第一节　假设检验

一、假设检验的基本原理

二、假设检验的相关概念

三、假设检验的一般步骤

四、典型例题

五、小结

一、假设检验的基本原理

在总体的分布函数完全未知或只知其形式、但不知其参数的情况下, 为了推断总体的某些性质, 提出某些关于总体的假设.

例如, 提出总体服从泊松分布的假设;

又如, 对于正态总体提出数学期望等于 μ_0 的假设等.

假设检验就是根据样本对所提出的假设作出判断: 是接受, 还是拒绝.

假设检验问题是统计推断的另一类重要问题.

如何利用样本值对一个具体的假设进行检验?

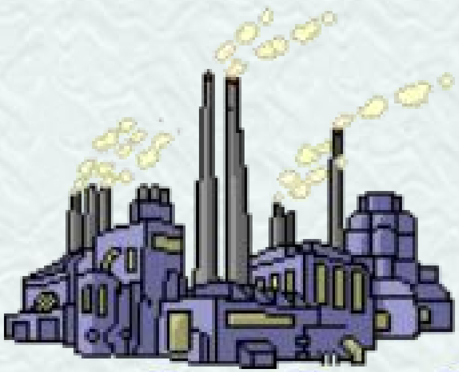
通常借助于直观分析和理论分析相结合的做法,其基本原理就是人们在实际问题中经常采用的所谓实际推断原理:"一个小概率事件在一次试验中几乎是不可能发生的".

下面结合实例来说明假设检验的基本思想.

实例 某车间用一台包装机包装葡萄糖, 包得的袋装糖重是一个随机变量, 它服从正态分布. 当机器正常时, 其均值为0.5千克, 标准差为0.015千克. 某日开工后为检验包装机是否正常, 随机地抽取它所包装的糖9袋, 称得净重为(千克):

0.497 0.506 0.518 0.524 0.498 0.511
0.520 0.515 0.512, 问机器是否正常?

分析: 用 μ 和 σ 分别表示这一天袋装糖重总体 X 的均值和标准差,



由长期实践可知, 标准差较稳定, 设 $\sigma = 0.015$,

则 $X \sim N(\mu,\ 0.015^2)$, 其中 μ 未知.

问题：根据样本值判断 $\mu = 0.5$ 还是 $\mu \neq 0.5$.

提出两个对立假设 $H_0: \mu = \mu_0 = 0.5$ 和 $H_1: \mu \neq \mu_0$.

再利用已知样本作出判断是接受假设 H_0 (拒绝假设 H_1) , 还是拒绝假设 H_0 (接受假设 H_1).

如果作出的判断是接受 H_0, 则 $\mu = \mu_0$,

即认为机器工作是正常的, 否则, 认为是不正常的.

由于要检验的假设设计总体均值, 故可借助于样本均值来判断.

因为 $\overline{X}$ 是 μ 的无偏估计量,

所以若 H_0 为真, 则 $|\bar{x}-\mu_0|$ 不应太大,

当H_0为真时, $\dfrac{\overline{X}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$,

衡量 $|\bar{x}-\mu_0|$ 的大小可归结为衡量 $\dfrac{|\bar{x}-\mu_0|}{\sigma/\sqrt{n}}$ 的大小,

于是可以选定一个适当的正数k,

当观察值 $\bar{x}$ 满足 $\dfrac{|\bar{x}-\mu_0|}{\sigma/\sqrt{n}} \geq k$时，拒绝假设$H_0$，

反之,当观察值 $\bar{x}$ 满足 $\dfrac{|\bar{x}-\mu_0|}{\sigma/\sqrt{n}} < k$时，接受假设$H_0$.

因为当H_0为真时 $Z=\dfrac{\overline{X}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$,

由标准正态分布分位点的定义得 $k=z_{\alpha/2}$，

当$\dfrac{|\bar{x}-\mu_0|}{\sigma/\sqrt{n}} \geq z_{\alpha/2}$时,拒绝$H_0$, $\dfrac{|\bar{x}-\mu_0|}{\sigma/\sqrt{n}} < z_{\alpha/2}$时，接受$H_0$.

假设检验过程如下:

在实例中若取定 $\alpha = 0.05,$

则 $k = z_{\alpha/2} = z_{0.025} = 1.96,$

又已知 $n = 9,\ \sigma = 0.015,$

由样本算得 $\bar{x} = 0.511$, 即有 $\dfrac{|\bar{x} - \mu_0|}{\sigma / \sqrt{n}} = 2.2 > 1.96,$

于是拒绝假设H_0, 认为包装机工作不正常.

以上所采取的检验法是符合实际推断原理的.

由于通常 α 总是取得很小, 一般取 $\alpha = 0.01, \alpha = 0.05$,

因而当 H_0 为真, 即 $\mu = \mu_0$ 时, $\left\{ \dfrac{\overline{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \geq z_{\alpha/2} \right\}$ 是一个

小概率事件, 根据实际推断原理, 就可以认为如果

H_0 为真, 由一次试验得到满足不等式 $\left| \dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \right| \geq z_{\alpha/2}$

的观察值 $\overline{x}$, 几乎是不会发生的.

在一次试验中,得到了满足不等式 $\left|\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right| \geq z_{\alpha/2}$

的观察值 $\bar{x}$,则我们有理由怀疑原来 的假设H_0的正确性,因而拒绝H_0.

若出现观察值 $\bar{x}$ 满足不等式 $\left|\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right| < z_{\alpha/2}$,则没有理由拒绝假设$H_0$, 因而只能接受$H_0$.

二、假设检验的相关概念

1. 显著性水平

当样本容量固定时，选定α后，数 k 就可以确定，然后按照统计量 $Z=\dfrac{\overline{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$ 的观察值的绝对值大于等于 k 还是小于 k 来作决定.

如果$|z|=\left|\dfrac{\overline{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right|\geq k$，则称 $\overline{x}$ 与μ_0的差异是显著的，则我们拒绝 H_0，

反之,如果$|z|=\left|\dfrac{\overline{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right|<k$,则称$\overline{x}$与$\mu_0$的差异是不显著的,则我们接受$H_0$,

数α称为显著性水平.

上述关于$\overline{x}$与μ_0有无显著差异的判断是 在显著性水平α之下作出的.

2. 检验统计量

统计量 $Z = \dfrac{\overline{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$ 称为检验统计量.

3. 原假设与备择假设

假设检验问题通常叙述为：在显著性水平 α 下,

检验假设 $H_0 : \mu = \mu_0, H_1 : \mu \neq \mu_0.$

或称为“在显著性水平 α 下,针对 H_1 检验 H_0”.

H_0 称为原假设或零假设，H_1 称为备择假设.

4. 拒绝域与临界点

当检验统计量取某个区域C中的值时，我们拒绝原假设H_0，则称区域C为**拒绝域**，拒绝域的边界点称为**临界点**.

如在前面实例中，

拒绝域为 $|z| \geq z_{\alpha/2}$，

临界点为 $z = -z_{\alpha/2}$，$z = z_{\alpha/2}$.

5. 两类错误及记号

假设检验的依据是：小概率事件在一次试验中很难发生，但很难发生不等于不发生，因而假设检验所作出的结论有可能是错误的. 这种错误有两类:

(1) 当原假设H_0为真，观察值却落入拒绝域，而作出了拒绝H_0的判断，称做**第一类错误**，又叫**弃真错误**，这类错误是"以真为假". 犯第一类错误的概率是显著性水平α.

(2) 当原假设 H_0 不真, 而观察值却落入接受域, 而作出了接受 H_0 的判断, 称做**第二类错误**, 又叫**取伪错误**, 这类错误是“以假为真”.

犯第二类错误的概率记为

$$P\{\text{当 } H_0 \text{ 不真接受 } H_0\} \text{ 或 } P_{\mu \in H_1}\{\text{接受 } H_0\}.$$

当样本容量 n 一定时, 若减少犯第一类错误的概率, 则犯第二类错误的概率往往增大.

若要使犯两类错误的概率都减小, 除非增加样本容量.

6. 显著性检验

只对犯第一类错误的概率加以控制, 而不考虑犯第二类错误的概率的检验, 称为**显著性检验**.

7. 双边备择假设与双边假设检验

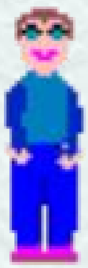
在 $H_0: \mu = \mu_0$ 和 $H_1: \mu \neq \mu_0$ 中, 备择假设 H_1 表示 μ 可能大于 μ_0, 也可能小于 μ_0, 称为双边备择假设, 形如 $H_0: \mu = \mu_0$, $H_1: \mu \neq \mu_0$ 的假设检验称为双边假设检验.

8. 右边检验与左边检验

形如 $H_0: \mu = \mu_0, H_1: \mu > \mu_0$ 的假设检验称为右边检验.

形如 $H_0: \mu = \mu_0, H_1: \mu < \mu_0$ 的假设检验称为左边检验.

右边检验与左边检验统称为**单边检验**.



9. 单边检验的拒绝域

设总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, σ为已知, $X_1, X_2, \cdots, X_n$ 是来自总体 X 的样本,给定显著性水平 α,

则 右边检验的拒绝域为 $z = \dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \geq z_\alpha$,

左边检验的拒绝域为 $z = \dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \leq -z_\alpha$.

证明 (1)右边检验 $H_0 : \mu \leq \mu_0$, $H_1 : \mu > \mu_0$,

取检验统计量 $Z = \dfrac{\overline{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$,

因 H_0 中的全部 μ 都比 H_1 中的 μ 要小,

当 H_1 为真时,观察值 $\bar{x}$ 往往偏大,

因此拒绝域的形式为 $\bar{x} \geq k$, k 为待定正常数,

由 $P\{H_0$ 为真拒绝 $H_0\} = P_{\mu \in H_0}\left\{\overline{X} \geq k\right\}$

$$= P_{\mu \leq \mu_0}\left\{\frac{\overline{X}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \geq \frac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right\}$$

$$\leq P_{\mu \leq \mu_0}\left\{\frac{\overline{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \geq \frac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right\}$$

上式不等号成立的原因:

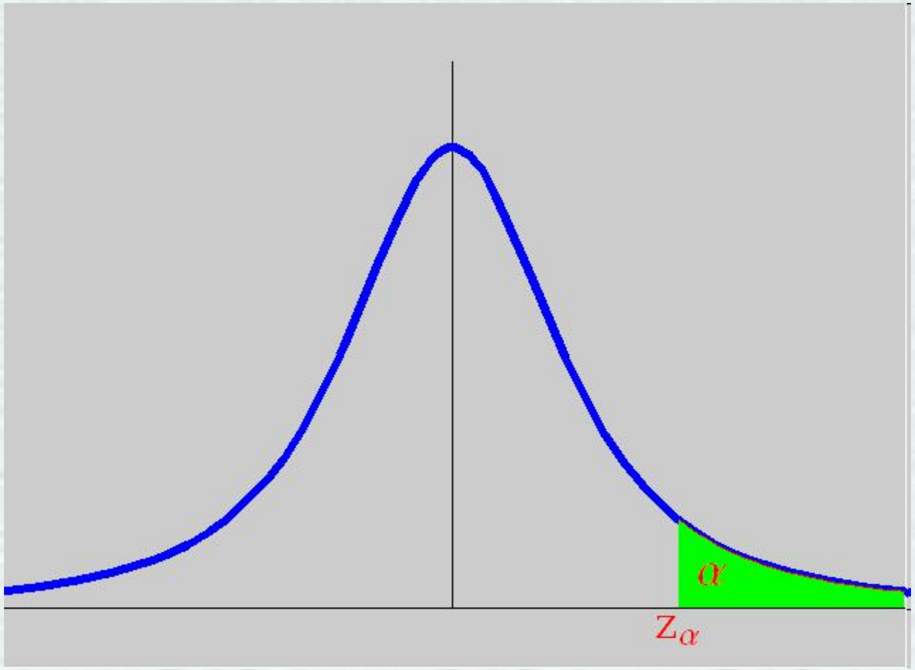
因为 $\mu \le \mu_0$, 所以 $\dfrac{\overline{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \ge \dfrac{\overline{X}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$,

事件$\left\{\dfrac{\overline{X}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \ge \dfrac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right\} \subset \left\{\dfrac{\overline{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \ge \dfrac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right\}$.

要控制 $P\{H_0$ 为真拒绝 $H_0\} \le \alpha$,

只需令 $P_{\mu\le\mu_0}\left\{\dfrac{\overline{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \ge \dfrac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right\} = \alpha.$

因为 $\dfrac{\overline{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1),$



所以 $\dfrac{k-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} = z_\alpha,$

$$k = \mu_0 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_\alpha,$$

故右边检验的拒绝域为 $\overline{x} \geq \mu_0 + \dfrac{\sigma}{\sqrt{n}} z_\alpha,$

即 $z = \dfrac{\overline{x}-\mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \geq z_\alpha.$

证明 (2)左边检验 $H_0: \mu \geq \mu_0$, $H_1: \mu < \mu_0$,

拒绝域的形式为 $z = \dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \leq k$, k 待定,

由 $P\{H_0 \text{为真拒绝} H_0\} = P_{\mu \geq \mu_0}\left\{\dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \leq k\right\} = \alpha$,

得 $k = -z_\alpha$,

故左边检验的拒绝域为 $z = \dfrac{\overline{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \leq -z_\alpha$.

三、假设检验的一般步骤

1. 根据实际问题的要求，提出原假设 H_0 及备择假设 H_1；

2. 给定显著性水平 α 以及样本容量 n；

3. 确定检验统计量以及拒绝域形式；

4. 按 $P\{H_0\text{ 为真拒绝 }H_0\} = \alpha$ 求出拒绝域；

5. 取样，根据样本观察值确定接受还是拒绝 H_0.

四、典型例题

例1 某工厂生产的固体燃料推进器的燃烧率服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, $\mu = 40\text{cm}/\text{s}$, $\sigma = 2\text{cm}/\text{s}$. 现用新方法生产了一批推进器, 随机取 $n = 25$只, 测得燃烧率的样本均值为 $\bar{x} = 41.25\text{cm}/\text{s}$. 设在新方法下总体均方差仍为 $2\text{cm}/\text{s}$, 问用新方法生产的推进器的燃烧率是否较以往生产的推进器的燃烧率有显著的提高？取显著水平 $\alpha = 0.05$.

解 根据题意需要检验假设

$H_0: \mu \le \mu_0 = 40$ (即假设新方法没有提高 燃烧率),

$H_1: \mu > \mu_0$ (即假设新方法提高了燃 烧率),

这是右边检验问题,

拒绝域为 $z = \dfrac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \ge z_{0.05} = 1.645$.

因为 $z = \dfrac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} = 3.125 > 1.645$, z值落在拒绝域中,

故在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下拒绝 H_0.

即认为这批推进器的燃烧率较以往有显著提高.

例2 设 $(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ 是来自正态总体 $N(\mu, 100)$ 的一个样本，要检验 $H_0 : \mu = 0$ ($H_1 : \mu \neq 0$)，在下列两种情况下，分别确定常数 d，使得以 W_1 为拒绝域的检验犯第一类错误的 概率为0.05 .

(1) $n = 1, W_1 = \{x_1 \,\big|\, |x_1| > d\}$;

(2) $n = 25, W_1 = \{(x_1, \cdots, x_{25}) \,\big|\, |\bar{x}| > d\}$，其中 $\bar{x} = \dfrac{1}{25}\sum_{i=1}^{25} x_i$.

解 (1) $n = 1$ 时，若 H_0 成立， 则 $\dfrac{X_1}{10} \sim N(0,1)$,

$$P(X_1 \in W_1) = P(|X_1| > d)$$

$$= P\left(\left|\frac{X_1}{10}\right| > \frac{d}{10}\right) = \Phi\left(-\frac{d}{10}\right) - \Phi\left(\frac{d}{10}\right)$$

$$= 2\left(1 - \Phi\left(\frac{d}{10}\right)\right) = 0.05,$$

$$\Phi\left(\frac{d}{10}\right) = 0.975, \qquad \frac{d}{10} = 1.96, \qquad d = 19.6;$$

(2) $n=25$时, 若H_0成立, 则 $\sqrt{25}\dfrac{\overline{X}}{10}\sim N(0,1)$,

$$P\big((X_1,\cdots X_{25})\in W_1\big)=P\big(\left|\overline{X}\right|>d\big)$$

$$=P\left(\left|\frac{\overline{X}}{2}\right|>\frac{d}{2}\right)=\Phi\left(-\frac{d}{2}\right)-\Phi\left(\frac{d}{2}\right)$$

$$=2\left(1-\Phi\left(\frac{d}{2}\right)\right)=0.05,$$

$\Phi\left(\dfrac{d}{2}\right)=0.975,\qquad \dfrac{d}{2}=1.96,\qquad d=3.92\,.$

例3 设 $(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ 是来自正态总体 $N(\mu, 9)$ 的一个样本，其中 μ 为未知参数，检验 $H_0: \mu = \mu_0$ $(H_1: \mu \neq \mu_0)$，拒绝域 $W_1 = \{(x_1, \cdots, x_n) \mid |\bar{x} - \mu_0| \geq C\}$，

(1) 确定常数 C，使显著性水平为 0.05；

(2) 在固定样本容量 $n = 25$ 的情况下，分析犯两类错误的概率 α 和 β 之间的关系.

解 (1) 若 H_0 成立，则 $\dfrac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu_0)}{3} \sim N(0,1)$，

$$P((X_1, \cdots X_n) \in W_1) = P(|\bar{X} - \mu_0| \geq C)$$

$$= P\left(\frac{\sqrt{n}\left|\overline{X} - \mu_0\right|}{3} \geq \frac{\sqrt{n}C}{3} \right) = 2\left(1 - \Phi\left(\frac{\sqrt{n}C}{3}\right)\right) = 0.05,$$

$$\Phi\left(\frac{\sqrt{n}C}{3}\right) = 0.975, \quad \frac{\sqrt{n}C}{3} = 1.96, \quad C = \frac{5.88}{\sqrt{n}};$$

(2) $n = 25$时, 若H_0成立,

$$\alpha = P((X_1, \cdots X_n) \in W_1)$$

$$= 2\left(1 - \Phi\left(\frac{\sqrt{n}C}{3}\right)\right) = 2\left(1 - \Phi\left(\frac{5C}{3}\right)\right).$$

若H_0不成立，不妨假设 $\mu = \mu_1 \neq \mu_0$,

$$\beta = P((X_1,\cdots X_n) \in W_1) = P(|\overline{X} - \mu_0| < C)$$

$$= P(-C + \mu_0 < \overline{X} < C + \mu_0)$$

$$= P\left(\frac{5}{3}(-C + \mu_0 - \mu) < \frac{5}{3}(\overline{X} - \mu) < \frac{5}{3}(C + \mu_0 - \mu)\right)$$

$$= \Phi\left(\frac{5}{3}(C + \mu_0 - \mu_1)\right) - \Phi\left(\frac{5}{3}(-C + \mu_0 - \mu_1)\right),$$

当C 较小时, α 较大，β 较小;

当C 较大时, α 较小，β 较大 .

由于 μ 是任取的，所以对所有 $\mu \neq \mu_0$ 上面的关系成立.

五、小结

假设检验的基本原理、相关概念和一般步骤.

假设检验的两类错误

真实情况 (未知)	所　作　决　策	
	接受 H_0	拒绝 H_0
H_0 为真	正确	犯第I类错误
H_0 不真	犯第II类错误	正确