



# 总结课 | 贝叶斯学习的模型体系

2018-09-08 王天一

机器学习40讲

[进入课程 >](#)



讲述：王天一

时长 08:06 大小 3.26M



在今天这篇总结中，我将对贝叶斯机器学习中涉及的模型做一个系统的梳理。虽然这个模块的主题是概率图模型，内容也围绕着概率图的三大问题——表示、推断和学习展开，但概率图归根结底是手段，其目的是**将概率分布用图结构表示出来，进而从贝叶斯定理出发，从概率角度解决机器学习的问题**。因此从宏观的角度来对概率模型加以整理是很有必要的。

**概率模型基本上都属于生成模型，它们可以建模数据的生成机制，这和统计机器学习以判别模型为主的特色形成鲜明的对比。**在统计学习中，几乎所有模型都可以追溯到线性回归的演化，在贝叶斯学习里，起到万物之源作用的是具有最大不确定性的**高斯分布**，对高斯分布的不同处理方式决定了不同的数据生成方式。

在观察高斯分布的演化时，不妨先从外部入手。最简单的外部拓展方法就是混合，将多个不同数字特征的高斯分布混杂在一起，先按一定概率抽取成分，再根据选定的成分分布生成数

据，这种生成模型就是**高斯混合模型**。在高斯混合模型里，决定每个时刻的观察结果到底来自哪个成分的变量不能被直接观测，因而是隐变量。

除了横向意义上的混合之外，纵向意义上的时序也是外部演化的常见手段，这相当于在数据序列中引入马尔可夫性。如果给高斯混合模型中的隐变量添加时序关系，让下一时刻的状态依赖于这一时刻的状态，就形成了**隐马尔可夫模型**。如果隐马尔可夫模型的状态数目从有限扩展到无穷多，又形成了**线性动态系统**。

看完了外部拓展，再来看看内部拓展。**贝叶斯模型的内部改进与统计模型类似，无外乎非线性化、局部化和稀疏化三种方式**。非线性化改造容易理解，它是将状态转移和状态到观测的关系建模为非线性关系，可以得到非线性动态系统。但这类非线性系统难以求出解析解，也得进行线性的近似。

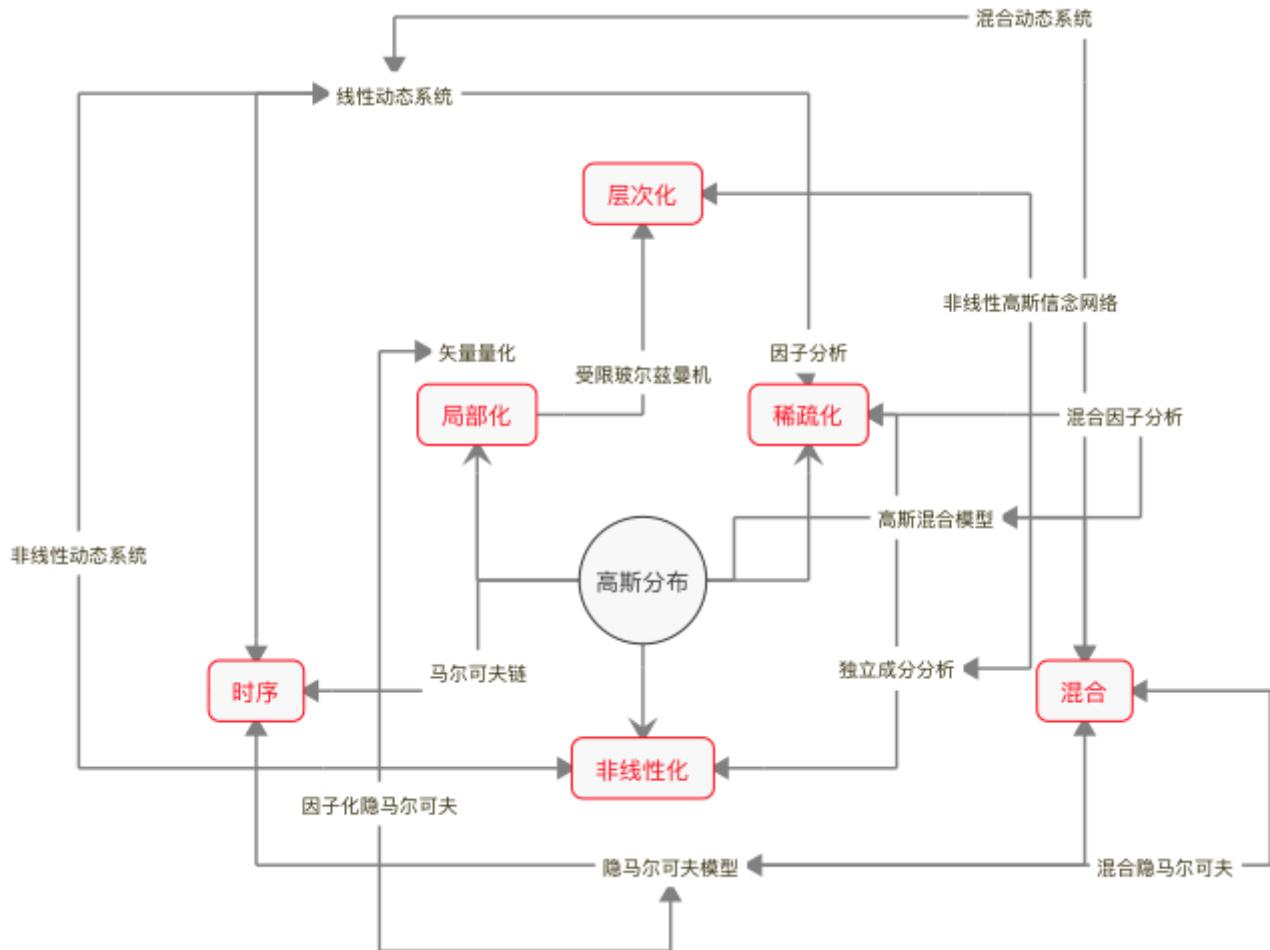
在概率模型中，稀疏化，也就是降维的最典型方法是**因子分析** (factor analysis)。因子分析的任务是构造因子模型，将去均值后的观测结果表示成一组公因子 (common factor) 的线性组合。比如在分析学生的成绩时，物理 / 化学 / 生物这几门课程之间会存在较强的相关性，政治 / 历史 / 地理这几门课程也会存在较强的相关性，物理 / 政治、化学 / 历史之间的相关性就会较弱，这样的相关关系就可以用理科和文科两个互不相关的公因子来刻画。

不难看出，公因子的作用类似高斯混合模型中的隐变量，但它可以起到降维的作用，前面介绍过的**主成分分析**就可以看成是因子分析的一种实现方式。如果对线性的因子分析做非线性处理，得到的就是**独立成分分析**。独立成分分析并不强制要求所有源信号以线性方式混合，因而可以作为非线性模型出现。

概率模型的局部化并非将整个定义域上的概率分布打散成若干局部的组合，而是直接一步到位地进化到分布式表示，其直接的结果是**矢量量化** (vector quantization)。矢量量化和统计学习中的聚类类似，将它添加一个隐藏层就是**自编码器**。如果将矢量量化的编码结果进行层次化的堆叠，那就形成了**玻尔兹曼机**——深度学习的早期模型之一。

高斯分布演化出来的模型可以作为基础模型应用到外部的组合中。比如对独立成分分析的结果进行层次化组合，可以得到非线性的高斯网络；对多个隐马尔可夫模型进行混合，可以得到混合隐马尔可夫模型；给矢量量化过程引入时序，实现的又是因子化的隐马尔可夫模型。正所谓一生二、二生三、三生万物，有了基础模型和基本方法，各种复杂的模型就都可以被串联起来。

关于这些具体模型的推断与学习方法推荐阅读发表在《神经计算》(Neural Computation) 第 11 卷第 2 期上的文章《线性高斯模型的大一统综述》(A Unifying Review of Linear Gaussian Models) , 这是一篇非常好的综述文章。



贝叶斯学习模型鸟瞰图

从概率图模型和贝叶斯机器学习的体系出发，我向你推荐以下的参考书。

[《贝叶斯方法》 \(Bayesian Methods for Hackers\)](#) , 卡梅隆·戴维森 - 皮隆 (Cameron Davidson-Pilon)

[《贝叶斯思维》 \(Think Bayes\)](#) , 艾伦·唐尼 (Allen B. Downey)

这两本书是贝叶斯概率理论的入门读物，它们不像学院派的教材那样用冗长的公式和复杂的符号让人望而却步，而是通过更加贴近生活的实例来传递贝叶斯理论的核心要义，读起来比较轻松。这两本书能带给你关于贝叶斯直观而感性的认识，让艰深的理论看起来没那么晦涩。

《贝叶斯统计方法》 (Doing Bayesian Data Analysis) , 约翰·克鲁斯克 (John K. Kruschke)

《贝叶斯数据分析》 (Bayesian Data Analysis) , 安德鲁·格尔曼等 (Andrew Gelman, et. al.)

这两本书是将贝叶斯的思想用于统计学和数据分析的进阶读物, 其中前者侧重于贝叶斯的统计学, 后者侧重于贝叶斯的数据分析, 与机器学习结合得更加紧密。和前面两本小书相比, 这两本称得上是大部头, 两者结合形成了对贝叶斯概率应用的全面图景。

《概率图模型》 (Probabilistic Graphical Models) , 达芙妮·科勒 & 尼尔·弗里德曼 (Daphne Koller, Nir Friedman)

《贝叶斯推理与机器学习》 (Bayesian Reasoning and Machine Learning) , 大卫·巴伯 (David Barber)

如果说上面两本书是大部头, 那《概率图模型》就称得上皇皇巨著了。和《机器学习: 概率视角》一样, 它也是适用于有问题时查阅的百科全书式教材, 当作教材的体验并不理想。后面这一部虽然篇幅小了很多, 难度却不遑多让。但这两本大书都是干货满满, 如果能花时间深入学习, 定能带你从量变走向质变。

行文至此, 机器学习这个专栏已经走到尾声。这 40 篇文章是否带给你些许收获, 你又对机器学习产生了哪些新的认识呢? 欢迎你留言和我讨论。



# 机器学习 40讲

— 帮你打通机器学习的任督二脉 —

王天一 工学博士，副教授



新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 40 | 结构学习：基于约束与基于评分

下一篇 结课 | 终有一天，你将为今天的付出骄傲

## 精选留言 (4)

写留言



吕胜

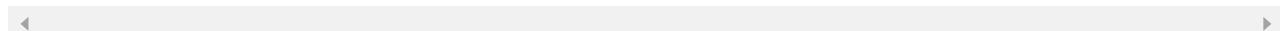
2018-09-09

3

老师可以开专栏继续讲解深度学习的理论

展开 ▼

作者回复：深度学习在理论上其实无甚稀奇，都是机器学习里的冷饭，但其中的算法确实精妙。



Wang

2019-03-01

1

老师认为最大熵模型属于概率图模型这一类别吗？如果不是那应该属于什么呢？

希望老师能百忙之中抽出宝贵的时间回答下

---



林彦

2018-09-14



建议可以在某个细分领域，比如对自然语言处理，图像或语音的应用案例做一些方法和算法的讲解。

---



zhoujie

2018-09-11



强烈推荐来专栏针对深度学习的进阶课程

展开 ▼