



Statystyczna analiza danych SAD2

Wykład 12

Testy o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (znane wariancje)

Niech X_1, X_2, \dots, X_{n_1} oraz Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_2} będą dwiema niezależnymi prostymi próbami losowymi z rozkładów normalnych $N(\mu_1, \sigma_1)$ oraz $N(\mu_2, \sigma_2)$, odpowiednio.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{lub równoważnie} \quad H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0.$$

Statystyka testowa

Statystyka $\bar{X} - \bar{Y}$ ma rozkład **normalny** o wartości średniej $\mu_1 - \mu_2$ i wariancji

$$\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

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

Testy o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (znane wariancje)

a) $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$, $H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$.

Jeśli H_0 prawdziwa, to $Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2}} \sim N(0,1)$.

Przyjmujemy $C = \{z : z \geq z_{1-\alpha}\}$ = **zbiór krytyczny** testu hipotezy H_0

przeciw H_1 na **poziomie istotności** α , gdzie

$$P_{H_0}(Z \in C) = P_{H_0}(Z \geq z_{1-\alpha}) = \alpha,$$

$z_{1-\alpha}$ = **kwantyl rzędu $1 - \alpha$** rozkładu $N(0,1)$.

Testy o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (znane wariancje)

$$\text{b) } \boxed{H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0}, \quad \boxed{H_1 : \mu_1 - \mu_2 < 0}.$$

Przyjmujemy $\mathbf{C} = \{z : z \leq z_\alpha\}$ = **zbiór krytyczny**.

$$\text{(c) } \boxed{H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0}, \quad \boxed{H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0}$$

Przyjmujemy $\mathbf{C} = \{z : |z| \geq z_{1-\alpha/2}\}$ = **zbiór krytyczny**

Testy o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (znane wariancje)

Przykład. Średnia waga losowo wybranych 15 Europejczyków wyniosła $\bar{x} = 154$ (funty), podczas gdy dla próbki 18 Amerykanów otrzymano $\bar{y} = 162$ (funty).

Z poprzednich badań wiadomo, że wariancje wag losowo wybranego Europejczyka i Amerykanina wynoszą, odpowiednio: $\sigma_1^2 = 100$ i $\sigma_2^2 = 169$. Czy można twierdzić, że średnie wagi w populacji Europejczyków i Amerykanów są różne? Przyjąć $\alpha = 0,05$ oraz rozkład normalny wag.

Rozwiązanie:

$$1. \quad H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0. \quad H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

$$2. \quad \text{Statystyka testowa: } Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2}}$$

Testy o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (znane wariancje)

3. $\alpha = 0,05, 1 - \alpha / 2 = 0,975, z_{0,975} = 1,96.$

Zbiór krytyczny $C = \{z : |z| \geq 1,96\}.$

4. Mamy $\bar{x} = 154, \bar{y} = 162, \sigma_1^2 = 100, \sigma_2^2 = 169, n_1 = 15, n_2 = 18.$

$$\text{Stąd } z = \frac{154 - 162}{\sqrt{100/15 + 169/18}} = \frac{-8}{\sqrt{16,056}} = -2.$$

5. $|-2| = 2 \geq 1,96,$ więc odrzucamy $H_0.$

Odpowiedź: Na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ stwierdzamy, że średnia waga Europejczyka różni się od średniej wagi Amerykanina, przy czym dane sugerują, że średnio Amerykanie ważą więcej niż Europejczycy.

Test o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (nieznane równe wariancje)

Założenie dodatkowe: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, σ - nieznane.

$$\boxed{H_0 : \mu_1 = \mu_2}, \quad \text{lub równoważnie} \quad \boxed{H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0}.$$

Statystyka testowa:

$$Z = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2}} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sigma \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

Jeśli $\boxed{H_0}$ prawdziwa, to $Z \sim N(0,1)$.

Wiadomo, że $\text{Var}(\bar{X} - \bar{Y}) = \sigma^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$, oraz

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X})^2, \quad S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (Y_i - \bar{Y})^2 -$$

nieobciążone estymatory σ^2 .

Estymatorem nieobciążonym σ^2 , opartym na dwu próbach łącznie, jest statystyka

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

Wówczas we wzorze na Z podstawiając $S_p = \sqrt{S_p^2}$ zamiast σ otrzymujemy statystykę

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t_{n_1 + n_2 - 2}.$$

Test o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (nieznane równe wariancje)

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t_{n_1+n_2-2}.$$

Dla trzech przypadków możliwych hipotez alternatywnych (a), (b), (c) z modelu poprzedniego mamy analogiczne obszary krytyczne, przy czym kwantyle rozkładu $N(0,1)$ zastępujemy kwantylami rozkładu $t_{n_1+n_2-2}$.

Test o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (nieznane równe wariancje)

Przykład. Klasyczne tranzystory domieszkowane złotem (występujące w układach scalonych) mają tzw. czas magazynowania ładunku rzędu 7 ns. Producent ma nadzieję, że pewna zmiana technologii zmniejszyła czas magazynowania. Producent chciałby przetestować hipotezę $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ przeciw $H_1 : \mu_1 > \mu_2$, gdzie μ_1 oznacza średni czas magazynowania przy starej technologii a μ_2 przy nowej technologii. Z poprzednich badań wiadomo, że obie technologie dają w przybliżeniu normalne rozkłady czasu magazynowania, oraz że odchylenia standardowe obu rozkładów są takie same. Producent pobrał 2 niezależne 50 elementowe próbki tranzystorów, produkowanych starą i nową technologią. Średnie czasy magazynowania dla obu próbek wyniosły

$$\bar{x} = 6,6, \quad \bar{y} = 6,3 \text{ oraz } s_p = 0,5.$$



Test o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (nieznane równe wariancje)

Statystyka testowa:

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}.$$

Wartość statystyki testowej:

$$t = \frac{6,6 - 6,3}{0,5 \sqrt{\frac{1}{50} + \frac{1}{50}}} = 3,0.$$

Test o różnicy wartości średnich dwóch rozkładów normalnych (nieznane równe wariancje)

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2, \quad H_1 : \mu_1 > \mu_2.$$

Stąd **obszar krytyczny** $C = \{t : t \geq t_{1-\alpha/2, 98} = z_{1-\alpha/2}\},$

oraz **p-wartość** testu wynosi $P_{H_0}(T \geq 3,0) = 0,002.$ Zatem, można przyjąć, że nowa technologia zmniejszyła średni czas magazynowania ładunku.

Test o różnicy wartości średnich rozkładów brzegowych (dane „sparowane”)

Niech $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ będzie prostą próbą losową z rozkładu dwuwymiarowego. Niech $D_i = X_i - Y_i, i = 1, \dots, n$, tworzą prostą próbę losową z rozkładu normalnego o nieznanej średniej μ_D .

Hipoteza zerowa: $H_0 : \mu_D = 0$,

Możliwe hipotezy alternatywne:

$$H_1 : \mu_D > 0$$

$$H_1 : \mu_D < 0$$

$$H_1 : \mu_D \neq 0.$$

Statystyka testowa:

$$T = \frac{\bar{D}}{S_D / \sqrt{n}}.$$



Test o różnicy wartości średnich rozkładów brzegowych

Jeśli H_0 prawdziwa, to $T \sim t_{n-1}$

Zatem, obszary krytyczne takie same jak przy
testowaniu hipotez o wartości średniej jednej
populacji normalnej przy nieznanym odchyleniu standardowym.

Test o różnicy wartości średnich dla danych „sparowanych”

Przykład. Zmierzono ciśnienie tętnicze wśród losowo wybranej grupy chorych na pewną chorobę przed i po podaniu takiego samego leku każdemu z pacjentów. Otrzymano następujące wyniki:

Pacjent:	1	2	3	4	5	6	7
Przed :	210	180	260	270	190	250	180
Po :	180	160	220	260	200	230	180

Czy można twierdzić, na poziomie istotności 0,05, że lek powoduje zmniejszenie wartości średniej ciśnienia?(podać odpowiednie założenia).

$$1. \quad \boxed{H_0 : \mu_1 = \mu_2} \equiv \boxed{H_0 : \mu_D = \mu_1 - \mu_2 = 0}$$

$$\boxed{H_1 : \mu_1 > \mu_2} \equiv \boxed{H_1 : \mu_D = \mu_1 - \mu_2 > 0}$$

$$3. \quad \text{Statystyka testowa:} \quad \boxed{T = \frac{\bar{D}}{S_D / \sqrt{n}}}$$



Test o różnicy wartości średnich dla danych „sparowanych”

4. d_i : 30, 20, 40, 10, -10, 20, 0, $\bar{d} = 15,7$, $s_D = 15,9$, $n = 7$.

$$t = \frac{15,7}{15,9 / \sqrt{7}} = 2,24$$

5. $\alpha = 0,05$, $1 - \alpha = 0,95$, $n - 1 = 7 - 1 = 6$,

$$t_{0,95,6} = 1,94$$

6. $2,24 > 1,94$, więc odrzucamy hipotezę zerową.

Odpowiedź. Można twierdzić, że lek obniżył wartość średnią ciśnienia w populacji pacjentów, na poziomie istotności 0,05.

Test dla proporcji (wskaźnika struktury)

Niech X_1, X_2, \dots, X_n będzie prostą próbą losową z rozkładu Bernoulli'ego o nieznanym parametrze p . Wówczas $\mu = E(X_1) = p$, $\sigma^2 = p(1 - p)$.

Np. gdy p jest proporcją obiektów populacji mających pewną własność, przyjmujemy $X_i = 1$ (0) gdy wylosowany obiekt posiada (nie posiada) tę własność. Niech $\hat{p} = \bar{X}$ = częstość = proporcja elementów próby o danej własności. Z CTG dla dostatecznie dużego n zmienna losowa

$\frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1 - p)}{n}}}$ ma rozkład bliski rozkładowi standardowemu normalnemu

$N(0,1)$. (musi zachodzić $np \geq 5, n(1 - p) \geq 5$).

Test dla proporcji

Hipoteza zerowa: $H_0 : p = p_0$

Statystyka testowa

$$Z = \frac{\hat{p} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}} \sim \text{bliski } N(0,1),$$

jeśli hipoteza H_0 jest prawdziwa. Możliwe sytuacje:

- $H_1 : p > p_0, \quad C = \{z : z \geq z_{1-\alpha}\}$
- $H_1 : p < p_0, \quad C = \{z : z \leq -z_{1-\alpha}\}$
- $H_1 : p \neq p_0, \quad C = \{z : |z| \geq z_{1-\alpha/2}\}$

Test dla proporcji

Przykład. Przypuszczamy, że proporcja samochodów w Warszawie używających gazu jako paliwa jest mniejsza niż 0,15. W próbie 200 losowo samochodów 21 było samochodami na gaz. Czy te dane potwierdzają nasze przypuszczenie, przy poziomie istotności 0,05 ?

1. $H_0 : p = 0,15$, $H_1 : p < 0,15$

2. Statystyka testowa

$$Z = \frac{\hat{p} - 0,15}{\sqrt{\frac{0,15 \times 0,85}{200}}} \sim \text{bliski } N(0,1), \text{ jeśli hipoteza } H_0 \text{ jest prawdziwa.}$$

Test dla proporcji

3. Wartość statystyki testowej dla próbki:

$$Z = \frac{21/200 - 0,15}{\sqrt{\frac{0,15 \times 0,85}{200}}} = -1.79$$

4. Kwantyl $z_{0,95} = 1,64$

5. Zbiór krytyczny $C = \{z : z \leq -1,64\}$

6. $-1,79 \in C$, więc stwierdzamy, że proporcja samochodów na gaz jest mniejsza niż 0,15, przyjmując poziom istotności 0,05 (0,05 = prawdopodobieństwo, że nasza decyzja jest błędna)

Test o różnicy proporcji dwóch populacji

Niech X_1, X_2, \dots, X_{n_1} oraz Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_2} będą dwoma niezależnymi prostymi próbkami losowymi z dwu populacji mających rozkłady Bernoulli'ego o nieznanym parametrach p_1, p_2 , odpowiednio.

Niech K_1 oraz K_2 będą liczbami elementów próby X' ów oraz Y' ów o wartościach 1, odpowiednio.

Estymatory proporcji p_1, p_2 :

$$\hat{p}_1 = \frac{K_1}{n_1}, \quad \hat{p}_2 = \frac{K_2}{n_2}, \text{ odpowiednio}$$

Estymator p , jeśli $H_0: p_1 = p_2 = p$ jest prawdziwa:

$$\hat{p} = \frac{K_1 + K_2}{n_1 + n_2}$$



Test o różnicy proporcji dwóch populacji

Hipoteza zerowa

$$H_0: p_1 = p_2$$

Statystyka testowa

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \hat{p}(1 - \hat{p})}}$$

ma rozkład bliski $N(0,1)$, jeśli H_0 prawdziwa



Test o różnicy proporcji dwóch populacji

oraz

$$n_1 \hat{p}_1 \geq 5, \quad n_1(1 - \hat{p}_1) \geq 5, \quad n_2 \hat{p}_2 \geq 5, \quad n_2(1 - \hat{p}_2) \geq 5$$

Możliwe sytuacje

- $H_1: p_1 > p_2$, wówczas $C = \{z: z \geq z_{1-\alpha}\}$
- $H_1: p_1 < p_2$, wówczas $C = \{z: z \leq -z_{1-\alpha}\}$
- $H_1: p_1 \neq p_2$, wówczas $C = \{z: |z| \geq z_{1-\alpha/2}\}$

Test o różnicy proporcji dwóch populacji

Przykład. Porównywano monitory firmy A i B. Spośród 200-tu monitorów firmy A 10 wymagało naprawy w okresie gwarancji, natomiast spośród 150-ciu monitorów firmy B 12 wymagało naprawy w okresie gwarancji. Czy można twierdzić, że prawdopodobieństwo awarii monitora firmy A jest mniejsze niż prawdopodobieństwo awarii monitora firmy B.

1. $H_0: p_1 = p_2$, $H_1: p_1 < p_2$

2. Statystyka testowa

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \hat{p}(1 - \hat{p})}}$$

Test o różnicy proporcji dwóch populacji

$$3. \quad z = \frac{\frac{10}{200} - \frac{12}{150}}{\sqrt{\left(\frac{1}{200} + \frac{1}{150}\right) \frac{10+12}{200+150} \left(1 - \frac{22}{350}\right)}} =$$

$$\frac{0,05 - 0,08}{\sqrt{\frac{200+150}{200 \cdot 150} \cdot 0,063 \cdot 0,932}} = -1,14$$

4. $1 - \alpha = 0,94$, $z_{0,94} = 1,55$, $C = (-\infty, -1,55]$
5. $-1,14$ nie należy do C
6. Na poziomie istotności $0,06$ nie można odrzucić hipotezy, że monitory obu firm mają jednakowe prawdopodobieństwo awarii w okresie gwarancji

Test zgodności chi-kwadrat

Założenia

1. Badana cecha jednostek populacji może przyjmować k różnych wartości (może należeć do k różnych klas, kategorii): c_1, c_2, \dots, c_k . Niech zmienna losowa X oznacza kategorię (klasę) losowo wybranej jednostki.
2. $H_0: P(X = c_1) = p_1, P(X = c_2) = p_2, \dots, P(X = c_k) = p_k$.
3. Dla próby losowej cech n losowo wybranych jednostek populacji niech N_1, N_2, \dots, N_k oznaczają liczności jednostek o cechach c_1, c_2, \dots, c_k , odpowiednio.
4. Jeśli hipoteza zerowa jest prawdziwa to oczekiwane liczności wynoszą:

$$EN_1 = np_1, EN_2 = np_2, \dots, EN_k = np_k.$$



Test zgodności chi-kwadrat

5. Odstępstwo empirycznych licznosci (z próby) od oczekiwanych licznosci jest mierzone za pomocą statystyki chi-kwadrat χ^2 postaci:

$$\frac{(N_1 - EN_1)^2}{EN_1} + \frac{(N_2 - EN_2)^2}{EN_2} + \dots + \frac{(N_k - EN_k)^2}{EN_k}.$$

6. Jeśli wszystkie oczekiwane licznosci są nie mniejsze niż 5, tzn $EN_j \geq 5$, $j = 1, 2, \dots, k$, to rozkład χ^2 można przybliżyć rozkładem chi-kwadrat. Jest k kategorii więc liczba stopni swobody rozkładu chi-kwadrat wynosi $k - 1$.

Test zgodności chi-kwadrat

7. Jeśli H_0 jest prawdziwa, to odstępstwo empirycznych licznosci od oczekiwanych licznosci powinno być małe. Stąd wartości statystyki χ^2 też powinny być małe. Z kolei jeśli występuje duża rozbieżność pomiędzy obserwowanymi ślicznosciami kategorii a "teoretycznymi", to wątpimy o prawdziwości H_0 w przypadku dużych wartości statystyki χ^2 . Stąd zbiór krytyczny ma postać:

$$C = \{ \chi^2 : \chi^2 \geq \chi_{1-\alpha, k-1}^2 \} = [\chi_{1-\alpha, k-1}^2, \infty).$$

8. Reguła decyzyjna: Odrzucenie H_0 jeśli obliczona wartość $\chi^2 \geq \chi_{1-\alpha, k-1}^2$

Test zgodności chi-kwadrat

Przykład. Przypuszcza się, że proporcje ludzi z grupami krwi: A, B, AB, and O wynoszą, odpowiednio: 0.4, 0.2, 0.1, 0.3. Wśród 400-tu losowo wybranych osób liczby osób o powyższych grupach krwi wyniosły: 148, 96, 50, 106. Czy na poziomie istotności 5% można zaprzeczyć powyższemu przypuszczeniu?

Rozwiązanie.

$$H_0: p_A = 0.4, p_B = 0.2, p_{AB} = 0.1, p_O = 0.3.$$

Test zgodności chi-kwadrat

Obliczenie wartości χ^2 :

Grupa krwi	Liczności z próbki N	Średnie licznosci EN	$(N - EN)$	$(N - EN)^2$	$(N - EN)^2/EN$
A	148	160	- 12	144	0.90
B	96	80	16	256	3.20
AB	50	40	10	196	2.50
0	106	120	-14	100	1.63
suma	400	400	0		8.23



Test zgodności chi-kwadrat

Liczba stopni swobody: $k - 1 = 4 - 1 = 3$

Poziom istotności testu $\alpha = 0,05$, stąd $1 - \alpha = 0,95$

Kwantyl $\chi^2_{0.95,3} = 7,81$.

Wartość statystyki chi-kwadrat $8,23 > 7,81$, więc odrzucamy hipotezę zerową.

Test niezależności cech

■ **Cel:** testowanie hipotezy, że dwie cechy jednostek populacji są niezależne.

■ **Przykłady:**

Grupa krwi i kolor oczu

Wiek i zapatrywania polityczne

Kolor oczu i kolor włosów

Picie alkoholu i palenie papierosów

Dochód i wykształcenie

Podatki i PKB

Niezawodność systemu i producent

Test niezależności cech

Tablica kontyngencyjna

	d_1	d_2		d_j		d_r	
c_1	n_{11}	n_{12}		n_{1i}		n_{1r}	$n_{1\bullet}$
c_2	n_{21}	n_{22}		n_{2i}		n_{2r}	$n_{2\bullet}$
c_i	n_{i1}	n_{i2}		n_{ij}		n_{jr}	$n_{i\bullet}$
c_k	n_{k1}	n_{k2}		n_{kj}		n_{kr}	$n_{k\bullet}$
	$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$		$n_{\bullet j}$		$n_{\bullet r}$	n

Test niezależności cech

Założenia oraz test

1. Jednostka populacji scharakteryzowana jest parą cech (atrybutów). Niech (X, Y) będzie parą atrybutów wybranej losowo jednostki populacji. Możliwe wartości X należą do k różnych klas (kategorii): c_1, c_2, \dots, c_k liwe wartości cechy Y należą do r różnych klas (kategorii): d_1, d_2, \dots, d_r .

2. H_0 : X, Y są niezależnymi zmiennymi losowymi:

$$H_0: P(X = c_1, Y = d_1) = P(X = c_1)P(Y = d_1), \dots,$$

$$P(X = c_k, Y = d_r) = P(X = c_k)P(Y = d_r).$$



Test niezależności cech

Założenia oraz test (kont.)

3. Niech n_{ij} będzie liczbą elementów realizacji prostej próby losowej (próbki) z tej populacji, dla których cechą pierwszą jest klasa i , a druga klasa j :

n_{ij} = liczba elementów próbki o charakterystykach

$$c_i, d_j, i = 1, 2, \dots, k, j = 1, 2, \dots, r.$$

4. Jeśli H_0 prawdziwa, to oczekiwane liczby obserwacji o charakterystykach (c_i, d_j) wynoszą:

$$np_{ij} = np_{i\cdot} \cdot p_{\cdot j},$$

gdzie $p_{i\cdot} = P(X = c_i)$, $p_{\cdot j} = P(Y = d_j)$.

Test niezależności cech

5. Odstępstwo obserwowanych liczebności w klasach od wartości ich estymatorów przy założeniu, że hipoteza zerowa jest prawdziwa wyraża wartość statystyki chi-kwadrat:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r \frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r \left(\frac{\hat{n}_{ij}^2}{\hat{n}_{ij}} \right) - n$$

gdzie

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{n}$$

Test niezależności cech

6. Jeśli wszystkie $\hat{n}_{ij} \geq 5$, to można przyjąć, że rozkład statystyki chi-kwadrat jest bliski rozkładowi chi-kwadrat o liczbie stopni swobody

$$(k - 1)(r - 1).$$

Przykład Na pewnej uczelni technicznej mającej 3 wydziały A,B,C przeprowadzono egzamin semestralny ze statystyki. Niech X oznacza przynależność losowo wybranego studenta do wydziału ($1 = A$, $2 = B$, $3 = C$), a wartość Y wynosi 1, jeśli student zdał egzamin, 0 w przypadku przeciwnym.

Test niezależności cech

Wyniki badania

y	1	0	
x			
1	350	50	400
2	450	150	600
3	200	100	300
	1000	300	1300

Obliczona wartość statystyki chi-kwadrat wynosi 44,2.

Niech poziom istotności $\alpha = 0,01$.

Liczba stopni swobody $(3-1)(2-1) = 2$

Kwantyl $\chi^2_{0,99} = 9,210$

Zbiór krytyczny $C = [9.210, \infty)$, $44,2 \in C$

Decyzja: Wynik egzaminu zależy od wydziału, przy założonym poziomie istotności 0,01.