

Lecture 1

事件与概率

课程内容

- // 先修课程: 微积分, 多元微积分
- // 本课程是概率论与数理统计的入门课程, 将向初学者介绍: 概率论, 统计推断和随机过程; (1) 概率论: 概率空间, 事件与概率, 条件概率, 随机变量, 多元随机变量, 随机变量的期望与方差, 大数定理与中心极限定理 (2) 统计推断: Bayes 估计, 极大似然估计, 样本估计量及其分布, 假设检验 (3) 随机过程: 平稳随机过程, 宽平稳随机过程, Markov 链及其应用
- // 教学参考书目以及讲稿等课程相关内容可在课程中心或是 <https://scistats.github.io/> 找到

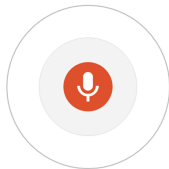
作业与评估

- // 课程时间: 周二（单）, 周四; 上午 1-2 节, J3-311.
- // 助教答疑: 助教主要负责批改平时作业并答疑, 答疑时间待定.
- // 习题解答: 助教应在每次作业批改前认真解答习题, 并在批改之后将参考解题过程提交到网上供学生参考
- // 平时作业: 由学习委员收齐后, 在安排的答疑时间交给助教, 对于无故或是以不可接受的理由而缺交或迟交作业的同学, 助教将参考如下规则扣除其作业分 ----- 缺交一次作业扣 2 分, 迟交一次作业扣 1 分, 平时作业缺交（或迟交）扣分总和不超过 10 分.
- // 评估方法: 平时作业 (10%) + 期末考试 (90%). 闭卷考试.

概率与不确定性

几个常见例子:

- // 在一个计算机网络系统中，网络出现拥挤的概率有多大？
- // 同一生产线生产的某产品，其合格率如何估计？
- // 如何使用随机模型估算基于股票走势的金融产品的价格？
- // 某一机构为客户提供服务，怎样分配资源才能让服务更有效？
- // Google 搜索引擎是如何对页面进行排序的？
- // 语音识别系统如何使用概率模型对音频序列进行识别？



集合

定义 集合是由一些对象组成的，这些对象称为集合的元素. 如果 S 是一个集合并且 x 是 S 的一个元素，我们写作 $x \in S$. 反之则写作 $x \notin S$. 空集记为 \emptyset .

例题 $S = \{x_1, x_2\}$ 是一个有限集. $S = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ 是一个可数集合. $S = \{x | 0 \leq x \leq 1\}$ 是区间 $[0, 1]$ 中所有实数组成的集合，这是一个不可数集合.

定义 如果集合 S 的元素同时也属于 T ，我们就称 S 是 T 的子集，并记为 $S \subset T$. 如果 $S \subset T$ 并且 $T \subset S$ ，那么 $S = T$.

例题 包含所有元素的集合称是一个全集 Ω . 全集的定义取决于所考虑的问题. 当全集给定之后，所有集合都是全集的子集，特别地 \emptyset 是全集的子集.

集合的运算

集合 S 的余集

$$S^c = \{x | x \notin S\} = \Omega \setminus S$$

并集

$$S \cup T = \{x | x \in S \text{ 或者 } x \in T\}$$

$$\bigcup_{k=1}^n S_k = \{x | x \in S_k \text{ 对某个 } k\}$$

交集

$$S \cap T = \{x | x \in S \text{ 并且 } x \in T\}$$


$$\bigcap_{k=1}^n S_k = \{x | x \in S_k \text{ 对所有 } k\}$$

一些相关性质 (其中 Ω 为全集)

$$\begin{aligned}S \cup T &= T \cup S, & S \cup (T \cup U) &= (S \cup T) \cup U \\S \cap (T \cup U) &= (S \cap T) \cup (S \cap U), & S \cup (T \cap U) &= (S \cup T) \cap (S \cup U) \\(S^c)^c &= S, & S \cap S^c &= \emptyset \\S \cup \Omega &= \Omega, & S \cap \Omega &= S\end{aligned}$$

定理 (De Morgan's Law) 对任意集合 S_1, \dots, S_n , 我们有

$$\left(\bigcup_{k=1}^n S_k \right)^c = \bigcap_{k=1}^n S_k^c, \quad \left(\bigcap_{k=1}^n S_k \right)^c = \bigcup_{k=1}^n S_k^c$$

■ 我们证明第一个等式. $x \in (\bigcup S_k)^c \iff x \notin \bigcup S_k \iff x \notin S_k$
对所有 $k \iff x \in S_k^c$ 对所有 $k \iff x \in \bigcap S_k^c$. 

排列组合知识点复习

// n 个不同对象的不同的排列方法总数为: $n!$

// 从 n 个不同对象中选择 k 个进行排列, 不同的排列方法总数为:

$$\frac{n!}{(n-k)!}$$

// 从 n 个不同对象中任选 k 个 (不计顺序) 的方法总数为:

$$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!}$$

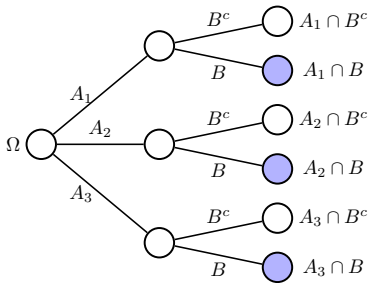
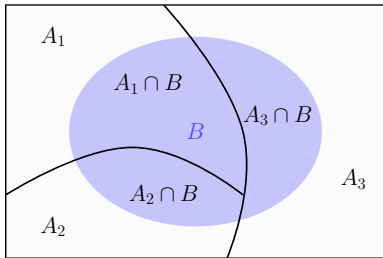
// 将 n 个不同对象划分为 r 组 (不计顺序), $n = n_1 + n_2 + \dots + n_r$, 那么不同的方法总数为:

$$C_n^{n_1, n_2, \dots, n_r} = \frac{n!}{n_1! n_2! \cdots n_r!}$$

概率模型

概率模型由样本空间和概率组成. 样本空间是所有实验结果的集合. 样本空间的子集称为事件. 概率则是集合上的函数, 它赋予每一个事件一个非负数.

很多概率模型可以通过图形或是树形结构来表示:



样本空间

例题 在一次游戏中，玩家连续投掷一个硬币 10 次. 每次出现正面，玩家赢得 1 元.

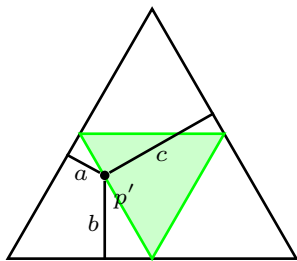
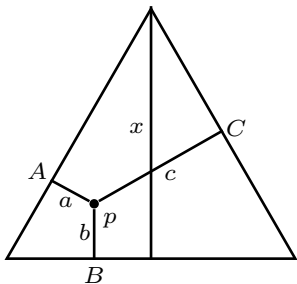
■ 在这个游戏中，影响到游戏结果的是正面出现的个数. 令 s_k ($k = 0, \dots, 10$) 表示在 10 次连续投掷中正面出现 k 次的事件. 那么我们可以定义样本空间为 $\Omega = \{s_1, \dots, s_{10}\}$. //

例题 在一次游戏中，玩家连续投掷一个硬币 10 次.. 当第一个正面出现时，玩家赢得 1 元. 当第二个正面出现时，玩家赢得 2 元. 以此类推.....

■ 在这个游戏中正面出现的次数以及何时出现都将影响到游戏结果. 因此合适的样本空间应该包括所有可能出现的 10-投掷序列. //

例题 将一根长度为 x 的木棍分为三段，它们正好组成一个三角形的概率是多少？

■ 提示: 考虑一个高为 x 的等边三角形. 从该三角形的内部任意一点 p 向三边作垂线. 三条垂线段对应着一个分割木棍的方法. 注意到在图形中 $x = a + b + c$. a, b, c 能组成一个三角形当且仅当 p 点位于绿色三角形中, 绿色三角形是通过连接三边中点形成的. 所以所求的事件概率为 $1/4$.



概率公理

给定样本空间, 概率律将赋予每一个事件 A 一个非负数 $P(A)$, 称之为事件 A 的概率. 概率律应满足一下公理

// $P(A) \geq 0$;

// $P(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n) = \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n)$ 如果 A_n 互不相交, 即. $A_i \cap A_j = \emptyset$ 如果 $i \neq j$;

// $P(\Omega) = 1$.

例题 假设 $C_n, n = 1, \dots, N$ 为互不相交的集合, 即, $C_i \cap C_j = \emptyset$ 对于 $i \neq j$, 那么

$$P\left(\bigcup_{n=1}^N C_n\right) = \sum_{n=1}^N P(C_n).$$

■ 取 $A_n = C_n$, 如果 $n = 1, \dots, N, A_n = \emptyset$ 如果 $n > N$. 然后对 $A_1, A_2, \dots, A_n, \dots$ 运用概率公理.



从概率公理可以推出一些简单的性质，它们可以通过图形直接验证：

// $P(\emptyset) = 0$

$$P(\Omega) = P(\Omega \cup \emptyset) = P(\Omega) + P(\emptyset) = 1 + P(\emptyset)$$

// 由于 $\Omega = A \cup A^c$, 总有 $P(A^c) = 1 - P(A)$

// 如果 $A \subset B$, 那么 $P(A) \leq P(B)$

$$P(B) = P(A \cap B) + P(A^c \cap B)$$

// $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

注意到 $A \cup B$ 可以写成两个不相交集合并集 $A \cup B = B \cup (A \cap B^c)$, 因此

$$\begin{aligned} P(A \cup B) &= P(B) + P(A \cap B^c) \\ &= P(B) + P(A) - P(A \cap B) \end{aligned}$$

$$\text{// } P(A \cup B) \leq P(A) + P(B)$$

$$\text{// } P\left(\bigcup_{n=1}^N A_n\right) \leq \sum_{n=1}^N P(A_n)$$

$$\text{// } P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(A^c \cap B) + P(A^c \cap B^c \cap C)$$

例题 投掷两个硬币并假设样本空间 $S = \{HH, HT, TH, TT\}$ 中的每一个事件是等概率的, 即. $\frac{1}{4}$. 令

$$E = \{\text{第一个硬币显示正面}\}$$

$$F = \{\text{第二个硬币显示正面}\}$$

试计算 $P(\{\text{至少有一个硬币显示正面}\})$.

■ 直接计算

$$P(\{\text{至少有一个硬币显示正面}\}) = P(\{HH, HT, TH\}) = \frac{3}{4}.$$

或者运用概率的性质

$$\begin{aligned}P(\{\text{至少有一个硬币显示正面}\}) &= P(E \cup F) \\&= P(E) + P(F) - P(E \cap F) \\&= P(\{HH, HT\}) + P(\{HH, TH\}) - P(\{HH\}) \\&= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}.\end{aligned}$$



例题 水电公司希望对水电需求进行预先规划. 为此工程人员将水需求量标记在 X 轴上, 而将电需求量标记在 Y 轴上. 假设水的需求通常在 0 至 200 单位之间, 而电需求量则在 0 至 150 之间. 那么水电需求量分布在平面上的一个矩形区域里. 假设任何一个水电需求量事件 E 的发生概率等于事件所占区域面积与总水电分布区域面积的比值. 试求出用水量 and 用电量都至少在 100 以上的区域概率.



令

$$A = \{\text{用水量至少在100以上的区域}\}$$

$$B = \{\text{用电量至少在100以上的区域}\}$$

由题设 $P(A) = (200 - 100) / 200 = 0.5$,

$$P(B) = (150 - 100) / 150 \approx 0.3,$$

$$P(A \cap B) = \frac{(200 - 100) \cdot (150 - 100)}{200 \cdot 150} \approx 0.15$$

因此

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \approx 0.65$$



概率为零并不表明不可能发生

并集的概率

定理 对任意集合序列 $\{A_i\}_{i=1}^n$, 下列公式成立

$$\begin{aligned} P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) &= \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i < j \leq n} P(A_i A_j) \\ &\quad + \sum_{i < j < k \leq n} P(A_i A_j A_k) - \cdots \\ &\quad + (-1)^{n+1} P(A_1 A_2 \dots A_n) \end{aligned}$$

■ 用归纳法证明. 假设定理对 n 成立, 希望证明 $n+1$ 时上式仍然成立, 也就是, 需要证明

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{n+1} A_i\right) = \sum_{i=1}^{n+1} P(A_i) - \sum_{i < j \leq n+1} P(A_i A_j)$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i < j < k \leq n+1} P(A_i A_j A_k) - \cdots \\
& + (-1)^{n+2} P(A_1 A_2 \cdots A_{n+1})
\end{aligned}$$

为此, 我们用 I_{RHS} 表示上面等式的右侧, 希望证明

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{n+1} A_i\right) = I_{RHS}.$$

用 I_{n+1} 表示 I_{RHS} 不含有 $n+1$ 的各项之和, J_{n+1} 表示 I_{RHS} 含有 $n+1$ 的各项之和. 那么 $I_{RHS} = I_{n+1} + J_{n+1}$, 运用对 n 个集合并集时的归纳假设容易看出

$$I_{n+1} = P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right)$$

而

$$J_{n+1} = P(A_{n+1}) - \sum_{i < n+1} P(A_i A_{n+1})$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i < j < n+1} P(A_i A_j A_{n+1}) - \cdots \\
& + (-1)^{n+2} P(A_1 A_2 \cdots A_{n+1}).
\end{aligned}$$

进一步地观察并再次运用对 n 个集合并集时的归纳假设可以看出, J_{n+1} 中除去第一项后余下的部分 (连同符号) 等于

$$-P\left(\bigcup_{i=1}^n (A_i \cap A_{n+1})\right) = -P\left(\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) \cap A_{n+1}\right).$$

换言之

$$J_{n+1} = P(A_{n+1}) - P\left(\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) \cap A_{n+1}\right).$$

这样我们证明了

$$I_{RHS} = I_{n+1} + J_{n+1}$$

$$\begin{aligned}
&= P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) + P(A_{n+1}) - P\left(\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) \cap A_{n+1}\right) \\
&= P\left(\bigcup_{i=1}^{n+1} A_i\right).
\end{aligned}$$



例题 现有 n 张写有不同数字的卡片, 对应每一张卡片都有 1 个信封, 它内侧写有一个与对应卡片相同的数字. 现在将 n 张卡片随机地放入信封, 至少有一张卡片装入与之对应信封的概率是多大?

■ $A_i = \{\text{第 } i \text{ 张卡片放入正确的信封}\}$, 那么我们需要计算 $P(\bigcup_{i=1}^n A_i)$. 这需要用到并集的概率公式. 首先 $P(A_i) = \frac{1}{n}$, 于是

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = n \cdot \frac{1}{n} = 1.$$

当 $i < j$, $P(A_i A_j) = \frac{1}{n(n-1)}$, 于是

$$\sum_{i < j \leq n} P(A_i A_j) = C_n^2 \cdot \frac{1}{n(n-1)} = \frac{1}{2!}.$$

当 $i < j < k$, $P(A_i A_j A_k) = \frac{1}{n(n-1)(n-2)}$, 于是

$$\sum_{i < j < k \leq n} P(A_i A_j A_k) = C_n^3 \cdot \frac{1}{n(n-1)(n-2)} = \frac{1}{3!}.$$

以此类推, $P(A_1 A_2 \dots A_n) = \frac{1}{n(n-1)(n-2) \dots 1} = \frac{1}{n!}$. 所以

$$P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = 1 - \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} - \dots + (-1)^{n+1} \frac{1}{n!} = 1 - e^{-1}.$$



条件概率

条件概率是在有限的信息中对事件概率的估计

定义 在事件 B 发生的条件下, 事件 A 发生的概率, 记为 $P(A|B)$, 定义为

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, P(B) > 0.$$

$P(A|B)$ 没有定义, 如果 $P(B) = 0$. 非负数 $P(A|B)$ 则称为事件 A 在事件 B 发生时的条件概率

条件概率是一个概率律

定理 如果 $P(B) > 0$, 那么 $P(\cdot|B)$ 概率公理中的所有条件.

■ (i)

$$P(\Omega|B) = \frac{P(\Omega \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B)}{P(B)} = 1;$$

(ii) 对任意的事件集 A_n , 总有

$$\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n\right) \cap B = \bigcup_{n=1}^{\infty} (A_n \cap B).$$

特别地, 如果 A_n 互不相交, 那么

$$\begin{aligned} P\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n \middle| B\right) &= \frac{P(\bigcup_{n=1}^{\infty} (A_n \cap B))}{P(B)} \\ &= \frac{\sum_{n=1}^{\infty} P(A_n \cap B)}{P(B)} = \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n|B). \end{aligned}$$

乘法法则

定理 如果 $P(B) > 0$, 那么 $P(A \cap B) = P(B) P(A|B)$.

定理 如果 $P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1}) > 0$, 那么

$$\begin{aligned} & P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_n) \\ &= P(A_1) P(A_2|A_1) P(A_3|A_1 \cap A_2) \dots P(A_n|A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1}). \end{aligned}$$

■ 右侧公式为

$$P(A_1) \frac{P(A_1 \cap A_2)}{P(A_1)} \frac{P(A_1 \cap A_2 \cap A_3)}{P(A_1 \cap A_2)} \dots \frac{P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_n)}{P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1})}.$$

由于 $P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1}) > 0$, 上式中所有分母必须为正数.

例题 一个盒子中装有 $r \geq 2$ 个红球和 $b \geq 2$ 个蓝球. 任取 4 个球并不再放回. 令 $R_j = \{\text{第}j\text{次取出的为红球}\}$, $B_j = \{\text{第}j\text{次取出的为蓝球}\}$. 求出 $P(R_1 \cap B_2 \cap R_3 \cap B_4)$.

■ 注意到

$$P(R_1) = \frac{r}{r+b}, P(B_2|R_1) = \frac{b}{r+b-1},$$

$$P(R_3|B_2 \cap R_1) = \frac{r}{r+b-2}, P(B_4|R_3 \cap B_2 \cap R_1) = \frac{b}{r+b-3}.$$

因此

$$\begin{aligned} & P(R_1 \cap B_2 \cap R_3 \cap B_4) \\ &= P(R_1) P(B_2|R_1) P(R_3|B_2 \cap R_1) P(B_4|R_3 \cap B_2 \cap R_1) \\ &= \frac{r}{r+b} \cdot \frac{b}{r+b-1} \cdot \frac{r}{r+b-2} \cdot \frac{b}{r+b-3}. \end{aligned}$$

例题 三个人将他们的帽子放在桌上. 打乱帽子顺序, 然后三个人从中任意取走一顶帽子. 每一个人都正好拿到自己原本帽子的概率有多大?

■ 令 $E_j = \{\text{第}j\text{个人拿到他自己的帽子}\}$. 我们来计算 $P(E_1E_2E_3)$. 根据乘法法则,

$$P(E_1E_2E_3) = P(E_1)P(E_2|E_1)P(E_3|E_1E_2).$$

易见

$$P(E_1) = \frac{1}{3}, P(E_2|E_1) = \frac{1}{2}, P(E_3|E_1E_2) = 1.$$

因此

$$P(E_1E_2E_3) = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{1}{6}.$$



乘法法则对条件概率同样成立

定理 如果 $P(B) > 0, P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1}|B) > 0$, 那么

$$\begin{aligned} & P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_n|B) \\ &= P(A_1|B) P(A_2|A_1 \cap B) \dots P(A_n|A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1} \cap B). \end{aligned}$$

■ 右侧公式为

$$\frac{P(A_1 \cap B)}{P(B)} \frac{P(A_1 \cap A_2 \cap B)}{P(A_1 \cap B)} \dots \frac{P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_n|B)}{P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1} \cap B)}.$$

由于 $P(A_1 \cap A_2 \cap \dots A_{n-1}|B) > 0$, 上式所有分母为正.



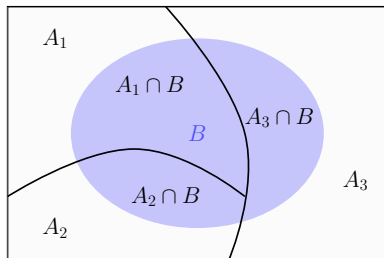
全概率公式

定义 令 S 为一个集合. 如果 $A_n, n = 1, \dots, N$ 互不相交并且 $\bigcup_{n=1}^N A_n = S$, 那么 $\{A_n\}$ 称为集合 S 的一个划分.

例如, 在如下图示中 $B \cap A_1, B \cap A_2, B \cap A_3$ 是集合 B 的一个

划分，并且容易看到

$$P(B) = \sum_{n=1}^N P(B \cap A_n).$$



一般地

定理 如果 $\{A_n\}$ 是样本空间 S 的划分, $P(A_n) > 0, n = 1, \dots, N$

那么

$$P(B) = \sum_{n=1}^N P(B \cap A_n) = \sum_{n=1}^N P(A_n) P(B|A_n).$$

例题 投掷一个均匀的骰子. 假设第一次投掷中出现的点数为 X , 继续投掷直到出现点数 $Y \geq X$. 令 A 表示 $Y = 6$ 这一事件, 试求出其概率

■ 如果 $X = i$, 那么 Y 可能是 $i, i+1, \dots, 6$, 并且它们是等可能的. 因此

$$P(A|X=i) = \frac{1}{7-i},$$

从而

$$P(A) = \sum_{i=1}^6 P(A|X=i) P(X=i)$$

$$= \frac{1}{6} \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + 1 \right).$$



注意本例的样本空间是 $\{Y \geq X\}$.

例题 投掷一个均匀四面体骰子. 如果出现 1 或者 2, 那么你可以继续投掷一次, 否则停止投掷. 投掷总点数至少为 4 的概率是多少?

■ 令 $E_j = \{\text{第一次点数为 } j\}$, $E = \{\text{总点数至少为 } 4\}$. 如果第一次点数为 1, 那么第二次投掷必须是 3 或者 4. 因此 $P(E|E_1) = 2/4 = 1/2$. 类似地 $P(E|E_2) = 3/4$. 如果第一次点数为 3, 那么停止投掷, 总点数只能是 3, 因此 $P(E|E_3) = 0$. 如果第一次点数为 4, 那么停止投掷, 总点数为 4, 因此 $P(E|E_4) = 1$. 运用全概率公式得到

$$P(E) = \sum_{n=1}^4 P(E_n) P(E|E_n)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \cdot 0 + \frac{1}{4} \cdot 1 \\
 &= \frac{9}{16}
 \end{aligned}$$



Bayes's 法则

定理 假设 $\{A_i\}_{i=1}^n$ 是样本空间的一个划分. 并假设 $P(A_i) > 0$, $\forall i$. 对于任意具有正概率的事件 B , 都成立

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) P(B|A_i)}{P(B)} = \frac{P(A_i) P(B|A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) P(B|A_i)}.$$

■ 由条件概率与全概率公式得到



例题 当飞机出现时, 雷达探测到飞机并发出警报的概率为 0.99.

如果飞机没有出现, 那么雷达对以 0.1 的概率发出错误的警报. 假设飞机出现的概率为 0.05. 那么当雷达发出警报时飞机确实出现了的概率有多大?

■ 令 $A = \{\text{飞机出现}\}$, $B = \{\text{警报响起}\}$. 根据题设

$$P(B|A) = 0.99, P(B|A^c) = 0.1, P(A) = 0.05.$$

需要计算 $P(A|B)$. 由 Bayes's 法则

$$\begin{aligned} P(A|B) &= \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \\ &= \frac{P(B|A) P(A)}{P(B|A) P(A) + P(B|A^c) P(A^c)} \\ &= \frac{0.99 \cdot 0.05}{0.99 \cdot 0.05 + 0.1 \cdot 0.95} \\ &\approx 0.34. \end{aligned}$$

例题 在回答多项选择的问题时, 学生要么知道如何解答要么用猜的办法来解答. 假设 p 是学生知道如何解答的概率, 而 $1 - p$ 是学生通过猜来解答的概率. 同时假设不知道如何解答的学生会以 $1/4$ 的概率来选择 4 个选项中的任何一个. 已知一个学生选对了正确答案, 那么有多大的概率是这个学生真正知道正确的解题方法?

■ 令 $A = \{\text{学生知道解答方法}\}$,
 $B = \{\text{学生回答正确}\}$.

根据题设已知 $P(B|A) = 1$, $P(B|A^c) = 1/4$ 以及 $P(A) = p$. 要计算 $P(A|B)$ 由 Bayes's 法则

$$\begin{aligned} P(A|B) &= \frac{P(B|A) P(A)}{P(B|A) P(A) + P(B|A^c) P(A^c)} \\ &= \frac{1 \cdot p}{1 \cdot p + \frac{1}{4} \cdot (1 - p)} \end{aligned}$$

$$= \frac{4p}{1+3p}$$

