Korelacja i regresja liniowa

Statystyka i analiza danych 2019

Jurek Błaszczyński,
na podstawie slajdów Wojtka Kotłowskiego

5 maja 2019

Kowariancja

- **Populacyjna**:

$$C(X, Y) = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)],$$

gdzie μ_X, μ_Y są średnimi zmiennych X i Y.
$C(X, Y)$ mierzy **zależność liniową** dwóch zmiennych losowych.
Szczególny przypadek: wariancja $D^2[X] = C(X, X)$.

- **Próbkowa** - dla zbioru n par $(X_1, Y_1), \ldots, (X_n, Y_n)$:

$$s_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y}).$$

Korelacja

- To inaczej unormowana kowariancja – **populacyjna**:

$$\rho(X, Y) = \frac{C(X, Y)}{D[X]D[Y]}, \qquad \rho(X, Y) \in [-1, 1]$$

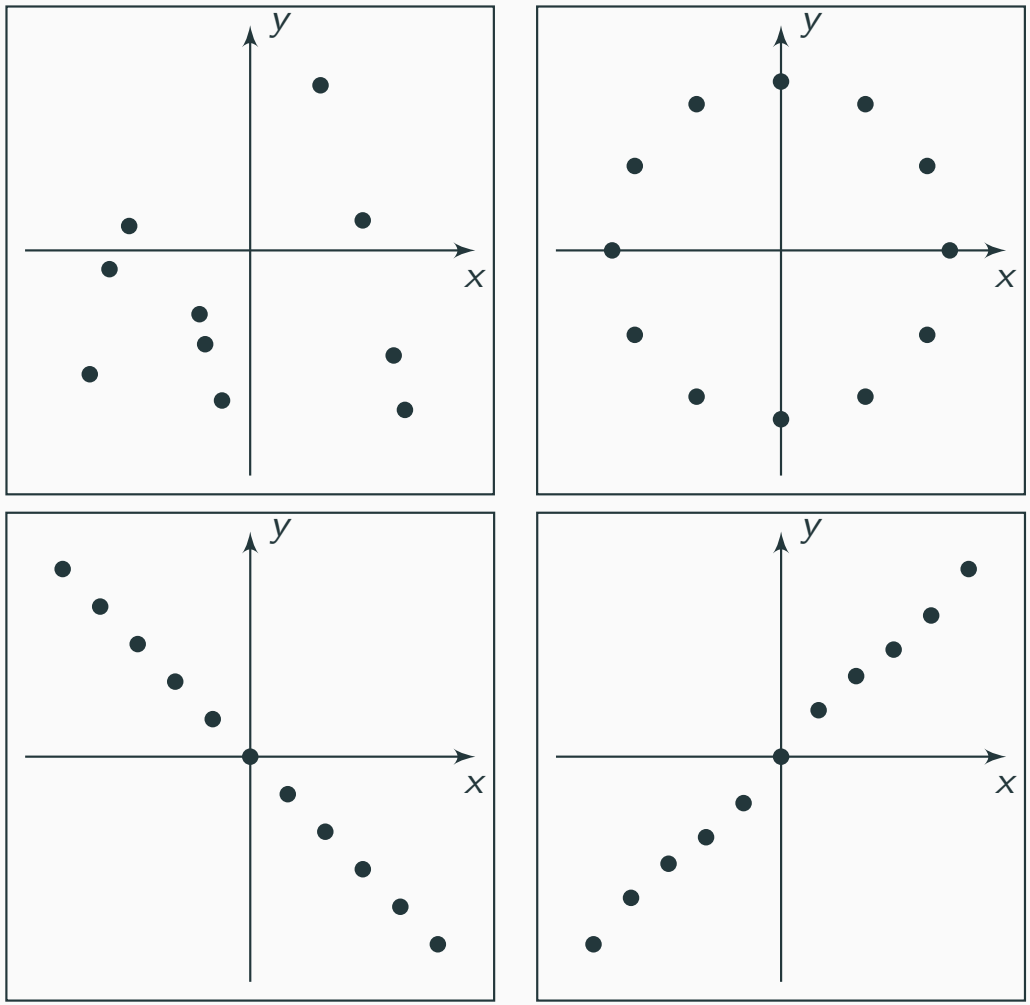
  Jeśli X, Y – niezależne, to $\rho(X, Y) = 0$ (ale nie odwrotnie!)

- **Próbkowa** - dla zbioru n par $(X_1, Y_1), \ldots, (X_n, Y_n)$:

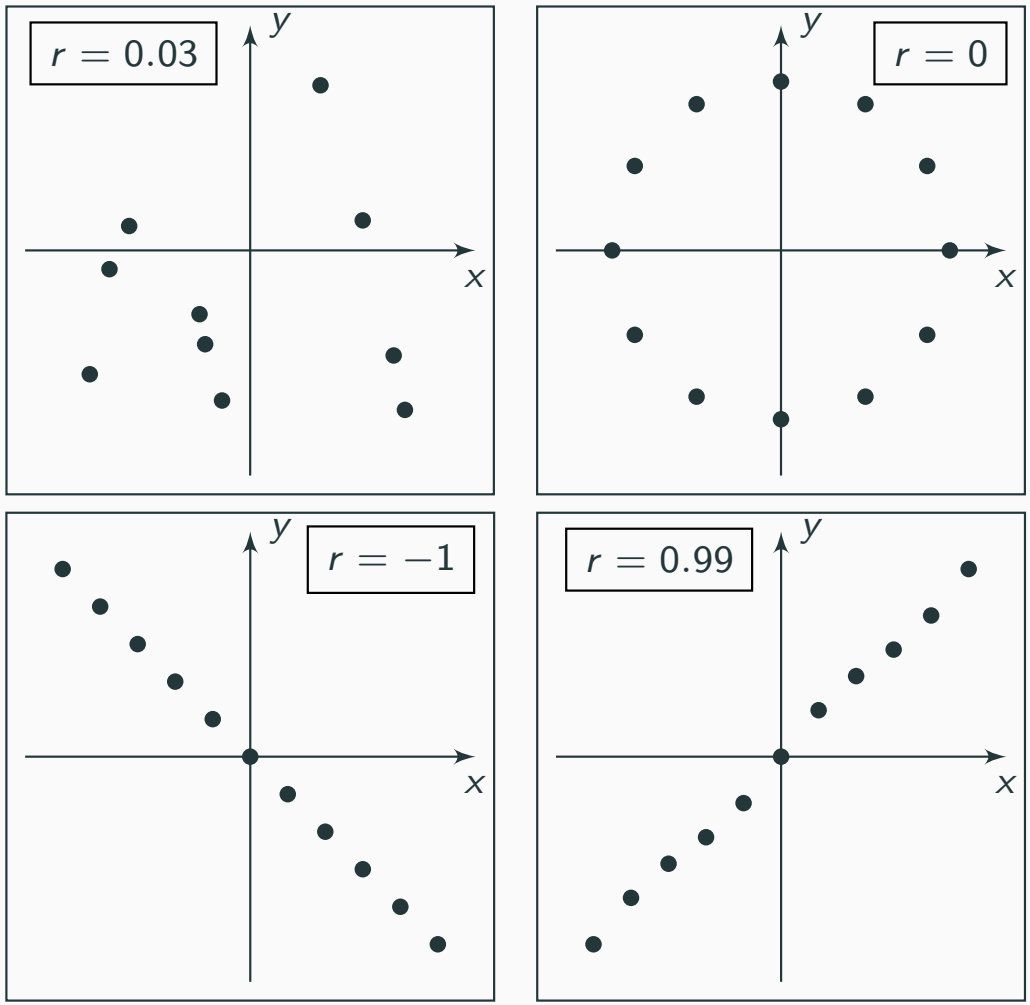
$$r = \frac{s_{XY}}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2\right)}}$$

Zachodzi $r \in [-1, 1]$, wartości skrajne $\{-1, 1\}$ przyjmowane są **wtedy i tylko wtedy** gdy Y_i są funkcją liniową X_i (lub odwrotnie)

Przykłady korelacji



Przykłady korelacji



Test na istotność korelacji

- **Układ hipotez**:

najczęściej

H_0 :	$\rho = 0$	$(\rho \geq 0)$	$(\rho \leq 0)$
H_1 :	$\rho \neq 0$	$\rho < 0$	$\rho > 0$

- **Statystyka testowa**:

$$T = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}\sqrt{n-2} \ \sim \ t(n-2)$$

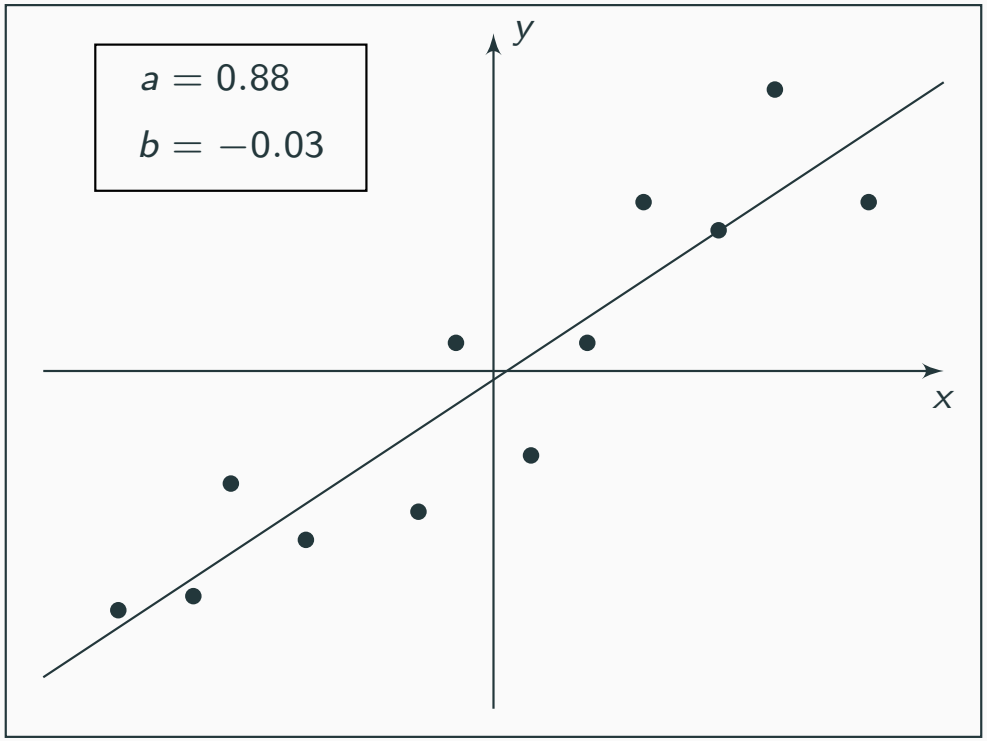
Wartość krytyczną (lub p-wartość) otrzymujemy z rozkładu t-Studenta z $n-2$ stopniami swobody.

Regresja liniowa

Korelacja mierzy **siłę zależności liniowej**.

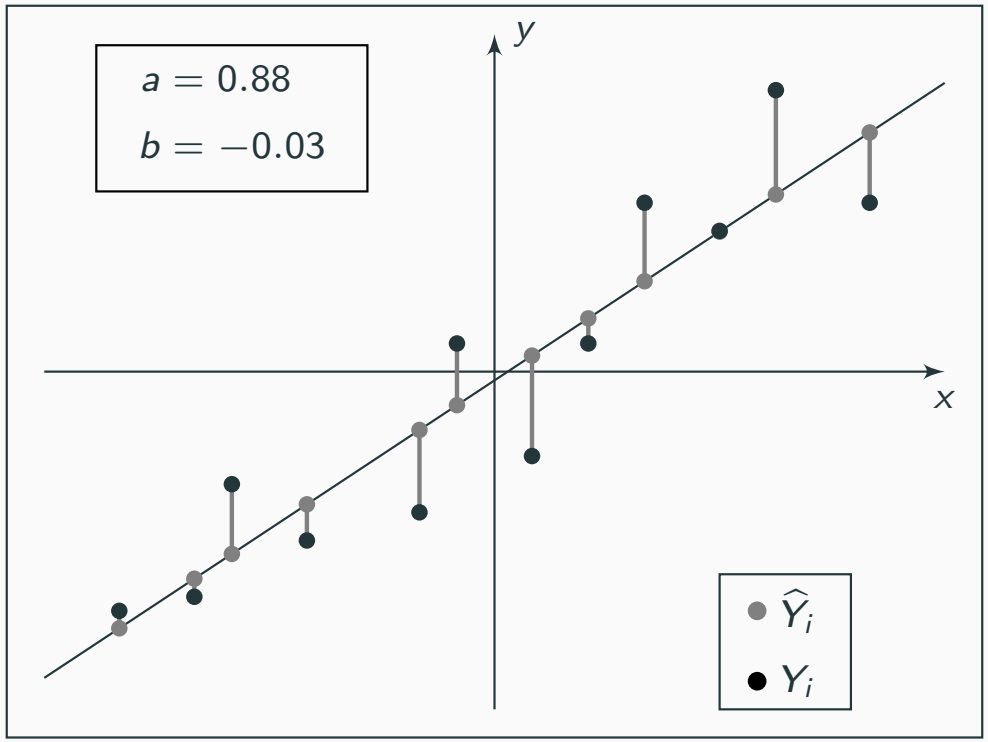
Regresja to wyznaczanie **współczynników zależności liniowej**:

Mając zbiór n punktów $(X_1, Y_1), \ldots (X_n, Y_n)$ wyznacz współczynniki a, b zależności liniowej $Y = aX + b$.



Metoda najmniejszych kwadratów

Dla każdego X_i błąd modelu liniowego to różnica między wartością odczytaną z prostej $\widehat{Y}_i = aX_i + b$ a prawdziwą wartością Y_i:



Minimalizujemy **sumę kwadratów błędów**:

$$a, b \longleftarrow \min_{a,b} \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \widehat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - aX_i - b)^2$$

Wyprowadzenie

$$L(a,b) = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - aX_i - b)^2$$

Przyrównujemy pochodne cząstkowe do zera:

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \iff -\sum_{i=1}^{n} 2(Y_i - aX_i - b) = 0 \iff b = \overline{Y} - a\overline{X}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial a} = 0 \quad &\iff \quad -\sum_{i=1}^{n} 2(Y_i - aX_i - b)X_i = 0 \\
&\iff \quad \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y})X_i = a\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})X_i \\
&\iff \quad \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y})(X_i - \overline{X}) = a\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})(X_i - \overline{X}) \\
&\iff \quad a = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y})(X_i - \overline{X})}{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2} = \frac{s_{XY}}{s_X^2}.
\end{aligned}$$

Współczynniki regresji

$$a = \frac{s_{XY}}{s_X^2} = r\frac{s_Y}{s_X}$$
$$b = \overline{Y} - a\overline{X}$$

- Linia regresji przechodzi przez punkt $(\overline{X}, \overline{Y})$
- Współczynnik kierunkowy a ma **ten sam znak** co współczynnik korelacji r.