

MATLAB工程应用丛书

3

第五卷 MATLAB 1.3

MATLAB

辅助模糊系统设计



张洪波 林国权 马海星



清华大学出版社

http://www.tup.tsinghua.edu.cn

MATLAB 工程应用丛书

MATLAB

辅助模糊系统设计

吴晓莉 林哲辉 等编著

西安电子科技大学出版社

2002

内 容 简 介

本书详细地介绍了模糊逻辑系统设计和 MATLAB6.1 中的模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic Toolbox, Version 2.1.1)。在阐述模糊系统的应用背景、基本理论的基础上,重点介绍了这些基础理论结合 MATLAB 模糊逻辑工具的应用,并通过大量的实例来介绍 MATLAB 模糊逻辑工具的辅助设计功能,对于相关函数也进行了详细介绍。

本书理论讲解简单清晰,实例讲解重点突出,内容新,覆盖范围广,应用操作性强,既可作为高校模糊逻辑系统、模糊控制系统等课程的教学参考用书,也可作为从事控制工程应用的广大科技人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 辅助模糊系统设计 / 吴晓莉, 林哲辉等编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.8

(MATLAB 工程应用丛书)

ISBN 7-5606-1135-4

. M... . 吴... 林... . 模糊系统-计算机辅助设计-软件包, MATLAB . TP11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 035105 号

策划编辑 毛红兵 陈宇光

责任编辑 钟宏萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话: (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17.5

字 数 440 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 7-5606-1135-4/TP·0577

XDUP 1406001-1

如有印装问题可调换

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

在科学研究和工程应用中，往往要进行大量的数学计算，尤其是矩阵运算。一般来说，这些运算难以用手工精确和快捷地进行，而需要借助计算机编制相应的程序作近似计算。但是，如果用 Basic、Fortran 或 C 等语言来编制计算程序，既需要对有关算法有深刻的了解，也需要熟练地掌握所用语言的语法及编程技巧。而对多数科学工作者而言，同时具备这两方面的技能有一定困难。MATLAB 是 MathWork 公司于 1984 年推出的用于基于矩阵运算的强大数值计算软件，自推出之后，该公司不断接收和吸取各学科领域权威人士为之编写的函数和程序，并将它们转换为 MATLAB 的工具箱。这样，使 MATLAB 得到不断的发展和扩充。MathWork 公司于 1993 年推出 MATLAB 4.0，于 1995 年推出 MATLAB4.2C（配合 Win3.x），于 1997 年推出 MATLAB 5.0，于 2000 年 10 月推出 MATLAB6.0，于 2001 年 6 月推出 MATLAB6.1。每一次版本的推出都使 MATLAB 有了长足的进步，界面越来越友好，内容越来越丰富，功能越来越强大。MATLAB6.0 的推出是 MATLAB 软件的一次飞跃，它的可视化界面焕然一新，风格比以前更平易近人，而且还添加了对 Java 的支持，函数库进一步扩充。MATLAB 长于数值计算，能处理大量的数据，而且效率比较高。MathWork 公司在此基础上开拓了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力，增强了 MATLAB 的市场竞争力，使 MATLAB 成为市场主流的数值计算软件。现在，世界上越来越多的人在使用 MATLAB，工程人员已经离不开 MATLAB。很多高校开设了 MATLAB 的课程，网上也有很多 MATLAB 的网站专门讨论 MATLAB 的使用技术。

模糊逻辑、神经网络和进化计算是人工智能目前最新的理论基础，在国际上受到人们的高度关注，也是现在各国学者热衷于研究的前沿课题。人们对这三种新理论的兴趣不在于它们的时髦，或者是它们的奇特，而在于它们在人工智能的实现过程中有着十分重要的应用价值。

模糊逻辑基于人类模糊思维这一抽象机理，它描述的是与人类模糊思维的方式、方法相关的宏观过程。同时，设计者期望在这个宏观过程中挖掘人的智能形态，模拟人的智能作用。模糊逻辑是用人类的语言语句表述的，因此，它较为直观，也易于为人们所理解。模糊数学为模糊逻辑的研究和开发提供了数学基础。用模糊逻辑去研究人的智能是一个重要的途径。模糊控制是模糊逻辑应用得最多也是最广泛的一个领域。由于模糊控制器是一种非线性的控制器，其控制机制是用以条件语句表述的控制规则来刻画的，因此它带有明显的人类智能思维的特征，把模糊控制看成是一种智能控制是十分恰当的。自 20 世纪 60 年代模糊数学建立以来，由于生产和科学研究突飞猛进地发展，模糊逻辑理论和方法被不断完善和发展，并日益受到人们的重视，无论是在科学研究还是在工程实际运用上都逐渐被广泛应用。它已经渗透到生产、管理、商业、军事、决策等各个领域，各种应用模糊逻辑的商品也出现在市场上，例如模糊控制洗衣机、热水器等。

本书主要涉及 MATLAB 模糊逻辑工具箱在科学研究工程中的实际应用。全书内容由浅入深，从工程应用背景角度出发，分基础篇、应用篇和高级应用篇三个部分对模糊逻辑工

具箱进行了深入的说明。其中，基础篇介绍模糊基础理论和模糊分析方法。应用篇介绍基于 MATLAB6 的模糊推理系统的分析与设计过程，包括 MATLAB 模糊逻辑工具箱的基本函数、功能分析，并借助实例分析，引导读者深入理解工具箱的运用方法和模糊系统的推理过程，此外，还介绍了模糊逻辑工具箱的图形化模糊逻辑工具和自适应神经—模糊推理系统等高级技术的应用方法。高级应用篇介绍模糊逻辑工具箱与 Simulink 和 C 的连接等高级应用技巧以及具体工程应用的分析设计实例。

本书具有内容新、覆盖面广及针对性强等特点。书中所介绍的优化工具箱是最新版本 MATLAB6.1 所带的模糊逻辑工具箱 v2.1.1，同时又与 MATLAB 以前版本相兼容；内容上注重理论与实际紧密结合，既简要介绍模糊逻辑的各种理论、算法以及模糊逻辑工具箱函数，又着重讲解 MATLAB 模糊逻辑工具箱在工程实际中的应用的相关内容。全书始终以应用为主线，针对如何使用 MATLAB 模糊逻辑工具箱来解决工程实际应用的问题进行编写。

全书由吴晓莉、林哲辉、李军、刘华、张小龙、刘凯、曹俊、刘飞等编写，文字由李飞、刘涛、李凯、王华等录入，图像由李燕、胡利明、曾飞、刘丽等编辑处理，书稿由吴晓莉、林哲辉审校。在本书的编写过程还得到了王德军、赵文峰等人的帮助，毛红兵女士为本书的策划与编辑工作付出了大量的心血与汗水。另外，还有很多同志在本书的排版、校对过程中付出了大量的劳动，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促以及作者本身水平有限，书中错误之处在所难免，敬请各位专家和广大读者批评指正，作者不胜感激！

作 者
2002 年 5 月

目 录

基 础 篇

第一章 概述.....	2
1.1 模糊逻辑概述.....	2
1.1.1 应用背景分析.....	2
1.1.2 模糊逻辑的特点和应用分析.....	3
1.1.3 MATLAB 模糊逻辑工具箱.....	4
1.1.4 模糊逻辑工具箱的应用.....	4
1.2 “小费”问题范例入门.....	5
1.2.1 非模糊的逻辑方法.....	5
1.2.2 模糊逻辑方法.....	10
1.2.3 对比结论.....	12
1.3 本章小结.....	13
第二章 模糊逻辑基础.....	14
2.1 模糊集合.....	14
2.1.1 经典集合及其特征函数表示.....	14
2.1.2 模糊集合及其隶属度函数.....	14
2.1.3 模糊集合相关的概念和定理.....	18
2.1.4 模糊集合的基本运算.....	20
2.2 模糊关系.....	22
2.2.1 模糊关系及表示.....	22
2.2.2 模糊关系的合成.....	24
2.3 “如果 - 则”推理规则.....	26
2.3.1 语言变量.....	26
2.3.2 基于“如果 - 则”规则的模糊蕴含关系.....	26
2.3.3 基于“如果 - 则”规则的模糊推理.....	29
2.3.4 基于模糊规则库的模糊推理.....	35
2.3.5 MATLAB 模糊逻辑中“如果 - 则”规则的理解和处理.....	39
2.4 工程控制常用模糊推理方法.....	41
2.5 本章小结.....	43

应用篇

第三章 模糊推理系统设计.....	46
3.1 模糊推理系统描述.....	46
3.1.1 概述.....	46
3.1.2 模糊规则库.....	47
3.1.3 模糊推理机.....	47
3.1.4 模糊产生器.....	47
3.1.5 模糊消除器.....	48
3.2 模糊推理系统结构.....	48
3.2.1 模糊推理系统的分类.....	48
3.2.2 模糊逻辑系统的构成与设计步骤.....	49
3.3 Mamdani 型模糊逻辑系统设计入门实例.....	50
3.3.1 输入模糊化.....	51
3.3.2 输入模糊集合的合成运算(连接词 and 和 or 计算).....	51
3.3.3 模糊蕴含方法.....	52
3.3.4 输出的合成 Aggregation (连接词 also 计算).....	53
3.3.5 逆模糊化(去模糊化).....	53
3.3.6 小结.....	55
3.4 使用图形界面工具建立模糊推理系统.....	55
3.4.1 简介.....	55
3.4.2 模糊推理系统编辑器(Fuzzy).....	56
3.4.3 隶属度函数编辑器(Mfedit).....	59
3.4.4 模糊规则编辑器(Ruleedit).....	61
3.4.5 模糊规则观察器(Ruleview).....	62
3.4.6 模糊推理输入输出曲面视图(Surfview).....	62
3.4.7 使用自定义函数.....	63
3.5 用命令行函数实现模糊逻辑系统.....	67
3.5.1 命令行函数使用示例入门.....	68
3.5.2 通过 MATLAB 命令(程序)创建和计算模糊逻辑系统.....	71
3.5.3 MATLAB 的 FIS 结构和存储.....	73
3.6 模糊逻辑工具箱命令函数应用.....	75
3.6.1 模糊逻辑工具基本函数分类表.....	75
3.6.2 MATLAB 工具箱内置隶属度函数应用例解.....	78
3.6.3 模糊逻辑系统输入输出变量及隶属度函数转换.....	89
3.6.4 FIS 系统相关操作.....	96
3.6.5 系统图形显示函数.....	104
3.6.6 模糊规则的建立与修改.....	107
3.6.7 模糊推理运算、计算类函数.....	110

3.6.8	模型转换及矩阵操作类函数	116
3.6.9	Sugeno 型模糊系统模型应用函数	119
3.6.10	其他	119
3.7	本章小结	124
第四章	应用模糊逻辑系统设计	125
4.1	Sugeno 型模糊推理系统设计	125
4.1.1	Sugeno 型模糊推理系统简介	125
4.1.2	Sugeno 型模糊推理系统例解	127
4.1.3	Sugeno 型系统与 Mamdani 系统的对比	130
4.2	自适应神经网络模糊系统设计	130
4.2.1	自适应神经模糊推理系统概述	131
4.2.2	MATLAB 辅助 ANFIS 设计	133
4.2.3	MATLAB 的自适应神经模糊推理系统设计函数 anfis 和 genfis1	136
4.2.4	ANFIS 自适应神经网络设计实例	144
4.2.5	MATLAB 工具箱的图形界面工具 anfisedit	150
4.3	模糊聚类与 MATLAB 辅助实现	158
4.3.1	模糊 C - 均值聚类	158
4.3.2	减法聚类(Subtractive Clustering)	162
4.3.3	MATLAB 图形化模糊聚类工具	165
4.3.4	减法聚类辅助模糊推理系统设计实例	166
4.4	本章小结	170
高级应用篇		
第五章	模糊逻辑工具箱应用接口	172
5.1	模糊逻辑工具箱与 Simulink 的接口	172
5.1.1	模糊逻辑的 Simulink 使用入门例解	172
5.1.2	MATLAB 仿真环境简介	177
5.2	模糊逻辑工具箱与 C 语言程序接口	195
5.2.1	fismain.c 介绍	195
5.2.2	fis.c 介绍	196
5.2.3	MATLAB 模糊推理系统 C 接口简例	202
5.2.4	注意问题	204
5.3	本章小结	204
第六章	模糊逻辑系统应用设计实例	205
6.1	二关节机械手的逆运动学建模	205
6.1.1	问题的简化和分析	205

6.1.2	MATLAB 辅助自适应神经网络模糊系统建模.....	205
6.2	小车倒摆系统模糊控制.....	212
6.2.1	简介.....	212
6.2.2	问题的简化和分析.....	212
6.2.3	MATLAB 辅助建模设计.....	213
6.3	模糊自适应消噪.....	221
6.3.1	问题分析.....	221
6.3.2	ANFIS 应用消噪.....	222
6.4	模糊聚类在地质学中的应用.....	226
6.4.1	问题分析.....	226
6.4.2	岩石样本的 MATLAB 模糊 C 聚类.....	227
6.5	卡车倒车的模糊控制系统.....	230
6.5.1	问题分析.....	230
6.5.2	由专家的经验产生的模糊控制系统.....	231
6.5.3	卡车模型的建立.....	233
6.5.4	倒车智能模糊控制系统的仿真.....	234
6.6	本章小结.....	235
附录 A	模糊工具箱函数的 BUG 解决(addvar 函数代码及修改).....	236
附录 B	MATLAB 常用命令参考.....	238
附录 C	MATLAB6.X 常见问题指南.....	268
参考文献	272

第一章 概 述

模糊逻辑也是一种简单的将一空间的输入映射到另一空间的输出的一种规则。这种映射关系是模糊逻辑一切其他应用的基础和起点。模糊逻辑强调的重点是应用的简单和方便，这也是模糊逻辑被广泛应用的原因。

模糊数学是研究模糊逻辑的科学。20 世纪 60 年代美国加利福尼亚大学著名系统工程科学专家 L.A.Zadeh 教授首先提出模糊集合的概念，为模糊集合的运用和模糊数学的发展奠定了基础。近年来，模糊数学得到了极大的发展，并且渗透到社会科学和自然科学的许多分支中去，在理论上和实际运用上都取得了引人注目的成果。虽然模糊数学理论的出现远晚于经典的确定性数学理论，但是人类运用模糊的思维方式的的历史却远早于数值逻辑。从哲学观点来看，模糊逻辑表现了事物的质的方面，数值逻辑反映的是量的方面，因而模糊的思维更适合人类大脑的思维过程。

模糊性反映事物的不确定性和不精确性。确定性和不确定性也可归结为相对的概念，在某种条件或范围内是确定和精确的，在另一种条件或范围内就是不确定和不精确的。另外，模糊性是独立于随机性的，也就是说，概率统计的方法还不足以处理模糊性的问题。

现代各种系统的基本核心是决策——系统的规划、设计和运筹。一般来说，决策是通过系统的模型来实现的。模型通常可以分为数学模型和非数学模型。一些非数学模型还可以表达为“思想和概念”模型。模型的建立往往需要两个相互依存的条件：其一是系统状态和环境的数据收集，其二是模型建立者的概念、知识和经验。而决策是建立在这个模型上一系列判据的映射和结合。模糊数学是建立非数学模型，表达和实现决策方式的一种很好的工具。

1.1 模糊逻辑概述

1.1.1 应用背景分析

实际生活中有着许多模糊的概念和逻辑方式，“给小费”问题就是一个可以用模糊逻辑来分析的经典的例子。图 1.1 表示的是一个关于饭店的服务质量和顾客所给小费之间的关系图，左边表示饭店的服务质量，作为输入；右边表示顾客所给的小费，作为输出，两者是有一定逻辑关系的。图中的黑箱表示一种映射规则，将服务质量映射到小费。这个黑箱就是这一逻辑关系的核心部分，它可以理解为各种不同的逻辑，例如模糊逻辑、线性逻辑、专家系统、神经网络、微分方程、多维表格查询或者随机选择器等。在上述问题中，模糊

逻辑被证明是最佳的。正如模糊逻辑的创始人 L.A.Zadeh 教授所说：“有很多可供选择的方法来替代模糊逻辑，但模糊逻辑往往是最快速和简单有效的。”

例如喝水时，如果觉得水太热，我们会适当加一些凉水；相反，如果水太冷，就要加一些热水。这里，“冷”“热”以及“适当”都是一些模糊的概念，基于这种模糊意义上的处理很快就可以使得水达到合适的温度。但是，如果要准确测量水温以及添加的水量，就会把简单的问题搞得非常复杂。

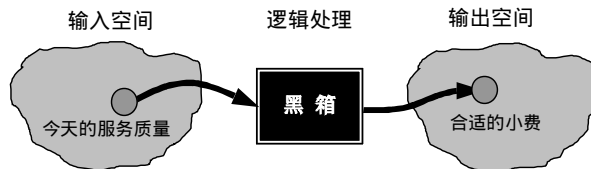


图 1.1 服务质量和小费映射关系图

1.1.2 模糊逻辑的特点和应用分析

随着社会进步和科学技术的发展，人们渐渐发现，现有的精确理论在解决一些问题时往往会显得繁琐或者束手无策。原因主要有以下三点：

精确理论一般需要用数学微分方程来描述自然科学的某些基本规律或系统，但在实际中有的系统所涉及的因素很多，而每个因素之间还存在耦合的关系；同时，系统所处的条件也千变万化，要用微分方程来描述这种系统，要么根本无法实现，要么要设定大量的约束条件，最终无法求得结果。

有的学科，例如语言学、心理学、文学、生物学和社会科学，过去是极少采用数学方法去解决问题的，往往是采用文字方法进行定性的推理或估计。现在人们对这些学科的准确性提出了更高的要求，因此，在这些学科中解决问题就需要定量化和数学化。而这些学科中的大多数问题都具有模糊性，比如，语言的“幽默”与“流畅”，心理的“正常”与“不平衡”，文学作品的“通俗”与“严肃”等，都是模糊的概念。很明显，用传统的精确理论是无法对这些学科进行数学化和定量分析的。

人的智能本身就具有精确和模糊两种特征。对于各种计算，人的思维是具有精确性的，而对于各种事物的识别、归纳、推理、学习、经验就具有模糊性。控制论创始人维纳在指出人能超过任何最完善的机器时，明确指出其重要原因是“人具有运用模糊概念的能力”。实际上，人运用模糊概念的时间占了生活的大部分，对这些具有模糊概念和性质的问题采用精确数学的方法是无法恰当解决的。

上述这些也就是模糊逻辑立足于解决的问题。当前模糊逻辑已经被广泛地用于人们的生产和生活的各种领域，特别在工业控制和自动化领域，模糊逻辑得到了众多工程人员的欢迎，各种新应用、新产品层出不穷。相对于精确逻辑，模糊逻辑在工程应用上还具有如下特点：

模糊逻辑是柔性的。对于给定的系统，很容易处理以及直接增加新的功能，而不需要从头做起。

模糊逻辑建立在自然语言的基础上，对数据的精确性要求不高。模糊逻辑是建立在

人类交流的基础上，针对数据的不精确性所提出的一种方法。系统的数据主要来自语言描述的知识，而不确定性是语言信息的一个重要特点。

模糊逻辑能充分利用专家信息。相比于神经网络，模糊逻辑建立在已经熟悉相关系统的专家基础上，能够充分利用现有的专家知识。

模糊逻辑易与传统的控制技术相结合。模糊系统不需要替代传统的控制方法，在很多情况下，只是在原有的控制方法上作简单的修改。

模糊逻辑也不是万能的。在前面的介绍中已经提到过，模糊逻辑是一种将输入空间映射到输出空间的有效方法。如果这种映射对于解决问题并没有效果，就应当试试其他的方法。如果已经有一种很简便的方法，为什么不用呢？例如，目前很多工业控制器在没有使用模糊逻辑时，就已经很好用了。但是，当熟悉了模糊逻辑，就会发现它在快速有效处理不精确或非线性问题时，是非常好的工具。

1.1.3 MATLAB 模糊逻辑工具箱

MATLAB 模糊逻辑工具箱是数字计算机环境下的函数集成体，可以利用它所提供的工具在 MATLAB 框架下设计、建立以及测试模糊推理系统，结合 Simulink，还可以对模糊系统进行模拟仿真，也可以编写独立的 C 语言程序来调用 MATLAB 中所设计的模糊系统。对于一些简单的应用，MATLAB 模糊逻辑工具箱提供了图形用户界面(GUI)帮助使用者方便、快速地完成工作。当然，如果愿意的话，这些工作也可以通过命令行语句或程序来完成。在最新的 MATLAB6.1 版本中这个工具箱提供三种类型的工具：命令行函数、图形交互工具以及仿真模块和示例。

第一类工具是由被称作命令行的函数或者用户自己编写的函数构成的。通常这些函数以 MATLAB 的 .m 文件存放，以实现特定的模糊逻辑算法。读者可以打开这些文件观看这些函数的 MATLAB 源代码，也可以通过修改文件来改变函数的功能，还可以通过编写自己的 M 文件来扩展工具箱的功能。这里要注意的是，由于 MATLAB 语言的灵活性以及系统函数所要求的运算广泛适应性，一般不建议用户直接修改系统所提供函数的源代码，而应当将新编的或改动的函数以不同于系统函数的名称存盘。

第二类工具是一系列图形交互工具(GUI)，方便用户通过图形用户界面访问工具箱函数。通过 GUI，用户可以简单快速地实现设计好的模糊逻辑推理系统，并进行计算、测试以及修改工作。简言之，图形用户界面的工具提供了一个设计、分析、应用模糊推理系统的环境。

第三类工具是工具箱与 MATLAB 的仿真环境 Simulink 的一系列接口模糊逻辑模块。这些接口模块是为了在 Simulink 环境下进行快速模糊逻辑推理的模拟仿真而特别设计的，利用这些模块，可以方便地将用第一类和第二类工具编辑的模糊逻辑模型直接导入到仿真环境中进行模拟。

1.1.4 模糊逻辑工具箱的应用

模糊逻辑工具箱可以完成许多工作，其中最重要的就是创建和测试模糊推理系统。我们可以利用可视化图形工具或命令行函数来输入建立合适的模糊逻辑推理系统，甚至还可以用聚类或自适应神经网络模糊系统等技术来自动生成符合需要的模糊推理系统。进一步，

还可以运用 MATLAB 的仿真工具 Simulink 来建立一个仿真环境,以测试结果模糊系统的功能和效果。

通过模糊工具箱提供的 C 语言编程接口,可以很容易地在独立的 C 代码程序中使用 MATLAB 工具箱建立的模糊推理系统,而不需 MATLAB 的仿真环境。这样使得用户可以在 MATLAB 环境中完成一个具体模糊系统的设计、建立、修改和测试等工作,然后通过编写独立于 MATLAB 环境的 C 语言程序来调用这个模糊系统,进而可以方便地运用到实际的系统开发中去。图 1.2 表示了模糊逻辑工具箱在应用中与 MATLAB 环境以及相关工具的关系。

由于 MATLAB 环境的集成特性,用户还可以方便地将模糊逻辑工具箱与其他一些工具箱结合使用,例如控制系统工具箱、神经网络工具箱、优化工具箱等。甚至在它们的基础上还可以开发出用户自己独特的工具箱。

图 1.2 MATLAB 模糊逻辑与相关工具应用框图

1.2 “小费”问题范例入门

在国外饭店就餐后一般需要付给侍者小费,这是国外模糊系统的教材中一个非常经典的例子。下面我们通过小费问题来说明模糊逻辑的作用,这里我们将分别采用两种不同的方法——线性的和模糊的,来求解这个问题。首先我们采用传统的(非模糊)的方法,编写包含线性或分段线性关系的 MATLAB 命令,然后我们再用模糊逻辑来处理这个问题。

这样,“小费”问题的核心就是:多少小费是“合适”的?我们先把问题简化,假定用从 0~10 的数字代表服务的质量(10 表示非常好,0 表示非常差),小费应该给多少?

这里还考虑到问题的背景——在美国平均的小费是餐费的 15%,但具体多少随服务质量而变。

1.2.1 非模糊的逻辑方法

首先考虑最简单的情况,顾客总是多给总账单的 15%作为小费:

$$\text{tip}=0.15$$

用 MATLAB 语句绘图，如图 1.3 所示。

```
service=0:0.2:10;%服务质量
tip=0.15+zeros(size(service));%小费
plot(service,tip,k-);%绘制关系图
line(service,tip,LineWidth',2,Color',[0 0 1]);
xlabel('service',FontSize',12);
ylabel('tip',FontSize',12);
plottedit on;
```

图 1.3 小费—服务常量关系图

但是这样计算并没有考虑服务的质量，所以我们在方程中加一个新的量。我们让小费从 5%(服务差)到 25%(服务好)变化。现在的关系方程如下：

```
tip=0.20/10*service+0.05
```

将图 1.3 的 MATLAB 程序中的第二条语句加以修改：

```
tip=0.20/10*service+0.05;%小费
```

图 1.4 中，虽然是简单的线性关系，但这样的结果已经基本能够反映服务质量对小费的

图 1.4 小费—服务线性关系图

影响效果了，如果考虑到顾客所给的小费也应当能反映食物的质量，那么问题就在原来的基础上扩展为：给定两个从 0 到 10 的数字分别代表服务和食物的质量(10 表示非常好，0 表示非常差)，这时小费与它们之间的关系又应当如何反映呢？

假设是二元线性关系

$$\text{tip} = 0.20/20*(\text{service}+\text{food})+0.05;$$

用下列 MATLAB 语句可绘出图 1.5。

```
service=0:0.5:10; %服务质量
food=[0:0.5:10]; %食物质量
tip = 0.20/20*(ones(size(food))*service ...
+food*ones(size(service)))+0.05; %小费
surf(service,food,tip);
xlabel('service',FontSize,12);
ylabel('food',FontSize,12);
zlabel('tip',FontSize,12);
set(gca,'box','on');
plotedit on;
```

图 1.5 小费与服务及食物质量线性综合关系(图 1)

可以看到，如果我们不考虑服务质量因素比食物质量因素对于小费的支付占有更大的比重，上面的关系图形已经能够反映一些实际的情况了。假如希望服务质量占小费的 80%，而食物仅占 20%。这里可以设定权重因子：

$$\text{servRatio}=0.8;$$
$$\text{tip}=\text{servRatio}*(0.20/10*\text{service}+0.05) + (1-\text{servRatio})*(0.20/10*\text{food}+0.05);$$

用下列 MATLAB 语句可绘出图 1.6。

```
servRatio=0.8; % 服务比例因子
service=0:0.5:10; % 服务质量
food=[0:0.5:10]; % 食物质量
tip = 0.20/10*(servRatio*ones(size(food))*service...
      +(1-servRatio)*food*ones(size(service)))+0.05; % 小费
surf(service,food,tip);
xlabel('service',FontSize,12);
ylabel('food',FontSize,12);
zlabel('tip',FontSize,12);
set(gca,'box','on');
plotedit on;
```

图 1.6 小费与服务及食物质量线性关系(图 2)

这样的结果与实际情况还是有些不符。通常顾客都是给 15% 的小费，只有服务特别好或特别不好的时候才有改变，也就是说，希望在图形中间部分的响应平坦些，而在两端(服务好或坏)有凸起或凹陷。这时服务与小费是分段线性的关系。例如，用下面 MATLAB 语句绘出的图 1.7 的情况。

```
if service<3,
    tip=(0.10/3)*service+0.05;
elseif service<7,
    tip=0.15;
elseif service<=10,
    tip=(0.10/3)*(service-7)+0.15;
end
```

图 1.7 小费—服务的分段线性关系

图 1.7 没有考虑食物质量的影响，我们加入这个因素后，扩展为三维的，就有如下的结果：

```
servRatio=0.8;
if service<3,
tip=((0.10/3)*service+0.05)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05);
elseif service<7,
tip=(0.15)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05);
else
tip=((0.10/3)*(service-7)+0.15)*servRatio + (1-servRatio)*(0.20/10*food+0.05);
end
```

用下列 MATLAB 语句可绘出图 1.8。

```
servRatio=0.8; %服务比例因子
service=0:0.5:10; %服务质量
food=[0:0.5:10]; %食物质量
service1=0*service;
for(i=1:length(service))
if service(i)<3,
service1(i)=(0.10/3)*service(i)+0.05;
elseif service(i)<7,
service1(i)=0.15;
elseif service(i)<=10,
service1(i)=(0.10/3)*(service(i)-7)+0.15;
end
end
```