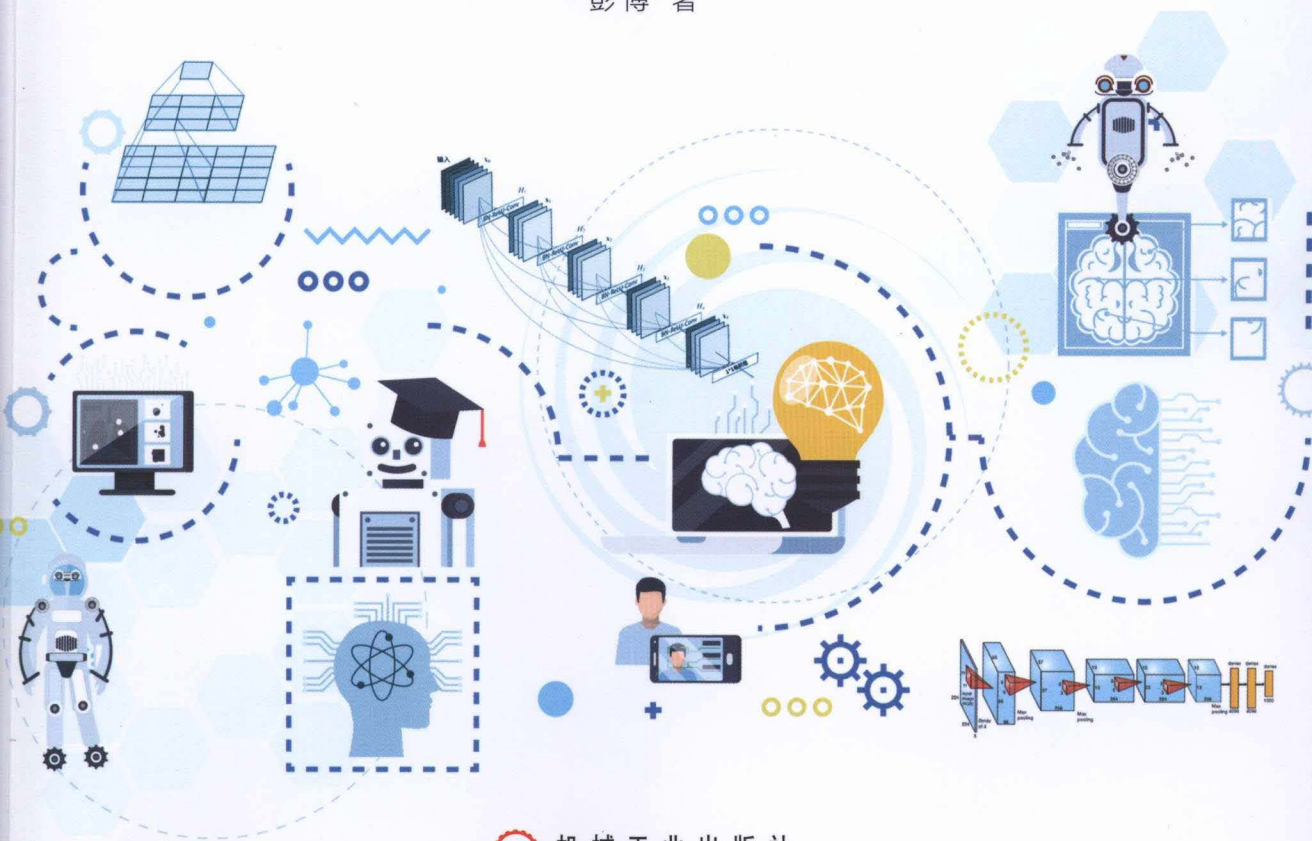



全面讲解深度卷积网络的技术理论、工作原理、
实践方法、架构技巧和训练策略

Deep Convolutional Neural Network
Principle and Practice

深度卷积网络 原理与实践

彭博 著



 机械工业出版社
China Machine Press

内容简介

深度卷积网络 (DCNN) 是目前十分流行的深度神经网络架构, 它构造清晰直观, 效果引人入胜, 在图像、视频、语音、语言领域都有广泛应用。

本书以AI领域最新的技术研究和实践为基础, 从技术理论、工作原理、实践方法、架构技巧、训练方法、技术前瞻等6个维度对深度卷积网络进行了系统、深入、详细的讲解。

以实战为导向, 深入分析AlphaGo和GAN的实现过程、技术原理、训练方法和应用细节, 为读者依次揭开神经网络、卷积网络和深度卷积网络的神秘面纱, 让读者了解AI的“思考过程”, 以及与人类思维的相同和不同之处。

本书在逻辑上分为3个部分:

第一部分 综述篇 (第1、6、9章)

这3章不需要读者具备编程和数学基础, 对深度学习和神经网络的基础知识、AlphaGo的架构设计和工作原理, 以及深度学习和人工智能未来的技术发展趋势进行了宏观介绍。

第二部分 深度卷积网络篇 (第2、3、4、5章)

结合作者的实际工作经验和案例代码, 对深度卷积网络的技术理论、工作原理、实践方法、架构技巧和训练方法做了系统而深入的讲解。

第三部分 实战篇 (第7、8章)

详细分析了AlphaGo和GAN的技术原理、训练方法和应用细节, 包括详细的代码分析和大量GAN的精彩实例。

本书的案例代码在GitHub上提供下载, 同时读者

可在GitHub上与作者交流与本书相关的问题。

Deep Convolutional Neural Network
Principle and Practice

深度卷积网络

原理与实践

彭博 著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

深度卷积网络：原理与实践 / 彭博著. —北京：机械工业出版社，2018.3
(智能系统与技术丛书)

ISBN 978-7-111-59665-3

I. 深… II. 彭… III. 神经网络—研究 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 064727 号

深度卷积网络：原理与实践

出版发行：机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码：100037）

责任编辑：李 艺

责任校对：李秋荣

印 刷：北京市兆成印刷有限责任公司

版 次：2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本：186mm×240mm 1/16

印 张：20.5

书 号：ISBN 978-7-111-59665-3

定 价：129.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88379426 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

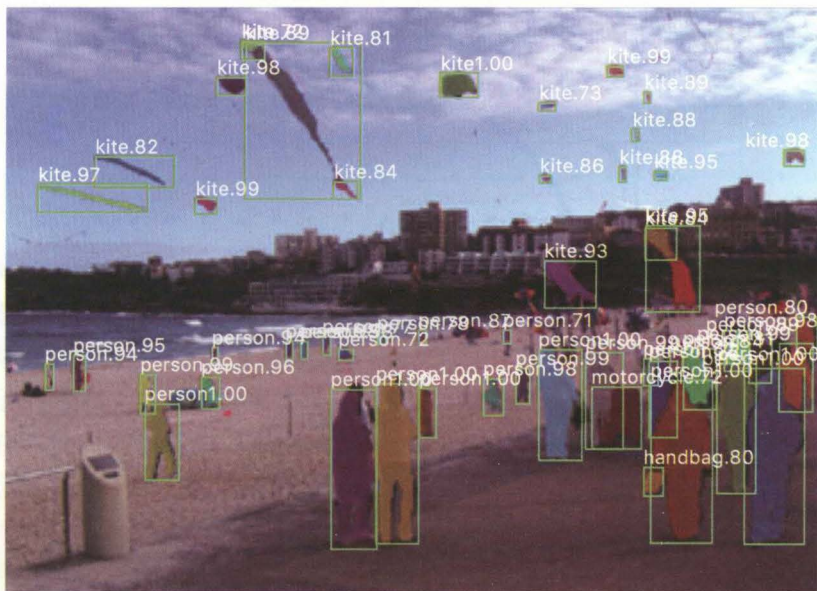
本书法律顾问：北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

为何写作本书

自 2012 年以来，随着深度学习（Deep Learning, DL）的快速发展，人工智能（Artificial Intelligence, AI）取得了长足的进展。

从语音助手、人脸识别、照片美化，到自动驾驶、医疗诊断、机器翻译，基于深度神经网络（Deep Neural Network, DNN）的新一代人工智能，已在各个领域进入我们的日常生活。许多学者认为，人工智能将开启第四次工业革命，并对人类的未来产生深远影响。

例如，通过 Mask R-CNN 深度神经网络[⊖]，电脑可快速自动识别出图像中的各个物体，用色彩和方框标记。这对于自动驾驶和机器人技术有重要意义，也是传统 AI 方法难以实现的。



⊖ 地址为 <https://arxiv.org/abs/1703.06870>。

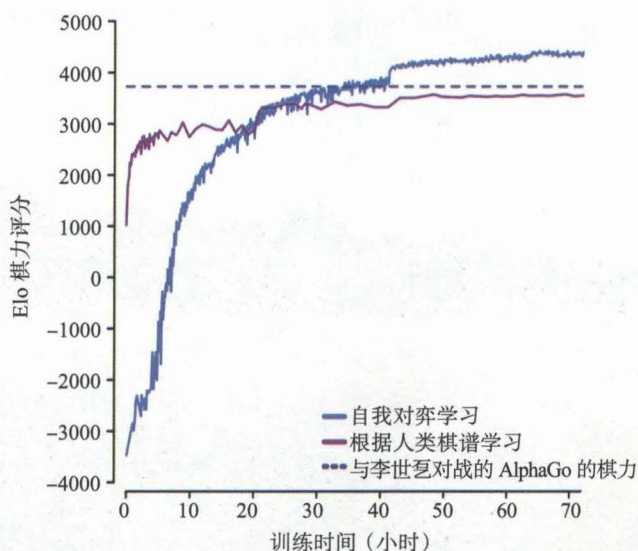
值此变革之际，我们理应跟上时代的步伐，增进对 DL 与 AI 的了解。本书的目标是：

- ❑ 如果读者没有编程和数学基础，也能在阅读后体会到深度神经网络的奥妙。
- ❑ 如果读者有一定基础，就可学会用 DL 的方法解决实际问题，为从事相关的工作和研究做好准备。

具体而言，本书选取深度卷积网络（Deep Convolutional Neural Network, DCNN）作为切入点，这是目前最流行的深度神经网络架构，其构造直观易懂，效果引人入胜，在图像、视频、语音、语言领域都有广泛应用。

我们还将结合多个实例进行讲述，让读者更深入理解深度神经网络的运作。说起深度神经网络的实例，广为人知的莫过于由 Google DeepMind 研发的 AlphaGo (<https://deepmind.com/research/alphago/>):

- ❑ 在 2016 年 3 月，AlphaGo 以 4:1 战胜韩国顶尖棋手李世乭，让 AI 成为了目前最热门的话题之一。
- ❑ 在 2017 年 5 月，新版 AlphaGo 以 3:0 战胜当今世界围棋第一人——中国的柯洁。所有棋手都认同它已全面胜过人类，但它仍需要人类棋谱作为训练的前期输入。
- ❑ 在 2017 年 10 月，名为 AlphaGo Zero 的最新版 AlphaGo 已能完全脱离人类棋谱，从零开始，纯粹依靠自我探索，自我对弈，就能实现超越此前所有版本的棋力。
- ❑ 如下图所示，蓝色的 20-blocks 版 AlphaGo Zero，最初的棋力还不如人类的初学者，但它在 24 小时内就能赶上红色的学习人类棋谱的 AlphaGo，并在 40 小时内超越与李世乭对弈的 AlphaGo。

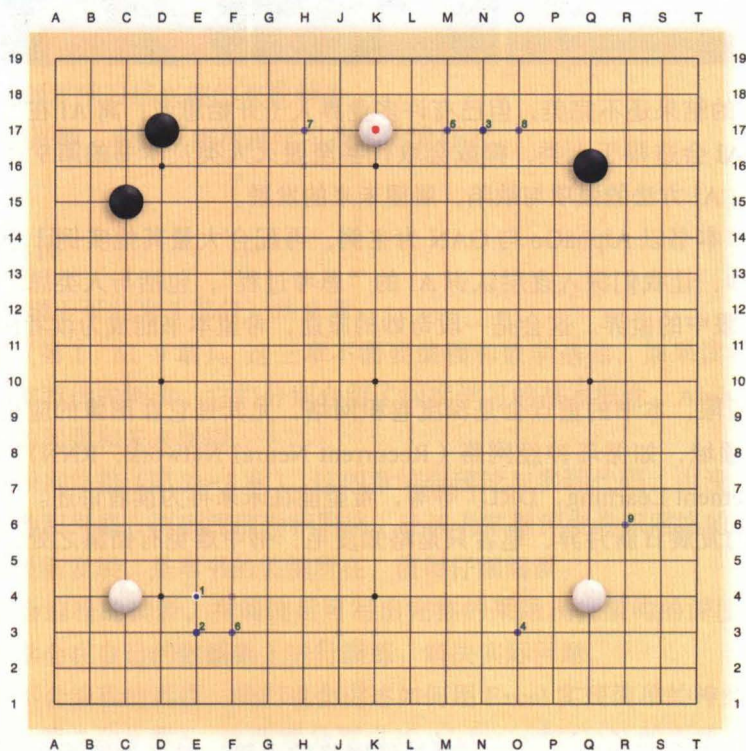


- ❑ 在 2017 年 12 月，DeepMind 还将 AlphaGo Zero 的方法用于国际象棋、日本将棋，称为 AlphaZero。它仅需几个小时的训练，就打败了此前世界最强的程序，这证明

AlphaGo 方法的通用性极强。

AlphaGo 的核心是深度卷积网络。深度神经网络的强大，关键在于能模拟人类的直觉。AlphaGo 的强大，关键在于通过深度卷积网络，成功模拟了人类的棋感。

那么，深度卷积网络是如何学会下围棋的？AlphaGo 真的理解围棋吗？AlphaGo 与人类下棋的思维有怎样的相同和不同之处？我们将在第 6 章阐述 AlphaGo 的运作，并在第 7 章亲手训练 AlphaGo 的策略网络（policy network）。如下图所示，棋盘中的标记 1 到 9，代表此时策略网络对于下一手的前 9 位推荐。



深度神经网络的威力，还不仅止于此。近年来，深度学习中热门的话题是一种新的深度神经网络范式：生成式对抗网络（Generative Adversarial Networks, GAN）。它同样基于深度卷积网络，我们会在第 8 章讲述。

GAN 试图模拟人类的更神秘之处：创造力和想象力，如自动作画、自动作曲，甚至自动发现治疗癌症的药物结构。例如，通过 StackGAN 网络[⊖]，电脑可根据人提供的文字描述，自动绘制出无穷无尽的符合描述的图像。

⊖ 地址为 <https://arxiv.org/pdf/1612.03242.pdf>。

这是一只白鸟，在头和翅膀上有些黑色，有一个长的橙色喙。

这只鸟有黄色的腹部和腿，灰色的背部和翅膀，棕色的喉部和脖子，黑色的面部。

这朵花有重叠着的粉红色尖状花瓣，围着一圈由短的黄丝构造的花蕊。



目前 GAN 的结果还不完美，但已有许多业界人士开始思考：离 AI 在所有领域超越人类还有多远？AI 会造福于人类，抑或是会取代甚至毁灭人类？本书的第 9 章将讨论这一话题，并介绍当前 AI 方法的强项与缺陷，展望未来的发展。

总而言之，本书以 AlphaGo 与 GAN 为主例，再配合大量其他实例，为读者揭开深度卷积网络的面纱，让我们深入逐层认识 AI 的“思考过程”，包括与人类思维的相同和不同之处，体验 AI 眼中的世界。这会是一段奇妙的旅途，希望本书能成为读者探索深度学习世界的助手。

憾于篇幅所限，本书的重点会是深度卷积网络，尤其是它在图像的应用。对于深度学习涉及的其他领域，如循环神经网络（Recurrent Neural Network, RNN）、深度强化学习（Deep Reinforcement Learning, DRL）等等，希望能在未来再为读者讲述。

深度学习的发展日新月异，笔者只是略知皮毛，书中难免有错漏之处，恳请读者不吝指正。

本书的特点

市面已有不少介绍深度学习与深度神经网络的书籍，但多为编著或译文。本书的特点是：

- ❑ 叙述与代码范例皆会结合笔者的实际经验，如调参经验和网络架构经验，让读者掌握真正具有实用性的技巧。
- ❑ 包括深度卷积网络和 AI 的重要最新发展，如 DenseNet、Xception、各种 GAN 变种、预测学习（predictive learning）、Capsule 等。书中的许多例子都来自于 2017 年的最新研究。
- ❑ 对于重要的理论知识，如反向传播（Back Propagation, BP）的推导，本书不会回避，会仔细说明。这里的细节是常见的面试题，如果读者还没有理解清楚，阅读本书就对了。

- 本书的行文力求通俗易懂，不会过于抽象。如果读者不熟悉数学，可跳过书中数学推导的部分，因为目前的深度学习框架已很完善，即使不了解数学，同样可以成功训练和使用。

本书读者对象

- 对 AI、深度学习感兴趣的开发者。
- 希望通过深度学习方法，解决实际问题的工程师。
- 希望从事 AI、深度学习相关工作的求职者。
- 对 AI、深度学习感兴趣的院校师生。
- 对 AI 感兴趣，希望了解深度学习技术的爱好者。

如何阅读本书

本书正文逻辑上可分为 3 部分，共 9 章：

- 综述篇（第 1、6、9 章）。这三章不需要编程和数学基础，如果读者尚不熟悉相关技术，推荐优先阅读。它们分别介绍了深度学习的基本概念、AlphaGo 的架构、深度学习的问题和未来展望。
- 深度卷积网络篇（第 2~5 章）。这四章结合理论与实际代码，由浅入深，从神经网络，到卷积网络，再到深度卷积网络，让读者掌握深度卷积网络的基础知识、实践技巧和最新发展，是本书的关键所在，值得仔细阅读。
 - 对于会编程的读者，在阅读后可写出完整的采用现代架构的深度卷积网络程序，以及学会在自己的数据集上进行训练，解决实际问题。
 - 对于不会编程的读者，我们也会讲述如何用 Excel 实现简单的神经网络模型。
- 实战篇（第 7 和 8 章）。这两章分别讲述 AlphaGo 和 GAN 的训练和应用细节，包括详细的代码分析。其中第 8 章还包括大量 GAN 的精彩实例，无须技术基础也能体会。

本书附录部分包括深度学习的网络资源列表。

本书内容的一些选择：

- 市面上有许多深度学习编程框架，如 TensorFlow、Caffe 等。本书选择 MXNet，因其训练速度快、占用资源少，且使用方便、架构清晰、易于二次开发。
 - 在编程语言方面，目前深度学习最流行的语言是 Python，本书也会选用 Python。
- 有时我们需要讨论理论，这就离不开数学。本书数学符号的细节如下：
- \log 都代表自然对数，即以 $e=2.71828\dots$ 为底的对数。有的书籍会将此写成 \ln 。

- MSE 损失采用 $(X-Y)^2$ 定义。有的书籍会采用 $\frac{1}{2}(X-Y)^2$ 定义。如果读者还不知道 MSE 损失，可阅读第 2 章。

资源和勘误

本书的所有代码均存放于 <https://github.com/BlinkDL>，其中也会有本书的勘误与问题解答（例如，如果 Python 对中文 UTF-8 报错，解决方法在其中），以及读者的交流方式。如您发现书中的错漏之处，或遇到不清楚的地方，或有其他宝贵意见，请在此处告知笔者，笔者不胜感激。

目前知乎（<https://www.zhihu.com>）是中文网络上较为专业的交流平台，读者可在其中找到深度学习和 AI 的介绍和综述、对于最新论文的分析及相关问题的解答。读者可关笔者的知乎主页（<https://www.zhihu.com/people/bopengbopeng>），笔者会在知乎主页定期更新与 AI 相关的内容。

致谢

感谢出版社杨福川编辑和小艺编辑对本书写作和审校的大力支持。感谢设计师 PiPi 对本书插画的绘制。感谢家人和朋友对书稿的校对和建议。感谢知乎网友五柳希安、王佑、Simon 对本书内容的建议。

Contents 目 录

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 前言 | |
| 引子·神之一手 | 1 |
| 第1章 走进深度学习的世界 | 5 |
| 1.1 从人工智能到深度学习 | 5 |
| 1.2 深度神经网络的威力： 以 AlphaGo 为例 | 8 |
| 1.2.1 策略网络简述 | 9 |
| 1.2.2 泛化：看棋谱就能学会下围棋 | 11 |
| 1.2.3 拟合与过拟合 | 11 |
| 1.2.4 神经网络的速度优势 | 12 |
| 1.3 神经网络的应用大观 | 13 |
| 1.3.1 图像分类问题的难度所在 | 13 |
| 1.3.2 用神经网络理解图像 | 15 |
| 1.3.3 AlphaGo 中的神经网络 | 17 |
| 1.3.4 自动发现规律：从数据 A 到答案 B | 17 |
| 1.3.5 神经网络的更多应用 | 18 |
| 1.3.6 从分而治之，到端对端学习 | 24 |
| 1.4 亲自体验神经网络 | 25 |
| 1.4.1 TensorFlow 游乐场 | 25 |
| 1.4.2 MNIST 数字识别实例： LeNet-5 | 27 |
| 1.4.3 策略网络实例 | 28 |
| 1.4.4 简笔画：Sketch-RNN | 29 |
| 1.4.5 用 GAN 生成动漫头像 | 30 |
| 1.5 神经网络的基本特点 | 31 |
| 1.5.1 两大助力：算力、数据 | 31 |
| 1.5.2 从特征工程，到逐层抽象 | 32 |
| 1.5.3 神经网络学会的是什么 | 35 |
| 1.6 人工智能与神经网络的历史 | 36 |
| 1.6.1 人工智能的两大流派： 逻辑与统计 | 37 |
| 1.6.2 人工智能与神经网络的 现代编年史 | 37 |
| 第2章 深度卷积网络：第一课 | 42 |
| 2.1 神经元：运作和训练 | 43 |
| 2.1.1 运作：从实例说明 | 43 |
| 2.1.2 训练：梯度下降的思想 | 44 |
| 2.1.3 训练：梯度下降的公式 | 46 |
| 2.1.4 训练：找大小问题的初次尝试 | 48 |
| 2.1.5 训练：Excel 的实现 | 50 |
| 2.1.6 重要知识：批大小、mini-batch、 epoch | 51 |
| 2.2 深度学习框架 MXNet：安装和使用 | 51 |

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|----|-------------------------|-----------------------------------|-----|
| 2.2.1 | 计算图：动态与静态 | 52 | 3.1.5 | 训练的障碍：欠拟合、 过拟合 | 82 |
| 2.2.2 | 安装 MXNet：准备工作 | 53 | 3.1.6 | 训练的细节：局部极值点、 鞍点、梯度下降算法 | 83 |
| 2.2.3 | 在 Windows 下安装 MXNet | 54 | 3.2 | 神经网络的正则化 | 85 |
| 2.2.4 | 在 macOS 下安装 MXNet： CPU 版 | 57 | 3.2.1 | 修改损失函数：L2 和 L1 正则化 | 85 |
| 2.2.5 | 在 macOS 下安装 MXNet： GPU 版 | 58 | 3.2.2 | 修改网络架构：Dropout 正则化 | 86 |
| 2.2.6 | 在 Linux 下安装 MXNet | 59 | 3.2.3 | 更多技巧：集合、多任务学习、 参数共享等 | 86 |
| 2.2.7 | 安装 Jupyter 演算本 | 59 | 3.2.4 | 数据增强与预处理 | 88 |
| 2.2.8 | 实例：在 MXNet 训练神经元 并体验调参 | 60 | 3.3 | 神经网络的调参 | 89 |
| 2.3 | 神经网络：运作和训练 | 63 | 3.3.1 | 学习速率 | 89 |
| 2.3.1 | 运作：前向传播，与非线性 激活的必要性 | 63 | 3.3.2 | 批大小 | 90 |
| 2.3.2 | 运作：非线性激活 | 64 | 3.3.3 | 初始化方法 | 92 |
| 2.3.3 | 训练：梯度的计算公式 | 66 | 3.3.4 | 调参实战：重返 TensorFlow 游乐场 | 93 |
| 2.3.4 | 训练：实例 | 69 | 3.4 | 实例：MNIST 问题 | 95 |
| 2.3.5 | 训练：Excel 的实现 | 70 | 3.4.1 | 重要知识：SoftMax 层、 交叉熵损失 | 96 |
| 2.3.6 | 训练：反向传播 | 71 | 3.4.2 | 训练代码与网络架构 | 98 |
| 2.3.7 | 重要知识：梯度消失，梯度 爆炸 | 72 | 3.4.3 | 超越 MNIST：最新的 Fashion-MNIST 数据集 | 101 |
| 2.3.8 | 从几何观点理解神经网络 | 72 | 3.5 | 网络训练的常见 bug 和检查方法 | 103 |
| 2.3.9 | 训练：MXNet 的实现 | 73 | 3.6 | 网络训练性能的提高 | 104 |
| 第 3 章 深度卷积网络：第二课 | | 77 | 第 4 章 深度卷积网络：第三课 | | |
| 3.1 | 重要理论知识 | 77 | 4.1 | 卷积网络：从实例说明 | 106 |
| 3.1.1 | 数据：训练集、验证集、 测试集 | 77 | 4.1.1 | 实例：找橘猫，最原始的 方法 | 107 |
| 3.1.2 | 训练：典型过程 | 79 | 4.1.2 | 实例：找橘猫，更好的方法 | 108 |
| 3.1.3 | 有监督学习：回归、分类、 标签、排序、Seq2Seq | 79 | 4.1.3 | 实例：卷积和池化 | 108 |
| 3.1.4 | 无监督学习：聚类、降维、 自编码、生成模型、推荐 | 81 | | | |

| | | | | | |
|--------------|----------------------------|------------|-------|--|-----|
| 4.1.4 | 卷积网络的运作 | 111 | 5.1.1 | 深度学习革命的揭幕者： AlexNet | 142 |
| 4.2 | 运作：AlphaGo 眼中的棋盘 | 112 | 5.1.2 | 常用架构：VGG 系列 | 145 |
| 4.2.1 | 棋盘的编码 | 113 | 5.1.3 | 去掉全连接层：DarkNet 系列 | 147 |
| 4.2.2 | 最简化的策略网络 | 115 | 5.2 | 网络的可视化：以 AlexNet 为例 | 150 |
| 4.2.3 | 最简化的策略网络：特征层 和卷积后的结果 | 116 | 5.3 | 迁移学习：精调、预训练等 | 155 |
| 4.3 | 卷积神经网络：进一步了解 | 122 | 5.4 | 架构技巧：基本技巧 | 157 |
| 4.3.1 | 卷积核、滤波器与参数量的 计算 | 122 | 5.4.1 | 感受野与缩小卷积核 | 157 |
| 4.3.2 | 运作和训练的计算 | 123 | 5.4.2 | 使用 1×1 卷积核 | 158 |
| 4.3.3 | 外衬与步长 | 124 | 5.4.3 | 批规范化 | 160 |
| 4.3.4 | 缩小图像：池化与全局池化 | 126 | 5.4.4 | 实例：回顾 Fashion-MNIST 问题 | 161 |
| 4.3.5 | 放大图像：转置卷积 | 127 | 5.4.5 | 实例：训练 CIFAR-10 模型 | 164 |
| 4.4 | 实例：用卷积网络解决 MNIST 问题 | 128 | 5.5 | 架构技巧：残差网络与通道组合 | 169 |
| 4.4.1 | 网络架构的定义与参数量的 计算 | 129 | 5.5.1 | 残差网络：ResNet 的思想 | 169 |
| 4.4.2 | 训练 MNIST 网络 | 130 | 5.5.2 | 残差网络：架构细节 | 171 |
| 4.4.3 | 在 MXNet 运行训练后的网络 | 131 | 5.5.3 | 残差网络：来自于集合的理解 与随机深度 | 172 |
| 4.4.4 | 调参实例 | 133 | 5.5.4 | 残差网络：MXNet 实现， 以策略网络为例 | 173 |
| 4.4.5 | 在 Fashion-MNIST 数据集的 结果 | 133 | 5.5.5 | 通道组合：Inception 模组 | 174 |
| 4.5 | MXNet 的使用技巧 | 134 | 5.5.6 | 通道组合：Xception 架构， 深度可分卷积 | 177 |
| 4.5.1 | 快速定义多个层 | 134 | 5.5.7 | 实例：再次训练 CIFAR-10 模型 | 178 |
| 4.5.2 | 网络的保存与读取 | 135 | 5.6 | 架构技巧：更多进展 | 181 |
| 4.5.3 | 图像数据的打包和载入 | 135 | 5.6.1 | 残差网络进展：ResNext、 Pyramid Net、DenseNet | 181 |
| 4.5.4 | 深入 MXNet 训练细节 | 136 | 5.6.2 | 压缩网络：SqueezeNet、 MobileNet、ShuffleNet | 183 |
| 4.5.5 | 在浏览器和移动设备运行 神经网络 | 139 | 5.6.3 | 卷积核的变形 | 188 |
| 第 5 章 | 深度卷积网络：第四课 | 141 | 5.7 | 物体检测与图像分割 | 189 |
| 5.1 | 经典的深度卷积网络架构 | 142 | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----|-------------------------------|------------------------------|-----|
| 5.7.1 | YOLO v1: 实时的物体检测网络 | 190 | 7.1.1 | 棋谱数据 | 225 |
| 5.7.2 | YOLO v2: 更快、更强 | 192 | 7.1.2 | 落子模拟 | 226 |
| 5.7.3 | Faster R-CNN: 准确的物体检测网络 | 194 | 7.1.3 | 终局判断 | 226 |
| 5.7.4 | Mask-RCNN: 准确的图像分割网络 | 195 | 7.2 | 训练代码 | 227 |
| 5.8 | 风格转移 | 197 | 7.2.1 | 主程序: train.py | 227 |
| 第 6 章 AlphaGo 架构综述 200 | | | 7.2.2 | 训练参数: config.py | 233 |
| 6.1 | 从 AlphaGo 到 AlphaZero | 201 | 7.2.3 | 辅助函数: util.py | 234 |
| 6.1.1 | AlphaGo v13 与 AlphaGo v18 | 201 | 7.2.4 | 棋盘随机变换: symmetry.py | 235 |
| 6.1.2 | AlphaGo Master 与 AlphaZero | 202 | 7.2.5 | 训练实例 | 236 |
| 6.1.3 | 解决一切棋类: AlphaZero | 204 | 7.3 | 对弈实战 | 237 |
| 6.2 | AlphaGo 的对弈过程 | 205 | 第 8 章 生成式对抗网络: GAN 240 | | |
| 6.2.1 | 策略网络 | 205 | 8.1 | GAN 的起源故事 | 240 |
| 6.2.2 | 来自人类的思路 | 208 | 8.2 | GAN 的基本原理 | 242 |
| 6.2.3 | 蒙特卡洛树搜索与估值问题 | 209 | 8.2.1 | 生成模型: 从图像到编码, 从编码到图像 | 242 |
| 6.2.4 | 从快速走子估值到价值网络 | 211 | 8.2.2 | GAN 的基本效果 | 243 |
| 6.2.5 | 从搜索树看策略与价值网络的作用 | 213 | 8.2.3 | GAN 的训练方法 | 246 |
| 6.2.6 | 策略与价值网络的运作实例 | 215 | 8.3 | 实例: DCGAN 及训练过程 | 248 |
| 6.3 | AlphaGo 中的深度卷积网络架构 | 217 | 8.3.1 | 网络架构 | 248 |
| 6.4 | AlphaGo 的训练过程 | 219 | 8.3.2 | 训练代码 | 249 |
| 6.4.1 | 原版 AlphaGo: 策略梯度方法 | 219 | 8.4 | GAN 的更多架构和应用 | 255 |
| 6.4.2 | 新版 AlphaGo: 从蒙特卡洛树搜索学习 | 220 | 8.4.1 | 图像转移: CycleGAN 系列 | 255 |
| 6.5 | AlphaGo 方法的推广 | 221 | 8.4.2 | 生成高分辨率图像: nVidia 的改进 | 260 |
| 第 7 章 训练策略网络与实战 224 | | | 8.4.3 | 自动提取信息: InfoGAN | 261 |
| 7.1 | 训练前的准备工作 | 224 | 8.4.4 | 更多应用 | 264 |
| | | | 8.5 | 更多的生成模型方法 | 266 |
| | | | 8.5.1 | 自编码器: 从 AE 到 VAE | 266 |
| | | | 8.5.2 | 逐点生成: PixelRNN 和 PixelCNN 系列 | 267 |
| | | | 8.5.3 | 将 VAE 和 GAN 结合: CVAE-GAN | 268 |

| | | | |
|------------------------------|-----|---|-----|
| 第9章 通向智能之秘 | 272 | 9.4.1 超越反向传播：预测梯度 与生物模型..... | 295 |
| 9.1 计算机视觉的难度..... | 272 | 9.4.2 超越神经网络：Capsule 与 gcForest..... | 297 |
| 9.2 对抗样本，与深度网络的特点..... | 276 | 9.4.3 泛化问题..... | 300 |
| 9.3 人工智能的挑战与机遇..... | 278 | 9.5 深度学习与人工智能的展望..... | 304 |
| 9.3.1 棋类游戏电脑陷阱..... | 278 | 9.5.1 工程层面..... | 304 |
| 9.3.2 偏见、过滤气泡与道德困境..... | 280 | 9.5.2 理论层面..... | 304 |
| 9.3.3 语言的迷局..... | 283 | 9.5.3 应用层面..... | 305 |
| 9.3.4 强化学习、机器人与目标 函数..... | 286 | 跋 人工智能与我们的未来 | 306 |
| 9.3.5 创造力、审美与意识之谜..... | 290 | 附录 深度学习与 AI 的网络资源 | 310 |
| 9.3.6 预测学习：机器学习的前沿..... | 293 | | |
| 9.4 深度学习的理论发展..... | 295 | | |

引子·神之一手

2016年3月13日，韩国首尔四季酒店，Google DeepMind 人机围棋挑战赛第4局。当棋局进行到第77手，33岁的李世乭已然感到胜负的杠称又一次无比沉重地压在肩头。

没有多少人想到这一天会来得如此之快。就在1年前，电脑围棋仍停留在被职业棋手轻松让上4子的地步。但在这场举世瞩目的人机大战中，前3局过后 AlphaGo 竟取得了全胜，世界仿佛一夜之间从“AlphaGo 胜一盘就是胜利”变为了“李世乭胜一盘就是奇迹”。

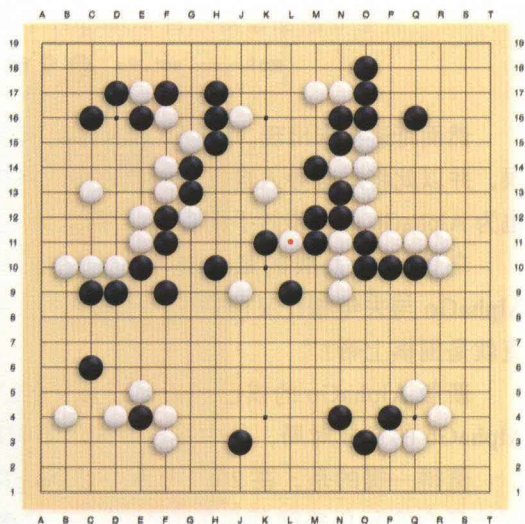
这位曾被韩国棋迷称为“不败的飞禽岛少年”，被中国棋迷称为“小李”的14次围棋世界冠军获得者，此时长考[⊖]了整整24分钟，最终在 AlphaGo 的两颗黑子之间落下了第78手“挖”（图中用红点标注，坐标为 L11）。

著名的第78手，被广誉为“神之一手”。AlphaGo 没有看见此中暗藏的杀机，不紧不慢地回应以“退”（坐标为 K10），随后仿佛被击中了软肋，在战斗中溃不成军，令所有人诧异不已。

而 DeepMind 创始人 Demis Hassabis 也在 Twitter 上感慨，第78手完全出乎 AlphaGo 的意料：

- ❑ 根据 AlphaGo 策略网络的评估，人类将第78手下在 L11 的概率小于万分之一，这令 AlphaGo 大为“惊奇”。
- ❑ 在 AlphaGo 回应以“退”之后，AlphaGo 并未知晓自己已踏入歧途，仍认为自己稳操胜券，根据价值网络（value network）的评估，认为自己的胜率达到了70%。
- ❑ 直到第87手左右，AlphaGo 才恍然大悟，发觉了自己此前的错误，对于胜率的评估一落千丈。

如果说这一切的戏剧性还不够，经过顶尖棋手在赛后的复盘分析，这神奇的第78手，实际并不成立，只是 AlphaGo 应错了，因为如果 AlphaGo 在第79手回应以“顶”（坐标为



⊖ 长考是围棋术语，意思是长长地思考。

2 ❖ 深度卷积网络：原理与实践

L10)，李世石的获胜几率仍旧渺茫。

那么，“神之一手”为何能攻破 AlphaGo 的层层防御？AlphaGo 为何在此前的对局中如此强大？又为何会突然崩溃？AlphaGo 的策略网络和价值网络是如何运作的？希望本书能让读者找到这一切的端倪。

在随后的第 5 局中，AlphaGo 依旧显示了强大的实力，最终以 4:1 获得了世纪人机大战的胜利。

而 AlphaGo 的脚步没有停止。经过 DeepMind 的不断训练与改进，2017 年 5 月，新版 AlphaGo 在浙江乌镇重出江湖。

这一次，在 AlphaGo 面前的是当今世界围棋第一人——中国的柯洁，他时年 19 岁，但已四夺世界冠军，与李世石的交战战绩是 8 比 2 领先，长期位于世界围棋积分榜首位 (<https://www.goratings.org/zh>)，可谓是代表人类棋手的最后一位勇士。

另一方面，由于 AlphaGo 具有自我进化机制，乌镇版 AlphaGo 比此前所有版本都强大。李世石在韩国解说时认为，新版 AlphaGo 比 1 年前与自己对决时又进步了 2 个子，这在围棋中已是难以逾越的天堑。

在这次对局中，柯洁展示了第一人的风采，与 AlphaGo 激烈搏杀，特别是在第 2 局的前半盘，柯洁将棋局成功导入极其复杂的局面，棋局的质量之高，令观战者纷纷表示已看不懂两位绝世高手的招法，也令 Demis Hassabis 发 Twitter 给柯洁点赞，表示柯洁的应对可谓完美。



然而奇迹再未出现。新版 AlphaGo 的棋极其灵动，算路深远无比，足以抓住对方的任何失误，并以此将局势导入自己的控制之中，将优势牢牢保持到终盘，滴水不漏。“棋圣”聂卫平也为 AlphaGo 的一步妙手而赞叹：“阿老师（AlphaGo）的招太牛了，这个我下辈子都想不到。”

乌镇人机大战的最终比分定格在了 3:0，AlphaGo 完胜。柯洁在赛后访谈中表示，AlphaGo 与去年相比又前进了一大步：“上一次它的棋还是接近人类的，而这次 AlphaGo 简直就是围棋上帝！”

新版 AlphaGo 的棋已经近乎于真正的“神之一手”。赛后 DeepMind 团队公布了 50 局 AlphaGo 的自战对局，其中变化令人目不暇接，更被顶尖棋手称为“来自未来的棋谱”。

值得一提的是，在 2017 年 9 月，DeepMind 团队与柯洁进行了复盘，显示在第 2 局中，柯洁是在实际仍略微领先的情况下过于悲观，拼得太狠，导致了连续失误，让胜负移向了 AlphaGo。确实，人类的情绪波动既是我们的优点，也是我们的缺点。机器会失误，人类也