名师 7 人，上海市教学名师 35 人；有国家级精品课程 46 门，上海市精品课程 117 门；有国家级双语示范课程 7 门；2001、2005 和 2009 年，作为第一完成单位，共获得国家级教学成果 37 项、上海市教学成果 157 项。

关键词： 上海交大, 饮水思源, 爱国荣校

Design of a Multifunctional Mobile Modular Robot System

ABSTRACT

An imperial edict issued in 1896 by Emperor Guangxu, established Nanyang Public School in Shanghai. The normal school, school of foreign studies, middle school and a high school were established. Sheng Xuanhuai, the person responsible for proposing the idea to the emperor, became the first president and is regarded as the founder of the university.

During the 1930s, the university gained a reputation of nurturing top engineers. After the foundation of People's Republic, some faculties were transferred to other universities. A significant amount of its faculty were sent in 1956, by the national government, to Xi'an to help build up Xi'an Jiao Tong University in western China. Afterwards, the school was officially renamed Shanghai Jiao Tong University.

Since the reform and opening up policy in China, SJTU has taken the lead in management reform of institutions for higher education, regaining its vigor and vitality with an unprecedented momentum of growth. SJTU includes five beautiful campuses, Xuhui, Minhang, Luwan Qibao, and Fahu, taking up an area of about 3,225,833 m². A number of disciplines have been advancing towards the top echelon internationally, and a batch of burgeoning branches of learning have taken an important position domestically.

Today SJTU has 31 schools (departments), 63 undergraduate programs, 250 masters-degree programs, 203 Ph.D. programs, 28 post-doctorate programs, and 11 state key laboratories and national engineering research centers.

SJTU boasts a large number of famous scientists and professors, including 35 academics of the Academy of Sciences and Academy of Engineering, 95 accredited professors and chair professors of the "Cheung Kong Scholars Program" and more than 2,000 professors and associate professors.

Its total enrollment of students amounts to 35,929, of which 1,564 are international students. There are 16,802 undergraduates, and 17,563 masters and Ph.D. candidates. After more than a century of operation, Jiao Tong University has inherited the old tradition of "high starting points, solid foundation, strict requirements and extensive practice." Students from SJTU have won top prizes in various competitions, including ACM International Collegiate Programming Contest, International Mathematical Contest in Modeling and Electronics Design Contests. Famous alumni include Jiang Zemin, Lu Dingyi, Ding Guangen, Wang Daohan, Qian Xuesen, Wu Wenjun, Zou Taofen, Mao Yisheng, Cai Er, Huang Yanpei, Shao Lizi, Wang An and many more. More than 200 of the academics of the Chinese Academy of Sciences and Chinese Academy of Engineering are alumni of Jiao Tong University.

KEY WORDS: SJTU, master thesis, XeTeX/LaTeX template

目 录

第一章 绪论	1
1.1 模块化机器人的研究背景	1
1.2 避障式移动机器人及路径规划研究现状	2
1.3 课题的研究内容和意义	4
第二章 模块化结构的设计与改良	6
2.1 先前设计方案的回顾	6
2.2 通用可扩展模块的重设计	6
2.3 轮式底盘模块的设计	6
2.4 模块间通用接口的设计	6
2.5 本章小结	6
第三章 通用控制电路设计	7
3.1 通用模块控制电路	8
3.1.1 最小系统	8
3.1.2 功能接口板	10
3.2 功能型外设及接口设计	13
3.2.1 IMU 模块	14
3.2.2 驱动模块	16
3.2.3 编码器模块	17

3.2.4	传感器模块	17
3.2.5	模块间通讯接口	20
3.3	本章小结	20
第四章	控制算法与仿真	22
4.1	底盘驱动算法	22
4.2	车体定位方案	22
4.2.1	拖地轮及方位角传感器定位	22
4.2.2	IMU 定位	22
4.2.3	GPS 定位	22
4.3	未知环境避障算法	22
4.4	地图生成和最优路径生成	22
4.5	避障算法仿真	22
4.6	本章小结	22
	全文总结	23
	参考文献	24
	致谢	27

表格索引

插图索引

3-1 最小系统实物图	8
3-2 最小系统电路图	9
3-3 功能接口板电路图	11
3-4 电源管理电路原理图	12
3-5 CAN 电路原理图	12
3-6 功能接口板的设计 PCB 样图	13
3-7 功能接口板的虚拟实物图	13
3-8 功能接口板的虚拟实物图 3D	14
3-9 IMU 电路原理图	15
3-10 IMU 的设计 PCB 样图	16
3-11 IMU 的虚拟实物图	16
3-12 H 桥电路原理简图	16
3-13 驱动电路电路图	18
3-14 驱动电路的设计 PCB 样图	19
3-15 编码器用外部计数器接线图	19
3-16 超声波传感器驱动板原理图	20
3-17 超声波传感器	21

第一章 绪论

1.1 模块化机器人的研究背景

随着控制理论，传感器，计算机科学和人工智能等技术的发展，机器人的研究越来越受到关注。从上世纪 90 年代至今，机器人技术得到了空前的发展，由单一化，大型化和功能固定化转向小型化，廉价化和模块化^[1]。与此同时，机器人技术正在被应用在越来越多的领域，从工业生产，到未知环境探测，从航天工程，到服务餐饮。而在绝大多数的应用中，或多或少的对机器人的移动性能有要求，如生产线中的搬运机器人，应用在航天探测中的火星车月球车，应用在军事领域的拆弹机器人等等。所以机器人的移动性一直是机器人研究领域的热点。如 W. Grey Walter 等人在 1948 年设计并演示的移动机器人 Elmer 和 Elsie^[2]。这两个机器人可以说是自主式移动机器人的“祖先”了。时至今日，只具备简单移动能力的机器人显然无法满足现代社会对于机器人功能的需求了。所以移动机器人被加装各种各样的机构而成为更为复杂的功能型机器人。随着人们对机器人功能需求的不断增加，机器人越做越复杂。但是功能强大的机器人却未必是完成单一工作的最优选择，因为对于机器人在某一阶段所从事的工作来说，大多数其他功能并没有被使用到。在这样的背景下，模块化正是一个很好的解决方案。模块化是根据功能将机器人进行拆分，并通过用户对于具体功能的需求进行组合的过程。用户不再为自己不需要的功能而付出任何金钱上的代价，正相反，每一个模块化机器人都像是面向用户定制的产品，而这一产品对于用户永远是最优的。同时，一个具有移动能力的模块化机器人相较于其他机器人有更多的应用价值和节省更多的成本。模块化机器人的研究，始于上个世纪 80 年代中期^[3]。而对于模块化机器人，也

有了越来越准确的定义：它由多个功能模块及标准接口装配而成，各种功能模块可批量生产、独立维修、独立扩展，快速组装成不同性能的移动机器人；模块化移动机器人之间可局部通信、相互合作，完成全局任务。它有下面显著特征：更广泛的领域、更高的效率、改良的系统性能、容错性、鲁棒性、更低的经济成本、容易开发、分布式的感知与作用以及内在的并行性等。

目前对于模块化机器人的研究主要集中在两个方向上，一为静态可重构机器人，另一个为自重构机器人。静态可重构机器人是指，可以借助外力进行重构的，在工作状态是其结构为静态结构的机器人^[4]。简单地说，是有人为选择模块并可利用这些模块的工作的机器人。而自重构机器人这是可以动态的改变自身结构的机器人。

在静态可重构机器人领域，已有很多人做过相应的研究。如 Benhabib B, Dai M 等人^[5]设计了一个基于遥驱动技术的模块机器人单元，驱动方式类似于传统的工业机器人。Paredis C J J 等人^[6]设计了 RMMS 模块化机器人系统。它有一个模块库，可根据需要来搭建模块，实现不同的功能。Fujita^[7]在 Sony 公司的 OPEN-R 标准之下，开发了一套可重构模块化机器人系统。可以通过众多模块组成不同的机械结构。

在自重构机器人的领域，也有很多人进行了相关研究。如 M Yim^[8]设计的 Polypod 和 PolyBot 系统。还有 Murata^[8]的机器人系统 Fracta，是通过仿生学的细胞概念而提出的一种三维的自重构机器人系统，等等。

1.2 避障式移动机器人及路径规划研究现状

移动机器人的研究最早可以追溯到上个世纪 60 年代^[9]。斯坦福研究院的 Nils Nilsson 和 Charles Rosen 等人在那一时期设计出了一款叫做 shakey 的自动避障移动机器人^[10]。随着计算机的应用和传感技术的发展，有越来越多的公

公司和研究机构参与到移动机器人的研究中来，从而大大促进了移动机器人技术的发展。

对于移动化智能机器人的研究，两大关键研究领域是定位和环境探知（传感器）。现在的机器人导航和定位有多种方法，如基于环境信息的地图模型匹配导航，基于各种导航信号的陆标导航，视觉导航和触觉导航等^[9]。环境地图模型匹配导航机器人可以通过多种传感手段对于地图与采集信息信息进行匹配，从而得到自身所处位置信息，最后通过规划算法来行进至目的地。这是一套基于已知环境的移动方案。陆标导航这是在机器人活动区域设置可以探知的信号源，通过对信号源的感知来获得自身相对位置，并在路标的指引下，向终点前进的方法。视觉和触觉导航，这是通过视觉和触觉传感器，对行进环境进行识别，并作出行进决策的导航手段。这是一种动态的可适用于未知环境的机器人移动方案。移动机器人传感技术主要是对机器人自身内部的位置和方向信息以及外部环境信息的检测和处理，采用的传感器分为内部传感器和外部传感器，其中内部传感器有：编码器，线加速度计，陀螺仪，磁罗盘，激光全局定位传感器，激光雷达等^[9]。

而基于两大模块，避障算法的研究也有了长足的发展。避障算法经历了人为设计环境避障，已知环境避障，半已知环境避障和完全未知环境避障等几个发展阶段。Ting-Kai Wang 等人^[11]提出了基于障碍物边界和模糊逻辑的未知环境避障算法。Torvald Ersson 等人^[12]提出了基于网络化简的针对于短程传感器的未知环境探测算法。Shuichi Utsugi^[13]提出了一种基于视觉的连续关注点捕捉技术的智能避障算法，等等。

1.3 课题的研究内容和意义

移动机器人的功能化带来了其结构过于复杂化的问题。而对于大多数应用领域来说，如不能使用机器人的全部功能，将造成巨大的资源浪费。通过之前的讨论可以得知，模块化是解决功能复杂化的最好的方法。人们对于机器人的选用，也会由机器人能提供什么，到希望机器人能做什么的方向转变。只选用自己有用的模块而是机器人的使用和维护成本达到最小。与此同时，模块化机器人的实现，也为系统的升级减小了开支。设想人们可以对机器人进行简单的升级，就像升级软件一样，这将是具有革命意义的。因此，我对于复杂机器人的模块化研究，将主要集中在如何将功能进行拆分和如何对众多模块进行控制上。

正如先前所讨论的，定位对于移动机器人控制来说是一个非常重要的环节。而如何对移动的机器人进行定位，这是我的设计所需要面临的一个问题。目前对于定位的研究，非常依赖于 GPS 模块，因为其相对简单，容易获取。但存在的缺点是，只能在开阔的户外环境中所使用。而对于需要在楼内或障碍物内移动的机器人来说，这一方法是极其不可靠的。所以我需要在前人的设计基础上进行一定的改进，引入一种可以获得坐标信息的机械结构到模块化底盘上。通过对虚拟坐标的计算来获得车体的位置信息，从而完成定位。

关于避障算法的研究，已经进行了多年，多种方案都已经被提出。但这些方案往往会根据需要而去选择传感器，却不会根据传感器限制，去使用有限的感知条件去适应和感知未知环境。机器人只有对于不同场合选用不同的传感手段，这样才能做到最优化，避免了不必要的资源浪费。但现在的智能移动机器人为了兼容尽可能多的环境，而装备了多种传感器，应用了多种传感手段，这对于日常应用，是一种不必要的浪费。模块化的拆分思想这有助于建立解决这一问题的思路。根据这一思想，我对于传感器和避障算法的研究将主要集中在如何拆分多种传感手段，如何使传感信息和主控制系统沟通，如何利用这一信息而

完成避障和驶向目标点。而这套系统模型的建立，传输机制和协议的制定，将会提供一整套嵌入式模块移动避障机器人的解决方案。

综上所述，我的主要设计任务是设计多功能模块化移动机器人的控制系统，根据单个机器人的功能特征及多个机器人间的协作行为，确定该控制系统的结构；这将包括硬件及软件层面两个部分。硬件层面，实现多机互通接口的设计，模块核心控制单元的设计。并成功实现对底盘模块的驱动，和传感器模块对外部环境的感知；软件层面，实现多模块事件响应模型的设计，标准化传输协议的制定，底盘实际驾驶控制、定位和追踪，传感器模块信号处理分析及核心控制单元功能的实现。开发仿真平台，实现单个多功能模块化机器人及多个多功能模块化机器人在未知环境下的避障移动，应用或改善现有路径规划算法。同时可以简单模拟多机通讯协议机制。

第二章 模块化结构的设计与改良

2.1 先前设计方案的回顾

2.2 通用可扩展模块的重设计

2.3 轮式底盘模块的设计

2.4 模块间通用接口的设计

2.5 本章小结

第三章 通用控制电路设计

模块化机器人的各个模块都是可以独立工作的个体。从上一章的设计可知，每个模块都有一个核心板载系统来对本模块的基本功能进行控制。这一设计思路在其它模块化机器人上也有所体现。例如美国加州大学戴维斯分校的 **Graham G. Ryland** 等人^[14] 设计的模块化机器人系统，每个模块是包含四个自由度的可以独立控制并运动的个体。而个体之间通过通信和协议来完成作为组合的总体所实现的功能。在本设计中，因为每个模块都有不同的功能，进行拼装后的实体的机器人通过协同来实现全部功能。为了使设计的硬件能在最大程度上实行公用，本设计将机器人电路进行拆分，并对电路实现了模块化。

每个机器人模块都将实现作为一个模块的基本功能，如实现与其他模块的通信；单独的程序上传与下载、与在线调试；对于自身模块的电源管理；与外部其他系统的通讯；简单的片上调试按钮和指示用数码管和 **LED**。据此本方案设计每个模块都要使用的通用模块控制电路。而对于不同模块的不同功能需求，本方案设计了大量的外设电路，每一个模块将会在功能性外设及接口设计部分进行讨论与说明。这样的好处是每一个模块都拥有其工作所用的资源而不会有资源的浪费。例如，用于定位的 **IMU** 模块只有地盘模块需要使用。而上层实现其他功能的模块，如机械手并不需要使用，这里没有把其集成在通用板上，是极大的避免了资源的浪费。为了能够使用这些外设电路，本设计已经将片上所有资源系数引出。这样做同时还可供未来通用板的扩展。

一下各小结、节将对整个机器人系统的电路系统进行详细阐述。

3.1 通用模块控制电路

通用电路板本着简单，稳定，可以快速开发和方便部署的原则进行了设计。控制芯片选用了引脚众多，功能强大和文档完善的 Freescale 公司的 MC9S12XS128 单片机。本设计使用的是拥有 112 个引脚的版本。这款芯片的特点是低功耗、高集成、易于扩展，自带看门狗计数器、PWM 输出、增强型捕捉定时器^[15]。在本设计中，将通用控制电路板分为两个部分，一个部分是包含 BWM 程序烧写在线调试器，复位按键和单片机芯片的最小系统；另一部分是提供通用电路功能的接口板。这样设计而不是直接将单片机焊接在接口板上的原因是，一旦单片机烧毁，可以同过更换最小系统来是电路板恢复使用，而不用丢弃整个电路板，基板上昂贵芯片。

下面的部分将对这两个模块进行详细的介绍。

3.1.1 最小系统

最小系统的电路图如图3.1.1 所示。最小系统实物图如图3.1.1 所示。

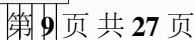


图 3-1 最小系统实物图

Fig 3-1 the Minimal Core System

这块最小系统板上有一个 16MHz 的晶振连接至芯片。芯片正常工作时的频率是由锁相环（PLL）超频到 40MHz 的。这块最小系统还有一个复位键，引入芯片 RESET 引脚，将检测电路的下降沿进行复位。同时最小系统上海提供

图 3-2 最小系统电路图



一个 BWM 程序上传和下载及在线调试模块。片上提供 128k 片上 RAM，可以用来储存芯片执行用程序。还有一个独立的电源管理模块，以提供稳定的 5v 电压给单片机工作。之所以称为最小系统，就是因为以上是这块芯片的全部功能元件。如原理图所示，这块最小系统的其他功能就是简单的将单片机所有引脚引出。

3.1.2 功能接口板

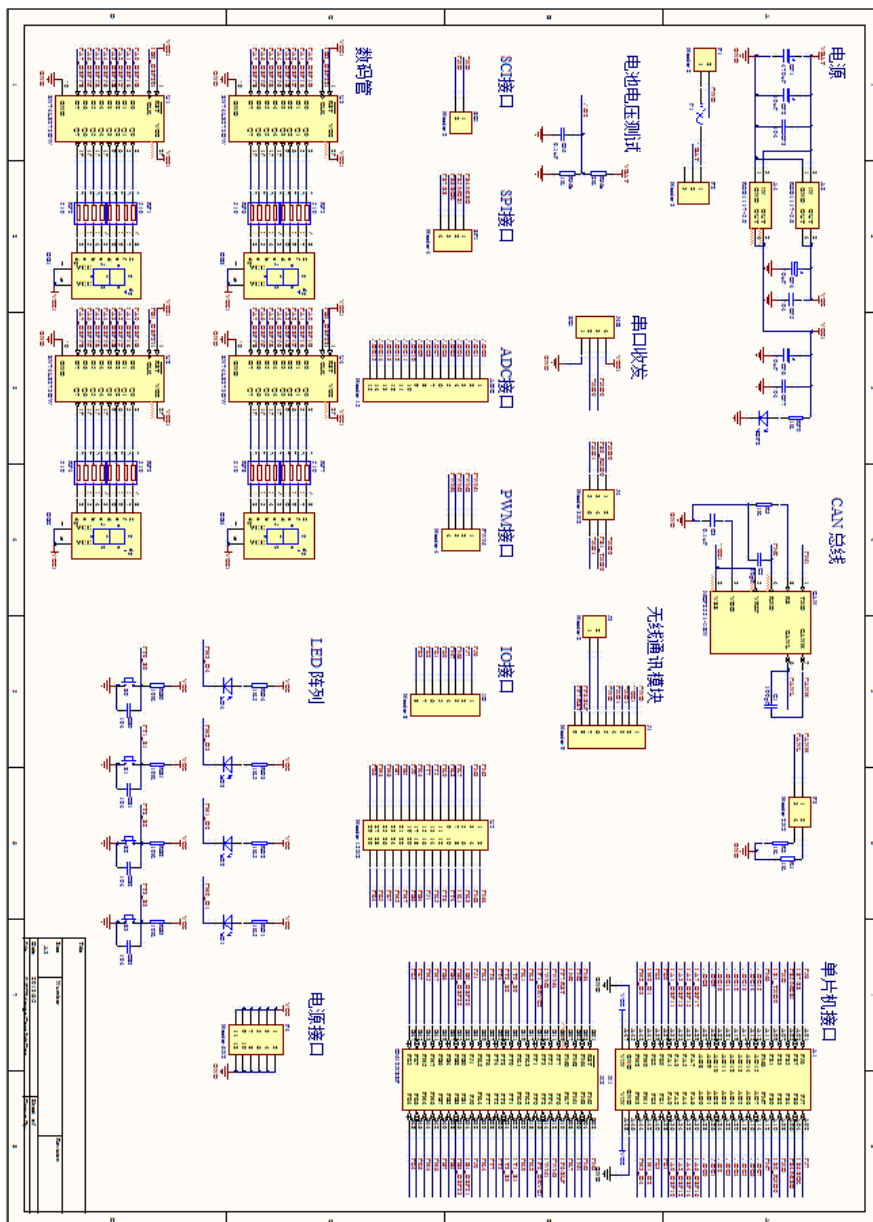
功能接口板是通用模块控制电路的核心部分。它具有承上启下的作用，得到最小系统引出的单片机全部空余引脚，并对其功能进行设计。其电路图如图3.1.2 所示。其共分为电源管理，CAN 总线，单片机接口，电压测试单元，串口通讯，数码管显示单元，LED 及案件阵列和引出接口几部分。

其中电源管理部分的电路如图3.1.2。使用两片 1117 输出两个 5v 电压，为了使电流相差较大模块之间不会相互干扰。其中一个给单片机及通讯模块供电，电流小，对电流稳定性要求高；而另一路主要给外设电路供电。

CAN 总线电路图如图所示3.1.2。用一块 Microchip 公司生产的 MCP2511 作为单片机内置 CAN 模块的 Transceiver，将 CAN 端口数据打包编码后传输到总线中去。前面已经介绍过了这款机器人将打破传统的接触式传输连线，而是使用光学方法进行数据传输，其中这里 CAN 中线的输出口，就是要连接到光学传输接口板上。

CAN 总线 2.0 协议^[16]是由博世公司提出被提供支持的。因为其两线制的机制，和可以同时连接非常多个模块，并能组织各个节点模块共同工作的特点二大量应用在汽车领域。其传输速度快，稳定性强的特点也为其能轻松移植到机器人系统中来提供了可行性。相对较少的接线同时也意味着极大的容错率，这就是本设计选择 CAN 总线最为模块间传输工具的原因。这一设计的灵感来源于 Ying Zhang 等人^[17]的研究。

图 3-3 功能接口板电路图
Fig 3-3 Schematic of Base Board



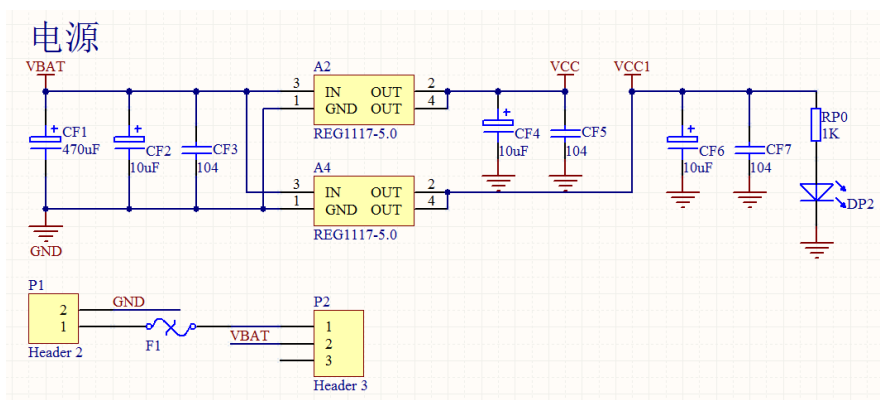


图 3-4 电源管理电路原理图
Fig 3-4 Schematic of Power Source Management Unit

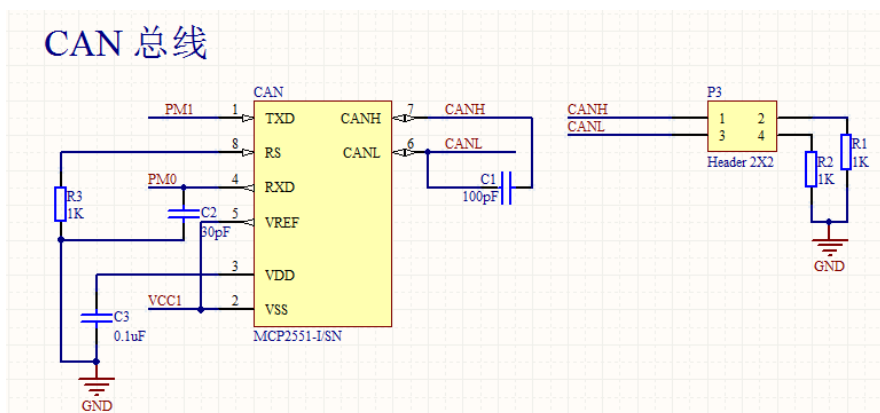


图 3-5 CAN 电路原理图
Fig 3-5 Schematic of CAN Bus Unit

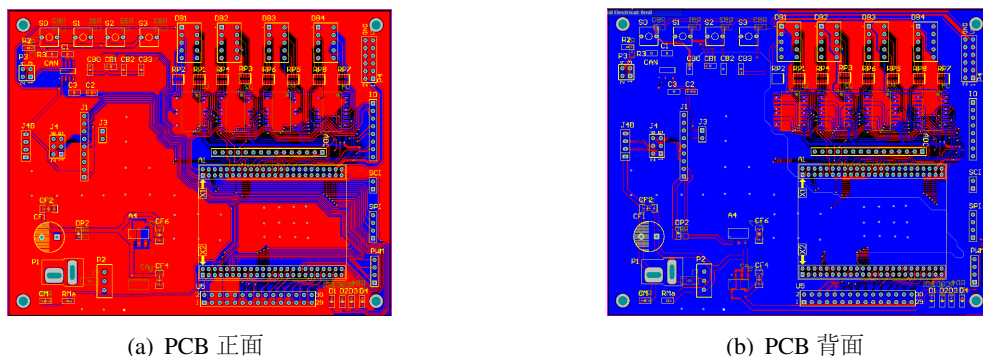


图 3-6 功能接口板的设计 PCB 样图
Fig 3-6 The PCB View of Main Base Board

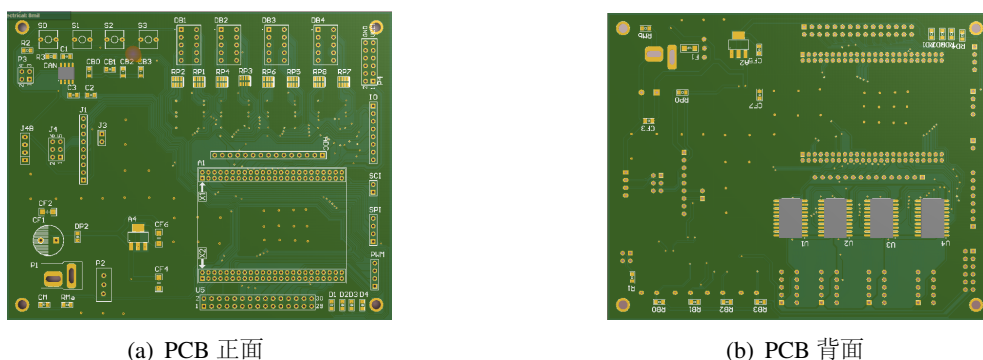


图 3-7 功能接口板的虚拟实物图
Fig 3-7 The Virtual View of Main Base Board

功能接口板的 PCB 设计图如图3.1.2 所示。其虚拟实物图如图3.1.2 所示，3D 立体仿真图如图3.1.2 所示。

3.2 功能型外设及接口设计

功能性外设主要提供某个模块所需要的独特功能。这些模块可能包括机器人应用中的方方面面。如无线通讯模块：用来是摸个机器人模块与外部设备，如远程计算通讯，从而实现信息的沟通或是机器人于远程系统的交互；舵机驱动模块：可以用来驱动具有多舵机结构的机械臂或其他的多舵机应用模块；IMU 和 GPS 模块：用来实现定位，机器人姿态探测等功能；电机驱动模块，

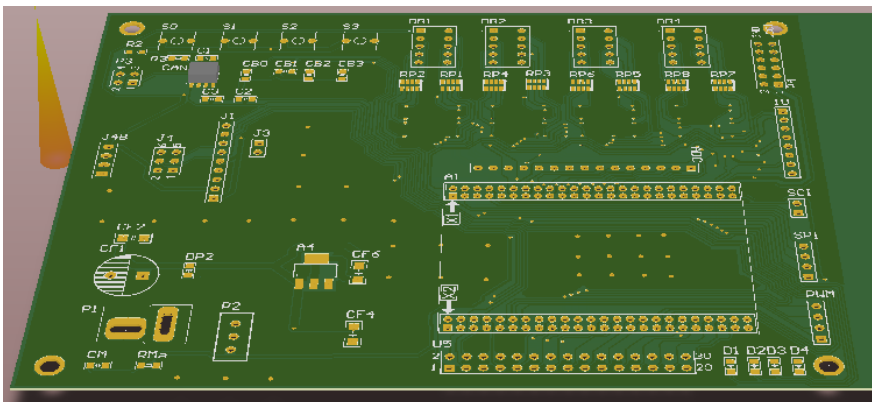


图 3-8 功能接口板的虚拟实物图 3D
Fig 3-8 The 3D Virtual View of Main Base Board

用来驱动电机，可以用在轮式底盘或是履带式底盘的驱动；编码器模块：可以用来对固定于某一电机或伺服电机舵机上的编码器进行驱动与计数；传感器模块：用来驱动传感器来对外部信息进行采集和处理；以及其他应用领域的模块等等。本设计因为只对移动平台进行了设计及研究，所以只具体设计了 IMU 模块，电机驱动模块，编码器模块，传感器模块和光电 CAN 传输模块。对于每一个模块的详细设计如下。

3.2.1 IMU 模块

IMU 是 Inertial measurement unit (惯性测量单元) 的缩写。本方案所设计的 IMU 包括传统的加速度计和陀螺仪，同时参考了 Minor 等人^[18]的设计，在模块中引入了磁倾角传感器（电子罗盘）。在这一模块的设计中，使用了一片 SCA100T 两轴角速度传感器，用来采集平行于地面的平面内的加速度；一个 ZCC212N 电子罗盘封装单元，这一单元将测得的与地磁场倾角数据通过 SCI 协议传输回单片机进行处理；以及一个 LYPR540 三轴陀螺仪，用以测量角加速度。电路设计原理图如图3.2.1 所示，PCB 设计样图如图3.2.1 所示，虚拟实物图如图3.2.1 所示。

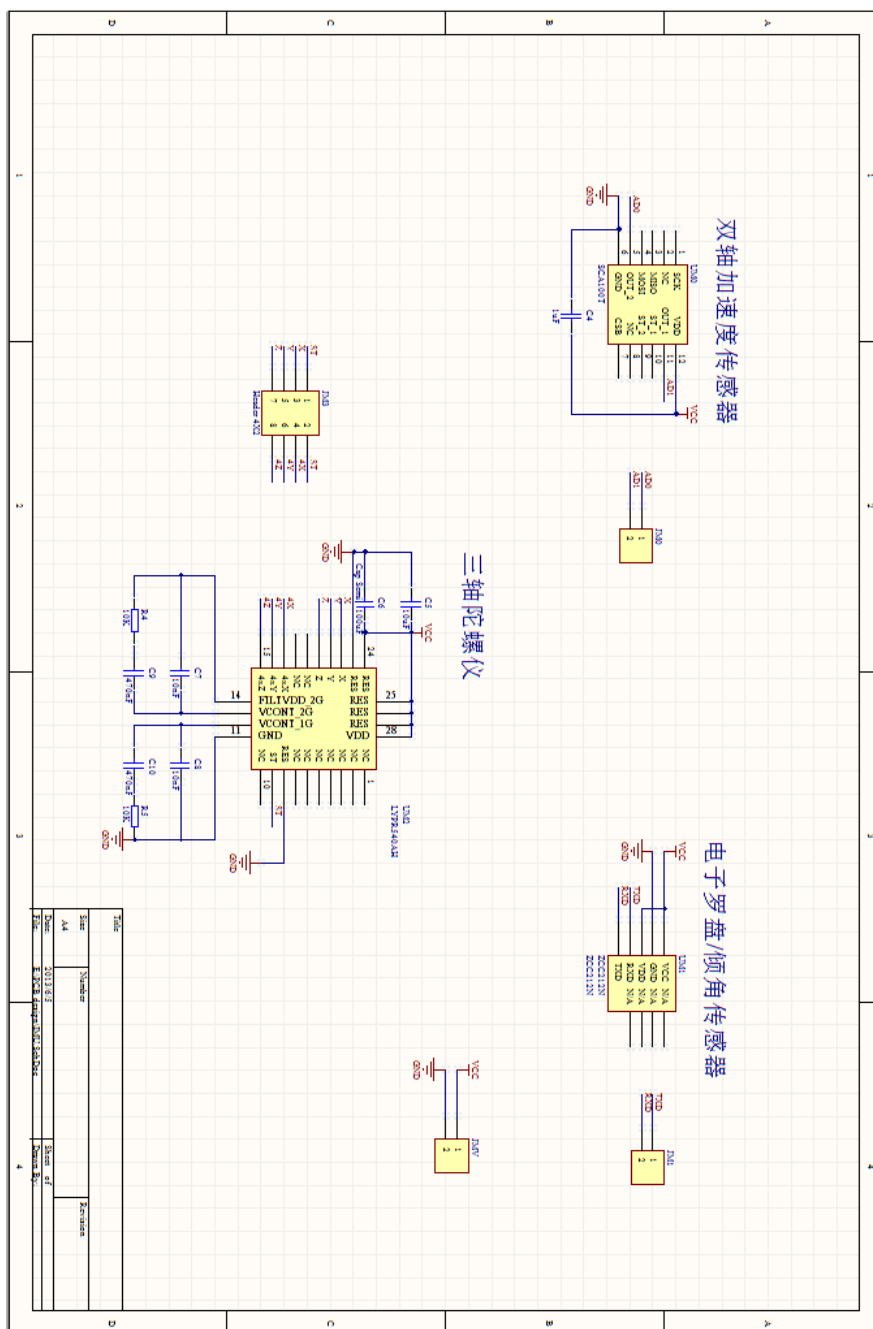


图 3-9 IMU 电路原理图
Fig 3-9 Schematic of IMU Unit

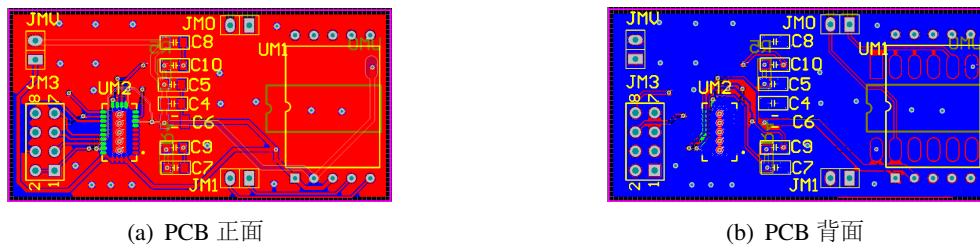


图 3-10 IMU 的设计 PCB 样图
Fig 3-10 The PCB View of IMU

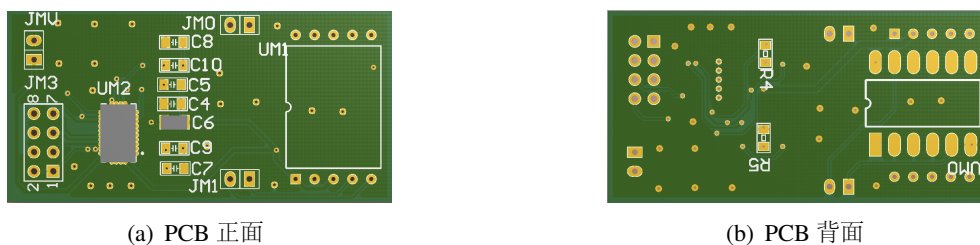


图 3-11 IMU 的虚拟实物图
Fig 3-11 The Virtual View of IMU

3.2.2 驱动模块

电机驱动模块，采用传统的 H 桥式电路。其电路原理简图如图3.2.2 所示。

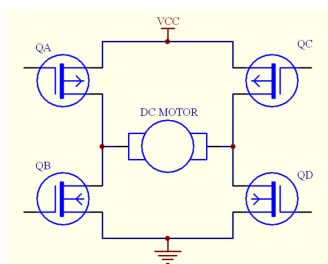


图 3-12 H 桥电路原理简图
Fig 3-12 H Bridge

其工作原理为，对角线上的 MOSEFET 或是 BJT 同时断开和闭合，相邻的两个 MOSFET 和 BJT 不同时断开和闭合。从而达到是电流可以以不同方向经过电机，而使电机可以正转或反转。现在有多种集成的桥式电路芯片可供选

择，而不必用 MOSFET 自行搭建 H 桥式电路。这种集成芯片有多种好处，比如稳定性高，紧凑所占空间小，简化电路设计等。所以本方案的驱动电路是直接基于 BTS7960 这款 H 桥式芯片设计的。同时电机需要使用 PWM 脉冲调制器产生方波来进行控速，通过改变方波的占空比来改变作用在电机上的等效电压来实现调速。其原理图如图3.2.2 所示,PCB 设计样图如图3.2.2 所示。

3.2.3 编码器模块

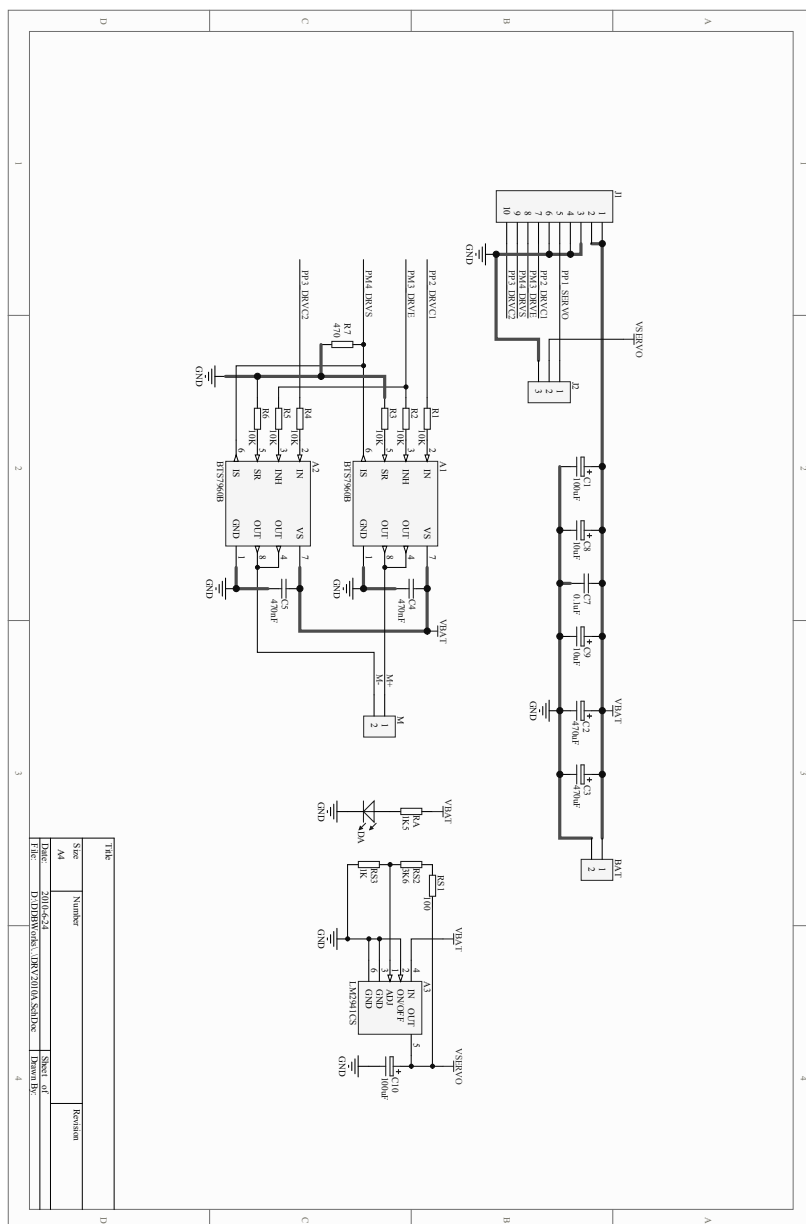
编码器模块实际上是比较简单的模块，其主要功能是为编码器提供片外计数器，并把结果反馈给主控板。在本设计中，选用的是 CD4520 芯片。这是一个最高计数值较小的高速用计数器。每个芯片的接线方法的电路原理图如图^[9]。

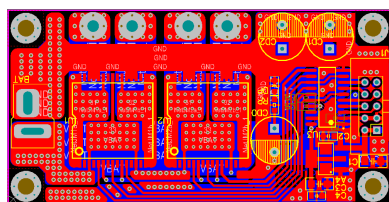
3.2.4 传感器模块

传感器模块需要因传感器种类的不同而不同。在这里只对本设计需要用的超声波传感器的驱动电路进行讨论。因为传感器众多，为了节省片上资源，需要新的方法去驱动这么多传感器。其中一种方案就如笔者的设计，轮流激活传感器网络中的各个个体，这样可以复用同一套数据读取口，只需要不同的选通 IO 接口就可以了。这种方法充分的考虑到了片上资源不足的情况，极大的减少所使用 IO 口的数量。传感器驱动网络的原理图如图3.2.4所示。从图中可以看出 PK7 口是复用的，是有上升沿和下降沿检测中断的端口。如果使用译码器驱动选通的话，可以以供使用 4 个 IO 口驱动 8 个传感器。

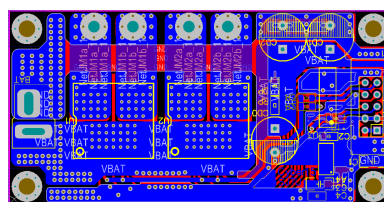
在本设计中选用的传感器是比较常见的 HC-SR04 模块。其有效检测距离是 4cm 到 8m。超声波传感器不同于红外传感器，抗光线和环境干扰能力比较强，相对可靠。同时因为模块的常见性，又使其非常廉价。这款模块的实物图

图 3-13 驱动电路电路图
Fig 3-13 Schematic of Driver Board





(a) PCB 正面



(b) PCB 背面

图 3-14 驱动电路的设计 PCB 样图
Fig 3-14 The PCB View of Driver Board

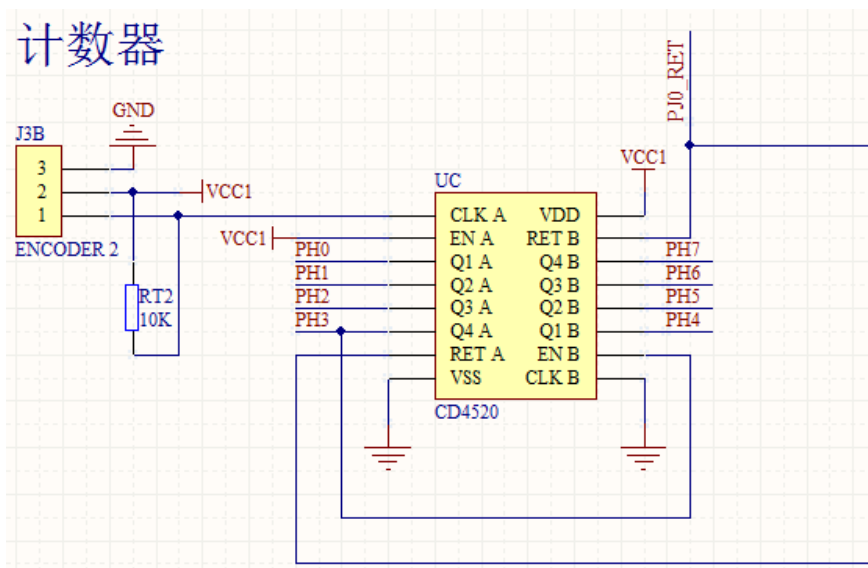


图 3-15 编码器用外部计数器接线图
Fig 3-15 Schematic of counters for encoder

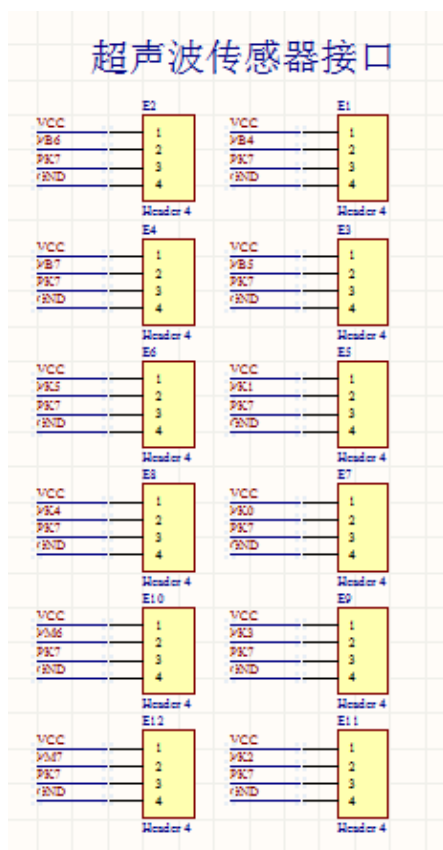
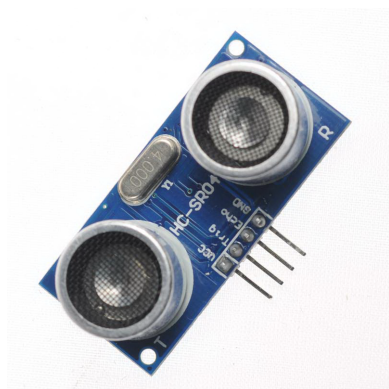


图 3-16 超声波传感器驱动板原理图
Fig 3-16 Schematic of Ultrasonics Driver Unit

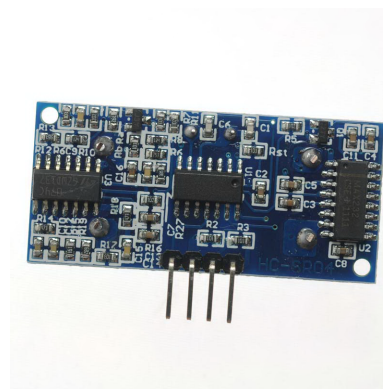
如图3.2.4 所示。

3.2.5 模块间通讯接口

3.3 本章小结



(a) 正面



(b) 背面

图 3-17 超声波传感器
Fig 3-17 Ultrasonics Sensor Unit

第四章 控制算法与仿真

4.1 底盘驱动算法

4.2 车体定位方案

4.2.1 拖地轮及方位角传感器定位

4.2.2 IMU 定位

4.2.3 GPS 定位

4.3 未知环境避障算法

4.4 地图生成和最优路径生成

4.5 避障算法仿真

4.6 本章小结

全文总结

这里是全文总结内容。

参考文献

- [1] DUDEK G, JENKIN M. Computational principles of mobile robotics[M]. Cambridge: Cambridge university press, 2010.
- [2] HOLLAND O. Grey Walter: the pioneer of real artificial life[C]//Proceedings of the 5th international workshop on artificial life. .[S.l.]: [s.n.] , 1997:34–44.
- [3] HARRISON R, WESTERN R, MOORE P, et al. A study of application areas for modular robots[J]. Robotica, 1987, 5(03):217–221.
- [4] 王鹏飞, 秦小云. 可重构模块化机器人的研究 [J]. 中国水运, 2007, 7(7):164–165.
- [5] BENHABIB B, DAI M. Mechanical design of a modular robot for industrial applications[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1991, 10(4):297–306.
- [6] PAREDIS C J, KHOSLA P K. Kinematic design of serial link manipulators from task specifications[J]. The International Journal of Robotics Research, 1993, 12(3):274–287.
- [7] FUJITA M, KITANO H, KAGEYAMA K. A reconfigurable robot platform[J]. Robotics and autonomous Systems, 1999, 29(2):119–132.
- [8] YIM M. New locomotion gaits[C]//Robotics and Automation, 1994. Proceedings., 1994 IEEE International Conference on. .[S.l.]: [s.n.] , 1994:2508–2514.
- [9] 李磊, 叶涛, 谭民, et al. 移动机器人技术研究现状与未来 Ⅲ[J]. 机器人, 2002, 24(9):475–480.

- [10] NILSSON N. A Mobile Automation: An Application of Artificial Intelligence Techniques[J]. Autonomous Mobile Robots: Control, Planning, and Architecture, 1969, 2:233–244.
- [11] WANG T K, DANG Q, PAN P Y. Path planning approach in unknown environment[J]. International Journal of Automation and Computing, 2010, 7(3):310–316.
- [12] ERSSON T, HU X. Path planning and navigation of mobile robots in unknown environments[C]//Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on. .[S.l.]: [s.n.] , 2001, 2:858–864.
- [13] UTSUGI S, SUZUKI H. Path planning in an unknown environment on the basis of observations of occluded areas[C]//Cybernetics and Intelligent Systems, 2008 IEEE Conference on. Tokyo: [s.n.] , 2008:248–253.
- [14] RYLAND G G, CHENG H H. Design of iMobot, an intelligent reconfigurable mobile robot with novel locomotion[C]//Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on. .[S.l.]: [s.n.] , 2010:60–65.
- [15] 谢宁, 周翔, 刘露露, 等. 基于 XS128 单片机的智能循迹车硬件系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(12):63–66.
- [16] BOSCH R. CAN specification version 2.0[J]. Rober Bousch GmbH, Postfach, 1991, 300240.
- [17] ZHANG Y, ROUFAS K, YIM M, et al. Massively Distributed Control Nets for Modular Reconfigurable Robots[C]//2002 AAAI Spring Symposium on Intelligent Distributed and Embedded Systems. .[S.l.]: [s.n.] , 2002.

- [18] MINOR R R, ROWE D W. Utilization of a magnetic sensor to compensate a MEMS-IMU/GPS and de-spin strapdown on rolling missiles[J]. 2001. US Patent 6,208,936.

致 谢

感谢上海交通大学!

感谢所有测试和使用交大硕士学位论文 \LaTeX 模板的同学!

感谢那位最先制作出博士学位论文 \LaTeX 模板的交大物理系同学!

感谢 Jianwen(水源 ID: shinkansen) 为此模板做出的贡献!

感谢 William Wang 同学对模板移植做出的巨大贡献!

感谢 Wang 同学对推动模板官方化所做的工作!

DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL MOBILE MODULAR ROBOT SYSTEM

An imperial edict issued in 1896 by Emperor Guangxu, established Nanyang Public School in Shanghai. The normal school, school of foreign studies, middle school and a high school were established. Sheng Xuanhuai, the person responsible for proposing the idea to the emperor, became the first president and is regarded as the founder of the university.

During the 1930s, the university gained a reputation of nurturing top engineers. After the foundation of People's Republic, some faculties were transferred to other universities. A significant amount of its faculty were sent in 1956, by the national government, to Xi'an to help build up Xi'an Jiao Tong University in western China. Afterwards, the school was officially renamed Shanghai Jiao Tong University.

Since the reform and opening up policy in China, SJTU has taken the lead in management reform of institutions for higher education, regaining its vigor and vitality with an unprecedented momentum of growth. SJTU includes five beautiful campuses, Xuhui, Minhang, Luwan Qibao, and Fahu, taking up an area of about 3,225,833 m². A number of disciplines have been advancing towards the top echelon internationally, and a batch of burgeoning branches of learning have taken an important position domestically.

Today SJTU has 31 schools (departments), 63 undergraduate programs, 250 masters-degree programs, 203 Ph.D. programs, 28 post-doctorate programs, and 11 state key

laboratories and national engineering research centers.

SJTU boasts a large number of famous scientists and professors, including 35 academics of the Academy of Sciences and Academy of Engineering, 95 accredited professors and chair professors of the "Cheung Kong Scholars Program" and more than 2,000 professors and associate professors.

Its total enrollment of students amounts to 35,929, of which 1,564 are international students. There are 16,802 undergraduates, and 17,563 masters and Ph.D. candidates. After more than a century of operation, Jiao Tong University has inherited the old tradition of "high starting points, solid foundation, strict requirements and extensive practice." Students from SJTU have won top prizes in various competitions, including ACM International Collegiate Programming Contest, International Mathematical Contest in Modeling and Electronics Design Contests. Famous alumni include Jiang Zemin, Lu Dingyi, Ding Guangen, Wang Daohan, Qian Xuesen, Wu Wenjun, Zou Taofen, Mao Yisheng, Cai Er, Huang Yanpei, Shao Lizi, Wang An and many more. More than 200 of the academics of the Chinese Academy of Sciences and Chinese Academy of Engineering are alumni of Jiao Tong University.