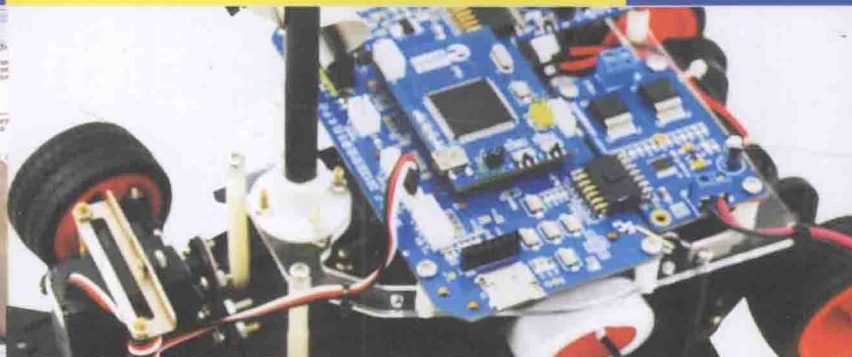
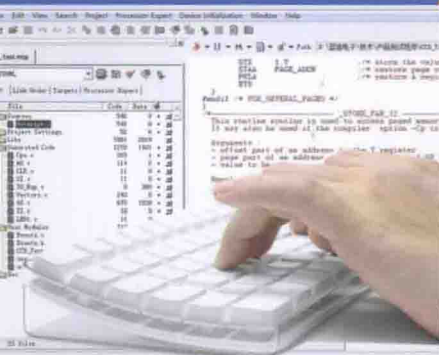


THE GUIDE OF DESIGN INTELLIGENT CAR

智能创新实验室指定教材
智能车制作必备宝典



智能车设计

“飞思卡尔杯”从入门到精通

闫琪 王江 熊小龙 编著
朱德亚 邓飞贺 朱锐 金立



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

智能车设计

“飞思卡尔杯”从入门到精通

闫琪 王江 熊小龙 编著
朱德亚 邓飞贺 朱锐 金立

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要从机械设计、电路设计、软件设计的角度全面阐述智能车设计和制作的过程和方法。主要内容包括:机械系统及整车调校,智能车硬件设计基础,K60 单片机资源及相应操作,KL25 单片机资源及相应操作,智能车系统软件设计,控制算法,比赛意义及建议等。

本书适于参加“全国大学生智能汽车邀请赛”的高校学生和广大业余车模爱好者作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能车设计:“飞思卡尔杯”从入门到精通 / 闫琪
等编著. --北京:北京航空航天大学出版社,2014.9
ISBN 978-7-5124-1523-2

I. ①智… II. ①闫… III. ①汽车—模型(体育)—
制作 IV. ①G872.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 077718 号

版权所有,侵权必究。

智能车设计

“飞思卡尔杯”从入门到精通

闫琪 王江 熊小龙 编著
朱德亚 邓飞贺 朱锐 金立
责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编:100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316524

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:25 字数:533 千字

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1523-2 定价:59.00 元

序一

最初接手飞思卡尔智能车大赛时,它还是一个只有 100 多个参赛队的邀请赛。在教育部发出的关于这项赛事的文件中是这样说的:希望通过竞赛,进一步促进高等学校加强对学生创新精神、协作精神和工程实践能力的培养,提高学生解决实际问题的能力,充分利用面向大学生的群众性科技活动,为优秀人才的脱颖而出创造条件,不断提高人才培养质量。(见教育部高等教育司《关于委托高等学校自动化专业教学指导分委员会主办全国大学生智能汽车竞赛的通知》。)

历经 9 年,智能车大赛已经达到 400 多所院校参与,每年 2 000 多支队伍报名的规模。它像一颗参天大树,扎根深远。既定的目标得到实现,不同类型的人才不断涌现,硕果累累。

大赛组委会对于智能车大赛的定义,始终是“实践教学环节”。在比赛本身发展的同时,如何使它更好地融于教学,使尽可能多的学生受益,而不仅仅是少数参赛学生的“精英活动”,成为摆在组委会和飞思卡尔公司面前的又一课题。我认为,基于智能车大赛的平台,开设智能车创新实验室,要面向更多的学生进行基础培训;而学有余力的同学,也不应仅仅以参加比赛为目的,而是要能够获得更加广阔的创意空间。大赛不失为一个有效的途径。在考虑实施方案时,蓝宙电子进入了我的视线。

与蓝宙电子结缘,还是通过 2012 年一个智能车论坛的征文活动。那时候的我,深深感染于参赛学生的热情和投入,流连于论坛,希望了解更多同学的心路和诉求。那个征文活动参与的人不多,其中一篇文章讲述了一个车手认真、执着的参赛经历,以及创业的梦想。于是,我认识了文章的主人公——蓝宙电子的创始人王江。那个时候,蓝宙电子还只是一个淘宝小店。

时光飞逝。当年的参赛学生,早已开始进入职场,很多已经展露锋芒。而再次联系,蓝宙电子也已经有了一个朝气蓬勃的团队,有了更多对于智能车的理解。于是,我邀请他们参与智能车实验室的筹划实施。短短1年时间,实验室套件、在线培训、实验室整体方案等,一步一步走过来。现在,是这本教材的正式出版。

很感谢蓝宙电子。以他们曾经参赛的经验,以年轻人特有的热情,以追求梦想的执着,推进着计划中的智能车实验室。相信他们会越做越好。

飞思卡尔大学计划经理

马莉

2014年8月

序二

“飞思卡尔杯”全国大学生智能车竞赛是教育部批准的面向本科学生的全国性课外科技竞赛活动之一,从 2006 年开始举办至今,每年持续举办。

智能车竞赛涉及计算机、自动控制、电子信息、机械及汽车等诸多领域,为学生理论联系实际能力、综合应用能力、团结协作能力等提供了平台,为推进本科教学质量的提高与教学改革,做出了积极而有益的探索。

智能车设计以微控制器为核心展开,信号采样与识别、驱动电路及机械动作的控制均由微控制器内部的程序完成。“飞思卡尔杯”智能车竞赛所用的微控制器,从 2006 年开始,先后使用了以 8 位 HCS08、16 位 HCS12、32 位 ColdFire 处理器为内核的微控制器,目前已经逐步过渡到以 ARM Cortex-M4、ARM Cortex-M0+处理器为内核的 Kinetis 系列微控制器。微控制器性能的较大提高,给智能车设计带来了机遇,也带来了挑战。

可以预计,从现在开始,随后的若干年内,“飞思卡尔杯”智能车比赛的主控芯片将以 ARM Cortex-M0+及 ARM Cortex-M4 处理器为内核的 Kinetis 系列微控制器为主。“Kinetis”是个新造词,寓意“快速”。飞思卡尔公司 Kinetis 系列微控制器以快速、高效、稳定的性能服务于工控领域。ARM Cortex-M4(CM4)的发布时间是 2010 年,ARM Cortex-M0+(CM0+)的发布时间是 2012 年。CM4 处理器在 CM3 基础上强化了运算能力,新加了浮点、DSP、并行计算等,以满足信号处理与控制功能混合的数字信号控制领域的应用,如电动机控制、汽车、电源管理、传感网应用、嵌入式音频和工业自动化等。CM0+处理器在 CM0 基础上,加入

了多个重要新特性,包括:单周期输入/输出(I/O),以加快通用输入/输出(GPIO)和外围设备的存取速度;改良的调试和追踪能力;二阶流水线技术,以减少每个指令所需的时钟周期数(CPI);优化的闪存访问方式,以进一步降低功耗。其目标市场是8位微控制器应用领域的更新换代。作为Cortex-M处理器系列中的一员,CM0+处理器同样可获得ARM Cortex-M整个系统的全面支持,其良好的软件兼容性,使其能够方便地移植到更高性能的CM4等系列处理器中。

《智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通》一书,关于微控制器部分,简要介绍了两种用于智能车的主控芯片,一种是以CM4为内核的微控制器MK60N512VMD100,简称K60;另一种是以CM0+为内核的微控制器MKL25Z128VLK4,简称KL25。本书旨在服务于智能车设计,关于这两种芯片的更详细信息还需参考其他书籍。

《智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通》一书的作者是“飞思卡尔杯”全国大学生智能车竞赛的亲历者;毕业之后,又是智能车设计硬件的开发与推广者,也是智能车软件技术的探索者。该书深入浅出地阐述了机械系统、电子系统、微控制器硬件、软件系统及控制算法等智能车设计的基本要素,还给出了比赛建议与感想。对于参与智能车比赛的大学生来说,系统地阅读本书,不仅能学习到智能车设计的基本方法,还能从作者的体会中吸取经验。期望读者能通过阅读本书,较为系统地获得智能车设计的基础知识,较快地进入智能车设计的大门。

王宜怀
2014年8月

前言

“飞思卡尔杯”智能车大赛是中国自动化控制领域最大的竞赛之一,竞赛以“立足培养,重在参与,鼓励探索,追求卓越”为指导思想,培养了大量优秀实干型的高校毕业生,为中国教育事业做出了突出的贡献。竞赛注重通过智能车这个载体将学生的理论知识和实际动手能力相结合,培养学生多学科综合运用能力;将赛车时间长短作为衡量标准,让结果更加公平、公正。学生在学习知识的同时锻炼了分析问题和解决问题的能力以及创新的思维意识和习惯。

智能车是一个涉及机械、电子、控制、信号处理以及汽车等多方面的综合项目,学生在做项目的过程中不断查询和学习各种专业知识和理论,从实际操作中去掌握这些知识。学生在设计智能车过程中涉及的知识面和领域比较广,在茫茫的知识海洋中,很难找到系统地了解和掌握各种专业知识的突破口,并且将其融会贯通。因此急需一本专门指导智能车设计的教材作为学生学习的纲领性读本,来帮助学生在智能车项目中从入门到精通。

《智能车设计 “飞思卡尔杯”从入门到精通》就是蓝宙电子技术团队为了解决学生入门智能车难、学不深、理解浅等问题,并让学习更加容易而编写的一本涉及多个方面的专业教材。蓝宙电子技术团队成员参加过多届智能车大赛,具有丰富的智能车参赛经验,同时团队成员来自汽车、电子、机械、自动控制等多个专业领域。在技术团队的紧密配合下,结合多年产品开发经验,我们编写了这本智能车设计的指导书籍。本书由浅入深地对如何设计智能车进行了讲解,内容不再局限于自动控制这个固定领域,而是对机械设计、电子电路、软件编程直到系统集成都做了讲解,着重体现本书的纲领性意义。通过本书的指引和学习,能够将其其他的书籍和知识进行串接,让所有的知识有一个主线,学生顺藤摸瓜,将多本教材结合起来,让学生的智能车学习更加全面。俗话说:授之以鱼不如授之以渔。蓝宙电子技术团队更加看重的是智能车设计可以培养学生分析问题、解决问题的能力这一点,重点教给学习者的是方法和思维,而不仅仅是知识;让学习者即使以后不做智能车项目,也能利用所学的分拆项目的思维、寻找问题的方式、解决问题的办法,并将其应用于实践,真正达到将知识学

前 言

活的目的。

广大的智能车爱好者和学习者,在学习的过程中,不能简单限于本书,而应通过本书把一系列书籍都串接起来。例如在学习机械部分时,要利用《机械原理》去弄明白智能车各种机构的原理和结构,通过《机械设计》中的知识尝试去设计;涉及其他学科时以此类推,从简单入门,了解原理,学习理论,到融会贯通,真正学会设计。由于本书的意义是关注学生学习整个智能车的系统,其中涉及和引用了很多其他书籍和教材的内容,尤其很多地方借鉴了王宜怀老师编写的系列单片机书籍中的内容和知识;在本书编写中,王老师也给了我们团队极大的支持和帮助,在此表示诚挚的感谢!

本书由闫琪、邓飞贺担任主编,参加本书编写工作的还有朱锐、熊小龙、金立、王江、朱德亚,以及张燕、廉德福。

王宜怀教授精心审阅了本书,提出了很多宝贵意见,特致以衷心感谢。也非常感谢飞思卡尔公司的大力支持。

由于作者水平有限,书中若有不当之处,敬请指正。

作 者

2014年8月



第 1 章 概 述	1
1.1 智能车大赛简介	1
1.2 比赛规则	2
1.3 车模和赛道	2
1.3.1 车 模	2
1.3.2 赛 道	4
1.4 关于飞思卡尔半导体公司	7
1.5 关于蓝宙电子科技有限公司	8
1.6 关于智能车创新教学实验平台	9
第 2 章 机械系统及整车调校	10
2.1 机械系统简介	10
2.2 转向系统	11
2.2.1 转向系统结构	11
2.2.2 舵机固定方式	13
2.2.3 转向系统设计	15
2.2.4 转向类型	18
2.3 行驶系统	18
2.3.1 行驶系统结构	18
2.3.2 车 架	19
2.3.3 车 轮	20
2.3.4 悬 架	21
2.4 动力传动系统	24
2.4.1 动力传动系统结构	24
2.4.2 动力传动系统布置方式	25
2.4.3 滚珠式差速器工作原理	27
2.4.4 传感器固定支架	28
2.5 整车系统及调校	29

2.5.1	车辆坐标系介绍	29
2.5.2	轮胎调校	30
2.5.3	外廓尺寸参数	33
2.5.4	质心位置调校	35
2.5.5	悬架调校	39
2.5.6	前轮定位参数调校	40
2.5.7	直线行驶性能调校	42
2.5.8	动力传动系统调校	42
第3章	智能车硬件设计基础	44
3.1	智能车总体设计	44
3.1.1	摄像头组智能车总体设计	44
3.1.2	电磁组智能车总体设计	45
3.1.3	光电平衡组智能车总体设计	46
3.2	硬件设计基础	48
3.2.1	硬件开发方法	48
3.2.2	硬件开发环境	48
3.2.3	阅读 Data Sheet 的方法	49
3.3	单片机最小系统设计	56
3.3.1	电源电路	56
3.3.2	时钟电路	56
3.3.3	复位电路	59
3.3.4	JTAG 接口电路	59
3.4	开关电源及线性电源电路设计	60
3.4.1	BUCK 电源拓扑	60
3.4.2	BOOST 电源拓扑	70
第4章	智能车硬件模块设计	82
4.1	摄像头模块设计	82
4.1.1	摄像头基础知识	82
4.1.2	图像信号相关概念解释	83
4.1.3	OV7620 摄像头模块设计	85
4.2	电机驱动电路设计	89
4.3	舵机模块设计	99
4.4	编码器模块	101
4.4.1	编码器基础介绍	101
4.4.2	蓝宙编码器模块	102
4.5	加速度及陀螺仪模块	103

4.5.1 加速度传感器	103
4.5.2 角速度传感器——陀螺仪	112
4.5.3 加速度计和陀螺仪的数据融合	114
4.6 线性 CCD 传感器	115
4.7 停车模块	117
4.7.1 概 述	117
4.7.2 应用设计	118
4.8 电磁传感器模块	119
4.8.1 分立元器件电磁放大检波电路	119
4.8.2 集成运算放大器电磁放大检波电路	120
4.9 OLED	123
4.10 TF 卡	124
4.11 函数发生器与示波器的使用	125
4.11.1 函数发生器	125
4.11.2 示波器	129
第 5 章 K60 单片机资源及相应操作	135
5.1 K60 系列微控制器的存储器映像与编程结构	135
5.1.1 K60 系列 MCU 性能概述与内部结构简图	135
5.1.2 K60 的引脚功能与硬件最小系统	137
5.2 K60 系列	139
5.2.1 概 述	139
5.2.2 模块功能种类	139
5.3 时钟分配	144
5.3.1 概 述	144
5.3.2 编程模型	144
5.3.3 高级设备时钟框图	144
5.3.4 时钟定义	145
5.3.5 内部时钟需求	146
5.3.6 时钟门	146
5.4 多用途时钟信号生成器(MCG)	147
5.4.1 概 述	147
5.4.2 内存映射/寄存器定义	148
5.4.3 功能描述	156
5.4.4 MCG 模式转换	159
5.5 系统集成模块	161
5.5.1 SIM 引脚说明	161

目 录

5.5.2 存储器映射及寄存器定义	161
5.6 端口控制与中断(PORT)	185
5.6.1 详细的引脚说明	185
5.6.2 寄存器映射与定义	185
5.6.3 功能描述	190
5.7 通用异步接收器/发送器(UART)	192
5.7.1 详细的信号说明	192
5.7.2 存储模块映射	193
5.7.3 功能描述	206
5.8 模拟到数字转换(ADC)	210
5.8.1 寄存器定义	210
5.8.2 功能描述	220
5.8.3 初始化信息	223
5.9 周期中断定时器	225
5.9.1 概 述	225
5.9.2 存储映像/寄存器描述	225
5.9.3 功能描述	227
5.10 弹性定时器(FlexTimer,FTM)	229
5.11 低功耗定时器(LPTMR)	263
5.11.1 概 述	263
5.11.2 寄存器映射和定义	263
5.11.3 功能描述	267
5.11.4 LPTMR 预分频器/干扰滤波器	268
5.11.5 LPTMR 比较	269
5.11.6 LPTMR 计数器	269
5.11.7 LPTMR 硬件触发器	269
5.11.8 LPTMR 中断	270
第 6 章 KL25 单片机资源及相应操作	271
6.1 通用 I/O 接口	271
6.1.1 寄存器映像地址分析	271
6.1.2 引脚控制寄存器(PORTx_PCRn)	271
6.1.3 全局引脚控制寄存器	272
6.1.4 中断状态标志寄存器(PORTx_ISFR)	273
6.2 GPIO 模块	273
6.2.1 KL25 的 GPIO 引脚	273
6.2.2 GPIO 寄存器	274

6.2.3	GPIO 基本编程步骤	275
6.3	UART 模块功能概述及编程结构	275
6.3.1	UART 模块功能概述	275
6.3.2	UART 模块编程结构	276
6.4	定时器/PWM 模块(TPM)功能概述及编程结构	285
6.4.1	TPM 模块功能概述	285
6.4.2	TPM 模块概要与编程要点	287
6.5	周期性中断定时器(PIT)	293
6.5.1	PIT 模块功能概述	293
6.5.2	PIT 模块概要与编程要点	295
6.6	低功耗定时器(LPTMR)	297
6.6.1	LPTMR 模块功能概述	297
6.6.2	LPTMR 模块编程结构	298
6.7	KL25 的 A/D 转换模块寄存器	300
6.7.1	ADC 状态控制寄存器(ADC Status and Control Registers)	300
6.7.2	ADC 配置寄存器(ADC Configuration Registers)	303
6.7.3	ADC 数据结果寄存器(ADC Data Result Registers)	304
6.7.4	ADC 比较值寄存器(ADC Compare Value Registers)	305
6.7.5	ADC 偏移量校正寄存器(ADC0_OFS)	305
6.7.6	ADC 正向增益寄存器(ADC0_PG)	306
6.7.7	ADC 负向增益寄存器(ADC0_MG)	306
6.7.8	ADC 正向增益通用校准值寄存器(ADC0_CLPx)	306
6.7.9	ADC 负向增益通用校准值寄存器(ADC0_CLMx)	306
第 7 章	智能车系统软件	308
7.1	智能车子系统介绍	308
7.1.1	摄像头传感器算法	308
7.1.2	CCD 传感器算法	312
7.1.3	车速传感器	317
7.1.4	陀螺仪传感器	319
7.1.5	按键和显示	320
7.1.6	舵机控制	320
7.1.7	电机控制	323
7.2	程序总框架	325
7.2.1	摄像头组框架	325
7.2.2	光电平衡组	327
7.2.3	电磁组	330

目 录

7.3 程序例程	331
7.3.1 程序框架	332
7.3.2 main 文件介绍	332
7.3.3 速度模块	337
7.3.4 CCD 模块采集和计算	339
第8章 控制算法	357
8.1 PID 控制	357
8.1.1 比例项(MP_n)	359
8.1.2 积分项(MI_n)	359
8.1.3 微分项(MD_n)	360
8.1.4 控制器 P、I、D 项的选择	361
8.1.5 利用整定参数来选择 PID 控制规律	362
8.1.6 PID 手动与自动控制方式	362
8.1.7 PID 最佳整定参数的选定	363
8.1.8 C 语言算法	364
8.2 滤波算法	369
8.2.1 限幅滤波法(又称程序判断滤波法)	369
8.2.2 中位值滤波法	369
8.2.3 算术平均滤波法	370
8.2.4 递推平均滤波法(又称滑动平均滤波法)	370
8.2.5 中位值平均滤波法(又称防脉冲干扰平均滤波法)	371
8.2.6 限幅平均滤波法	371
8.2.7 一阶滞后滤波法	371
8.2.8 加权递推平均滤波法	372
8.2.9 消抖滤波法	372
8.2.10 限幅消抖滤波法	372
8.2.11 IIR 数字滤波器	373
8.3 卡尔曼滤波器	378
8.3.1 概 述	378
8.3.2 卡尔曼滤波器算法	379
8.3.3 简单例子	380
8.3.4 Matlab 下的卡尔曼滤波程序	381
第9章 比赛建议与感想	383
参考文献	386

第 1 章

概 述

1.1 智能车大赛简介

全国大学生智能车竞赛是受教育部高等教育司委托,由教育部高等学校自动化专业教学分委员会指导的赛事,下设秘书处,挂靠清华大学。该竞赛是以智能车为研究对象的创意性科技竞赛,是面向全国大学生的一种具有探索性的工程实践活动,旨在培养创新型人才,是教育部倡导的大学生科技竞赛之一。

该竞赛以“立足培养,重在参与,鼓励探索,追求卓越”为指导思想,旨在促进高等学校素质教育,培养大学生的知识综合运用能力、基本工程实践能力和创新意识,激发大学生从事科学研究与探索的兴趣和潜能,倡导理论联系实际、求真务实的学风和团队协作的人文精神,为优秀人才的脱颖而出创造条件。

该竞赛由飞思卡尔半导体公司赞助,因此称为“飞思卡尔杯”大学生智能车竞赛。该竞赛融科学性、趣味性和观赏性于一体,是以发展迅猛、前景广阔的汽车电子为背景,涵盖自动控制、模式识别、传感技术、电子、电气、计算机、机械与汽车等多学科专业的创意性比赛。智能车大赛总共分为三个组别:摄像头组、光电平衡组和电磁组。

全国大学生智能车竞赛原则上由全国有自动化专业的高等学校(包括港、澳地区的高校)参赛。竞赛首先在各个分赛区进行报名、预赛,各分赛区的优胜队将参加全国总决赛。每个学校可以根据竞赛规则选报不同组别的参赛队伍。全国大学生智能车竞赛组织运行模式贯彻“政府倡导、专家主办、学生主体、社会参与”的 16 字方针,充分调动各方面参与的积极性。

全国大学生智能车竞赛第一届比赛于 2006 年举办,每年举办一次,2013 年是第八届。一般在每年的 10 月公布次年竞赛的题目和组织方式,并开始接受报名,次年的 3 月进行相关技术培训,7 月进行分赛区竞赛,8 月进行全国总决赛。

更多内容,请参见智能车竞赛官网:

<http://www.smartcar.au.tsinghua.edu.cn/>

1.2 比赛规则

全国大学生“飞思卡尔杯”智能车竞赛是在规定的模型汽车平台上,使用飞思卡尔半导体公司的8位、16位、32位微控制器作为核心控制模块,通过增加道路传感器、电机驱动电路以及编写相应软件,制作一个能够自主识别道路模型汽车,按照规定路线行进,以完成时间最短者为优胜。

1.3 车模和赛道

1.3.1 车模

车模必须选用大赛组委会秘书处统一指定的套件。第八届大学生智能车竞赛车模分为A型、B型和D型三种。

① A型车模:由广东博思公司提供,电磁组必须选用A型车模,如图1-1所示。

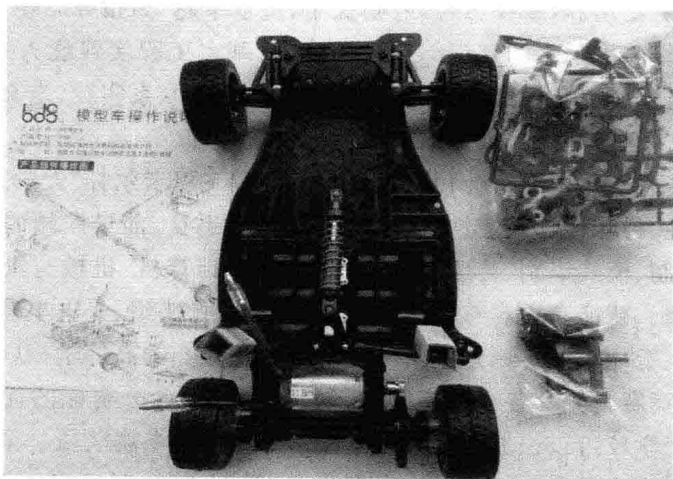


图 1-1 A 型车模

② B型车模:由北京科宇通博科技有限公司提供,摄像头组必须选用B型车模,如图1-2所示。

③ D型车模:由广东博思公司提供,光电平衡组必须选用D型车模,如图1-3所示。

各赛题组车模运行规则:

① 电磁组:四轮车模正常运行。

车模使用A型车模。电磁组要求车模运行方向为:转向轮在前,动力轮在后,如图1-4所示。