04...4:

| Odvodi | |
|---|---|
| funkcija | odvod |
| c | 0 |
| x^n | nx^{n-1} |
| a^x | $a^x \ln a$ |
| $\frac{a^x}{\ln a}$ | a^x |
| x^x | $x^x(1+\ln x)$ |
| $\ln(x)$ | $\frac{1}{x}$ |
| $\log_a(x)$ | $\frac{1}{x \ln(a)}$ |
| $\sin(x)$ | cos(x) |
| $\cos(x)$ | -sin(x) |
| $\tan(x)$ | $\frac{1}{\cos^2(x)}$ |
| $\cot(x)$ | $-\frac{1}{\sin^2(x)}$ $-\frac{1}{\sin^2(x)}$ |
| $\arcsin(x)$ | $\sqrt{1-x^2}$ |
| $\arccos(x)$ | $-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ |
| $\arctan(x)$ | $1+x^2$ |
| $\operatorname{arccot}(x)$ | $-\frac{1}{1+x^2}$ |
| $\operatorname{sh}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ | ch(x) |
| $ch(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$ | sh(x) |
| $ch(x) = \frac{2}{ch(x)}$ $ch(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$ $th(x) = \frac{sh(x)}{ch(x)}$ $cth(x) = \frac{1}{th(x)}$ | $\frac{1}{\operatorname{ch}^2(x)}$ |
| $cth(x) = \frac{1}{th(x)}$ | $-\frac{1}{\sinh^2(x)}$ |
| $arsh(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$ | $\frac{\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}}{1}$ |
| $\operatorname{arch}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$ | $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ |
| $arth(x) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x}$ | $\frac{1}{(1+x)(1-x)}$ |

Osnove kombinatorike

Rodovne funkcije

$$\sum_{n=0}^{\infty} q^n = \frac{1}{1-q} \quad \sum_{n=0}^{b} q^n = \frac{1-q^{b+1}}{1-q}$$
$$\sum_{n=a}^{\infty} q^n = \frac{q^a}{1-q} \quad \sum_{n=a}^{b} q^n = \frac{q^a-q^{b+1}}{1-q}$$

$$a^{n} - b^{n} = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

 $\frac{a_0+\ldots+a_{k-1}x^{k-1}}{1-k}=a_0+\ldots+a_{k-1}x^{k-1}+a_0^k+\ldots+a_{k-1}x^{2k-1}+\ldots \text{Verjetnost na } (\Omega,\mathcal{F}) \text{ je preslikava } P:\mathcal{F}\to\mathbb{R} \text{ z lastnostmi: }$

$$(x+y)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^{n-k} y^k$$

$$\frac{1}{(1-x)^n} = \sum_{k=0}^n \binom{n+k-1}{k} x^k$$

$$B_{\lambda}(x) = \sum_{n} {\lambda \choose n} x^{n} = (1+x)^{\lambda}; \qquad {\lambda \choose n} = \frac{\lambda^{n}}{n!}$$

Izbori

Imamo n oštevilčenih kroglic. Na koliko načinov lahko izberemo k kroglic?

| | s pon. | brez pon. |
|--|--------------------|---------------------|
| variacije vrstni red je pomemben | n^k | $n^{\underline{k}}$ |
| kombinacije vrstni red ni pomemben | $\binom{n+k-1}{k}$ | $\binom{n}{k}$ |

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

Pravila za računanie z dogodki

$$\begin{aligned} \text{idempotentnost} & A \cup A = A = A \cap A \\ \text{komutativnost} & A \cup B = B \cup A \\ & A \cap B = B \cap A \\ \text{asociativnost} & (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C) \\ & (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C) \\ & (A \cap B) \cup C = (A \cap C) \cup (A \cap C) \\ & (A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (A \cup C) \\ \end{aligned}$$
 De Morgan
$$(\bigcup_{i \in I} A_i)^{\complement} = \bigcap_{i \in I} A_i^{\complement} \\ & (\bigcap_{i \in I} A_i)^{\complement} = \bigcup_{i \in I} A_i^{\complement} \\ & A \cup \Omega = \Omega \quad A \cap \Omega = A \\ & A \cup \emptyset = A \quad A \cap \emptyset = \emptyset \\ & A \cup A^{\complement} = \Omega \quad A \cap A^{\complement} = \emptyset$$

Neprazna družina dogodkov \mathcal{F} v Ω je σ -algebra, če velja

• zaprtost za komplemente:

$$A \in \mathcal{F} \implies A^{\complement} \in \mathcal{F}$$

zaprtost za števne unije:

$$A_1, A_2, \dots \in \mathcal{F} \implies \bigcup_{i=1}^{\infty} A_i \in \mathcal{F}$$

Če zahtevamo zaprtost le za končne unije, je $\mathcal F$ le algebra.

Ker je po De Morganovem zakonu $\left(\bigcup_{i\in I} A_i^{\complement}\right)^{\complement} = \bigcap_{i\in I} A_i$ imamo zaprtost tudi za preseke.

Ker je $A \setminus B = A \cap B^{\complement}$ je algebra zaprta tudi za razlike. Najmanjša algebra je **trivialna**: $\{\emptyset, \Omega\}$.

Največja algebra je: $\mathcal{P}(\Omega)$.

Najmanjša algebra, ki vsebuje E je $\{\emptyset, E, E^{\complement}, \Omega\}$.

Dogodka A in B sta **nezdružljiva** (disjunktna), če je

Zaporedje $\{A_i\}_i \in \mathcal{F}$ (končno ali števno mnogo) je **popoln** sistem dogodkov, če

$$\bigcup_i A_i = \Omega \qquad \qquad A_i \cup A_j = \emptyset, \, \forall i, j : i \neq j$$

- P(A) > 0 za $\forall A \in \mathcal{F}$
- $P(\Omega) = 1$
- Za paroma nezdružljive dogodke $\{A_i\}_{i=1}^{\infty}$ velja *števna*

$$P(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i)$$

Lastnosti P:

- $P(\emptyset) = 0$
- P ie končno aditivna.
- P je monotona: $A \subseteq B \implies P(A) < P(B)$
- $P(A^{\complement}) = 1 P(A)$

$$A_1 \subseteq A_2 \subseteq \cdots \implies P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty}\right) = \lim_{i \to \infty} P(A_i)$$

 $B_1 \supseteq B_2 \supseteq \cdots \implies P\left(\bigcap_{i=1}^{\infty}\right) = \lim_{i \to \infty} P(B_i)$

$$P(A^{\complement}) = 1 - P(A)$$

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

Če lahko prostor izidov razbijemo na paroma nezdružljive enako verjetne dogodke, jih lahko obravnavamo kot izide: če je dogodek A unija k od n takih dogodkov, je P(A) = k/n.

Načelo vključitev in izključitev

$$P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \cap A_2)$$

$$P(\bigcup_{i=1}^{n} A_i) = \sum_{\emptyset \neq S \subset [n]} (-1)^{|S|+1} P(\bigcap_{i \in S} A_i)$$

Pogojna verjetnost

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Izrek o polni verjetnosti

Če H_1, H_2, H_3, \ldots tvorijo popoln sistem dogodkov (tj. vedno se zgodi natanko eden izmed njih), velja:

$$P(A) = P(H_1)P(A|H_1) + P(H_2)P(A|H_2) + \dots$$

Dogodkom H_i često pravimo hipoteze in jih je lahko končno ali pa števno neskončno

Bayesova formula

$$P(H_i|A) = \frac{P(H_i)P(A|H_i)}{P(A)}$$

$$P(H_i|A) = \frac{P(H_i)P(A|H_i)}{P(H_i)P(A|H_i) + P(H_i)P(A|H_i) + \dots}$$

Brezpogojnim verjetnostim $P(H_i)$ pravimo apriorne, pogojnim verjetnostim $P(H_i|A)$ pa aposteriorne verjetnosti hipotez.

Neodvisnot dogodkov

Dogodka A in B sta neodvisna, če velja:

$$P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

Če je P(B) > 0, je to ekvivalentno pogoju, da je P(A|B) =P(A). Če je 0 < P(B) < 1, pa je to ekvivalentno tudi pogoju, da je $P(A|B) = P(A|B^{\complement})$. Dogodki A1, A2, A3, ...so neodvisni, če za poljubne različne indekse i_1, i_2, \ldots, i_k

$$P(A_{i_1} \cap A_{i_2} \cap \dots \cap A_{i_k}) = P(A_{i_1})P(A_{i_2})\dots P(A_{i_k})$$

Slučajne spremenljivke

Slučajna spremenljivka je funkcija $X:\Omega\to\mathbb{R}$ z lastnostijo, da je $\forall x \, \in \, \mathbb{R}$ množica $\{\omega \, \in \, \Omega \, : \, X(\omega) \, < \, x\} \, \equiv \,$ $X^{-1}((-\infty, x]) \equiv (X \le x)$ dogodek.

Diskretne porazdelitve

Diskretna enakomerna porazdelitev na n točkah:

$$X \sim \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \end{pmatrix} = \text{Unif}\{a_1, \dots, a_n\}$$

Binomska porazdelitev

 $Bin(n, p), n \in \mathbb{N}, p \in (0, 1)$

Naj bo X št. uspelih (z verjetnostjo p) poskusov v zaporedju n poskusov. $X \sim \text{Bin}(n, p)$:

$$p_k = P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Bernulijeva porazdelitev $Ber(p) \sim Bin(1, p)$

Geometrijske porazdelitev

Geo(p), $p \in (0, 1)$

(X = k) je dogodek, da se A zgodi prvič v k-ti ponovitvi.

$$P(X = k) = (1 - p)^{k - 1}p$$

Pascalova / negativna binomska porazdelitev $Pas(m, p) = NB(m, p), m \in \mathbb{N}, p \in (0, 1)$

 $(X\,=\,k)$ je dogodek, da se dogodekAzgodim-tičvk-ti

Oziroma X je število poskusov do vključno m-tega uspelega, pri katerig vsak uspe z verjetnostjo p. $X \sim Pas(m, p)$:

$$p_k = P(X = k) = {k-1 \choose n-1} p^k (1-p)^{k-n}$$

Hipergeometrijska porazdelitev

Iz posode, v kateri je n kroglic, od tega r rdečih, na slepo in

brez vračanja izvlečemo s kroglic. Če z X označimo število rdečih med izvlečenimi, ima ta slučajna spremenljivka hipergeometrijsko porazdelitev: $X \sim \text{Hip}(s, r, n) = \text{Hip}(r, s, n)$.

$$P(X=k) = \frac{\binom{r}{k}\binom{n-r}{s-k}}{\binom{n}{s}} = \frac{\binom{s}{k}\binom{n-s}{r-k}}{\binom{n}{r}}$$

Aproksimacija binomske porazdelitve

Poissonova porazdelitev

 $Poi(\lambda), \lambda > 0$

$$p_k = P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!}e^{-\lambda}$$

Če imamo veliko ponovitev $(n \to \infty)$ z malo verjetnostjo $(p \to 0)$, je $Bin(n, p) \approx Poi(np)$

Laplaceova lokalna formula: Če je $p, 1-p \gg \frac{1}{n}$, lahko $X \sim \text{Bin}(n, p)$ aproksimiramo

$$P(X=k) \approx \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(k-np)^2}{2\sigma^2}} \quad \sigma = \sqrt{np(1-p)}$$

Laplaceova integralska formula:

$$P(a \le X \le b) \approx \Phi\left(\frac{b - np}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - np}{\sigma}\right)$$

Za majhno relativno napako zahtevamo še:

- $|a-np| \ll \sigma^{4/3}$ ali $|b-np| \ll \sigma^{4/3}$
- $a, b \in \mathbb{Z} + \frac{1}{2}$ ali $b a \gg 1$

Kumulativna porazdelitvena funkcija

$$F_X(x) = P(X \le x)$$

Zvezno porazdeljene slučajne spremenljivke

Realna slučajna spremenljivka X je porazdeljena zvezno, če obstaja taka integrabilna funkcija $p_X: \mathbb{R} \to [0, \infty)$, da za poljubna a < b velja:

$$P(a \le X \le b) = \int_{a}^{b} p_X(t) dx$$

Funkciji p_X pravimo porazdelitvena gostota Komulativna funkcija slučajne spremenlijvke X

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^{x} p_X(t)dt$$

Če je ${\cal F}_X$ zvezna in odsekoma zvezno odvedljiva, je X porazdeljena zvezno in za vse razen za končno mnogo točk \boldsymbol{x} velja $p_x(x) = F'_X(x)$.

Slučajni vektorji

Slučajni vektor je n-terica slučajnih spremenljivk X = $(X_1,\ldots,X_n):\Omega->R$

Porazdelitvena funkcija slučajnega vektorja

$$F_{(X_1,...,X_n)}(x_1,...,x_n) = P(X_1 \le x_1,...,X_n \le x_n)$$

Neodvisnot slučajnih spremenljivk

Slučajne spremenljivke so neodvisne, če je

$$F_{(X_1,...,X_n)}(x_1,...,x_n) = F_{X_1}(x_1)...F_{X_n}(x_n)$$

Torej so dogodki $(X_1 \leq x_1), \ldots, (X_n \leq x_n)$ neodvisni. Naj bo (X, Y) diskretno porazdeljen sluč. vektor:

$$p_{ij} = P(X = x_i, Y = y_j)$$
 $p_i = P(X = x_i)$ $P(Y = y_j)$

potem velja

$$X, Y$$
neodvisni $\iff p_{ij} = p_i q_j$

Naj bo (X,Y) zvezno porazdeljen sluč. vektor z gostoto $p_{(X,Y)}(x,y)$, potem velja:

$$X, Y$$
neodvisni $\iff \exists p_X, p_Y : p_{(X,Y)}(x,y) = p_X(x)p_Y(y)$

Funkcije slučajnih spremenljivk

Naj bosta $A, B \subseteq \mathbb{R}$ odprti množici in $h: A \to B$ taka bijekcija, da je funkcija $h^{-1}: B \to A$ zvezno odvedljiva. Nadalje naj bo X zvezno porazdeljena slučajna spremenljivka z gostoto p_X , ki je izven množice A enaka nič. Tedaj je slučajna spremenljivka Y := h(X) porazdeljena zvezno z gostoto:

$$p_Y(y) = \begin{cases} p_X \left(h^{-1}(y) \right) \left| (h^{-1})'(y) \right| & y \in B \\ 0 & sicer \end{cases}$$

Naj bo X zvezno porazdeljena slučajna spremenljivka z gostoto p_X , skoncentrirana na odprti množici A. Naj bo $h:A\to\mathbb{R}$ zvezno odvedljiva in $h'(x)\neq 0$ za $\forall x\in A$. Tedaj je slučajna spremenljivka Y=h(X) porazdeljena zvezno z

$$p_Y = \sum_{\substack{x \in A \\ h(x) = y}} \frac{p_X(x)}{|h'(x)|}$$

Naj bosta $A,B\in\mathbb{R}^n$ odprti množici; $h:A\to B$ taka bijekcija, da je h^{-1} parcialno zvezno odvedlijva; X sl. vek porazdeljen zvezno z gostoto p_X . Tedaj je Y = h(X) po-

$$p_Y(y) = \begin{cases} p_X(h^{-1}(y)|\det J(h^{-1}(y))|) & y \in B\\ 0 & \text{sicer} \end{cases}$$

$$J_g = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial h_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_n}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial h_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Matematično upanje

Diskretno porazdeljena sl. sprem.

$$X \sim \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots \\ p_1 & p_2 & \dots \end{pmatrix}$$

$$E(X) = \sum_{k=1}^{\infty} x_k p_k \quad \text{\'e} \quad \sum_{k=1}^{\infty} |x_k| p_k < \infty$$

$$E(h(X)) = \sum_{k=1}^{\infty} h(x_k) p_k$$

$$E(h(X,Y)) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} h(x_i, y_j) P(X = x_i, Y = y_j)$$

Zvezno porazdeljena sl. sprem. X z gostoto p_X

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x p_X(x) dx$$
 če $\int_{-\infty}^{\infty} |x| p_X(x) dx < \infty$

$$E(h(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x)p_X(x)dx$$

$$E(h(X,Y)) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x,y) p_{X,Y}(x,y) dx dy$$

Za neko zvezno funkcijo h.

Lastnosti

Če ima |X| mat. up., ga ima tudi X in velja

$$|E(X)| \le E(|X|)$$

Če obstaja $E(X^2)$ in $E(Y^2)$, obstaja tudi E(XY) in velja

$$|E(XY)| \le E(|XY|) \le \sqrt{E(X^2)E(Y^2)}$$

Za poljubne sl. sprem X_1, \ldots, X_n velja:

$$E(a_1X_1 + \dots a_nX_n) = a_1E(X_1) + \dots + a_nE(X_n)$$

Indikator dogodka

Indikator dogodka A je sl. sprem.:

$$1_A = \begin{cases} 1 & \text{Ase zgodi} \\ 0 & \text{Ase ne zgodi} \end{cases} \qquad E(1_A) = P(A)$$

Disperzija (varianca)

$$D(X) = E((X - E(X))^{2}) = E(X^{2}) - (E(X))^{2}$$

Lastnosti:

- $D(X) \ge 0$
- $D(X) = 0 \iff P(X = E(X)) = 1$
- $D(aX) = a^2D(X)$

Standardna diviacija/odklon:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$$

zanjo velja $\sigma(aX) = |a|\sigma(X)$.

Nekoreliranost

Sl. sprem. X in Y sta nekorelirani, če velja:

$$E(XY) = E(X)E(Y) \\$$

X, Y neodvisni $\implies X, Y$ nekorelirani

Če imata X in Y, je nekoreliranost ekvivalentna zvezi:

$$D(X+Y) = D(X) + D(Y)$$

Kovarianca

$$K(X,Y) = E((X - E(X))(Y - E(Y)))$$
$$= E(XY) - E(X)E(Y)$$

- K(X,X) = D(X)
- $K(X,Y) = 0 \iff X, Y$ nekorelirani
- K(aX, bY, Z) = aK(X, Z) + bK(Y, Z)
- K(X,Y) = K(Y,X)
- K(aX + b, cY + d) = acK(X, Y)
- $|K(X,Y)| \leq \sqrt{D(X)D(Y)}$
- D(X + Y) = D(X) + D(Y) + 2K(X, Y)
- $D(X_1 + \dots + X_n) = D(X_1) + \dots + D(X_n) + 2\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} K(X_i, X_j)$

Standardizacija

$$X_S = \frac{X - E(X)}{\sigma(X)}$$

Korelacijski koeficient

$$r(X,Y) = \frac{K(X,Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)} = E(X_S, Y_S)$$

Lastnosti

- $r(X,Y) = 0 \iff X, Y$ nekorelirani
- -1 < r(X, Y) < 1
- $r(X,Y) = 1 \iff P(X_S = Y_S) = 1$
- $r(X,Y) = -1 \iff P(X_S = -Y_S) = 1$
- r(aX + b, cY + d) = r(X, Y)

Pogojne porazdelitve

Pogojna porazdelitev sl. sprem. X glede na dogodek B:

$$X|B \sim \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots \\ P(X=a_1|B) & P(X=a_2|B) & \dots \end{pmatrix}$$

Pogojna porazdelitvena funkcija

sl. sprem. X glede na dogodek B:

$$F_{X|B}(x) = F_X(x|B) = P(X \le x|B) = \frac{P((X \le x) \cap B)}{P(B)}$$

Če je pogojna porazdelitev zvezna, objstaja tudi **pogojna** porazdelitvena gostota:

$$p_{X|B}(x) = F'_{X|B}(x)$$

Pogojna gostota

$$p_X(x|Y = y) \equiv p_X(x|y) = \frac{p_{(X,Y)}(x,y)}{p_Y(y)}$$

Pogojno matematično upanje

$$E(h(X)|B) = \sum_{x} h(x)P(X = x|B)$$

$$\begin{split} E(X|Y=y) &= \int_{-\infty}^{\infty} x p_{(X|Y)(x|y)} dx \\ &= \frac{1}{p_Y(y)} \int_{-\infty}^{\infty} x p_{(X,Y)(x,y)} dx \end{split}$$

$$E(h(X,Y)|Y=y) = E(h(X,y)|Y=y)$$

$$E(h(X,Y)|Y) = \sum_{x} h(x,Y)P(X=x|Y)$$

$$E(h(X,Y)|Y) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x,Y) P_{X|Y}(x|Y) dx$$

Za vsako slučajno spremenlivko X in dogodek B veleja

$$E(X|B) = \frac{E(XZ)}{P(B)} = \frac{E(XZ)}{E(Z)}$$

kjer je sl. sprem. Z indikator dogodka B.

Za vsako sl. sprem. X z mat. up. in popoln sistem dogodkov H_1, H_2, \ldots velja izrek o polni pričakovani vrednosti

$$E(X) = P(H_1)E(X|H_1) + P(H_2)E(X|H_2) + \dots$$

Regresijska funkcija

$$\varphi(y) = E(X|Y = y)$$

Za vsako sl. sprem. X z mat. up. in diskretno sl. sprem. Y Izrek o enoličnosti:

$$\begin{split} E(Xg(Y)|Y) &= E(X|Y)g(Y) \\ E(Xg(Y)) &= E(E(X|Y)g(Y)) \\ E(X) &= E(E(X|Y)) \end{split}$$

Za vsak dododek A in vsako sl. sprem Y velja:

$$E(P(A|Y)) = P(A)$$

Momenti

Moment reda k glede na točko a je

$$m_k(a) = E((X-a)^k)$$
 če obstaja

- Začetni moment $z_k := m_k(0) = E(X^k)$
- Centralni moment $m_k := m_k(E(X)) = E((X X))$
- Faktorski moment reda r: E(X(X-1)...(X-r+

$$z_1 = E(X) \qquad m_2 = D(X)$$

Če obstaja $m_n(a)$, obstaja tudi $m_k(a)$ za $\forall k < n$.

Če obstaja z_n , obstaja tudi $m_n(a)$ za $\forall a \in \mathbb{R}$ Centralne momente lahko izračunamo iz začetnih:

$$m_n = \sum_{k=0}^{n} {n \choose k} (-1)^{n-k} z_1^{n-k} z_k$$

$$A(X) = E(X_S^3) = E\left(\left(\frac{X - E(X)}{\sigma(X)}\right)^3\right) = \frac{m_3}{m_2^{\frac{3}{2}}}$$

$$\forall \lambda > 0 : A(\lambda X) = A(X)$$

Sploščenost (kurtozis)

$$K(X) = E\left[\left(\frac{X - E(X)}{\sqrt{D(X)}}\right)^4\right] = \frac{m_4}{m_2^2}$$

Presežna sploščenost

$$K^*(X) = K(X) - 3$$

Vrstilne karakteristike

Kvantil redap

je vsaka vrednost x_n , za katero velja:

$$P(X \le x_p) \ge p$$
 in $P(X \ge x_p) = 1 - p$

oz. $F(x_p-) \le p \le F(x_p)$

- Mediana: $x_{\underline{1}}$
- Kvartili: $x_{\frac{1}{2}}, x_{\frac{2}{2}}, x_{\frac{3}{2}}$
- (Per)centili: $x_{\frac{1}{120}}, \dots, x_{\frac{99}{100}}$

Semi interkvartilni razmik

$$s = \frac{1}{2} \left(x_{\frac{3}{4}} - x_{\frac{1}{4}} \right)$$

Rodovne funkcije

Naj bo X sl. sprem. z zalogo vrednosti $\mathbb{N} \cup \{0\}$

$$p_k = P(X = k)$$
 $k = 0, 1, 2, ...$

Rodovna funkcija sl. sprem. X:

 $\forall s \in [-1, 1] : G_X(s) = G_Y(s)$

$$G_X(s) = p_0 + p_1 s + p_2 s^2 + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} p_k s^k$$

Obstaja za vse $|s| \le 1$.

$$P(X = k) = \frac{G_X^{(k)(0)}}{k!}$$

$$G_X(0) = p_0$$
 $G_X(1) = 1$ $G_X(s) = E(s^X)$

$$\iff P(X = k) = P(Y = k) \ \forall k = 0, 1, 2, \dots$$

 $\lim_{s\uparrow 1} G_X'(s) = \lim_{s\uparrow 1} \sum_{s\uparrow 1}^{\infty} kp_k s^{k-1} = \sum_{s\uparrow 1}^{\infty} \lim_{s\uparrow 1} kp_k s^{k-1} E(X)$

Naj bo X sl. sprem. z rodovno funkcijo G_X , potem je:

$$G_{\mathbf{Y}}^{(n)}(1-) = E(X)(X-1)(X-2)\dots(X-n+1)$$

Naj bosta X_1, \dots, X_n nedovisne sl. sprem. z rodovnimi funkcijami $G_{X_1}, \ldots G_{X_n}$:

$$G_{X_1+\cdots+X_n} = G(X_1)\cdots G(X_n) \quad \forall s \in [-1,1]$$

Naj bodo $\forall n \in \mathbb{N}$ sl. sprem N, X_1, \dots, X_n neodvisne. Naj ima N rodovno funkcijo G_N in X_i rodovno funkcijo G_X $(X_1,\ldots,X_n$ so enako porazdeljene). Naj bo $S=X_1+\cdots+$

$$G_S = G_N(G_X(s)) \quad \forall s \in [-1, 1]$$

Velja tudi E(S) = E(N)E(X)

$$G_{2X}(s) = G_X(s^2)$$

Znane rodovne funkcije

$$\sum_{n=0}^{\infty} q^n = \frac{1}{1-q} \qquad \sum_{n=0}^{b} q^n = \frac{1-q^{b+1}}{1-q}$$

$$\sum_{n=a}^{\infty} q^n = \frac{q^a}{1-q} \qquad \sum_{n=a}^{b} q^n = \frac{q^a-q^{b+1}}{1-q}$$

$$a^n - b^n = (a-b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

$$\frac{a_0 + \dots + a_{k-1}x^{k-1}}{1-x^k} = a_0 + \dots + a_{k-1}x^{k-1} + a_0^k + \dots + a_{k-1}x^{2k-1} + \dots$$

$$(x+y)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^{n-k} y^k$$

$$\frac{1}{(1-x)^n} = \sum_{k=0}^n \binom{n+k-1}{k} x^k$$

$$B_{\lambda}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \binom{\lambda}{n} x^n = (1+x)^{\lambda}; \qquad \binom{\lambda}{n} = \frac{\lambda^n}{n!}$$

Momentno rodovna funkcija

$$\begin{split} M_X(t) &= E(e^{tX}) \qquad \forall t \in R \quad \check{c}e \ obstaja \ &= 1 + z_1 t + rac{z_2}{2!} t^2 + rac{z_3}{3!} t^3 + \dots \end{split}$$

V primeru, ko ima X zalogo vrednosti v $\mathbb{N} \cup \{0\}$, je

$$M_X(t) = E(e^{tX}) = G_X(e^t)$$

Za zvezno porazdeljeno sl. sprem. X velja:

$$M_X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{tx} p_X(x) dx$$

Naj pri nekem $\delta > 0$ $M_X(t)$ obstaja za vse $t \in (-\delta, \delta)$. Potem je porazdelitev za X natanko določana z M_X in vsi začetni momenti obstajajo:

$$z_k = E(X^k) = M_X^{(k)}(0) \qquad \forall k \in \mathbb{N}$$

$$M_X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z_k}{k!} t^k \quad \forall t \in (-\delta, \delta)$$

Trditev:

$$M_{aX+b}(t) = e^{bt} M_X(at)$$

Če sta X in Y neodvisni, je

$$M_{X+Y}(t) = M_X(t)M_Y(t)$$

Izreka o velikih številih

Zaporedje sl. sprem. $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ verjetnostno konvergira proti sl. sprem. X, če

$$\forall \varepsilon > 0 : \lim_{n \to \infty} P(|X_n - X| \ge \varepsilon) = 0$$

$$\forall \varepsilon > 0 : \lim_{n \to \infty} P(|X_n - X| \le \varepsilon) = 1$$

Zaporedje sl. sprem. $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ skoraj gotovo (s.g.) kon- Izrek o zveznosti rodovne funkcije vergira proti sl. sprem. X, če

$$P(\lim_{n \to \infty}) = 1$$

$$\forall \varepsilon > 0 : \lim_{n \to \infty} P(|X_n - X| < \varepsilon, \forall n \ge m) = 1$$

$$Ce X_n \xrightarrow[n \to \infty]{s.g.} X$$
, potem $X_n \xrightarrow[n \to \infty]{ver.} X$

Naj bo X_1,X_2,X_n,\ldots zaporedje sl. sprem. z mat. up. in naj bo $S=X_1+\cdots+X_n,\,Y_n=\frac{S_n-E(S_n)}{n}.$ Potem je

Za $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ velja šibki zakon o velikih številih, če zap. $\{Y_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ konvergira proti 0 verjetnostno, tj.

$$\forall \varepsilon > 0 : \lim_{n \to \infty} P\left(\frac{|S_n - E(S_n)|}{n} < \varepsilon\right) = 1$$

Za $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ velja **krepki zakon o velikih številih**, če zap. $\{Y_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ konvergira proti 0 skoraj gotovo, tj.

$$P\left(\lim_{n\to\infty}\frac{S_n - E(S_n)}{n} = 0\right) = 1$$

Neenakost Markova

 $\check{\mathrm{C}}\mathrm{e}$ je X sl. sprem. z mat. up., potem je

$$P(|X| \ge a) \le \frac{E(|X|)}{a} \quad \forall a > 0$$

Neenakost Čebiševa

 $\check{\text{C}}$ e ima X disperzijo, je

$$P(|X - E(X)| \ge a\sigma(X)) \le \frac{1}{a^2} \quad \forall a > 0$$

oziroma za $\varepsilon := a\sigma(X)$

$$P(|X - E(X)| \ge \varepsilon) \le \frac{D(X)}{\varepsilon^2}$$

Izrek Markova: Če za sl. sprem. $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ velja $\frac{D(S_n)}{n^2}\xrightarrow[n\to\infty]{}0,$ potem velja ŠZVŠ.

 $\mathit{Izrek}\ \check{\mathit{Cibiševa}}$: Če so sl. sprem. X_1, X_2, \ldots paroma nekorelirane in je $\sup_{n\in\mathbb{N}} D(X_n) < \infty$, potem velja ŠZVŠ.

Izrek Kolmogorova Naj za neodvisne slučajne spremenljivke X_1, X_2, \dots velja pogoj

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{D(X_n)}{n^2} < \infty$$

potem za $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ velja KZVŠ.

Zgornji pogoj velja, če je $\sup_n D(X_n) < \infty$

Naj bodo X_1, X_2, \ldots neodvisne in enako porazdeljene sl. sprem. z disperzijo. Potem velja KZVŠ.

Centralni limitni izrek

Naj bo X_1, X_2, X_n, \ldots zaporedje sl. sprem. z mat. up. in naj bo $S = X_1 + \cdots + X_n$, $Z_n = \frac{S_n - E(S_n)}{I}$. Potem je $E(Z_n) = 0 \text{ in } D(Z_n) = 1.$

$$F_{Z_n}(x) \xrightarrow[n \to \infty]{} F_{N(0,1)} \quad \forall x \in \mathbb{R}$$

Za $\{X_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ veljaj **centralni limitni zakon**, če

Če so X_1, X_2, \ldots neodvisne in enako porazdeljene, velja centralni limitni zakon. Za velike n je $S_n \sim N(E(S_n), \sigma(S_n))$

$$P\left(\frac{S_n - E(S_n)}{\sigma(S_n)} \le x\right) \xrightarrow[n \to \infty]{} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{\frac{t^2}{2}} dt$$

$$P(a \le S_n \le b) \approx \Phi\left(\frac{b - E(S_n)}{\sigma(S_n)}\right) - \Phi\left(\frac{a - E(S_n)}{\sigma(S_n)}\right)$$

Naj za zaporedje $\{Z_n\}_{n\in\mathbb{N}}$ sl. sprem. velja

$$M_{Z_n}(t) \to M_{N(0,1)}(t) = e^{\frac{t^2}{2}} \quad \forall t \in (-\delta, \delta)$$

$$F_{Z_n}(x) \to F_{N(0,1)}(x) \qquad \forall x \in \mathbb{R}$$

Funkcija Γ • $\Gamma(s) = \int_0^\infty x^{s-1} e^{-x} dx$, $\forall s > 0$

- $\Gamma(1) = 1$ • $\Gamma(s+1) = s\Gamma(s)$
- $\Gamma(\frac{1}{2}) = \sqrt{\pi}$
- $\Gamma(n+1) = n!$ $n \in \mathbb{N}$
- $\Gamma(x)\Gamma(x+1) = \frac{\pi}{\sin(\pi x)}$

Funkcija B

• $B(p,q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx$,

•
$$B(p,q) = \int_0^\infty \frac{u^{p-1}}{(1+u)^{p+q}} du$$

•
$$B(p,q) = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)}$$

•
$$\frac{1}{2}B(p,q) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin x)^{2p-1} (\cos x)^{2q-1}$$

• simetričnost:
$$B(p,q) = B(q,p)$$

Osnivni pojmi statistike

Na verjetnostnem prostoru (Ω, \mathcal{F}) imamo sl. sprem X. Vzorec velikosti n je sl. vektor (X_1, \ldots, X_n) , kjer so X_i paroma neodvisni in porazdeljeni kot X.

Vrednost tega sl. vektorja pri enem naboru meritev je (x_1, \ldots, x_n) . To so konkretni podatki, ki jih analiziramo. Ocene za μ (mat. up. sl. sprem X)

- vzorčno povprečje: $\overline{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$
- $\bullet\,$ vzorčni modus: najpogostejša~vrednost
- vzorčna mediana: srednja vrednost v po velikosti ureienem vzorcu

Ocene za σ (standardna diviacija X)

- vzorčni razmak: max(x) min(x)
- vzorčna disperzija: $s_0^2 = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n (\overline{x} x_i)^2$
- vzorčna diviacija: $s_0 = \sqrt{s_0^2}$
- popravljena vzorčna disperzija: $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{x} - x_i)^2 = \frac{n}{n-1} s_0^2$
- popravljena vzorčna diviacija: $s = \sqrt{s^2}$

Vzorčne statistike in cenilke

Naj bo (X_1, \ldots, X_n) vzorec velikosti n.

Vzorčna statistika je simetrična funkcija vzorca:

$$Y = Y_n = q(X_1, \dots, X_n)$$

Praviloma vzorčna statistika ocenjuje nek parameter ζ . Tedaj je Y **cenikla** parametra.

Y je **nepristranska** cenilka, če $E(Y) = \zeta$.

Yje dosledna cenilka, če $Y_n \xrightarrow[n \to \infty]{ver.} \zeta$ oziroma $\forall \varepsilon > 0$: Test ${\bf Z}$

Standardna napaka vzorčne statistike SE(Y) je standardna diviacija $\sigma(Y)$.

Naj bo Y_n cenilka za ζ . Če je $E(Y_n) \xrightarrow[n \to \infty]{} \zeta$ in $D(Y_n) \xrightarrow[n \to \infty]{} 0$, potem je Y_n dosledna cenilka za ζ

Vzorčna statistika χ^2

$$\chi^2 = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X})^2 = \frac{n}{\sigma^2} S_0^2 = \frac{n-1}{\sigma^2} S^2$$

$$\chi^2 \sim \chi^2(n-1)$$

Studentova porazdelitev

$$p_T(t) = \frac{1}{\sqrt{n}B(\frac{n}{2}, \frac{1}{2})} \left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}$$
$$= \frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\sqrt{\pi n}\Gamma(\frac{n}{2})} \left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}$$

Metode za pridobivanje cenilk

Momentna metoda

Naj bo (X_1, X_n) vzorec velikosti n in $k \in \mathbb{N}$. Vzorčni k-ti

$$Z_k = \frac{1}{n} \left(X_1^k + X_n^k \right)$$

je nepristranska dosledna cenikla za $z_k = E(X^k)$.

Naj bo X zvezno porazdeljena z gostoto $p(x; \xi_1, \dots, \xi_n)$ in naj obstajajo začetni momenti $z_k = E(X^k) =$ $\int_{-infty}^{\infty} x^k p(x; \xi_1, \dots, \xi_n) dx$ za $k = 1, \dots, m$. Denimo, da se iz teh enačb da izraziti parametre $\xi_k = \varphi_k(z_1, \dots, z_m)$. Potem je $C_k = \varphi(Z_1, \ldots, Z_m)$ cenilka za parameter ξ_k .

Metoda maksimalne zaneslijvosti (verjetja)

Naj bo gostota odvisna od parametra ξ : $p(x,\xi)$. Funkcija zaneslijivosti:

$$L(x_1,\ldots,x_n,\xi)=p(x_1,\xi)\ldots p(x_n,\xi)$$

Pri danih x_1, \ldots, x_n izberemo ξ , da je dosežen maksimum

Ta vrednost je odvisna le od x_1, \ldots, x_n , torej $\xi_{\max} =$ $\varphi(x_1,\ldots,x_n)$. Tako dobimo cenilko za ξ :

$$C = \varphi(X_1, \dots, X_n)$$

Intervalsko ocenjevanje parametrov

Naj bo gostota sl. sprem X odvisna od parametra ξ in naj bo (x_1,\ldots,x_n) vzorec.

Interval [A, B] (ki je odvisen le od vzorca) je inteval zaupanja za parameter ξ pri **stopnji tveganja** $\alpha \in [0, 1]$, če je verietnost

$$P(\xi \in [A, B]) = 1 - \alpha$$
 $P(\xi \notin [A, B]) = \alpha$

Številu $1-\alpha$ rečamo **stopnja zaupanja** A in B pa sta vzorčni statistiki.

Preizkušanjue hipotez

Hipoteza je enostavna, če natančno določa porazdelitev, sicer pa je sestavljena.

Izberemo stopnjo značilnosti α , to je verjstnost, da zavrnemo pravilno hipotezo. Testi značilnosti nam povejo ali pri dani α in vzorčni vrednosti zavrnemo hipotezo ali ne.

 $X \sim N(\mu, \sigma)$, σ poznamo, μ_0 dano število

$$H_0(\mu = \mu_0) : H_1(\mu \neq \mu_0)$$

Testna statistika, ki odloča o zavrnitvi hipoteze:

$$Z = \frac{\overline{X} - \mu_0}{\sigma} \sqrt{n}$$

Če velja H_0 , je $Z \sim N(0,1)$.

Iz tabele razberemo $z_{\alpha/2} > 0$, da je $P(Z > z_{\alpha/2}) = \alpha/2$.

Hipotezo H_0 zavrnemo, če vzorčna vrednost za Z leži na

$$K_{\alpha} = (-\infty, -z_{\alpha/2}] \cup [z_{\alpha/2}, \infty)$$

Test T

 $X \sim N(\mu, \sigma)$, σ ni znan, μ_0 dano število

$$H_0(\mu = \mu_0) : H_1(\mu \neq \mu_0)$$

Testna statistika, kjer je s popravljena vzorčna disperzija:

$$T = \frac{\overline{X} - \mu_0}{2} \sqrt{n}$$

Če velja H_0 , je $T \sim Student(n-1)$.

P - vrednost

je najmanjša stopnja značilnosti α pri kateri še lahko zavrnemo hipotezo (pri danih vzorčnih podatkih).

Studentov primerjalni test

Imamo 2 neodvisna vzorca velikosti m in n. Prvi je vzet iz populacije na kateri imamo sl. sprem $X \sim N(\mu_X, \sigma)$, drugi pa je vzet iz populacije na kateri imamo sl. sprem

Paramatrov μ_X,μ_Y,σ ne poznamo.

 Naj bosta S_X^2 in S_Y^2 popravljeni vzorčni disperziji za (X_1, \ldots, X_m) in (Y_1, \ldots, Y_n) .

Skupna vzorčna varianca je

$$S^{2} = \frac{(m-1)S_{X}^{2} + (n-1)S_{X}^{2}}{m+n-2}$$

Testiramo hipotezo $H_0(\mu_X = \mu_Y) : H_1(\mu_X \neq \mu_Y)$. Testna statistika:

$$T = \frac{\overline{X} - \overline{Y}}{S} \sqrt{\frac{mn}{m+n}}$$

Če H_0 velja, je $T \sim \text{Student}(m+n-2)$.

Test χ^2 (Pearson)

Naj ima sl. sprem X porazdelitveno funkcijo F, ki ni znana Preizkušamo domnevo o tipu porazdelitvenega zakona:

$$H_0(F = F_0) : H_1(F \neq F_0)$$

kjer je F_0 dana porazdelitvena funkcija.

Zalogo vrednosti sl. sprem X razdelimo na r razredov: S_1, \ldots, S_r , da je $p_k = P(X \in S_k | H_0) > 0$ za $\forall k = 1, \ldots, r$. Naj bo (X_1, \ldots, X_n) slučajni vzorec za sl. sprem X in N_k število vrednosti vzorca, ki padejo v S_h .

$$N_k \sim \text{Bin}(n, p_k), \qquad k = 1, \dots, r$$

Pri velikem n ima statistka

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(\overbrace{N_k}^{\text{opažena f.}} - \overbrace{np_k}^{\text{pričakovana f.}})^2}{np_k}$$

približno porazdelitev $\chi^2(r-1)$

Iz tabele razberemo $c_{\alpha} > 0$, da je $P(\chi^2 > c_{\alpha}) = \alpha$. Kritično območje: $K_{\alpha} = [c_{\alpha}, \infty)$.

Trditev: Če so v testu χ^2 verjetnosti p_k odvisne od parame $tra \theta$, potem ima statistika

$$\chi^{2} = \sum_{k=1}^{r} \frac{(N_{k} - np_{k}(\hat{\theta}))^{2}}{np_{k}(\hat{\theta})}$$

porazdelitev približno $\chi^2(r-2)$, kjer je $\hat{\theta}$ cenilka za θ po metodi maksimalne zaneslijivosti.

Linearna regresija

Linearni regresijski model:

$$Y = a + bx + U$$

Pri fiksnem x predpostavimo, da Y = a + bx + U, kjer sta a,b konstanti in $U \sim N(0,\sigma)$. Z drugimi besedami $Y \sim N(a + bx, \sigma)$. y = a + bx je regresijska premica.

Za različne vrednosti x_1,\dots,x_n dobimo slučajni vektor Pri dani stopnji zaupanja α iz tabele razberemo c_α , da (Y_1,\ldots,Y_n) , kjer je $Y_k \sim N(a+bx_k,\sigma)$.

Radi bi ocenili vrednost a in b.

Metoda maksimalne zaneslijvosti

$$\hat{b} = \frac{\sum_{k=1}^{n} (x_k - \overline{x})(Y_k - \overline{Y})}{\sum_{k=1}^{n} (x_k - \overline{x})^2} \qquad \hat{a} = \overline{Y} - \hat{b}\overline{x}$$

$$S_{xx} = \sum_{k=1}^{n} x_k^2$$
 $S_{xY} = \sum_{k=1}^{n} x_k Y_k$ $S_x = \sum_{k=1}^{n} x_k$ $S_Y = \sum_{k=1}^{n} Y_k$

$$\hat{b} = \frac{nS_{xY} - S_x S_Y}{nS_{xx} - S_x^2}$$
 $\hat{a} = \frac{1}{n}S_Y - \hat{b}\frac{1}{n}S_x$

Testiranje neodvisnosti

Prilagoditveni test

To je poseben primer Pearsonevega testa χ^2 H_0 : dogodka A in B sta neodvisna.

$$p = P(A)$$
 $q = P(B)$

Če stap in qznana, uporabimo test χ^2 zr=4

$$\begin{split} \chi^2 &= \frac{(N_{A \cap B} - npq)^2}{npq} + \frac{(N_{A \cap B} \mathfrak{c} - np(1-q))^2}{np(1-q)} + \\ &+ \frac{(N_{A} \mathfrak{c}_{\cap B} - n(1-p)q)^2}{n(1-p)q} + \frac{(N_{A} \mathfrak{c}_{\cap B} \mathfrak{c} - n(1-p)(1-q))^2}{n(1-p)(1-q)} \end{split}$$

ima porazdelitev $\chi^2(3)$

Iz tabele razberemo c_{α} , da je $P(\chi^2 > c_{\alpha}) = \alpha$. Kritično območje: $K_{\alpha} = [-c_{\alpha}, c_{\alpha}]$

Če pa p in q nista znana, ju ocenimo iz podatkov:

$$\hat{p} = \frac{N_{A \cap B} + N_{A \cap B} \mathbf{c}}{n} \qquad \ \hat{q} = \frac{N_{A \cap B} + N_{A} \mathbf{c}_{\cap B}}{n}$$

Testna statistkia χ^2 je potem porazdeljena $\chi^2(1)$.

Prilagoditveni test lahko posplošimo na večje kontin $gen\check{c}ne$ tabele. Denimo, da prva karakteristika določa r kategorij (A_1, \ldots, A_r) , druga pa s kategorij (B_1, \ldots, B_s) . H_0 : A_i in B_i sta neodvisna.

Naj bo $p_i = P(A_i)$ in $q_i(B_i)$.

Naj bo X_{ij} opažena frekvenca kategorije A_i in B_i .

Pričakovana frekvenca za X_{ij} je $n\hat{p}_i\hat{q}_i$.

$$\hat{p}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^s X_{ij}$$
 ... cenika za p_i

$$\hat{q}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r X_{ij} \quad \dots \quad \text{cenika za } q_j$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(X_{ij} - n\hat{p}_i \hat{q}_j)^2}{n\hat{p}_i \hat{q}_j}$$

$$\chi^2 \sim \chi^2((r-1)(s-1))$$

 $P(\chi^2 > c_\alpha) = \alpha$. Kritično območje: $K_\alpha = [c_\alpha, \infty)$

 $\check{C}e je n\hat{p}\hat{q} < 5$ za kak i, j moramo združiti nekatere razrede.

Neparametrični testi

Test z znaki

analog testa T

Na populaciji imamo sl. sprem. \boldsymbol{X} s porazdelitveno fun. $F_{\boldsymbol{X}}$ in sl. sprem. Y s porazdelitveno fun. F_Y .

Obravnavamo sl. vektorja (X_1, \ldots, X_n) in (Y_1, \ldots, Y_n) , kjer X_i in Y_i dobimo na istem elementu populacije.

Testiramo hipotezo: $H_0(F_X = F_Y)$

Definirajmo razliko $D_i = X_i - Y_i$ za i = 1, ..., n. Privzamemo, da so vzorčne vrednosti $D_i \neq 0$, sicer jih izpustimo in zmanjšamo n.

Če velja
$$H_0$$
, je $P(D_i > 0) = \frac{1}{2} = P(D_i < 0)$.

Naj bo S^+ število pozitivnih D_i , S^- pa število negativnih. Tedaj je $S^+ \sim \text{Bin}(n, \frac{1}{2})$, torej je $p_k = P(S^+ = k) =$

Pri dani stopnji značilnosti α je kritično območje:

$$K_{\alpha} = \{k \in \{0, \dots, n\} : k \le k_{\alpha} \text{ ali } k \ge n - k_{\alpha}\}$$

kjer je k_{α} doočena z zahtevama:

$$P(S^{+} \le k_{\alpha}) = \sum_{k=0}^{k_{\alpha}} p_{k} \le \frac{\alpha}{2}$$
 in $P(S^{+} \le k_{\alpha} + 1) = \sum_{k=0}^{k_{\alpha} + 1} p_{k} > \frac{\alpha}{2}$

Za velike n je $S^+ \approx N(\frac{n}{2}, \sqrt{n\frac{1}{2}\frac{1}{2}})$.

Inverzijski test

Analog primerjalnega T testa

Naj bosta X in Y sl. sprem s porazdelitvenima funkcijama F_X in F_Y . Vzorca (X_1, \ldots, X_m) in (Y_1, \ldots, Y_n) sta neodvisna. Predpostavimo, da $m \leq n$. Vzorčne vrednosti x_1,\dots,x_m in y_1,\dots,y_n razv
rstimo po velikosti: $z_1 \leq z_2 <$

$$R_i = \operatorname{rang}(x_i) = k \iff x_i = z_k$$

Če je več zaporednih vrednosti enakih, za rang vzamemo povprečno mesto.

$$V = R_1 + \cdots + R_m$$

Če velja $H_0(F_X = F_Y)$ in $m+n \ge 20$ in m, n, je V približno normalno porazdeljena:

$$V \sim N\left(\frac{(m+n+1)m}{2},\right)$$

$$Z = \sqrt{\frac{3}{mn(m+n+1)}}(2V - m(m+n+1)) \sim N(0,1)$$

Inverzija med X_i in Y_i se pojavi, če ima Y_i manjši rang kot X_i .

Naj bo U št. inverzij v zaporedju z_1, \ldots, z_{n+m} . Potem je $V=U+\frac{m(m+1)}{2}$, ker vsaka inverzija poveča vsoto rangov