



内容浅显易懂，
教会初学者怎样一步一步地用MATLAB
仿真出自己想要的机器人

用MATLAB 玩转机器人

戴凤智 张鸿涛 康奇家 编

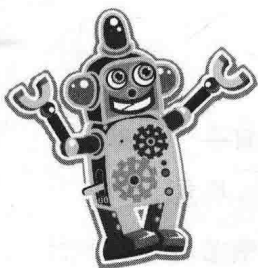
基础知识——带领读者初步了解MATLAB和机器人。

建模入门——以单杆机器人控制器为例，学会简单的建模仿真。

建模实战——利用MATLAB仿真建模两足步行机器人，完成一个全流程的建模任务，达到学懂会用的程度。



化学工业出版社



用MATLAB
玩转机器人

用MATLAB 玩转机器人

戴凤智 张鸿涛 康奇家 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

用 MATLAB 玩转机器人/戴凤智, 张鸿涛, 康奇家

编. —北京: 化学工业出版社, 2017. 2

ISBN 978-7-122-28814-1

I. ①用… II. ①戴…②张…③康… III. ①机器人

控制-系统仿真-Matlab 软件 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 002005 号

责任编辑: 宋 辉

责任校对: 边 涛

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 171 千字 2017 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

这是一本能够让人轻松读完并心领神会的书。

当今世界，机器人研究风起云涌，每个有梦想的人都想在这个堪称生产力革命的时代留下自己浓墨重彩的一笔。哪怕现在是一个中学生，哪怕并没有机器人的相关知识，只要是机器人爱好者，这本书一定不会让你失望。

现在的很多专业书籍都为大家讲述机器人的各种知识，这些知识都很有用。但是，有的时候未免会过于注重知识的难度和深度，固然知识的深度能让读者站在更高的起点上，但让一个刚刚入门的机器人爱好者手握一本相当专业的书来钻研，虽然看起来让人心中顿生敬意，但是实际上的效果很可能就是看得一头雾水，或者完全看不进去，萌生退意。

本书作者正是着眼于不以门内人的视角去看待门外人的这一思路，时刻想着如果自己是完全的零基础，想学机器人，现在有了点畏难情绪，那么自己会希望书里出现什么内容呢？

正是因为作者时刻抱着这个想法在构思，因此书中并没有出现条条框框的知识，而是好像有一个比你大一届的师兄在向你讲，“你现在要走入这个领域了，我把前两年学到的知识告诉你，等我毕业了你也就可以独当一面了”。让读者读完本书之后对基本内容能做到心中有数。

针对用 MATLAB 玩转机器人这一主题，本书首先是对 MATLAB 这个软件进行介绍。没有罗列各种功能和函数的介绍，而是针对需要的知识，通过通俗易懂的讲解，使读者能够编织出一行一行的语句，最后汇集成一个简单的程序。

本书对用到的一些机器人知识也是选择性地做了介绍。要学习机器人，需要掌握的知识确实是一个非常庞大的体系，即便是专业人士都不敢说自己已经了解了所有知识。想要让一个新人通过一本书获得这些知识是很难的。本书根据需要，对机器人的硬件控制以及建模仿真软件做了选择性的介绍。

在本书的实例部分，力求简单实用而不繁琐俗套，利用单关节机器人和双足机器人

模型，结合 MATLAB/Simulink 将机器人仿真建模的方法展现在了读者面前。

对于机器人的设计，书中包括了关于控制对象、仿真参数、机器人的运动轨迹过程描述等内容；对于模型的建立，书中包括了机械结构、电气结构和控制系统三部分内容；最后，得到一个整体仿真模型。

理解了这些就能够从比较宏观的角度了解机器人应用的各种知识，从而能够对自己下一步该学习什么有一个清楚的认识。

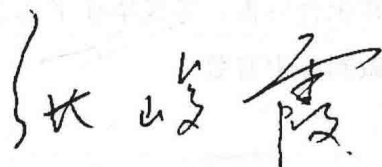
通过这一步一步的探索、一步一步的求知，最后看到这个机器人可以在自己的计算机上运动起来，各位读者心中的喜悦恐怕不是语言可以描述的。

如果一本书只有理论，看完书之后，读者可能会觉得，你讲的我都懂，但是你讲的有什么用？反之如果只有实践没有理论，读者看完可能会觉得，你做的我都能做到，这个事情有难度么？

这本书为了能够让读者在机器人学习的道路上切切实实走得更好，准备了实践案例。让大家看到这是一个有难度，但并不是达不到的领域。

这本书并没有技惊四座的理论知识，也没有因为突破旧的实践技术而让人啧啧称赞，但它却是一本让人眼前一亮的书，它让普通的机器人爱好者能够切切实实地自己看懂、亲手实践，并最终有所收获。

相信各位读者在读完本书之后，能够真正喜欢上机器人技术，并会选择继续向机器人的研究高峰前进！



天津科技大学机械工程学院教授

构思本书的时候正值 2015 年初秋，外面还很燥热。坐在屋里想静静地将近期有关机器人的工作做一个小结。从 2014 年起，陆续与化学工业出版社合作，以每年一本书的速度陆续出版了《机器人制作轻松入门》、《Arduino 轻松入门》和《机器人设计与制作》。从众多读者的反馈可以看出，在当前机器人热的环境下，我们每一位机器人爱好者都非常振奋。

其实，如果我们直接使用别人设计制造的机器人会比较简单。但是，作为机器人爱好者，我们何尝不希望自己亲自设计制造一台机器人呢。这就要面对如下问题：如何设计机器人各部位的尺寸，如何放置电机、传感器等部件，对机器人的运动形式和范围如何界定，机器人各部件在整体安装完毕后是否能够保持身体的平衡与运动的协调？

如果硬件已经全部加工完毕，在整体安装调试时才发现问题，之后再重新设计并加工，这样既耽误时间又浪费资金。

而如果能够在实际加工硬件之前，让我们能够观察到自己设计的机器人的运动状况，及时发现问题并及时修改设计方案，这岂不是更好？

本书就是为此目的而撰写的。就本书而言，是希望提供给以下两种类型读者的：

① 初学 MATLAB 的读者。您可能以前对 MATLAB 有一定的了解，也可能完全没有使用过。无论您处于何种情况都没有关系，都可以通过本书来了解和学习 MATLAB 在机器人控制上的应用基础。当然如果您对 MATLAB 很熟悉的话相关章节可以略读。

② 希望通过 MATLAB 进行机器人开发的读者。对于这样的读者，本书应该可以作为您的入门书。当然，在阅读和使用本书之后，请您还要参阅并领会与机器人控制相关的专业知识。

说实话，笔者不是一个“勤快”人，有些书在书店看着很好就买回来了。回家后可能看了前面的几十页，就随手一放。闲暇时将那本书拿过来又从第一页看，看过十几页后又放下了。结果是书的前一半就像刚出土的古书一样显得很破旧，而书

的后半部分则全新。笔者不想让本书也遭受如此待遇，因此在书的结构安排和内容上下了一定的功夫。

作为机器人爱好者，有一点我想读者也是很清楚的，那就是只看书是不够的。特别是对于机器人仿真与开发来说，没有什么比坐在计算机前亲自输入程序并执行它，最后看到希望的结果更令人快乐的了。记得笔者在日本工作时，与友人 ZMP 公司的坂井亮介先生曾畅谈此事。本书也参考了 ZMP 公司开发的 e-nuvo 机器人的有关资料和三田宇洋先生为 e-nuvo 机器人撰写的仿真教程，深感在机器人的学习和开发过程中理论联系实际、软件结合硬件的必要性。

为了帮助读者学习，本书提供部分资源的电子版，请到出版社网站 www.cip.com.cn 中的资源下载→配书资源中下载使用。

本书在编写和修改过程中，得到了高等学校博士学科点专项科研基金(20131208110005)，天津市科技支撑计划项目(14ZCZDSY00010)，天津市教委项目(20120831 和 20140710)的支持。通过编者负责的天津科技大学行业卓越人才实验班核心课程建设(自动控制原理)进行了实验验证。

在本书的编写和修改过程中，得到了天津科技大学张峻霞、白瑞祥、彭一准、贺庆、杜萌等老师的指导与帮助。天津浩芝蓝机器人科技有限公司的黄斌、李子旭、刘岩，日本 ZMP 公司的坂井亮介先生和三田宇洋先生，以及天津市印刷装潢技术学校的焦红玮也参与了本书的编写和实验工作，并提出了很多修改意见。参与本书编写和实验的人员还包括魏一帆、宋滨鹄、满海芳、王子威、欧阳育星、秦意乔、边策、魏宝昌、刘旭、杨闯、王文智、胡新帅、张鹏林、张泌、孟宇、吴旭阳等，在此一并表示感谢。

如果您对本书有什么疑问，可以通过以下方式联系到我们：

E-mail: daifz@163.com (戴凤智); 1170238840@qq.com (张鸿涛); 476241968@qq.com (康奇家)。

由于水平有限，书中难免存在不足，敬请各位读者批评指正。

编者

第1篇 MATLAB与机器人

第1章 认识 MATLAB 3

1.1 走进 MATLAB 世界 3

1.2 熟悉 MATLAB 编程 11

1.2.1 语言基础 11

1.2.2 程序设计基础 13

1.2.3 绘图基础 21

1.3 掌握 MATLAB 矩阵 30

1.3.1 创建矩阵 31

1.3.2 合并矩阵 33

1.3.3 查询矩阵信息 35

第2章 了解机器人 37

2.1 走进机器人世界 37

2.2 熟悉机器人组成 38

2.2.1 机械部分 38

2.2.2 控制和传感部分 41

第3章 MATLAB 用起来 43

3.1 如何设计机器人 43

3.2 用好 Simulink 44

3.2.1 Simulink 入门 44

3.2.2 Simulink 操作 46

3.2.3 子系统及自制模块 57

第4章 机器人的结构与运动 65

- 4.1 机器人的结构 65
- 4.2 机器人的参数 69
- 4.3 机器人的运动过程 70

第5章 机器人的数学建模 73

- 5.1 机器人运动轨迹的设计 73
 - 5.1.1 规划运动轨迹 73
 - 5.1.2 设计运动轨迹 79
- 5.2 机器人的机械结构数学建模 88
 - 5.2.1 机器人运动学基础 88
 - 5.2.2 机器人的坐标变换 90
 - 5.2.3 利用拉格朗日法导出机械结构模型 93
- 5.3 机器人的电气结构数学建模 97
- 5.4 机器人的控制系统数学建模 98
 - 5.4.1 如何控制机器人 98
 - 5.4.2 PID 控制 100
 - 5.4.3 建立机器人控制系统的模型 102

第6章 用 MATLAB 玩转单关节机器人 104

- 6.1 工作描述 104
- 6.2 运动轨迹函数的形成 106
- 6.3 机器人的机械仿真模型 109
- 6.4 机器人的电气仿真模型 111
- 6.5 PID 控制器的仿真模型 114
- 6.6 机器人的仿真运行结果 115

第7章 正运动学控制机器人 121

- 7.1 机器人的机械模型 121

7.2 机器人的正运动学	123
7.3 机器人的正运动学控制	128
第 8 章 逆运动学控制机器人	131
8.1 机器人的运动轨迹规划	131
8.2 机器人的逆运动学基础	134
8.3 本章问题的答案	137
参考文献	141

Chapter 01

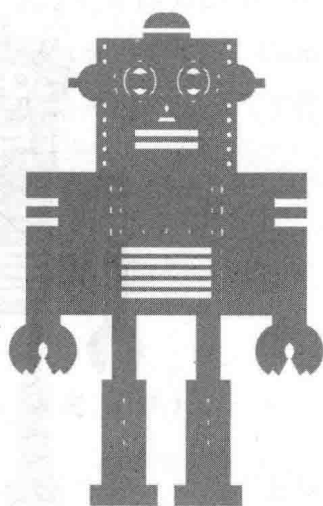
第

1

篇

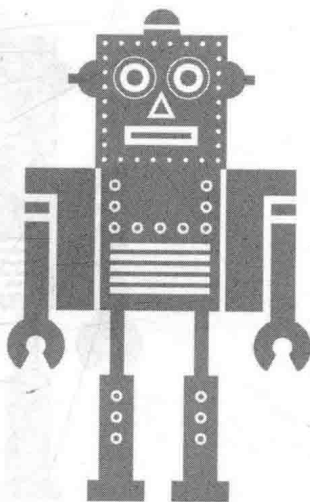


MATLAB与 机器人



Chapter 01

建立模型并进行仿真是接触机器人世界的关键技术之一，而 MATLAB 是目前应用最广泛的实现该技术的软件之一。将二者相互融合，让我们在 MATLAB 中建模和仿真一个异彩纷呈的机器人世界吧。



MATLAB 是什么？机器人目前的发展怎样？我们为什么要用 MATLAB 去玩转机器人？马上为您从零开始一一道来。

1.1 走进 MATLAB 世界

MATLAB 是美国软件公司 MathWorks 开发的一款软件，名称由 Matrix（矩阵）和 Laboratory（实验室）组成，即矩阵实验室的意思。但是我们不要被它的名字所误导，MATLAB 已经不仅仅是一个“矩阵实验室”了，它成为集科学计算、图像处理、窗口可视化开发、建模仿真等功能于一身的强大开发平台。

MATLAB 的各种新版本都会在旧版本基础上增加和修订一些功能，但是各版本的基本操作大体相同。对于本书的程序而言，R2008 之后的版本均可以实现，建议读者根据自己的计算机硬件配置来选择适合自己的 MATLAB 版本。

打开 MATLAB 软件，可以看到默认外观界面如图 1-1 所示，除了工具栏之外，主要包括以下几个窗口：Command Window（命令窗口）、Command History（命令历史窗口）、Current Folder（当前文件夹窗口）、Workspace（工作空间窗口）。

（1）Command Window（命令窗口）

MATLAB 的命令窗口可以执行 MATLAB 语句，也可以运行 MATLAB 函数和文件，并显示运行结果。

（2）Command History（命令历史窗口）

命令历史窗口记录了使用者在命令窗口中输入的所有命令，便于对所输入的命令进

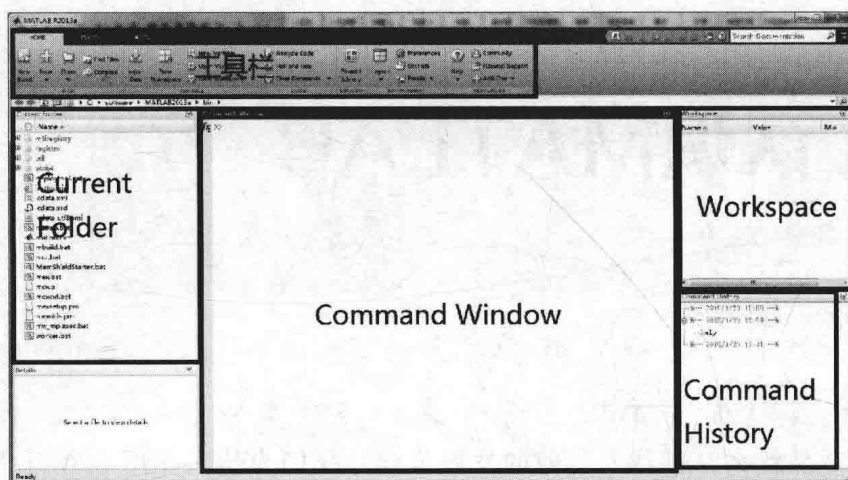


图 1-1 MATLAB 的操作界面

行查找和回溯。用户在该窗口中双击某指令即可再次执行它。

(3) Current Folder (当前文件夹窗口)

显示目前正在运行的文件所在的目录。在运行某个文件之前，我们需要把 Current Folder 设置为该文件所在文件夹。

(4) Workspace (工作空间窗口)

该窗口中存储了已经运行过的所有变量的值。双击该变量即可查看其数值、类型、所占空间字节数等多种信息。

下面介绍几个 MATLAB 的特点，让我们在玩转机器人之前，先进一步玩转 MATLAB。

(1) 丰富的 MATLAB 工具箱 (Toolbox)

MATLAB 中包含了为很多学科和专业设置的专用工具箱，如图 1-2 所示。正是因为有了众多丰富的工具箱，使得 MATLAB 的应用领域扩展得更为广泛。

其中，在机器人方面涉及的常用工具箱有：Communications (通信系统)、Control System (控制系统)、Curve Fitting (曲线拟合)、Filter Design (滤波器设计)、Fuzzy logic (模糊逻辑)、Image Processing (图像处理)、Model Predictive Control (模型预测控制)、System Identification (系统辨识) 等。

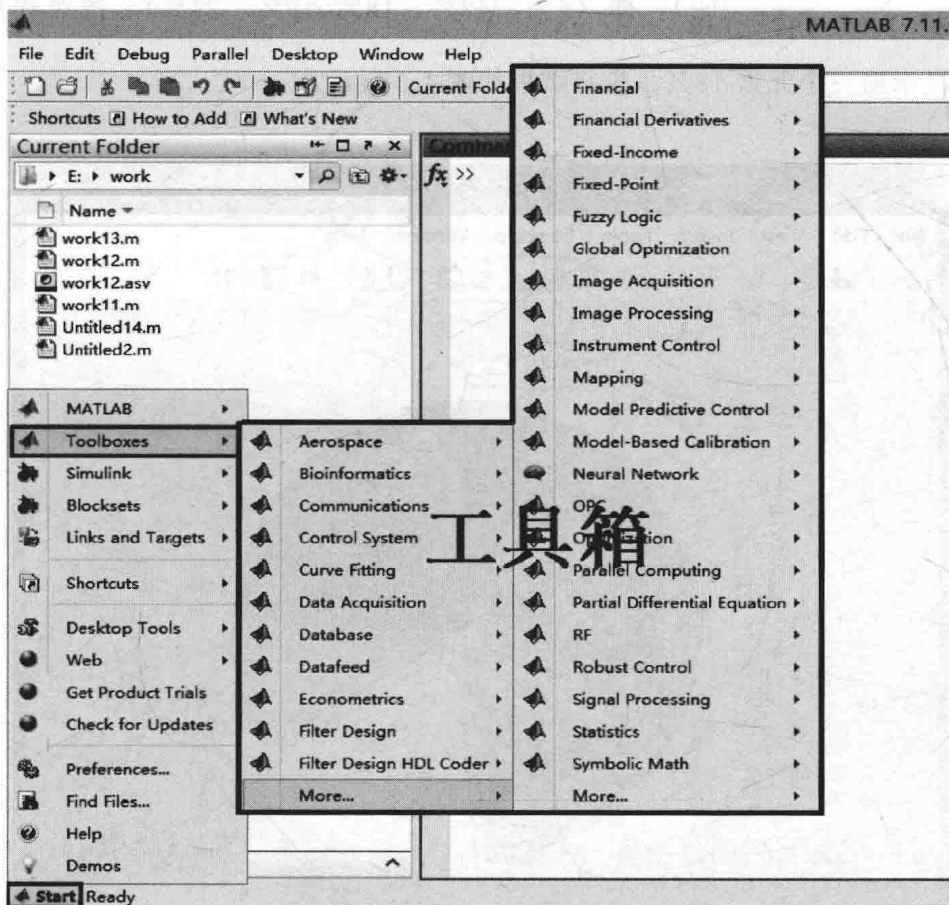


图 1-2 MATLAB 的众多工具箱

(2) 丰富的绘图功能与计算结果的可视化

MATLAB 具有二维、三维绘图和句柄绘图功能。一般而言，无论多么复杂的二元函数，仅仅需要数条指令，便可将计算结果绘制成图形。

例 1-1 绘制饼状图。

```
>> x=[10 70 30 15 40]; %设置向量中 5 个元素的实际数值
explode=[0 0 1 0 0]; %标明要突出显示第三个元素
pie(x,explode) %按各元素所占比例画饼状图
```

该程序只有三行语句。第一行是定义数组 x 中的五个元素值分别为 10, 70, 30, 15 和 40。第二行规定要突出显示第三个元素。第三行调用 `pie` 函数，即绘制饼状图。

这五个元素值的总和为 $10 + 70 + 30 + 15 + 40 = 165$ 。因此，各元素所占比重为

$(\frac{10}{165}, \frac{70}{165}, \frac{30}{165}, \frac{15}{165}, \frac{40}{165})$ ，即 $(6\%, 42\%, 18\%, 9\%, 24\%)$ 。按照程序要求，需要突出显示第三个元素 18% 。执行结果如图 1-3 所示。

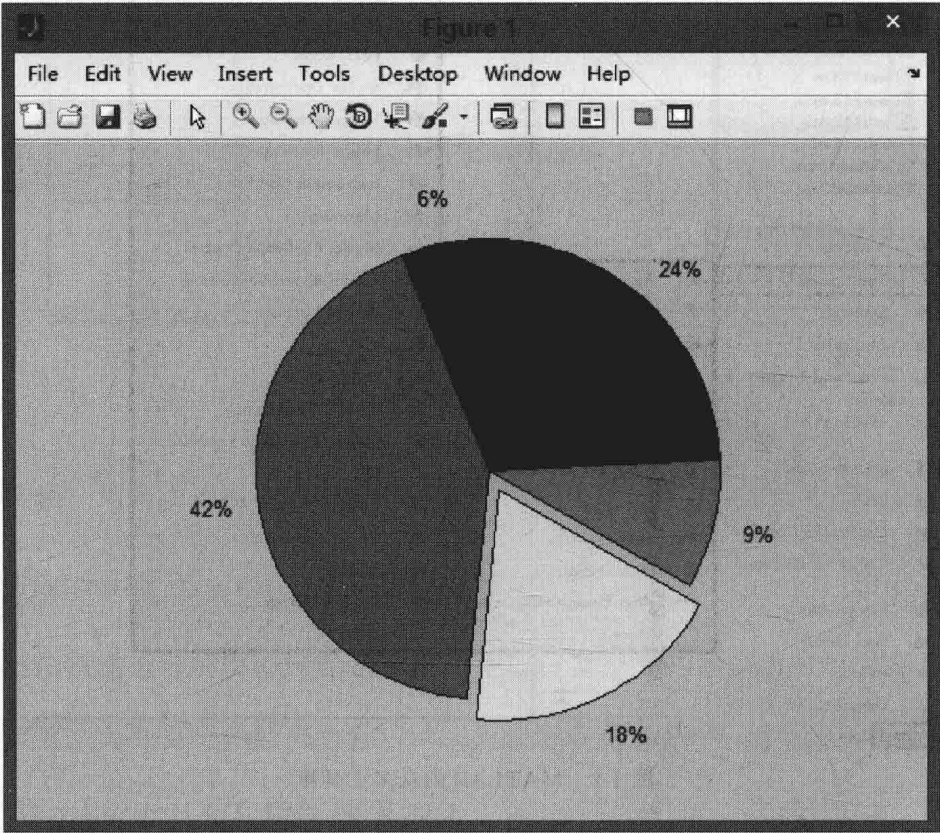


图 1-3 绘制饼状图

$$\begin{cases} x = \sin(t) \\ y = \cos(t) \\ z = t \end{cases}$$

例 1-2 绘制方程组 $\begin{cases} x = \sin(t) \\ y = \cos(t) \\ z = t \end{cases}$ 表示的三维曲线。

```
>> t=0: pi/100: 6*pi; %设定时间范围和步长
x=sin(t);y=cos(t);z=t; %
plot3(x,y,z,'-b','LineWidth',4) %绘制三维曲线,并作修饰。z 轴为时间 t
grid on %给曲线加网格
axis square %坐标显示样式
```

图 1-4 为程序执行结果，图中坐标是以时间 t 为 z 轴。plot3 函数是三维曲线的绘制函数，后面还会有具体说明，在此我们先直接使用它。

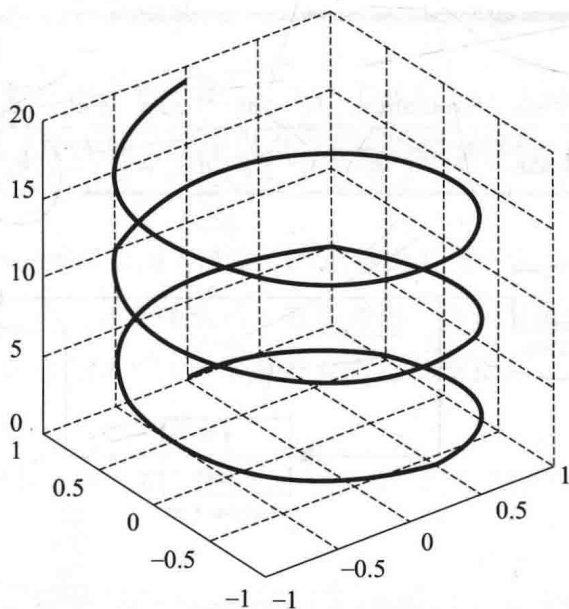


图 1-4 绘制三维曲线

(3) 图形化建模功能

在 MATLAB 中对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包为 Simulink。本书也是在 Simulink 下建立机器人的仿真模型的。它的操作极为简单，只需拖动几个模块、连几条线，即可实现对机器人的结构、电气和控制方法的建模。

下面先用一个简单的例子为读者展示图形化建模的魅力。

例 1-3 绘制单位阶跃输入信号经惯性环节 $\frac{1}{0.1s+1}$ 后的输出曲线。

在 MATLAB 的命令窗口输入“Simulink”并回车。在打开的 Simulink 中绘制如图 1-5 所示的模型（Simulink 的使用在后面章节中会讲到），点击图 1-5 中菜单栏上的三角形图标  执行该模型的仿真，之后双击图中的虚拟示波器 Scope 模块就可以观察到如图 1-6 所示的仿真结果了。

图 1-6 中，横坐标的范围是 $[0, 5]$ ，纵坐标的范围是 $[-0.2, 1.2]$ ，单位阶跃信号是从时刻 1 开始的。这些参数都是可以自行设置的，后面会有介绍。

图 1-5 所示的模型文件（ch1_1.mdl）也可以从出版社指定的网页中下载（网址见前言）。将该文件所在文件夹设置为 MATLAB 的当前文件夹后，在 MATLAB 的当前文件夹窗口中双击该文件也可以直接打开如图 1-5 所示的模型。