

THOMSON

LEARNING

汤姆森学习出版集团



BookWare 系列丛书



自动控制

反馈的力量

► 使用 MATLAB®

〔英〕塞奥德·E·特费斯

曹秉刚 白志峰 译

西安交通大学出版社

THOMSON
LEARNING
汤姆森学习出版集团

 Book Ware 系列丛书

自动控制

反馈的力量

——使用 MATLAB[®]

AUTOMATIC CONTROL
THE POWER OF FEEDBACK
Using MATLAB[®]

[英] 塞奥德·E·特费斯

曹秉刚 白志峰 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

内 容 提 要

本书是 Brooks/Cole 出版公司 2000 年推出的 BookWare 丛书之一,是一本创新性地介绍自动控制的课本,提供了利用 MATLAB 在计算机上解决大量自动控制方面问题的思路、方法、范例以及供学生更深入学习、讨论的习题。本书主要讨论“反馈”的基本概念,表明如何用它来设计各种自动控制器,并介绍了系统稳定性的概念。此外,还讨论了如何用反馈稳定一个系统并提高系统性能。最后用理论、仿真和实验方法设计计算机控制的模型汽车(CIM-CAR-1)的简单控制器。全书内容分为 7 章,分别是:导论;系统模型与微分方程;线性微分方程及求解;计算机仿真;稳定性与性能;反馈;计算机控制的模型汽车。

本书可作为自动控制及机械电子等专业本科生相关课程的参考书和补充教材,要求学生已经学习过微积分课程。本书也对自动控制领域的教师 and 广大科研人员有重要的参考价值。

First published by Brooks/Cole Publishing Company, a division of Thomson Learning.

All Rights Reserved.

Authorized Translation/Adaptation of the edition by Thomson Learning and XJUP. No part of this book may be reproduced in any form without the express written permission of Thomson Learning and XJUP.

本书中文简体字版由美国 Thomson Learning 出版集团授权西安交通大学出版社出版发行,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制:反馈的力量——使用 MATLAB/(英)特费斯(Djaferis, T. E.)著;曹秉刚,白志峰译. —西安:西安交通大学出版社,2002.5

(BookWare 系列丛书)

书名原文:Automatic Control: The Power of Feedback Using MATLAB

ISBN 7-5605-1522-3

I. 自… II. ①特…②曹…③白… III. 计算机辅助计算-软件包, MATLAB—应用—反馈控制
IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026890 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
陕西省轻工印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本:787mm×960mm 1/16 印张:7.75 字数:129 千字
2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷
印数:0001~5 000 定价:12.00 元
陕版出图字:25—2002—076 号

发行科电话:(029)2668357,2667874

中译本出版者的话

Brooks/ Cole 出版公司(Thomson Learning 出版集团的下属子公司)于 2000 年推出的系列丛书 BookWare Companion Series,大致涵盖的都是电子信息和电气工程类大学本科生主干课程。参加这套丛书编撰工作的大多是一些目前仍活跃在教学第一线的知名教授。组织出版这套丛书的初衷和每一位作者的想法可在“出版者的话”和每本书的作者“前言”中略见其详,这里不再赘述。

概括起来,原丛书出版者的意图大致有二:一是探讨如何将基于计算机的学习工具融于教学;二是给学生提供另外的学习空间,让他们能自主学习。总的目的就是要让学生积极主动地学习,这样会学得更好。由于课程性质和每位作者的想法有些差异,每本书在具体构成方式上会各有不同,但综合来看,这套丛书具有如下特点:

- 不求过细,而强调内容的系统性并注重相互联系。提纲挈领,注意总结,联系实际。因此,一般来说最好用作辅助性教材。

- 用“解说题”、“例题”、“强化题”、“探究题”等这些目的各异的题来演绎和深化概念,联系实际,并在重要概念的深度和广度上作适当延伸。这比“硬灌”会收到更好的效果。

- 全部题都有答案(或题解),如有必要均配有相应的 MATLAB 脚本,便于学生在学习能及时获得反馈。

- 丰富的 MATLAB 脚本资源和可随时进入的在线网站为广大读者提供了很大的学习空间。使他们的精力不再耗在编程上,而在探究上;他们可以利用这些脚本资源做他们想做的事;他们可以在计算机仿真上得到初步训练和更大的领悟,并为他们的创新意识和才能的发挥提供无限的空间。

根据我国当前高等学校的具体情况,我们组织出版这套丛书的中译本大致有如下几点考虑:

- 近几年来经国家和各级政府的重点建设和投资,高等学校的计算机硬件条件大为改善, MATLAB 软件已较为普及,有的学校已将宽带接入因特网联到学生宿舍,个人拥有一台 PC 机已不再稀罕,这都为使用这套丛书准备了必要的硬件和软件环境。

- 以 CAI 开始的教学手段现代化改革已持续了十多年,当今多媒体教学、

电子教材、网络大学和网络课程等发展势头方兴未艾,其核心问题就是如何有效地利用计算机作为辅助教学工具,改进教学方法。这套丛书提供了一种可供大家借鉴的方式。

- 减少课内学时,精简内容,重组课程体系就是为了给学生留下更多的空间让他们自主学习。这套丛书为他们提供了这方面的素材。

- MATLAB 是一种集成度很高的语言,由于其功能强,使用方便和适用的计算机平台宽而被大家所接受,已在教学、科研和工程实际中广泛采用。这套丛书为学生熟悉、掌握和熟练应用 MATLAB 提供了一个载体,丛书中所给出的各种 MATLAB 脚本和仿真软件是科学研究工作者和工程实践人员不可多得的宝贵资源。

- 对于非全日制大学的那些成人教育、继续教育和自学考试的学生来说,这也是一套很有参考价值的辅助教材。

我社早在 20 世纪 80 年代中期就组织翻译出版了一套“外国教材精选”系列丛书,90 年代又陆续推出了《信号与系统》、《离散时间信号处理》等多本很有影响的外国优秀教材的中译本。这些都取得了良好的经济效益和社会效益。当前在国家教育主管部门正大力倡导在计算机等信息学科积极引进并直接采用外国优秀教材进行教学的时候,我们将一如既往,争取在较短的时间内将这套丛书的中译本奉献给大家。我们感谢广大读者过去对我社组织翻译出版的外国教材的青睐,并继续期望得到你们的支持。如有任何建议和要求,请与我们联系。E-mail: Shadwell.qin@163.com 或 Lp-zhao@sohu.com

西安交通大学出版社

2001.8

译者序

自动控制是一个非常有吸引力的研究领域,在过去的几十年中发展起来的理论和实践解决了大量的自动化问题,使这个领域具有了通用的特点。正因为如此,各工程专业都对大学生和研究生开设了相关的课程。尽管自动控制理论和实践是专门面向高年级本科生的,但尽早把“工程”的概念介绍给工科学生是很重要的,这样可以引发他们的学习兴趣。对于“工程”概念的介绍,自动控制是一个理想的选择。当然,必须保证所提供的材料要有合适的水平。同样,自动控制也有利于工程背景下数学科目的讲授,自动控制课程不但能使學生打下坚实的理论基础,而且能激发他们的学习热情。

MATLAB[®]是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套高性能的数值计算和可视化软件,它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,构成了一个方便的、界面友好的用户环境。MATLAB 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注,其强大的扩展功能为各个领域的应用提供了基础。由各个领域专家相继推出了 MATLAB 工具箱,其中主要有控制系统(Control System)、信号处理(Signal Processing)、神经网络(Neural Network)、图像处理(Image Processing)、模糊逻辑(Fuzzy Logic)、鲁棒控制(Robust Control)等等,这些工具箱给各个领域的研究和工程应用提供了有力的工具。借助于这些工具,各个层次的研究人员可以直观、方便地进行分析、计算及设计工作,从而大大地节省了时间。

本书是一本创新性地介绍自动控制的课本,作者 Theodore E. Djaferis 是自动控制领域内的著名学者,在自动控制方面做了大量、深入的研究工作。本书主要讨论“反馈”的基本概念,并表明如何用它来设计各种自动控制器,在本书中用 SIMULINK 软件包来展示这个过程。本书还介绍了系统稳定性的概念,并讨论了系统性能,以及给出如何用反馈稳定一个系统并提高系统性能,最后用理论、仿真和实验

的方法设计了一个计算机控制模型汽车(CIMCAR-1)的简单控制器。

本书可做为自动控制和机械电子工程专业本科生相关课程的参考书和补充教材,要求学生已经学习过微积分课程。本书也对自动控制领域的教师和广大科研人员有一定的参考价值。

西安交通大学机械电子工程专业博士研究生白志峰同学在本书的翻译过程中做了大量而重要的工作,译者在此表示感谢。

由于译者水平有限,书中的缺点、错误在所难免,欢迎读者批评指正。

曹秉刚

2002年3月于西安交通大学

出版者的话

——关于这套丛书

计算的目的在于它的内涵,而不在数字。

—— R·W·海明(Hamming), 选自《面向工程师和科学家的数值方法》(*Numerical Methods for Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, Inc.)

正是由于心灵的驱使,我们才推出了这套“BookWare 系列丛书”(BookWare Companion SeriesTM)。

新技术和现代方法正日益融入业已浓缩并具有重要理论的课程,因此,很多教师现在要问:“我们只是将这些最新技术教授给学生呢?还是教会他们如何推理”?我们深信,这两方面不应互相排斥。事实上,本丛书就是基于这样的信念:计算机求解和基本理论是能够互补的。应用恰当,计算结果可以阐明理论,并帮助学生以各种富有意义的方式进行思考、分析和推理。它也能够帮助学生理解新的信息和现有知识之间的关系和联系,以及培养他们解决问题的技巧、感性认识和积极主动思考的能力。为此使命,这套“BookWare 系列丛书”便应运而生了。

具体地说,本丛书是专为这样的教师——他们想要把计算机辅助学习融合到课程之中去——而编写的;也是为想比仅从教科书中学到更多知识的学生编写的。教师可以从中发现,功能很强的软件工具是支撑他们课程活动的各种手段,而不会限制他们的应用。学生会发现,可以迅速获得各种相关的习题和例题,并具有电子接入方法。对教师和学生来说均为重要的是这套丛书基于这样的前提:如果学生积极主动地学习,他们会学得更好。“BookWare 系列丛书”定会受到学生的青睐,为他们提供一种对现实问题的感受,展示解决实际问题的清晰方法,并在理解和应用这些方法上挑战自我。

为了更好地满足你的需要,我们将继续寻找使这套丛书日臻完善的方法。为达此目的,请加入到我们的“BookWare Companion Resource Center”中来,我中心的网址是:<http://www.brookscole.com/engineering/bookware> ^①。

① 译者注:原书提供的网址是 <http://www.brookscole.com/engineering/ee/bookware.html>

你推荐的方法都会使这套丛书更加令人满意,在课堂教学中与同仁们分享你如何使用技术的见解,为下一版提出具体的习题或例题,或者将你的想法告诉我们。务请不吝赐教。

我们恭候你的回音,谢谢你的持续不断地支持。

Bill Stenquist	出版人	<i>bill . stenquist@brookscole . com</i>
Heather Woods	责任编辑	<i>heather . woods@brookscole . com</i>
Nathan Wilbur	市场经理	<i>nathan . wilbur@brookscole . com</i>
Christina DeVeto	市场助理	<i>christina . deveto@brookscole . com</i>

前 言

在我们周围,确实存在着能实现自动控制的自然和人造系统:人体的许多功能可以在不需要我们有意识地干涉的情况下完成,从而维持我们的生命;在日常生活中,我们每天都可以碰到自动运行的人造系统,如电子的、机械的、化学的、水力的、金融的和经济的。但大多数情况下,只有发生了故障,我们才能意识到它们是自动运行的。读者很容易就能意识到自然界中自动控制的重要性,同样,自动化在人类高度复杂的技术社会里已经并将继续扮演重要的角色。

自动控制是一个非常有吸引力的研究领域,在过去的几十年中发展起来的理论和实践解决了大量的自动化问题,使这个领域具有了通用的特点。正因为如此,各个工程专业都对大学生和研究生都开设了相关的课程。另一个事实是:这些自动控制问题涉及到了大量的理论,使这个领域也具有了学科交叉的特征。尽管自动控制理论和实践是专门面向高年级本科生的,但尽早把“工程”的概念介绍给工科学生是很重要的,这样可以引发他们的学习兴趣。对于“工程”概念的介绍,自动控制是一个理想的选择。当然,必须保证所提供的材料要有适当的水平。同样,自动控制也有利于工程背景下数学科目的讲授。自动控制课程不但能使学生打下坚实的理论基础,而且能激发他们的学习热情。

《自动控制:反馈的力量——使用 MATLAB》是一本创新性地介绍自动控制的课本。要求学生已经学习过微积分课程,对微分和积分有一定的了解。自动控制内容很广、很多,“自动控制器”的设计便是其中之一。本书主要讨论“反馈”的基本概念,并表明如何用它来设计各种自动控制器。因为我们首先要推导所研究系统的显式的数学模型,所以这种方法称为基于模型的方法。对于许多系统,这些模型是以常系数线性微分方程的形式表示,我们给出如何求解这些简单方程的分析解和数值解。数值解的计算也可以通过数字计算机进行,我们用一个名为 SIMULINK 的软件包来展示这个过程。我们还介绍系统稳定性的概念,并讨论系统性能。我们要给出如何用反馈稳定一个系统并提高系统性能。用理论、仿真和实验方法设计一个计算机控制的模型汽车(CIMCAR-1)的简单控制器。

幸运的是,在过去的几十年里,已经开发出许多软件包,极大地便利了自动控制的教学和实践。其中功能强大、通用性强,并得到广泛应用的一种是 Math-

Works 公司的 MATLAB/SIMULINK。本书中所有的数值计算和绘图都是用 MATLAB/SIMULINK 完成的。

在 Amherst 的 Massachusetts 大学,本书用于工程专业一年级第二学期的 ENGIN191 课程。这门课程是面向全校的,采用模块化的组织结构,分别由各系讲授其中的各个模块。本书用作为期 5 周的自动控制模块的课本,该模块在电子与计算机工程系、机械与工业工程系和化学工程系讲授。

在本书的写作过程中,作者得到了许多人的帮助。在这里,我要感谢技术再投资项目(Technology Reinvestment Project)和南新英格兰工程学院提供资金支持;他们还提供了 CIMCAR 原型的设计及制造;还要感谢 Corrado Poli, Tom Blake 和 Joe Goldstein 帮助我获得资金支持。特别要感谢的是我的学生 Marc DiCicco 和 Scott Davenport,他们在 CIMCAR 原型的设计和制造中做了大量的工作,和他们一起工作使我感到很愉快。同样要感谢 Erik Ydstie 的建议,这对作者颇有帮助;我还要感谢 MathWorks 公司捐赠的软件,以及该公司的 Rick Spada 和 John Ciolfi 先生促成此事。

Theodore E. Djaferis

Amherst, Massachusetts

目 录

中译本出版者的话

译者序

出版者的话

前言

第 1 章 导论

- 1.1 自动控制 (1)
- 1.2 从人工到自动(导航控制) (4)
- 1.3 自动控制的简单介绍 (7)

第 2 章 系统模型与微分方程

- 2.1 简单机械系统的模型 (11)
- 2.2 简单电子系统的模型 (15)
- 2.3 简单化学系统的模型 (17)
- 2.4 求解微分方程所需的准备 (20)
- 2.5 习题 (22)

第 3 章 线性微分方程及求解

- 3.1 求解微分方程 (24)
- 3.2 微分方程数值解法 (35)
- 3.3 系统传递函数模型 (42)
- 3.4 习题 (46)

第 4 章 数字计算机仿真

- 4.1 动态系统仿真 (48)
- 4.2 MATLAB/SIMULINK (48)

4.3 使用 SIMULINK 的例子	(49)
4.4 习题	(65)

第 5 章 稳定性和性能

5.1 稳定性	(67)
5.2 性能	(69)
5.3 习题	(76)

第 6 章 反馈

6.1 反馈和开环系统的对比	(78)
6.2 传递函数框图	(80)
6.3 基本反馈连接	(82)
6.4 利用反馈使系统稳定	(85)
6.5 利用反馈改善系统性能	(89)
6.6 Simulink 模块图与反馈	(91)
6.7 习题	(93)

第 7 章 一个计算机控制的模型汽车

7.1 一个实际系统的自动控制	(95)
7.2 CIMCAR-1 的传递函数模型	(97)
7.3 避免碰撞试验	(102)
7.4 试验结论	(108)

参考书目 (112)

第 1 章 导论

1.1 自动控制

尽管大多数人并不理解自动控制复杂的细节,但自动控制的成就令我们所有人着迷和兴奋。一些系统在不需要人们干预的情况下,自动执行某些功能的能力对我们的生活产生了戏剧性的影响,吸引了我们所有人的想象力。自动控制在人类的登月计划中起到了关键性的作用,而且在多少年里它都是科幻小说的中心话题。事实是,在过去的 100 年里,科学技术的进步使大量系统的自动控制成为可能,从而提高了生产率,促进了经济增长和改善了人们的生活质量。另外,对我们来说,高度复杂的科技社会对自动控制的需求在 21 世纪将持续增长,我们必须准备应对这一挑战。

在这个地球上,我们的生活在很大程度上都依赖于自动运行的系统。当我们说一个自动运行的系统时,就是指它的运行不需要人为的干预。自然界有很多这样的例子。另外,还有人造系统,这些系统可以是生物的、机械的、电子的、化学的、金融的或生态的等等。将人体作为一个例子来考虑,这个系统持续的自动控制是我们生存的基本要求。考虑使我们的体温保持在 37°C (98.6°F) 的自动温控系统、心跳控制系统、眼球聚焦系统。从肾脏、肺或肝脏的功能来看,它们也可以称为自动系统。这些系统和其它许多人体内的系统一样都是在我们没有任何有意识干预的情况下自动运行的。实际上,在我们周围还有许多自动运行的人造系统,日常生活中我们要接触到或使用其中的许多系统。在一个现代化的居室内,温度由温度调节装置自动控制,类似的还有水箱中热水的温度。导航控制系统使汽车自动保持在设定车速,刹车防抱死系统自动防止汽车在湿滑的路面上打滑,自动驾驶仪在大部分的飞行时间里控制飞机。在大型办公楼或旅馆,电梯调度系统自动发送车辆搭载乘客。以上只是众多的自动运行系统的几个例子,除此之外,每个人都可以举出几个类似的例子。

自动化是怎么实现的? 人们提出这样的问题是自然而然的。当然,这个问题涉及的范围很广,你可以正确地推测出自动控制涉及到的很多方面。而且,希望从本书这样的基础读物里得到完全的解答是不现实的。但是,通过对一些基本定律的讨论和对特殊问题的考察,将会使我们对自动控制得到深入的理解。因此,本书的目的就是帮助读者更好地理解自动控制基本问题和一些特殊的自动控制系统的公式解。

控制是用来处理动态系统的自动运行。你可以把“动态系统”看作是受到外界“输入”的“激励”,然后产生“输出”的对象/物体。“动态”这个词意味着变化和可变性,所以和“时间”这一概念有关。“系统”这个词用于描述有着不同特性的大量单元合成的对象/物体。从概念上,系统可以用有“输入”和“输出”的“方框”表示。这就是所谓的输入-输出描述(图 1.1)。

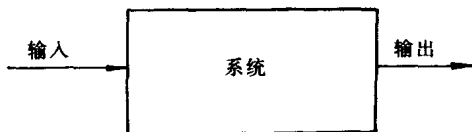


图 1.1 系统概念方框图

作为例子,考虑一个“电炉”。我们可以将它看成是具有单输入(加热元件上的电压)单输出(房间温度)的系统。另一个例子是水箱,我们可以把它看作是一个系统,进水为输入,水箱的水位是输出。汽车的刹车系统同样可以看作是一个动态系统,刹车踏板的位置是输入,而车速作为输出。这个系统概念的方框图如图 1.2 所示。

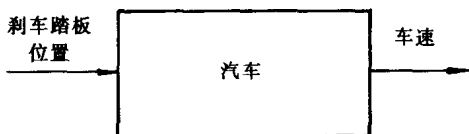


图 1.2 汽车刹车系统概念方框图

让我们更深入地考察一下“动态系统行为”这个概念。考虑上面的刹车系统,假设车辆在高速公路上以某个速度行驶,我们可以踩下刹车踏板,例如 0.5cm,并保持一段时间(即输入),来看一下车速(输出)将发生怎样的变化。我们都知道车速将持续降低,直到汽车完全停止下来。汽车反应的方式依赖于它的动态特性。分别给轿车、卡车、拖车同样的输入(即刹车踏板踩下的距离和保持的时间完全相同),它们的反应相差很大。车在满载和空载,路面是湿、干或结冰的情况下,车辆的动态特性也是不同的。

系统的人工操作意味着人的直接和持续的干预。为完成任务,人需要依赖自己的感觉、动作和推理能力。为使同样的系统能自动运行,所有的这些功能现在都得由物理设备来完成,如传感器、控制器和作动器。传感器用于测量物理量,控制器产生适当的控制命令,而作动器执行这些命令。本书因范围所限,故仅讨论自动化问题中的一个元件,即控制器。我们假设已经设计并制造好了合适的作动器和传感器,可以直接应用。

尽管系统有着不同的特性(例如电子的、机械的、化学的),但在大多数情况下,它们的运行可以用极其相似的数学模型来描述。这个事实就允许我们用统一的方法处理和研究这些系统的运行,还允许我们给出能普遍应用的解。由于首先要推导出描述动态系统运行的显式数学模型,所以自动控制的这个途径称作基于确定模型的方法。然而,得到系统运行的数学描述和模型给系统分析和控制器的设计提供了方便。例如,考虑车辆刹车系统自动化这一工作。为自动完成这一功能以取代驾驶员,就需要设计控制器(还有加入适当的传感器和作动器),得到踩下刹车踏板如何影响车速的数学描述或模型,能使控制器的开发更加有效。

在自动控制的过程中,描述系统动态运行的数学模型的推导是第一步,也是重要的工作。这一点不难理解。在车辆刹车系统的例子中,输入是踏板在某个时间段内(例如 $0 \leq t \leq T$)的位置,我们可以将它看作是一个时间的函数。为明确起见,设踏板的位置函数在 $0 \leq t \leq T$ 上为 $u(t) = 0.5$,在其它时间为零。相应的车速也可以看作是时间的函数,如 $y(t)$ 。车辆刹车系统动态运行的模型就是将输入和输出联系起来的数学表达式。通过这个表达式,对于任何给定的输入 $u(t)$,能直接或间接地得到相应的输出 $y(t)$ 。现在,我们给系统施加不同的输入,则系统的响应也是不同的。例如,不是突然将踏板踩下 0.5cm ,而是用另一种方式逐渐踩下,显然,车速的响应方式是不同的。通常,这种数学模型给出的不是实际输出的精确表达式,而是近似的,即通过数学模型计算出来的车速和实际的车速并不完全相同。但这并不妨碍我们利用这个模型分析系统性能和为自动运行设计合适的控制器。

对大多数系统来说,系统行为的近似数学描述(模型)是一个单变量微分方程,以此将输入和输出联系起来。在典型情况下,输入表现为微分方程右侧的函数,输出为方程的解。这就是说可以通过研究微分方程的解来研究系统的动态运行。也可以利用这个数学模型为自动控制(即控制器的设计)提出运算法则(计划、策略)方面的建议。利用这个模型,控制器通常表现为整个系统微分方程中的可调参数。

在本书中,我们要探讨这种基于模型的方法,引入基本定律以及提出自动控制方法(即如何构造控制器)。由于系统模型已知,所以有三种“工具”可用于解决遇到的问题:理论、仿真和实验。下面对它们作更详细的解释。假设我们的任务是为动态系统设计自动控制器,整个系统的运行由一个微分方程描述。假设控制器是微分方程中一个可调的参数。

• 对于特定的控制器,你可以通过基本理论求解相应的微分方程,并得到分析解(公式)。而且,你可以检查不同的控制器是如何对解产生影响的。

• 可以利用计算机(即运行计算机程序)用数值方法求解微分方程,并显示结

果,这个过程叫做仿真。如果数值计算是精确的,那么数字计算机仿真的结果就和精确解(即分析解)是一致的。

·也可以在实际系统中完成控制器的设计,进行实验,并收集输出的测量值。这些值相当于求分析解过程中和数字计算机仿真中所得到的相应数据。如果模型和数字仿真是精确的,那么分析解、仿真和实验结果将是一致的。

此基于模型的方法表明了如何使用理论、仿真(数字计算机计算),以及实验方法,以获得系统行为的知识,并得到自动控制问题的解。

1.2 从人工到自动(导航控制)

有很多关于自动控制提高生产率、方便系统操作和改善生活质量方面的例子。在这里我们打算抽象地讨论这个问题,而是考虑一个特殊的例子。由于车辆自动刹车系统并不常见,所以我们要考虑的是一个大家非常熟悉的车辆系统,即导航控制。假设我们的任务是设计一个车辆的导航控制系统(即使车辆在高速公路上行驶时,驾驶员对车速的控制实现自动化)。在高速公路上,驾驶员为了控制好车辆,必须手动执行一些其它的操作,包括将车控制在车道里、防止碰车和换车道,但在这里我们只考虑速度控制及其自动化的实现问题。车速自动控制系统—导航控制现在已经得到了应用,但在不久以前这还是“科幻小说”中的东西。

一些系统和机器的自动运行给我们带来很大的便利,也引发了我们的兴趣,但或许很少有人去花时间详细了解它的工作机理,车辆的自动导航系统也是这样。车辆在高速公路上行驶时,当我们把设备设定在 88.5km/h (55mph) 后,车速就处于自动控制状态,就再不需要我们操心油门(还有刹车)。这些是怎么自动完成的?实际上,有许多问题需要解释,但这些问题背后的基本定律解释起来却并不困难。

在解释这些问题之前,首先看一下人是如何手工完成这些任务是很有意义的,毕竟自动化系统必须代替驾驶员来执行这些工作。为使问题简单化,假设车辆行驶在废弃的高速公路上,路面很平坦,我们仅通过油门(节流阀)来控制车速,而不使用刹车,正如当前的导航控制系统一样。通常情况下,驾驶员定期地看面前的车速表以检查车速。如果车速表显示为 72.4km/h (45mph),那么驾驶员踩下油门,则车辆加速。当车速达到 88.5km/h (55mph) 后再松开油门。类似地,如果车速表显示为 96.5km/h (60mph),驾驶员减小油门上的压力,直到车速降至 88.5km/h (55mph)。车辆减速是因为轮胎、发动机的摩擦和空气阻力。显然驾驶员要执行以下 4 个动作(功能):

- 通过车速表检查实际车速。
- 通过对实际车速和期望的 88.5km/h (55mph) 的车速进行对比,得到“误