

Lec-23. 正态总体的区间估计

主讲教师：吴利苏 (wulisu@sdust.edu.cn)

主 页：wulisu.cn

本次课内容

单个正态总体参数的区间估计

- σ^2 已知, μ 的置信区间
- σ^2 未知, μ 的置信区间
- 其他总体 μ 的置信区间
- μ 未知, σ^2 的置信区间

两个正态总体参数的区间估计

- σ_1^2, σ_2^2 已知, $\mu_1 - \mu_2$ 的置信区间
- $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ 未知, $\mu_1 - \mu_2$ 的置信区间
- μ_1, μ_2 未知, σ_1^2/σ_2^2 的置信区间

正态总体均值 μ 的置信区间 (σ^2 已知时)

设总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, X_1, X_2, \dots, X_n 为样本.
 \bar{X} 和 S^2 分别为样本均值和样本方差. 置信水平为 $1 - \alpha$.

- σ^2 已知时, 取枢轴量 $\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$, 则 μ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\bar{X} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2} \right).$$

σ^2 已知时, \bar{X} 是 μ 的最大似然估计, 枢轴量

$$G = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1),$$

设常数 $a < b$ 满足:

$$P\{a < G < b\} \geq 1 - \alpha$$

等价于

$$P\left\{\bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}b < \mu < \bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}a\right\} \geq 1 - \alpha$$

此时区间的长度为 $L = (b - a)\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

由正态分布的对称性知，当

$$a = -b = -z_{\alpha/2}$$

时，区间的长度达到最短 $L = 2z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

固定 n , L 变大, $z_{\alpha/2}$ 增大, 则 $(1 - \alpha)$ 增大, 置信水平提高, 精确度降低; 反之亦然.

所以, μ 的

- 双侧置信区间为：

$$\left(\bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z_{\alpha/2}, \bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z_{\alpha/2} \right),$$

- 单侧置信下限为 $\bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z_{\alpha}$,
- 单侧置信上限为 $\bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z_{\alpha}$.

正态总体均值 μ 的置信区间 (σ^2 未知时)

设总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, X_1, X_2, \dots, X_n 为样本.
 \bar{X} 和 S^2 分别为样本均值和样本方差. 置信水平为 $1 - \alpha$.

- σ^2 未知时, 取枢轴量 $\frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t(n-1)$, 则 μ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\bar{X} \pm \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1) \right).$$

σ^2 未知时, S^2 是 σ^2 的无偏估计, 用 S 替换 σ , 得枢轴量

$$G = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t(n-1)$$

由 $-t_{\alpha/2}(n-1) < G < t_{\alpha/2}(n-1)$ 解得,

$$\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{n}}t_{\alpha/2}(n-1) < \mu < \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{n}}t_{\alpha/2}(n-1)$$

所以 μ 的

- 置信区间为：

$$\left(\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1), \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1) \right)$$

- 单侧置信下限为 $\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha}(n-1)$,
- 单侧置信上限为 $\bar{X} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha}(n-1)$.

例

某袋装食品重量 (单位: 克) $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. 现从一大批该产品中随机抽取 16 件, 称得重量为:

506 508 499 503 504 510 497 512

514 505 493 496 506 502 509 496

求在

(1) $\sigma = 3$;

(2) σ 未知

两种情况下 μ 的置信水平为 95% 的双侧置信区间.

解: $n = 16, n - 1 = 15, \alpha/2 = 0.025$. 计算得
 $\bar{x} = 503.75, s = 6.2022$.

(1) $\sigma = 3$, 查表得 $z_{0.025} = 1.96$ 所以, μ 的置信水平为 95% 的置信区间为

$$(\bar{x} - \frac{3}{\sqrt{16}}z_{0.025}, \bar{x} + \frac{3}{\sqrt{16}}z_{0.025}) = (502.28, 505.22).$$

(2) σ 未知, 查表得 $t_{0.025}(15) = 2.1315$ 此时, μ 置信水平为 95% 的置信区间为

$$(\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{16}}t_{0.025}(15), \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{10}}t_{0.025}(15)) = (500.4, 507.1)$$



实际中 σ^2 未知的情况更多.

例

设新生儿体重 (单位: 克) $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, μ, σ^2 未知。现从某妇产医院随机抽查 16 名新生儿, 称得重量为:

3200 3050 3840 4450 2900 4180 2600 3530
2270 2750 3450 3730 3620 2150 2650 2830

求 μ 的置信水平为 95% 的双侧置信区间.

解： $n = 16, \alpha = 0.05, \sigma$ 未知.

计算得 $\bar{x} = 3200, s = 665.48$

查表得 $t_{0.025}(15) = 2.1315$

所以 μ 的置信水平为 95% 的置信区间为：

$$(\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{16}} t_{0.025}(15), \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{16}} t_{0.025}(15)) = (2845.4, 3554.6).$$



其他总体均值的区间估计

总体 X 的均值为 μ , 方差为 σ^2 , 非正态分布或不知分布形式. 样本为 X_1, \dots, X_n . 当 n 充分大 (一般 $n > 30$) 时, 由中心极限定理知,

$$\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1).$$

设 \bar{X} 和 S^2 分别为样本均值和样本方差. μ 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的置信区间

- σ^2 已知时, 置信区间近似为 $(\bar{X} \pm z_{\alpha/2}\sigma/\sqrt{n})$.
- σ^2 未知时, 置信区间近似为 $(\bar{X} \pm z_{\alpha/2}S/\sqrt{n})$.

例

某市随机抽取 1500 个家庭, 调查知道其中有 375 家拥有私家车. 试根据此调查结果, 求该市拥有私家车比例 p 的置信水平为 95% 近似置信区间.

解: $\hat{p} = \bar{x} = \frac{375}{1500} = 0.25$, $s^2 \approx \hat{p}(1 - \hat{p}) = 0.1875$
代入近似置信区间

$$(\bar{X} - z_{0.025}S/\sqrt{n}, \quad \bar{X} + z_{0.025}S/\sqrt{n})$$

得近似置信区间为 $(0.228, 0.272)$.

□

正态总体方差 σ^2 的置信区间 (μ 未知时)

设总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, X_1, X_2, \dots, X_n 为样本.
 \bar{X} 和 S^2 分别为样本均值和样本方差. 置信水平为 $1 - \alpha$.

- μ 未知, 取枢轴量 $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$, 则 μ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}, \frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)} \right).$$

S^2 为 σ^2 的无偏估计, 故取枢轴量

$$\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$$

则

$$P\{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1) < \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} < \chi_{\alpha/2}^2(n-1)\} = 1-\alpha$$

等价的,

$$P\left\{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)} < \sigma^2 < \frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}\right\} = 1 - \alpha$$

正态总体标准差 σ 的置信区间 (μ 未知时)

设总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, X_1, X_2, \dots, X_n 为样本.
 \bar{X} 和 S^2 分别为样本均值和样本方差.

- μ 未知, 取枢轴量 $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$, 则 μ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\frac{\sqrt{(n-1)}S}{\sqrt{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}}, \frac{\sqrt{(n-1)}S}{\sqrt{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}} \right).$$

例

某袋装食品重量 (单位: 克) $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, μ 未知. 现从一大批该产品中随机抽取 16 件, 称得重量为:

506 508 499 503 504 510 497 512
514 505 493 496 506 502 509 496

求标准差 σ 的置信度为 95% 置信区间.

例

一个园艺科学家正在培养一个新品种的苹果，这种苹果除了口感好和颜色鲜艳以外，另一个重要特征是单个重量差异不大. 为了评估新苹果，她随机挑选了 25 个测试重量 (单位：克)，其样本方差为 $s^2 = 4.25$. 试求 σ^2 的置信度为 95% 双侧置信区间和单侧置信上限.

解: $n = 25, s^2 = 4.25, \alpha = 0.05$ 查表得:

$$\chi_{0.025}^2(24) = 39.4, \quad \chi_{0.975}^2(24) = 12.4;$$

$$\chi_{0.95}^2(24) = 13.85,$$

σ^2 的双侧置信区间为

$$\left(\frac{(n-1)s^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}, \frac{(n-1)s^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)} \right) = (2.59, 8.23)$$

σ^2 的单侧置信上限为 $\frac{(n-1)s^2}{\chi_{1-\alpha}^2(n-1)} = 7.36.$

□

两个正态总体均值差 $\mu_1 - \mu_2$ 的置信区间

设总体 $X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$, $Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$, σ_1^2, σ_2^2 已知.

X_1, \dots, X_{n_1} 和 Y_1, \dots, Y_{n_2} 分别为来自总体 X, Y 的样本, 这两个样本相互独立. \bar{X}, \bar{Y} 分别为 X, Y 的样本均值, S_1^2, S_2^2 分别为 X, Y 的样本方差. 取枢轴量

$$\frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim N(0, 1),$$

- 则 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\bar{X} - \bar{Y} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \right).$$

\bar{X} 和 \bar{Y} 分别为 μ_1, μ_2 的无偏估计, 故 $\bar{X} - \bar{Y}$ 是 $\mu_1 - \mu_2$ 的无偏估计. \bar{X}, \bar{Y} 相互独立,
 $\bar{X} \sim N(\mu_1, \frac{\sigma_1^2}{n_1}), \bar{Y} \sim N(\mu_2, \frac{\sigma_2^2}{n_2})$.

$$\bar{X} - \bar{Y} \sim N\left(\mu_1 - \mu_2, \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right),$$

$$G = \frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim N(0, 1),$$

$$P\{-z_{\alpha/2} < G < z_{\alpha/2}\} = 1 - \alpha$$

解得置信区间为 $\left(\bar{X} - \bar{Y} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}\right)$.

两个正态总体均值差 $\mu_1 - \mu_2$ 的置信区间

设总体 $X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$, $Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$, $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ 未知. 取枢轴量

$$\frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_W \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t(n_1 + n_2 - 2),$$

- 则 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2) S_W \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right).$$

$$\text{其中 } S_W = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}, \quad S_W = \sqrt{S_W^2}.$$

例

两个正态总体中，方差未知且相等. 设样本独立且

$$n_1 = 10, \bar{x}_1 = 500, s_1 = 1.10;$$

$$n_2 = 20, \bar{x}_2 = 496, s_2 = 1.20.$$

求 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 0.95 的置信区间.

例

两个正态总体中，方差未知且相等. 设样本独立且

$$n_1 = 10, \bar{x}_1 = 500, s_1 = 1.10;$$

$$n_2 = 20, \bar{x}_2 = 496, s_2 = 1.20.$$

求 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 0.95 的置信区间.

得到的置信区间的下限大于零，则推断 $\mu_1 > \mu_2$.

例

两个正态总体中，方差未知且相等. 设样本独立且

$$n_1 = 8, \bar{x}_1 = 91.73, s_1^2 = 3.89;$$

$$n_2 = 8, \bar{x}_2 = 93.75, s_2^2 = 4.02.$$

求 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 0.95 的置信区间.

例

两个正态总体中，方差未知且相等. 设样本独立且

$$n_1 = 8, \bar{x}_1 = 91.73, s_1^2 = 3.89;$$

$$n_2 = 8, \bar{x}_2 = 93.75, s_2^2 = 4.02.$$

求 $\mu_1 - \mu_2$ 的一个置信水平为 0.95 的置信区间.

得到的置信区间的包含零，则推断 μ_1 和 μ_2 没有显著差别.

两个正态总体方差 σ_1^2/σ_2^2 的置信区间

设总体 $X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$, $Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$, μ_1, μ_2 未知. 取枢轴量

$$\frac{S_1^2/S_2^2}{\sigma_1^2/\sigma_2^2} \sim F(n_1 - 1, n_2 - 1)$$

- 则 σ_1^2/σ_2^2 的一个置信水平为 $1 - \alpha$ 的区间估计为

$$\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} \frac{1}{F_{\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1)}, \frac{S_1^2}{S_2^2} \frac{1}{F_{1-\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1)} \right).$$

例

两个正态总体中，均值方差均未知. 设样本独立且 $n_1 = 18, s_1^2 = 0.34; n_2 = 13, s_2^2 = 0.29$.
求 σ_1^2/σ_2^2 的一个置信水平为 0.90 的置信区间.

例

两个正态总体中，均值方差均未知. 设样本独立且 $n_1 = 18, s_1^2 = 0.34; n_2 = 13, s_2^2 = 0.29$.
求 σ_1^2/σ_2^2 的一个置信水平为 0.90 的置信区间.

得到的置信区间的包含 1，则推断 σ_1^2 和 σ_2^2 没有显著差别.

单个正态总体参数的区间估计

待估参数	其他参数	枢轴量	置信区间
μ	σ^2 已知	$\frac{\bar{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$	$\left(\bar{X} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2} \right)$
μ	σ^2 未知	$\frac{\bar{X}-\mu}{S/\sqrt{n}} \sim t(n-1)$	$\left(\bar{X} \pm \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1) \right)$
σ^2	μ 未知	$\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1)$	$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}, \frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)} \right)$

两个正态总体参数的区间估计

待估参数	其他参数	枢轴量	置信区间
$\mu_1 - \mu_2$	σ_1^2, σ_2^2 已知	$\frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim N(0, 1),$	$\left(\bar{X} - \bar{Y} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \right)$
$\mu_1 - \mu_2$	σ_1^2, σ_2^2 未知	$\frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_W \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t(n_1 + n_2 - 2),$	$\left(\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2) S_W \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right)$
σ_1^2 / σ_2^2	μ_1, μ_2 未知	$\frac{S_1^2 / S_2^2}{\sigma_1^2 / \sigma_2^2} \sim F(n_1 - 1, n_2 - 1)$	$\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} \frac{1}{F_{\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1)}, \frac{S_1^2}{S_2^2} \frac{1}{F_{1-\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1)} \right)$