

用 TensorFlow 实现机器学习
的“Hello World”，
深入理解卷积神经网络的运行机制。

深度学习

入门与实战

基于 TensorFlow

对机器学习或数据分析感兴趣

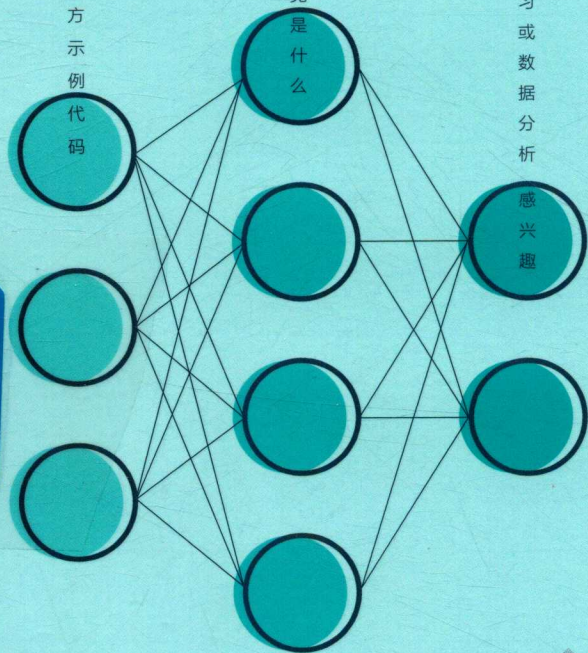
想知道深度学习算法究竟是什么

不知道如何理解 TensorFlow 的官方示例代码

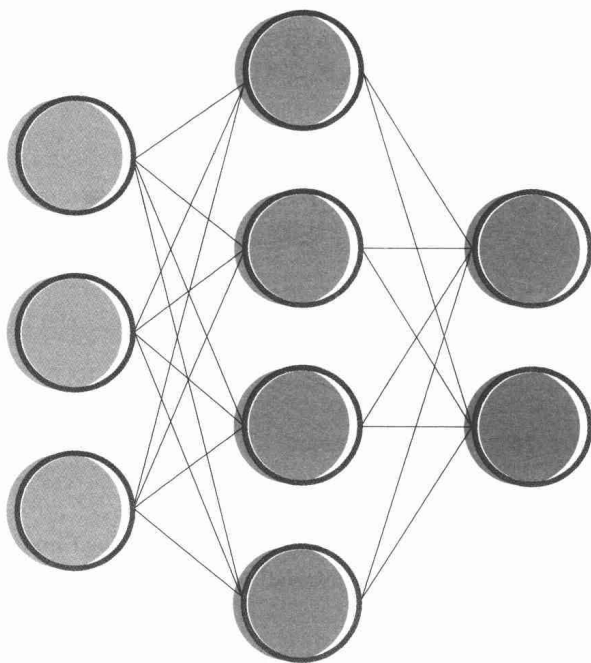
「日」中井悦司

著

译



「日」中井悦司
郭海娇
——译
——著



深度学习

入门与实战



基于 TensorFlow

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

深度学习入门与实战：基于TensorFlow / (日) 中井悦司著；郭海娇译. — 北京：人民邮电出版社，2019.4

ISBN 978-7-115-50482-1

I. ①深… II. ①中… ②郭… III. ①人工智能—算法 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第299749号

版权声明

TensorFlow De Manabu Deep Learning Nyumon

Copyright © 2016 Etsuji Nakai

All rights reserved.

First original Japanese edition published in 2016 by Mynavi Publishing Corporation., Japan
Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with Mynavi Publishing Corporation., Japan.

through CREEK & RIVER Co., Ltd. and CREEK & RIVER SHANGHAI Co., Ltd.

本书中文简体字版由 Mynavi Publishing Corporation 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有，侵权必究。

-
- ◆ 著 [日] 中井悦司
 - 译 郭海娇
 - 责任编辑 俞彬
 - 责任印制 马振武

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫丰华彩印有限公司印刷

 - ◆ 开本：720×960 1/16
印张：16
字数：300 千字 2019 年 4 月第 1 版
印数：1—3 500 册 2019 年 4 月北京第 1 次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2018-2766 号
-

定价：69.00 元

读者服务热线：(010)81055410 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号

内容提要

TensorFlow 由美国谷歌公司开发和维护，被广泛应用于各类机器学习算法的编程实现。

本书紧密围绕极具代表性的深度学习应用——手写数字识别，逐层介绍构成神经网络的各个节点的功能，并用 TensorFlow 编写示例代码对各部分的工作原理加以验证，从根本上理解深度学习。

本书非常适合深度学习的初学者，而非专门从事机器学习和数据分析的专家。

● 本书的官方网站

<http://book.mynavi.jp/supportsite/detail/9784839960889.html>

本书的增补、修正等情况均在此处刊载，如有需要请查阅。

● 本书的写作全部基于2016年8月左右的信息。

在本书中出现的软件或服务的版本、网页、功能、URL、产品样式等信息都是基于原稿写作时间点。

写作之后，上述内容可能发生变化，还请谅解。

● 本书使用安装了TensorFlow的Docker容器镜像来进行说明。

在Linux、Mac OS、Windows等环境下，都可以使用Docker启动环境。

还有，本书使用TensorFlow 0.9.0(GPU未对应版)和Python 2.7。

硬件环境，需要4核CPU和4GB以上内存。若内存不够，第4章和第5章的部分示例代码有可能不能运行，还请注意。

● 在没有特别声明的情况下，书中所写的[Ctrl]键对应Mac OS X中的[control]键。

● 本书中所记载的内容，仅供参考。

基于本书的应用请读者自行判断，作者不承担任何责任。

● 本书的创作虽已尽作者所能地正确描述，但是本书作者及出版社不对书中的内容及运算结果负任何责任，望读者谅解。

● 本书中所有的公司名及商品名均为各公司的法定商标名。

本书中省略了“TM”和“R”的标志。

有关本书内容及阅读方法

本书详细介绍了深度学习极具代表性的用于手写数字识别的“卷积神经网络”。在深度学习中使用的神经网络是由各种各样的不同功能部分构成的，本书的目标就是将这些部分的功能一一缕清，以便于读者更加深入理解。另外，本书使用美国谷歌公司发布的开源软件 TensorFlow，用示例代码对各个组成部分的工作原理加以验证。本书中使用的代码在 GitHub 上都有公开，通过 https://github.com/enakai00/jupyter_tfbook 可以获取。

TensorFlow 用 Python 代码来表述神经网络的构成，并提供了最适用神经网络样本数据的自动处理功能。推荐读者先根据第 1 章的说明步骤安装好 TensorFlow 的代码执行环境，然后一边学习一边自己运行代码。本书以第 1 章介绍机器学习的基本思考方式为起始，随之介绍了 TensorFlow 代码的编写方法，以及构成卷积神经网络的各部分功能，通过循序渐进的解读方式方便读者加深理解。

另外，本书中所例举的卷积神经网络基本是原封不动地采用了 TensorFlow 官方网站上的入门手册 *Deep MNIST for Experts* 中的介绍。对被称为 MNIST 数据集的手写数字图片数据进行分类，最终达到了 99% 的识别率。对于“运行了入门手册代码但未能理解其内涵”或“希望更加深入理解代码运行机制”的读者，本书再合适不过了。理解本书内容所需的数学相关知识，请参考书末的附录。

致 谢

本书得以完成并出版要衷心感谢许多朋友的帮助。

本书的构想来自于参加KUNO公司的佐藤杰先生主办的“TensorFlow学习会”。我发现，通过运用TensorFlow，无论是谁都能体验到深度学习，但是大多数与会者还是希望可以更进一步地了解其内涵。于是我产生了写这样一本书的想法，不是回顾历史、展望未来的那种启蒙书，也不是面向专家进行非常高深的解说，而是为大多数普通读者写一本从根本上理解深度学习的入门书。

这个想法得以成为实际提案并且最终成书，要感谢Mynavi出版社的伊佐知子女士。另外，还要感谢为本书写作提供技术信息的谷歌公司的佐藤一宪先生和岩尾遥先生。

在本书的写作过程中，我的人生出现了一个大的转机——转职。在此，我非常感谢一直支持我前行的妻子真理和女儿步实，是她们让我充满干劲地去迎接新的挑战。“爸爸在新的公司里会好好加油的！”

前 言

欢迎来到深度学习的世界！本书面向初学者，而非专门从事机器学习和数据分析的专家，但本书也不是深度学习的启蒙书，因为它既不讲深度学习的历史，也不展望人工智能的未来。本书的目标是以深度学习的代表“卷积神经网络”为例，剖析其结构，并用 TensorFlow 写出能够实际运行的代码。

深度学习被热议的发端大约是美国谷歌公司公布“神经网络识别猫脸”系统的时候。之后，该系统学习了名为 DQN(Deep Q-Network) 的算法，甚至可以自主操纵视频游戏。再后来，运用了神经网络的机器学习系统甚至击败了世界围棋冠军，还产生了很多类似的不可思议的成果。随之出现了许多解读深度学习的文章，但大多数文章的主题是由众多神经元组成的多层神经网络模型。在神经网络中到底如何运作，深度学习算法又是以何种结构来进行学习的呢？本书就是面向有此类疑问并希望探其究竟的读者。

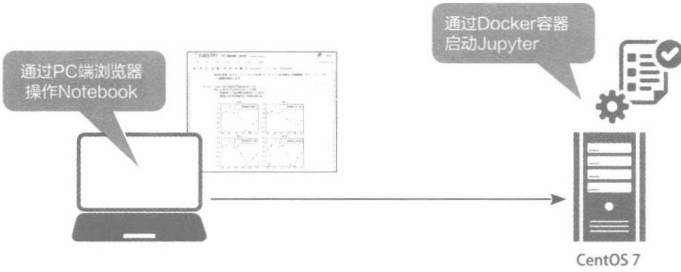
从根本上来说，深度学习的基础就是要理解机器学习的结构。具备简单的矩阵运算和微分基础，理解这个结构并非难事。本书就以运用卷积神经网络识别手写数字为例，对其结构中各个部件的职责进行详解。进而，本书利用拥有深度学习算法包的 TensorFlow，通过可以实际运行的示例代码来确认各部件的运行原理。像堆积积木一样，随着逐层增加网络构成部件，读者就可以观察其识别精度是如何逐步提升的。

顺带提一下，TensorFlow 的官方网站发布了各种示例代码用来作为入门资料。不过常常听到一些反馈，例如，即使尝试运行了这些代码，但不是很清楚代码内部结构，或希望自己尝试运用却又不知从何入手。通过本书了解深度学习基本原理并学习 TensorFlow 代码写法后，读者应该可以自然而然地学会运用。探究深度学习的奥秘与趣味绝不是专家的特权。通过本书，若能帮助拥有求知欲的读者踏进深度学习的世界，实乃笔者之幸。

关于本书示例代码环境

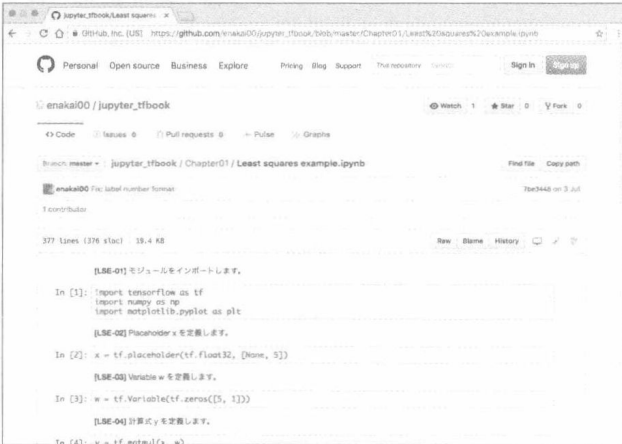
本书中所使用的示例代码，笔者用 Docker 制作了容器镜像，可以通过下载 Jupyter 的 Notebook 文件实际执行代码进行确认。

1.2 节“环境准备”介绍了在 CentOS 7 中的安装使用方法，在附录 A“Mac OS X 和 Windows 环境安装方法”中分别介绍了 Mac OS X 和 Windows 环境下的安装方法，请读者针对自己使用的环境阅读参考。



在CentOS上通过 Docker 容器镜像使用 Jupyter 示意图

其实即使不下载 Docker 用的容器镜像文件，也可以通过访问前面介绍过的 GitHub 的 URL，查看全部示例代码，并可以看到执行后的结果。



通过GitHub查看Jupyter的Notebook示意图

本书示例代码查看方法

本书中用到的所有示例代码，全都放在了前面介绍的环境准备步骤中下载的 Notebook 文件中。本书内容涉及示例代码的部分，在步骤中都详细地写明了如何打开对应的 Notebook 来查看代码。

如果需要执行自己修改过的 Notebook，可以把原来的 Notebook 复制一份，修改代码后再执行。这样就可以保留原来的代码文件，对比参照起来则非常方便。

1.3.2 TensorFlow 代码实现

接下来，用 TensorFlow 代码来实践一下呢。如果是正式写代码，需要做成模型类，还要考虑代码的模块化等。但是在这里为了能够简要说明，我们就在 Jupyter Notebook 上直接写代码。与本节对应的 Notebook 为“Chapter01/ Least squares example.ipynb”。建议把该 Notebook 打开，边阅读本节内容边执行代码。刚打开 Notebook 可能还保存了之前执行的结果，单击如图 1.22 所示的目录中的“Restart & Clear Output”，就可以清空之前的执行结果。

使用到的 Notebook 的介绍部分

在示例代码左上角所显示的标题“LSE-01”等，与下载后的 Notebook 中各代码的标题是相对应的。在具体的章节内容中，只抽取出部分代码来进行讲解的情况也是存在的，还请注意。

[LSE-01]

```
1: import tensorflow as tf
2: import numpy as np
3: import matplotlib.pyplot as plt
```

示例代码左上角的标题

[LSE-01] モジュールをインポートします。

```
In [1]: import tensorflow as tf
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Notebook 文件中代码的标题

像“LSE”这样的开头字母，其实是取自 Notebook 文件名称的开头字母，例如，“LSE-01”就是“Least squares example.ipynb”文件的缩写。

目 录

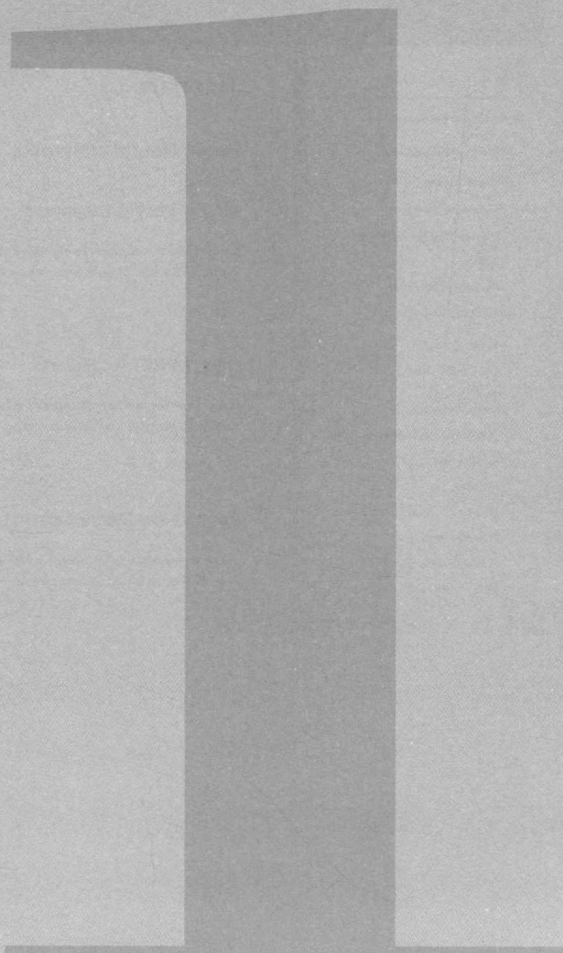
第1章 深度学习与TensorFlow	1
1.1 深度学习概览	4
1.1.1 机器学习的基本模型	4
1.1.2 神经网络的必要性	7
1.1.3 深度学习的特点	13
1.1.4 参数优化	15
1.2 环境准备	24
1.2.1 基于CentOS 7环境的安装步骤	25
1.2.2 Jupyter的使用方法	28
1.3 TensorFlow概览	34
1.3.1 用多维数组表示模型	34
1.3.2 TensorFlow代码实现	36
1.3.3 通过Session执行训练	41
第2章 分类算法基础	49
2.1 逻辑回归之二元分类器	51
2.1.1 利用概率进行误差评价	51
2.1.2 通过TensorFlow执行最大似然估计	56
2.1.3 通过测试集验证	67
2.2 Softmax函数与多元分类器	71
2.2.1 线性多元分类器的结构	71
2.2.2 通过Softmax函数进行概率转换	75
2.3 应用多元分类器进行手写数字识别	78
2.3.1 MNIST数据集的使用方法	78
2.3.2 图片数据的分类算法	82
2.3.3 TensorFlow执行训练	87
2.3.4 小批量梯度下降法和随机梯度下降法	94

第3章 应用神经网络进行分类	97
3.1 单层神经网络的构成	99
3.1.1 使用单层神经网络的二元分类器	99
3.1.2 隐藏层的作用	102
3.1.3 改变节点数和激活函数后的效果	112
3.2 应用单层神经网络进行手写数字分类	115
3.2.1 应用单层神经网络的多元分类器	115
3.2.2 通过TensorBoard确认网络图	119
3.3 扩展为多层神经网络	129
3.3.1 多层神经网络的效果	129
3.3.2 基于特征变量的分类逻辑	134
3.3.3 补充：参数向极小值收敛的例子	138
第4章 卷积核提取图片特征	141
4.1 卷积核的功能	143
4.1.1 卷积核示例	143
4.1.2 在TensorFlow中运用卷积核	146
4.1.3 通过池化层缩小图片	155
4.2 应用卷积核进行图片分类	158
4.2.1 应用特征变量进行图片分类	158
4.2.2 卷积核的动态学习	165
4.3 应用卷积核进行手写数字识别分类	168
4.3.1 保存Session信息的功能	168
4.3.2 通过单层CNN对手写数字进行识别分类	170
4.3.3 确认动态学习的卷积核	178
第5章 应用卷积核多层次化实现性能提升	183
5.1 完成卷积神经网络	185
5.1.1 通过多层卷积核抽取特征	185
5.1.2 用TensorFlow实现多层CNN	190
5.1.3 自动识别手写数字应用	196
5.2 延伸阅读	203
5.2.1 CIFAR-10(彩色图片数据集)分类的延伸	203

5.2.2	通过“A Neural Network Playground”进行直观理解	207
5.2.3	补充：反向传播算法中的梯度计算	212
附录A	Mac OS X和Windows环境的安装方法	220
A.1	Mac OS X环境的准备步骤	220
A.2	Windows 10环境的准备步骤	224
附录B	Python 2的基本语法	230
B.1	Hello, World!	230
B.2	字符串	231
B.3	列表与词典	233
B.4	控制语句	235
B.5	函数与模块	238
附录C	数学公式	240

第1章

深度学习与TensorFlow



TensorFlow 是由美国谷歌公司发布的机器学习开源软件，特别用于谷歌公司内部深度学习领域的研究，同时也用于谷歌公司的其他服务开发。本书的主题就是通过 TensorFlow 来了解极具深度学习代表性的“卷积神经网络”（Convolutional Neural Network, CNN）的机制。

TensorFlow 官网的“TensorFlow Tutorials”（见图 1.1）介绍了 TensorFlow 的各种用例和示例代码，例如，利用 CNN 识别手写数字的分类处理（见图 1.2）。如果读者查阅过深度学习的专业书籍或者相关评论文章，肯定也见过类似的（或者更加复杂的）图。这究竟是怎样的机制，为何能够自主识别手写数字？本书的目标就是能理解其基本原理，并在此基础上编写 TensorFlow 代码来实现它。

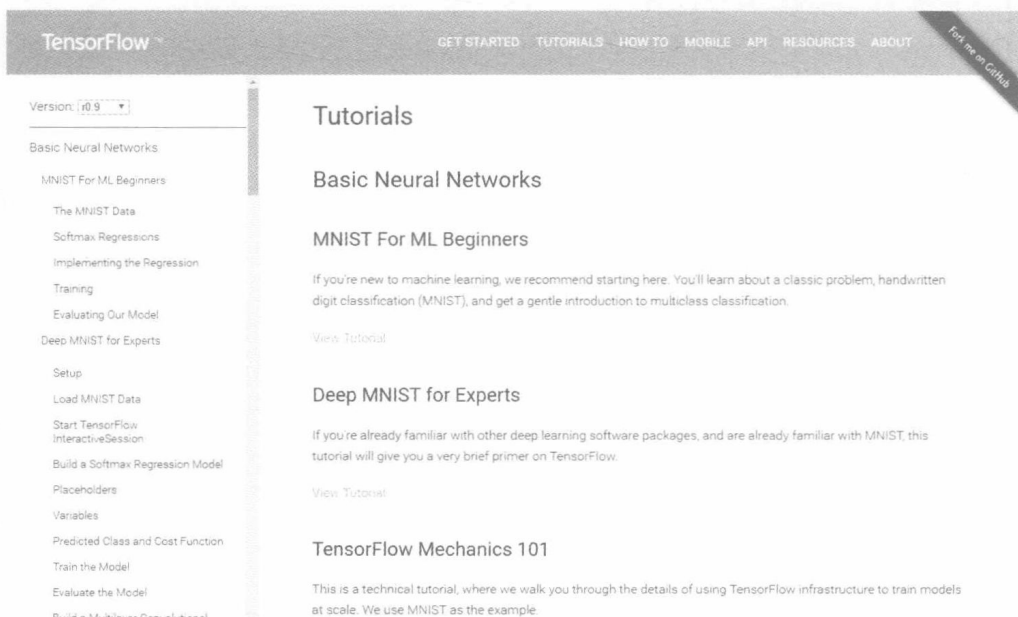


图 1.1 TensorFlow Tutorials

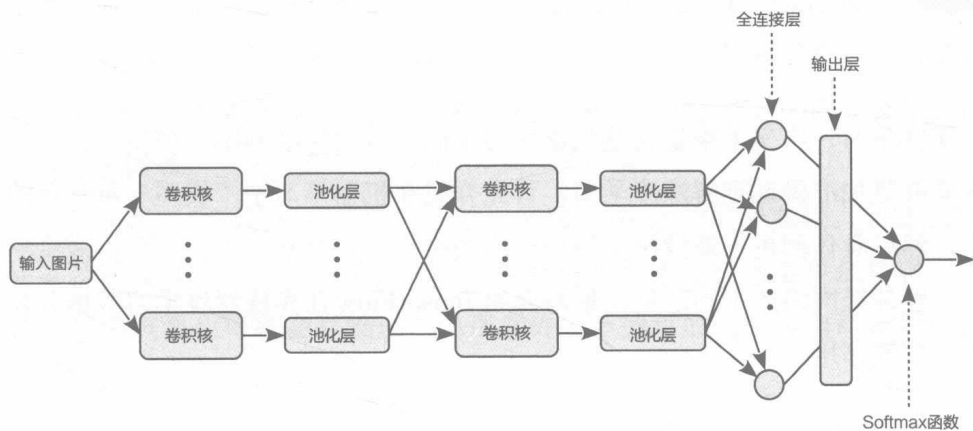


图 1.2 CNN 实现手写数字识别的分类处理

本章首先概要性地介绍深度学习和 TensorFlow，以及如何安装 TensorFlow 代码的执行环境。另外，以机器学习入门的“最小二乘法”问题为例，讲解 TensorFlow 代码的基本写法。

1.1

深度学习概览

深度学习，广义上来说它是机器学习中的一种“神经网络”模型。为了使读者能够更加准确地理解深度学习，首先介绍在机器学习中“模型”所具备的职责，然后具体剖析一般情况下神经网络的结构。在此基础上，再分析深度学习与一般神经网络的不同之处，最后介绍 TensorFlow 在实现深度学习数据分析中所起到的作用。

1.1.1 机器学习的基本模型

机器学习是一种通过计算机自动运算来研究并发现隐藏在数据背后的“数学规则”的算法科学。虽说如此，但也无需把它想得过于复杂。举个例子，观察图 1.3，假设这是某城市 2018 年每月平均气温示意图，我们能看出什么呢？如果让你以此数据为基准，推测 2019 年每个月的平均气温，你会如何分析推测呢？

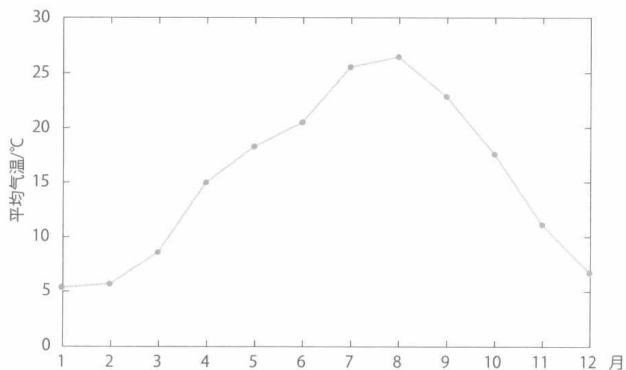


图 1.3 某城市 2018 年每月平均气温示意图