

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	3
1.3 课题的研究内容和意义	4
第二章 一些 \LaTeX 排版的例子	5
2.1 数学排版的例子	5
2.1.1 公式排版	5
2.1.2 定理环境	7
2.2 向文档中插入图像	8
2.2.1 支持的图片格式	8
2.2.2 长标题的换行	9
2.3 表格的例子	9
2.4 参考文献管理	10
2.4.1 将参考文献的内容与表现分离	11
2.4.2 在正文中引用参考文献	13
2.4.3 参考文献管理器	14
2.5 用 listings 插入源代码	14

第三章 通用控制电路设计	18
3.1 通用模块控制电路	18
3.2 功能型外设及接口设计	18
3.2.1 无线通讯模块	18
3.2.2 IMU 模块	18
3.2.3 驱动模块	18
3.2.4 编码器模块	18
3.2.5 传感器模块	18
3.2.6 模块间通讯接口	18
3.3 本章小结	18
第四章 控制算法与仿真	19
4.1 底盘驱动算法	19
4.2 车体定位方案	19
4.2.1 拖地轮及方位角传感器定位	19
4.2.2 IMU 定位	19
4.2.3 GPS 定位	19
4.3 未知环境避障算法	19
4.4 地图生成和最优路径生成	19
4.5 避障算法仿真	19
4.6 本章小结	19
全文总结	20
附录 A 模板更新记录	21

附录 B Maxwell Equations	22
参考文献	24
致谢	28

表格索引

2-1 指向一个表格的表目录索引	10
2-2 出现在表目录的标题	10

插图索引

2-1 这里将出现在插图索引中	8
2-2 插入 eps 图像和 pdf 图像	9
2-3 这里将出现在插图索引	9
2-4 这里将出现在插图索引	10

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。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

这也将是我的研究所要关注的方向，如何将功能进行拆分，和如何对众多模块进行控制，和如何使其移动。

这些机器人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，我的研究将主要集中在如何拆分多种传感手段，如何是传感信息和主控制系统沟通，如何集成多种其他功能上。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。

第二章 一些 L^AT_EX 排版的例子

2.1 数学排版的例子

2.1.1 公式排版

这里有举一个长公式排版的例子，来自 [《Math mode》](#)：

$$\frac{1}{2}\Delta(f_{ij}f^{ij}) = 2\left(\sum_{i<j}\chi_{ij}(\sigma_i - \sigma_j)^2 + f^{ij}\nabla_j\nabla_i(\Delta f) + \nabla_k f_{ij}\nabla^k f^{ij} + f^{ij}f^k[2\nabla_i R_{jk} - \nabla_k R_{ij}]\right) \quad (2-1)$$

2.1.1.1 一个四级标题

这是全文唯一的一个四级标题。在这部分中将演示可伸长符号（箭头、等号的例子）的例子，以及如何在可伸长的符号上标注。在 [《CTeX 常见问题集》](#) 中也由类似的介绍。首先需要在 `diss.tex` 导言区引入如下的内容：

代码 2.1 插入导言区的内容

```

1 \makeatletter
2 \def\ExtendSymbol#1#2#3#4#5{\ext@arrow 0099{\arrowfill@#1#2#3}{#4}{#5}}
3 \def\RightExtendSymbol#1#2#3#4#5{\ext@arrow 0359{\arrowfill@#1#2#3}{#4}{#5}}
4 \def\LeftExtendSymbol#1#2#3#4#5{\ext@arrow 6095{\arrowfill@#1#2#3}{#4}{#5}}
5 \makeatother
6
7 \newcommand\myRrightarrow[2][\RightExtendSymbol{=}{=}{\Rrightarrow}]{#1}{#2}}
8 \newcommand\myLrightarrow[2][\LeftExtendSymbol{\Lrightarrow}{=}{=}{#1}{#2}}

```

代码 2.2 可伸长的符号

```

1 \begin{eqnarray}
2   f(x) & \& \myBioarrow{A=B} & \& B \\
3   & \& \myLongEqual{A=B} & \& B \\
4   & \& \myLeftarrow[A=B^2]{B=A^2} & \& B \nonumber \\
5   & \& \myRightarrow{B^2=A^2} & \& B \\
6 \end{eqnarray}

9 \newcommand\myBioarrow[2][\ExtendSymbol{\Leftarrow}]{=}{\Rightarrow}
   \{#1\}{#2}\}

10 \newcommand\myLongEqual[2][\ExtendSymbol{=}{=}{=}{#1\}{#2}\}

```

然后，在正文插入如代码2.2所示的内容。效果如下：

$$A \xleftarrow{n=0} B \xrightarrow[n>0]{LongLongLongLong} C$$

$$f(x) \xleftrightarrow{A=B} B \quad (2-2)$$

$$\xrightarrow{A=B} B \quad (2-3)$$

$$\xleftrightarrow[B=A^2]{B=A^2} B \quad (2-4)$$

又如：

$$\begin{aligned} & I(X_3; X_4) - I(X_3; X_4|X_1) - I(X_3; X_4|X_2) \\ & \stackrel{a)}{=} [I(X_3; X_4) - I(X_3; X_4|X_1)] - I(X_3; X_4|\tilde{X}_2) \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$= I(X_1; X_3; X_4) - I(X_3; X_4|\tilde{X}_2) \quad (2-6)$$

2.1.2 定理环境

模板中定义了丰富的定理环境 `algo`(算法), `thm`(定理), `lem`(引理), `prop`(命题), `cor`(推论), `defn`(定义), `conj`(猜想), `exmp`(例), `rem`(注), `case`(情形), `bthm`(断言定理), `blemm`(断言引理), `bprop`(断言命题), `bcor`(断言推论)。`amsmath` 还提供了一个 `proof`(证明) 的环境。这里举一个“定理”和“证明”的例子。

定理 2.1 (留数定理). 假设 U 是复平面上一个单连通开子集, a_1, \dots, a_n 是复平面上有限个点, f 是定义在 $U \setminus \{a_1, \dots, a_n\}$ 上的全纯函数, 如果 γ 是一条把 a_1, \dots, a_n 包围起来的可求长曲线, 但不经过任何一个 a_k , 并且其起点与终点重合, 那么:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n I(\gamma, a_k) \text{Res}(f, a_k) \quad (2-7)$$

如果 γ 是若尔当曲线, 那么 $I(\gamma, a_k) = 1$, 因此:

$$\oint_{\gamma} f(z) dz = 2\pi i \sum_{k=1}^n \text{Res}(f, a_k) \quad (2-8)$$

在这里, $\text{Res}(f, a_k)$ 表示 f 在点 a_k 的留数, $I(\gamma, a_k)$ 表示 γ 关于点 a_k 的卷绕数。卷绕数是一个整数, 它描述了曲线 γ 绕过点 a_k 的次数。如果 γ 依逆时针方向绕着 a_k 移动, 卷绕数就是一个正数, 如果 γ 根本不绕过 a_k , 卷绕数就

是零。

定理2.1的证明。

证明. 首先, 由……

其次, ……

所以……

□

上面的公式例子中, 有一些细节希望大家注意。微分号 d 应该使用“直立体”, 也就是用 `\mathrm` 包围起来。并且, 微分号和被积函数之间应该有一段小间隔, 可以插入 `\,` 得到。斜体的 d 通常只作为一般变量。 i, j 作为虚数单位时, 也应该使用“直立体”, 为了明显, 还加上了粗体, 例如 `\mathbf{i}`。斜体 i, j 通常用作表示“序号”。其他字母在表示常量时, 也推荐使用“直立体”, 譬如, 圆周率 π (需要 `upgreek` 宏包), 自然对数的底 e 。

2.2 向文档中插入图像

2.2.1 支持的图片格式

$\mathrm{X}_{\mathrm{E}}\mathrm{TeX}$ 可以很方便地插入 PDF、EPS、PNG、JPG 格式的图片。

插入 PNG/JPG 的例子如2-1所示。这两个水平并列放置的图共享一个“图标题”(table caption), 没有各自的小标题。

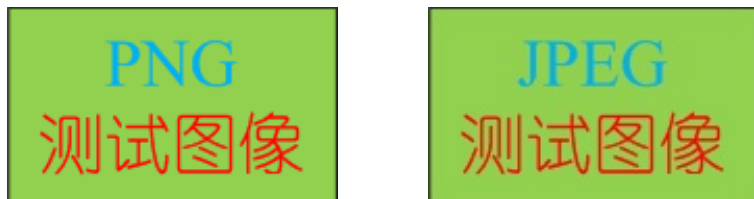


图 2-1 中文题图
Fig 2-1 English caption

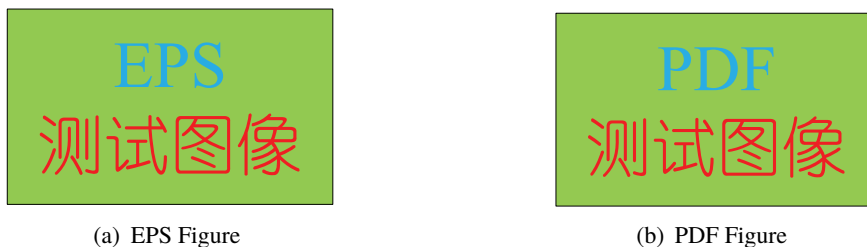


图 2-2 插入 eps 和 pdf 的例子
Fig 2-2 An EPS and PDF demo

这里还有插入 eps 图像和 pdf 图像的例子，如图2-2。这里将 EPS 和 PDF 图片作为子图插入，每个子图有自己的小标题。并列子图的功能是使用 subfigure 宏包提供的。

更多关于 L^AT_EX 插图的例子可以参考《L^AT_EX 插图指南》。

2.2.2 长标题的换行

图2-3和图2-4都有比较长图标题，通过对比发现，图2-4的换行效果更好一些。其中使用了 minipage 环境来限制整个浮动题的宽度。



图 2-3 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。

Fig 2-3 Where there is a will, there is a way.

2.3 表格的例子

这一节给出的是一些表格的例子，如表2-1所示。

¹这个例子来自《Publication quality tables in L^AT_EX》(booktabs 宏包的文档)。这也是一个在表格中使用脚注的例子，请留意与 threeparttable 实现的效果有何不同。

下面一个是一个更复杂的表格，用 `threeparttable` 实现带有脚注的表格，如表2-2。

2.4 参考文献管理

参考文献的管理是这个学位论文模板又一个有趣的地方。



图 2-4 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。

Fig 2-4 Where there is a will, there is a way.

表 2-1 一个颇为标准的三线表格¹

Table 2-1 A Table

Item		
Animal	Description	Price (\$)
Gnat	per gram	13.65
	each	0.01
Gnu	stuffed	92.50
Emu	stuffed	33.33
Armadillo	frozen	8.99

表 2-2 一个带有脚注的表格的例子

Table 2-2 A Table with footnotes

total	20 ¹		40		60	
	www	k	www	k	www	k
	4.22 (2.12)	120.0140 ²	333.15	0.0411	444.99	0.1387
	168.6123	10.86	255.37	0.0353	376.14	0.1058
	6.761	0.007	235.37	0.0267	348.66	0.1010

¹ the first note.

² the second note.

2.4.1 将参考文献的内容与表现分离

这个论文模板使用 **BibTeX** 处理参考文献，这又是一个“内容”与“表现形式”分离的极好例子¹。参考文献的“内容”就是 **reference** 文件夹下的 **chapxx.bib**，参考文献的元数据(名称、作者、出处等)以一定的格式保存在这些纯文本文件中。**.bib** 文件也可以理解为参考文献的“数据库”，正文中所有引用的参考文件条目都会从这些文件中“析出”。控制参考文献条目“表现形式”(格式)的是 **.bst** 文件。**.bst** 文件定义了参考文献风格，使用不同的参考文献风格能将同一个参考文献条目输出成不同的格式。当然，一个文档只能使用一个参考文献风格。本模板使用的是国标 **GBT7714** 风格的参考文献。

BibTeX 的工作过程是这样的：**BibTeX** 读取 **.aux**(第一次运行 **latex** 得到的)看看你引用了什么参考文献条目，然后到 **.bib** 中找相关条目的信息，最后根据 **.bst** 的格式要求将参考文献条目格式化输出，写到 **.bbl** 文件中。在运行 **latex** 将 **.bbl** 插入文档之前，你可以用文本编辑器打开它，做一些小的修改。你会发现，**.bbl** 的格式和你自己手动写 **item** 很相似，它已经被赋予了一定的“表现形式”。

.bib 数据库中的参考文献条目可以手动编写，也可以在 **google** 的学术搜索中找到。各大数据库²也支持将参考文献信息导出为 **.bib**，省时省力。以 **Google** 学术搜索为例：进入 <http://scholar.google.com>，在“学术搜索设置”中，将“文献管理软件”设为“显示导入 **BibTeX**”的连接，保存退出。然后学术搜索找到文献下会有“导出到 **BibTeX**”连接，点击后 **Firefox** 会打开新的标签页，出现类似代码2.3所示的内容³。请注意，这个条目离“规范”还有一些距离。

上面的 **.bib** 条目的“名字”——“白 2008 信用风险传染模型和信用衍生品

¹当然，你也可以手动编参考文献 **item**，直接插入文档中。

²譬如 **SCOPUS**, **IEEE**, **OSA** 等。

³展示这些 **.bib** 条目使用了 **listings** 宏包，因为 **listings** 宏包协调中文的能力很糟糕，所以读者在查看模板的这部分源代码时会看到一些非常麻烦的东西。并且，直接将源代码的这部分内容复制到 **.bib** 中可能还会出错。我的建议是：这部分内容留意 **PDF** 就足够了。

代码 2.3 从 Google Scholar 找到的, 但并不规范的.bib 条目

```
@phdthesis{白 2008 信用风险传染模型和信用衍生品的定价,  
  title ={{信用风险传染模型和信用衍生品的定价}},  
  author={白云芬},  
  year={2008},  
  school={上海交通大学}  
}
```

代码 2.4 一个符合规范的.bib 条目

```
@phdthesis{bai2008,  
  title ={{信用风险传染模型和信用衍生品的定价}},  
  author={白云芬},  
  year={2008},  
  language={zh},  
  address={上海},  
  school={上海交通大学}  
}
```

的定价”，包含 ASCII 以外的字符，BibTeX 无法处理；条目还缺少了 address 域，这样编译出来的结果会出现“地址不详”；并且，条目还缺少 language 域，BibTeX 需要 language 域来判断是否是中文参考文献。将上面的条目修正 (改英文名、增加 address 和 language 域)，复制到本地的.bib 文件中就可以了。显然，这里描述的是参考文献的内容，而不是表现形式。

由于中英文参考文献处理起来有差异，所以需要在参考文献中标注是否是中文文献。确切地说，BibTeX 并不具有区分中英文参考文献的“智能”，这种智慧的来源是.bst 文——它定义了处理参考文献的规则。GBT7714-2005NLang.bst 中规定：.bib 中的条目，如果条目的“language”域非空，就被认为是中文文献，否则被认为是英文文献。例如，刚才的文献，就会被认为是中文参考文献，采取一些针对中文的处理方式。

最后，这个条目被 bibtex 处理后，赋予了一定的“表现形式”，在.bbl 文件

中以下面的样子出现。你还可以对它进行小的修改。再次运行 `latex` 之后，它将被插入到文档中。

代码 2.5 .bbl 中被格式化之后的条目

```
\bibitem[白云芬 (2008)][bai2008]
  \textsc {白云芬}.
  \newblock {信用风险传染模型和信用衍生品的定价}[D].
  \newblock 上海: 上海交通大学, 2008.
```

另外，.bst 文件书写起来非常繁杂⁴，书写符合 GBT7714 标准的.bst 文件更是一项浩大的工程。因此，当大家为漂亮、标准的参考文献列表感到满意时，应该对 GBT7714-2005NLang.bst 的作者充满谢意。作者在 CTeX BBS 发的帖子，请看 [文后参考文献著录规则 GB/T 7714-2005](#)。关于 GB/T 7714-2005 标准本身，请看[这里](#)。

.bib 是“参考文献的内容”，而控制参考文献表现 (格式) 的是.bst 文件，本模板附带的是 GBT7714-2005NLang.bst。

2.4.2 在正文中引用参考文献

参考文献可以分章节管理，只需要在主文件中的参考文献中都包含进去就可以，如`\bibliography{chap1,chap2,...}`。

正文中引用参考文献时，用`\upcite{key1,key2,key3...}`可以产生“上标引用的参考文献”，如^[14–16]。使用`\cite{key1,key2,key3...}`则可以产生水平引用的参考文献，例如 [17–19]。请看下面的例子，将会穿插使用水平的和上标的参考文献：关于书的 [14, 17, 19]，关于期刊的^[15, 20]，会议论文 [16, 21, 22]，硕士学位论文 [18, 23]，博士学位论文^[24–26]，标准文件 [19]，技术报告^[27]，电子文献 [28, 29]，用户手册 [30]。

⁴可以参考 [《Tame The BeaST》](#)。

最后总结一些注意事项：

- 参考文献只有在正文中被引用了，才会在最后的参考文献列表中出现；
- 参考文献“数据库文件”.bib 是纯文本文件，请使用 UTF-8 编码，不要使用 GBK 编码；
- 参考文献条目中通过 language 域是否为空判断是否是中文文献；
- 参考文献条目同样有“内容”和“表现形式”之分，这种可控性是 BibTeX 带来的。

2.4.3 参考文献管理器

参考文献数据库.bib 虽然是纯文本的，可以用任意的文本编辑器查看，但总有人喜欢一个找一个“可视化”地查看每一条参考文献。我想JabRef应该是个很不错的选择。这是一个 Java 写的程序，需要 JRE 才能运行。就测试情况来看，很幸运，JabRef 可以顺利打开 GBK 编码的.bib 文件。但是，打开 UTF-8 编码的.bib 源文件过程中总会崩溃，原因不得而知。由于我们的.bib 文件使用的是 UTF-8 编码，所以 JabRef 暂时不可用。

提到参考文献管理器，不得不提到另一个广被使用的软件——EndNote。EndNote 可以导入.bib 文件，却不能导出.bib，只能导出.bbl——被格式化的.bib。看来，EndNote 和 Word 配合得更好一些。

2.5 用 listings 插入源代码

原先 ctexbook 文档类和 listings 宏包配合使用时，代码在换页时会出现莫名其妙的错误，后来经高人指点，顺利解决了。感兴趣的话，可以看看[这里](#)。这里给使用 listings 宏包插入源代码的例子，这里是一段 C 代码。另外，listings

宏包真可谓博大精深，可以实现各种复杂、漂亮的效果，想要进一步学习的同学，可以参考 [listings 宏包手册](#)。

代码 2.6 一段 C 源代码

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <unistd.h>
3  #include <sys/types.h>
4  #include <sys/wait.h>
5
6  int main() {
7      pid_t pid;
8
9      switch ((pid = fork())) {
10     case -1:
11         printf("fork failed\n");
12         break;
13     case 0:
14         /* child calls exec */
15         execl("/bin/ls", "ls", "-l", (char*)0);
16         printf("execl failed\n");
17         break;
18     default:
19         /* parent uses wait to suspend execution until child finishes */
20         wait((int*)0);
21         printf("is completed\n");
22         break;
23     }
24
25     return 0;
26 }
```

再给一个插入 MATLAB 代码的例子，感谢 daisyng 站友提供的代码。

代码 2.7 一段 MATLAB 源代码

```
1 function paper1
2 r=0.05;
3 n=100;
4 T=1;
5 X=1;
6 v0=0.8;
7 sigma=sqrt(0.08);
8 deltat =T/n;
9 for i=1:n
10     t(i)=i* deltat ;
11     w(i)=random('norm',0,t(i),1);
12 end
13 for i=1:n
14     alpha(i)=0.39;
15 end
16 for i=1:n
17     temp=0;
18     for k=1:i
19         temp=temp+alpha(k);
20     end
21     B(i)=exp(r*t(i));
22     BB(i)=B(i)*exp(temp*deltat);
23     BBB(i)=exp(-r*(T-t(i)));
24 end
25 for i=1:n
26     s0(i)=X*BBB(i);
27     v(i)=v0*exp((r-0.5*sigma^2)*t(i)+sigma*w(i));
28     for j=i+1:n
29         D=X*BBB(j);
30         d1=(log(v(i)/D)+(r+sigma^2/2)*(t(j)-t(i)))/(sigma*sqrt(t(j)-t(i)));
31         d2=d1-(sigma*sqrt(t(j)-t(i)));
32         ppp(i,j)=D*exp(-r*(t(j)-t(i)))*(1-cdf('normal',d2,0,1))-v(i)*(1-cdf('n
```

```
33 normal',d1,0,1));
34     end
35 end
36 for i=1:n
37     s1(i)=0;
38     for j=i+1:n
39         s1(i)=s1(i)+BB(j)^(-1)*alpha(j)*deltat*(X*BBB(j)-B(j)/B(i)*ppp(i,j));
40     end
41     s2(i)=0;
42     for j=1:n
43         s2(i)=s2(i)+alpha(j);
44     end
45     s2(i)=X*exp(-r*T-s2(i)*deltat);
46     s(i)=BB(i)*(s1(i)+s2(i));
47 end
48 plot(s)
49 hold on;
50 plot(s0);
```

第三章 通用控制电路设计

3.1 通用模块控制电路

3.2 功能型外设及接口设计

3.2.1 无线通讯模块

3.2.2 IMU 模块

3.2.3 驱动模块

3.2.4 编码器模块

3.2.5 传感器模块

3.2.6 模块间通讯接口

3.3 本章小结

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。

附录 A 模板更新记录

2012 年 12 月 27 日 v0.5.2 发布，更正拼写错误：从“个人建立”更正为“个人简历”。在 `diss.tex` 加入 `ack.tex`，更名后忘了引用。

2012 年 12 月 21 日 v0.5.1 发布，在 \LaTeX 命令和中文字符之间留了空格，在 `Makefile` 中增加 `release` 功能。

2012 年 12 月 5 日 v0.5 发布，修改说明文件的措辞，更正 `Makefile` 文件，使用 `metalog` 宏包替换 `xltextra` 宏包，使用 `mathtools` 宏包替换 `amsmath` 宏包，移除了所有 `CJKtilde(~)` 符号。

2012 年 5 月 30 日 v0.4 发布，包含交大学士、硕士、博士学位论文模板。模板在 [github](#) 上管理和更新。

2010 年 12 月 5 日 v0.3a 发布，移植到 $\text{\XeTeX}/\text{\LaTeX}$ 上。

2009 年 12 月 25 日 v0.2a 发布，模板由 `CASthesis` 改名为 `sjtumaster`。在 `diss.tex` 中可以方便地改变正文字号、切换但双面打印。增加了不编号的一章“全文总结”。添加了可伸缩符号(等号、箭头)的例子，增加了长标题换行的例子。

2009 年 11 月 20 日 v0.1c 发布，增加了 Linux 下使用 `ctex` 宏包的注意事项、`.bib` 条目的规范要求，修正了 `ctexbook` 与 `listings` 共同使用时的断页错误。

2009 年 11 月 13 日 v0.1b 发布，完善了模板使用说明，增加了定理环境、并列子图、三线表格的例子。

2009 年 11 月 12 日 上海交通大学硕士学位论文 \LaTeX 模板发布，版本 0.1a。

附录 B Maxwell Equations

选择二维情况，有如下的偏振矢量

$$\mathbf{E} = E_z(r, \theta) \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B-1a})$$

$$\mathbf{H} = H_r(r, \theta) \hat{\mathbf{r}} + H_\theta(r, \theta) \hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (\text{B-1b})$$

对上式求旋度

$$\nabla \times \mathbf{E} = \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \hat{\mathbf{r}} - \frac{\partial E_z}{\partial r} \hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (\text{B-2a})$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B-2b})$$

因为在柱坐标系下， $\bar{\mu}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中电场 \mathbf{E} 的旋度

$$\nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{i}\omega \mathbf{B} \quad (\text{B-3a})$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \hat{\mathbf{r}} - \frac{\partial E_z}{\partial r} \hat{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{i}\omega \mu_r H_r \hat{\mathbf{r}} + \mathbf{i}\omega \mu_\theta H_\theta \hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (\text{B-3b})$$

所以 \mathbf{H} 的各个分量可以写为：

$$H_r = \frac{1}{\mathbf{i}\omega \mu_r} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \theta} \quad (\text{B-4a})$$

$$H_\theta = -\frac{1}{\mathbf{i}\omega \mu_\theta} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (\text{B-4b})$$

同样地，在柱坐标系下， $\bar{\epsilon}$ 是对角的，所以 Maxwell 方程组中磁场 \mathbf{H} 的旋度

$$\nabla \times \mathbf{H} = -\mathbf{i}\omega\mathbf{D} \quad (\text{B-5a})$$

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \hat{\mathbf{z}} = -\mathbf{i}\omega \bar{\epsilon} \mathbf{E} = -\mathbf{i}\omega \epsilon_z E_z \hat{\mathbf{z}} \quad (\text{B-5b})$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r}{\partial \theta} = -\mathbf{i}\omega \epsilon_z E_z \quad (\text{B-5c})$$

由此我们可以得到关于 E_z 的波函数方程：

$$\frac{1}{\mu_\theta \epsilon_z} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{\mu_r \epsilon_z} \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + \omega^2 E_z = 0 \quad (\text{B-6})$$

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] 崔万照, 马伟, 邱乐德, 等. 电磁超介质及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [15] CHEN H, CHAN C T. Acoustic cloaking in three dimensions using acoustic metamaterials[J]. Applied Physics Letters, 2007, 91:183518.
- [16] KIM S, WOO N, YEOM H Y, et al. Design and Implementation of Dynamic Process Management for Grid-enabled MPICH[C]//the 10th European PVM/MPI Users' Group Conference. Venice, Italy: [s.n.] , 2003.
- [17] JOANNOPOULOS J D, JOHNSON S G, WINN J N. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light[M].[S.l.]: Princeton University Press, 2008.
- [18] 猪八戒. 论流体食物的持久保存 [D]. 北京: 广寒宫大学, 2005.

- [19] IEEE STD 1363-2000. IEEE Standard Specifications for Public-Key Cryptography[M]. New York: IEEE, 2000.
- [20] CHEN H, WU B I, ZHANG B, et al. Electromagnetic Wave Interactions with a Metamaterial Cloak[J]. Physical Review Letters, 2007, 99(6):63903.
- [21] KOCHER C, JAFFE J, JUN B. Differential Power Analysis[C]//. WIENER M. 1999. Advances in Cryptology (CRYPTO '99).[S.l.]: Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1666.
- [22] 王重阳, 黄药师, 欧阳峰, 等. 武林高手从入门到精通 [C]//第 N 次华山论剑. 西安, 中国: 中国古籍出版社, 2006.
- [23] JEYAKUMAR A R. Metamori: A library for Incremental File Checkpointing[D]. Blacksburg: Virginia Tech, 2004.
- [24] 沙和尚. 论流沙河的综合治理 [D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [25] ZADOK E. FiST: A System for Stackable File System Code Generation[D]. USA: Computer Science Department, Columbia University, 2001.
- [26] 白云芬. 信用风险传染模型和信用衍生品的定价 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [27] WOO A, BAILEY D, YARROW M, et al. The NAS Parallel Benchmarks 2.0[R].[S.l.]: The Pennsylvania State University CiteSeer Archives, 1995. <http://www.nasa.org/>.
- [28] 萧钰. 出版业信息化迈人快车道 [EB/OL].(2001-12-19)[2002-04-15]. <http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.html>.

- [29] CHRISTINE M. Plant physiology: plant biology in the Genome Era[J/OL]. Science, 1998, 281:331–332[1998-09-23]. <http://www.sciencemag.org/cgi/collection/anatmorp>.
- [30] R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing[M]. Vienna, Austria: [s.n.] , 2012. <http://www.R-project.org/>. ISBN 3-900051-07-0.

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.