

WILEY

	Sale	Buy	Open
Gold	5847.00	5864.51	59.83%
Platinum	5381.00	5509.78	53.80%
Silver	5774.00	51061.93	13.20%
Copper	3616.00	3837.76	58.00%
Steel	5415.00	5537.90	19.50%
Diamond	5745.00	5754.89	1.00%
Nickel	5353.00	5735.34	33.00%
Aluminum	5350.00	5354.05	18.50%
Chromium	5466.00	5267.51	9.50%
Nickel	5421.00	5651.84	7.50%
Bauxite	5730.00	5791.32	8.40%
Cotton	5112.00	5696.34	11.40%
Flax	4972.00	5782.37	7.60%
Textiles	5243.00	5913.44	36.00%
Wool	5261.00	5915.04	37.40%
Yarn	5214.00	5911.55	2.10%
Silk	5212.00	5944.11	27.50%
Silk	5272.00	5944.15	5.50%
Oil	5609.00	5913.19	33.00%
Gas	5516.00	5913.18	37.40%
Electric power	5576.00	5913.14	35.00%

Activity Learning: Discovering, Recognizing, and
Predicting Human Behavior from Sensor Data

中文版 Activity Learning

——从传感器数据中发现、识别和预测人的行为

[美] Diane J. Cook
Narayanan C. Krishnan

著

吴文国 吴林佳

译



清华大学出版社

中文版 Activity Learning

——从传感器数据中发现、识别和预测人的行为

[美] Diane J. Cook 著
Narayanan C. Krishnan

吴文国 吴林佳 译

清华大学出版社

北 京

Diane J. Cook, Narayanan C. Krishnan
Activity Learning: Discovering, Recognizing, and Predicting Human Behavior from
Sensor Data
EISBN: 978-1-118-89376-0
Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc.
All Rights Reserved. This translation published under license.

本书中文简体字版由 Wiley Publishing, Inc. 授权清华大学出版社出版。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。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2015-4849

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and
illegal.

本书封面贴有 Wiley 公司防伪标签, 无标签者不得销售。
版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

中文版 Activity Learning: 从传感器数据中发现、识别和预测人的行为 / (美) 库克
(Cook, D.J.) 等著; 吴文国, 吴林佳 译. —北京: 清华大学出版社, 2016

书名原文: Activity Learning: Discovering, Recognizing, and Predicting Human
Behavior from Sensor Data

ISBN 978-7-302-42868-8

I. ①中… II. ①库… ②吴… ③吴… III. ①数据采集 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 034923 号

责任编辑: 王 军 于 平

封面设计: 牛艳敏

版式设计: 思创景点

责任校对: 曹 阳

责任印制: 杨 艳

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京富博印刷有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 148mm×210mm 印 张: 11.5 字 数: 268 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版 印 次: 2016 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1~3500

定 价: 59.00 元

产品编号: 064475-01

译者序

活动学习是机器学习的一个比较前沿的研究领域。它是机器学习为工具，结合概率论、统计学、行为心理学和优化理论等理论，研究如何从传感器数据中识别、发现和预测人类的活动。活动学习广泛应用于医疗保健服务、浸入式游戏开发、智能住宅设计、安全和应急处理等实际问题。

本书介绍了活动学习的基本理论和实际应用。全书共 10 章，可以分为三部分。第一部分包含 1 至 4 章。主要介绍了活动学习的理论基础。第二部分包括 5、6、7 三章，属于活动学习的核心内容。介绍了活动识别的常用算法和应用技术，如何从传感器数据中发现活动模式和预测活动方法。第三部分是针对活动学习的实际应用。介绍了活动学习在健康监测和医疗保健服务、市场营销与活动感知自动化、监控与应急处理等方面的应用。最后一章介绍了未来几个极具挑战性的重大问题。

本书的特点可以用新、广、严、真四个字来描述。新是指本书介绍的内容在国内是比较新颖的。在国内，从机器学习角度介绍活动学习属于很前沿的领域。难怪我们用百度搜索“活动学习”关键字时，搜索到的信息绝大部分都是从心理学和教育角度讨论活动学习，很难找到从机器角度讨论活动学习的相关资料。这也给我们翻译带来很大困难，有些专业术语的翻译

比较难把握。仅以第4章为例，其中的软边际间隔(soft margin)、胜者全得(winner-takes-all)、元模型(meta-model)和引导样本集(bootstrap samples)，这些术语这样的译法是否合适，译者没有把握。

第二个特点是广。本书介绍的机器学习算法比较广。正如本书作者所说的，“本书的目标之一就是提供算法视野”。本书介绍了很多算法，而且这些算法具有普遍性和广泛性，它们并没有限定于某类特定的传感器或某个特定的应用情景。

第三个特点是严。本书的论述和参考文献引用很严谨。本书把理论与应用巧妙地结合起来。每个实际应用都有理论基础，而且都先详尽地介绍理论，然后再介绍应用。本书把这两者的安排恰到好处。另外，每一章之后的补充阅读材料，详细介绍了本章问题的来龙去脉，以及该问题的最新发展，而且都有详细的参考文献标注。如果读者想在该领域深入研究，则它们为读者提供极大便利。另一方面，这也是我们写论文和写书最需要学习的地方。

第四个特点是真。本书介绍的实例都来自真实的情形。而且书中的算法都是可以测试的、可验证(至少本书译者曾验证书中的几个算法，没有发现任何问题)，此外，本书提供的数据也都是来自真实情景。

虽然本书只是一二百页的译著，但也是集体协作的结晶和网络时代的产物。本书主要内容由吴文国、吴林佳翻译，此外参与翻译的还有李怀忠、陈慧灵、胡明晓、黄长城、王咏、林川、钱维金、虞铭财、苏德培、管晨霞、高波、周继良。另外，译者通过QQ和微信等工具，经常向在国外的大学同学征求意见，他们都及时给我回复和建议。在此感谢所有前面已提到和未提到的同事、同学及朋友！

虽然我们在翻译过程已尽了最大努力，但是由于译者水平有限，书中肯定还存在许多不足之处，在此恳请读者不吝赐教和批评指正。译者的电子邮件地址是 wwgnothing@sina.com。

最后也是最重要的是，要感谢清华大学出版社的编辑们，他们的敬业精神和一丝不苟的态度是我学习的榜样，也激励我在以后的翻译工作要更上一层楼！

吴文国

前 言

基于传感器数据的活动学习(activity learning)是一个已经深入到机器学习、普适计算、心理学及社会学等许多领域的研究主题。建立在收集到的传感器数据之上的活动发现技术和活动建模技术已经成熟。这些技术现在能够处理日趋复杂的场景,这些场景包括“无剧本的”活动(unscripted activities)、被中断的或相互交织的活动、实时学习、向多用户或多居住者学习等。与此同时,人们在活动学习理论方法的应用上已经取得巨大进步,可以解决真实世界的一些问题,如健康监测和住宅自动化等。

本书旨在定义从传感器数据学习活动模型的概念,并且介绍活动学习领域中的关键算法,这些算法构成了该领域的核心内容。虽然自动识别已知活动的能力得益于当前许多领域中的成就,但是我们希望活动学习的其他方面也是如此。它们包括根据未标记的数据发现行为模式,预测某个具体行为在未来某个时间发生,以及将传感器事件序列映射到预定义的活动标签上等。此外,本书还想讨论将理论方法应用于实际问题时遇到的问题,并提出这些问题的解决方法。

本书是专为想要使用活动学习方法或者想要设计活动学习方法的中级读者编写的。因此,大多数方法都是从头开始介绍的,几乎没有对读者的背景做任何假设。在理想情形下,本书

为研究人员、大学生、研究生或者想把这些方法应用到自己实际工作中的实践者们提供一些有用的背景知识和指导。

理解活动学习方法的最好办法就是分析活动传感器数据，测试现有可用的工具，并编写自己的代码。为了帮助读者完成这一过程，我们在书中提供了许多方法的源代码。同时也向读者提供许多可用的活动传感器数据集。本书所有相关的材料都可以在网站 <http://eecs.wsu.edu/~cook/albook/> 上找到。

另外，非常感谢那些在本书编写过程中给我们提供过帮助的人们。Jacqueline Southwick 向我们提供本书的活动照片；Kyle Elsalhi 和 Anthony Simmons 的研究团队生成了基于体感的运动历史图像。许多人帮助我们收集本书中的数据并对本书的初稿提出反馈意见。他们是 Larry Holder、Maureen Schmitter-Edgecombe、Aaron Crandall、Brian Thomas、Yasmin Sahaf、Kyle Feuz、Prafulla Dawadi、Ehsan Nazerfard、Bryan Minor、Adriana Seelye、Carolyn Parsey、Jennifer Walker、Alyssa Weakley、Sue Nelson、Thomas Cowger、Selina Akter 和 Prasanth Lade。Wiley 出版社的编辑在整个编写过程中给我们提供了宝贵的指导意见，对此我们深表谢意。最后但同样重要的是，我们想感谢我们的同事、朋友以及家人，他们自始至终支持我们的努力。Diane 想感谢她的家人，Larry、Abby 和 Ryan，他们用好的想法、鼓励的语言和大量的幽默促使她继续前进，她把这本书献给他们。Narayanana 同样想把本书献给他的家人——Krishnan、Geetha 和 Karthik，感谢他们一直以来给予的鼓励和支持。

Diane J. Cook
Narayanan C. Krishnan

目 录

第 1 章 引言	1
第 2 章 活动	7
2.1 活动的定义	7
2.2 活动的分类	10
2.3 补充阅读	10
第 3 章 传感技术	15
3.1 用于活动学习的传感器	16
3.1.1 环境传感器	16
3.1.2 可随身佩戴的传感器	21
3.2 传感器数据集样本	22
3.3 特征量	26
3.3.1 序列特征量	28
3.3.2 离散事件特征量	30
3.3.3 统计特征量	34
3.3.4 谱特征量	43
3.3.5 活动背景的特征量	45
3.4 多传感器融合	46
3.5 补充阅读	51

第4章 机器学习	55
4.1 监督学习	55
4.2 朴素贝叶斯分类器	60
4.3 高斯混合模型	65
4.4 隐马尔可夫模型	68
4.5 决策树	73
4.6 支持向量机	76
4.7 条件随机场	84
4.8 分类器的组合模型	86
4.8.1 提升	86
4.8.2 袋化	88
4.9 降维技术	89
4.10 补充阅读	98
第5章 活动识别	101
5.1 活动分割	103
5.2 滑动窗口	109
5.2.1 时基窗口分割	110
5.2.2 基于大小的窗口分割	111
5.2.3 给窗口内的事件分配权值	113
5.2.4 动态窗口大小	119
5.3 无监督分割	121
5.4 性能测量	126
5.4.1 基于分类器的活动识别性能指标	129
5.4.2 基于事件的活动识别性能指标	135
5.4.3 评估活动识别的实验框架	139
5.5 补充阅读	141

第 6 章 活动发现	145
6.1 零样本学习	147
6.2 序列挖掘	149
6.2.1 基于频率的序列挖掘	151
6.2.2 基于压缩比的序列挖掘	153
6.3 聚类	159
6.4 主题模型	162
6.5 性能测量指标	165
6.6 补充阅读	169
第 7 章 活动预测	171
7.1 活动序列预测	172
7.2 活动预报	180
7.3 基于概率图的活动预测	186
7.4 基于规则的活动时序预测	189
7.5 性能测量	193
7.6 补充阅读	200
第 8 章 活动学习存在的实际问题	203
8.1 收集带标签的传感器数据	203
8.2 迁移学习	217
8.2.1 实例迁移和标签迁移	222
8.2.2 无共生数据的特征迁移	226
8.2.3 有共生数据的知情特征迁移	228
8.2.4 用教师-学生模型实现共生数据的不知情特征迁移	230
8.2.5 用特征空间对齐方法实现共生数据的不知情特征 迁移	232
8.3 多标签学习	233

X 中文版 Activity Learning——从传感器数据中发现、识别和预测人的行为

8.3.1 问题变换	236
8.3.2 标签相关性利用	238
8.3.3 多标签学习算法的性能评估	244
8.4 多个体的活动学习	246
8.4.1 学习群体活动	246
8.4.2 训练一个测试多个	251
8.4.3 分离事件流	254
8.4.4 跟踪多用户	258
8.5 补充阅读	261
第 9 章 活动学习的实际应用	267
9.1 健康	267
9.2 活动感知服务	271
9.3 安全与应急处理	274
9.4 活动重构、表示和可视化	275
9.5 分析人类的动态行为	282
9.6 补充阅读	287
第 10 章 活动学习的未来	291
附录 A 活动样本数据	297
附录 B 参考文献	323

第1章

引言

一切的成长都有赖于活动。

——卡尔文·库利奇

我们经常在我们活动的模糊区域里徘徊，只是想提醒自己人类活动不是一个孤岛。

——朱利安·巴吉尼

人们喜欢砍柴，因为砍柴的效果是立竿见影的。

——阿尔伯特·爱因斯坦

最可怕的事莫过于做任何活动时没有洞察力。

——托马斯·卡莱尔

重复的行为造就了我们。

——亚里士多德

学习与理解被观测的活动是许多研究领域的核心问题。个体的活动不仅会影响个体自己，还会影响个体周围的人、社会和环境。过去，关于行为和活动的理论是以有限的观测数据为基础的，但是在最近十多年时间里，由于传感技术的成熟，使得活动学习的自动实现成为可能。一方面传感器已变得小型化、低功耗、低成本和高性能，另一方面，我们已见证了无线网络、数据处理、机器学习等领域里的飞速发展。这些进步促使研究人员将注意力从低端的数据收集和数据传输转移到高端的信息收集、信息推断(inference)和信息识别。

活动学习在智能代理(intelligent agent)的设计中起着关键作用。Russell 和 Norvig 将智能代理定义为一个通过传感器能够感知环境同时通过激励器(actuator)能够作用于环境的实体。本书介绍的技术给智能代理这个概念增加了智能感知和活动感知的成分，如图 1-1 所示。传感器获得并保存个体状态和它所处环境等原始数据。活动学习代理(activity learning agent)对这些原始数据进行分析处理，即进行推断，并用可识别的活动描述它们。然后利用活动模式做出一个比较明智的决策，这些决策有关我们以何种方式改变环境，从而实现活动学习代理的目标。

由于活动学习的技术已变得越来越“健壮”，因此，自动建模和活动跟踪成为众多实际问题的解决方案的一个不可缺少的部分。例如，为了对付恐怖分子，监视(surveillance)和安全系统想尽办法识别和预测恐怖活动。辅助周边生活环境(ambient-assisted living)系统利用活动发现和监测技术为认知障碍和残疾人士提供独立生活的条件。活动感知服务(activity-aware service)已经将智能会议室和自动住宅(家庭)、个人数字助手等想法从科幻小说转变为日常生活里的一部分。最近，活动学习

出现在游戏控制台程序和智能手机健身 App 等产品的核心部件里。



图 1-1 活动学习在智能代理的设计过程中所起的作用

在技术和应用相互促进下,设计和应用活动学习的项目,无论是在数量上还是在多样性上都呈现爆炸式增长。活动发现和活动识别等技术出现在可以用照相机、人体传感器、智能电话和智能建筑物获取数据的情景里。现在,有些会议的整个议程和一些期刊的整个版面都用来报道该领域里的最新进展。在过去三年多时间里,有几十个工作室专门对活动识别进行研究。人们对该领域的兴趣和热情方兴未艾。

本书的目的是向读者深入介绍基于传感器数据的活动学习方法和算法实现。这里的活动学习是指活动处理整个过程的若干个方面,包括从传感器数据抽取特征量,用这些特征量构建活动模型,此外还包括在离线模式或流模式下从传感器数据中学习活动的概念和识别活动。一方面我们要从已标志的数据中学习活动的概念,另一方面,也要从未标志的数据中自动发现活动模式,这些内容将在本书中详细介绍。活动学习的第三方

面的主要内容是活动预测,即预测发生在未来某个时间点的活动。

本书从实用角度介绍活动学习的主要方法和算法。由于本书将重点放在计算方法上,因此本书为读者提供了一个算法视角(algorithmic perspective)。本书用伪代码详细介绍算法,并用源代码介绍这些算法的实现过程。此外,我们以来自真实世界的传感器数据为样本,介绍这些算法的应用。

需要指出的是,作者希望本书成为一本算法参考书。因此,本书算法的编写尽可能独立于某个特定传感器设备或某一类设备。诚然,本书里的算法所使用的数据实例来源于某个特定类型的传感器,如环境传感器、智能手机传感器或照相机里的传感器,但是用来表示和识别数据的特征量都可以从各种低端数据收集源提取或抽象出来。现在简单介绍本书其余几章的主要内容。

第2章介绍本书用到的术语。这一章给出了动作(actions)、交互(interaction)、活动(activity)等术语的定义以及它们之间的相互关系。该章还讨论了活动的分类和活动本体(activity ontology)的生成方法。

第3章介绍常用于观测活动和学习活动的传感器。除了介绍传感器类型和性能外,该章还介绍如何从低级传感器数据中提取高级特性。

第4章介绍机器学习方法,这些方法应用于本书的其余章节中。除了监督分类方法外,该章还讨论了降维方法,当需要从高维传感器数据中学习活动时降维方法特别有价值。

第5章介绍活动识别的基本概念和方法。此外,还介绍如何将数据分割为不同的活动,如何处理流数据。该章还介绍活动学习的性能指标(performance metric),这些指标用来评估和比较不同的活动识别算法。

第6章介绍从传感器数据中发现活动模式的算法,包括零样本学习(zero-shot learning)、序列挖掘(sequence mining)、聚类(clustering)和主题模型(topic model)。该章还归纳了评估活动发现结果的测量方法。

第7章讨论活动预测。活动预测包括识别活动序列中的下一个活动,和预测某个特定活动下一次发生的时间点。与前两章的活动识别和活动发现一样,该章也介绍了评估活动预测性能的指标。

第8章介绍真实世界里的活动学习。这是指当我们将活动学习应用在复杂的真实情景里时,解决所遇到的问题需要用到的计算方法。这些问题包括如何获取高质量的带标签(labeled)的活动传感器数据,如何将数据或学习到的活动模型转移到新用户和新情景,如何将传感器序列映射到多个传感器标签上(sensor label),以及如何在多个体的情景里学习活动。

第9章概述活动学习在实际中的应用,这是当前研究者非常关注的问题。同时介绍了当前正在进行的研究项目,它们包括将活动识别应用于健康监测和干涉,市场营销与活动感知自动化,监控与紧急管理,以活动角度描述日常活动,以及分析整个人口的人体动力学。

第10章是本书的总结。该章提出活动学习中遇到几个极具挑战性的重大问题,并介绍活动学习在其他领域里的应用。

此外,本书还包括其他补充材料,如每章的最新内容、数据集、本书介绍的算法的实现程序、其他工具的连接地址、网络正在进行的活动学习研究项目。这些资源都可以在 <http://eecs.wsu.edu/~cook/albook> 网站上找到。