

# **Теория вероятностей и математическая статистика**

**Тестирование статистических гипотез III. Начала линейной регрессии.**

Глеб Карпов

ВШБ Бизнес-информатика

## Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

Иначе: о разностях вероятностей успеха у двух случайных величин Бернулли

- Предположим, у нас есть случайная выборка  $\mathcal{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$  из распределения Бернулли с  $P(X_i = 1) = p_1$ , и случайная выборка  $\mathcal{Y} = \{Y_1, \dots, Y_m\}$  из распределения Бернулли с  $P(Y_i = 1) = p_2$ . Тогда обе случайные выборки - процессы Бернулли длины  $n$  и  $m$  соответственно.
- Нас интересует разность истинных долей (или, то же самое, разность вероятностей успеха):

$$\theta = p_1 - p_2$$

- Если  $n, m > 30$ , то по ИТМЛ:

$$\hat{p}_1 \sim \mathcal{N}\left(p_1, \frac{p_1(1-p_1)}{n}\right), \quad \hat{p}_2 \sim \mathcal{N}\left(p_2, \frac{p_2(1-p_2)}{m}\right)$$

- Введём точечную оценку  $\hat{\theta} = \hat{p}_1 - \hat{p}_2$  — разность двух выборочных долей.
- Свойства точечной оценки:  $E[\hat{\theta}] = p_1 - p_2$ ,  $Var[\hat{\theta}] = \frac{p_1(1-p_1)}{n} + \frac{p_2(1-p_2)}{m}$ .
- Так как сумма двух нормальных случайных величин — нормальная случайная величина:

$$\hat{\theta} \sim \mathcal{N}\left(p_1 - p_2, \frac{p_1(1-p_1)}{n} + \frac{p_2(1-p_2)}{m}\right)$$

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Пример 1: левосторонний тест

Фармацевтическая компания тестирует новое лекарство против стандартного лечения. Вопрос: имеет ли новое лекарство более высокую долю выздоровления, чем стандартное лечение?

- Разработка лекарств затратна и требует много времени. Даже небольшие улучшения в доле выздоровления могут спасти жизни и снизить затраты на здравоохранение. Статистическая валидация критически важна перед получением регуляторного одобрения.
- Данные:
  - Стандартное лечение (A):  $n = 800$  пациентов,  $\tilde{p}_A = 0.65$  (65% доля выздоровления)
  - Новое лекарство (B):  $m = 400$  пациентов,  $\tilde{p}_B = 0.72$  (72% доля выздоровления)
- Гипотезы:
  - $H_0 : p_A = p_B$  (новое лекарство не более эффективно)
  - $H_1 : p_A < p_B$  (новое лекарство имеет более высокую долю выздоровления)

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Односторонний тест

- Идея: мы можем ввести новую случайную величину  $D = \hat{p}_1 - \hat{p}_2$
- Её параметры:  $E[D] = p_1 - p_2$ ,  $Var[D] = \frac{p_1(1-p_1)}{n} + \frac{p_2(1-p_2)}{m}$
- Если  $p_1 = p_2$ , то  $E[D] = 0$ , если  $p_1 < p_2$ , то  $E[D] < 0$
- Таким образом, задача сравнения  $p_1$  с  $p_2$  сводится к тестированию математического ожидания одной случайной величины  $D$ :

$$H_0 : E[D] = 0, H_1 : E[D] < 0$$

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Односторонний тест

Для тестирования  $H_0 : p_1 - p_2 = 0$  против  $H_1 : p_1 - p_2 < 0$ , предположим  $p_1 = p_2 = p_c$  (общая доля при нулевой гипотезе):

- Распределение при нулевой гипотезе:

$$D \sim \mathcal{N} \left( 0, \sqrt{\frac{p_c(1-p_c)}{n} + \frac{p_c(1-p_c)}{m}} \right) = \mathcal{N} \left( 0, p_c(1-p_c) \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \right)$$

- Используем  $z$ -статистику для преобразования данных в шкалу стандартного нормального распределения:

$$z_{\text{score}} = \frac{\tilde{p}_1 - \tilde{p}_2}{\sqrt{p_c(1-p_c)(\frac{1}{n} + \frac{1}{m})}}$$

- Объединённая (общая) доля  $p_c$  — это наша оценка общей доли при нулевой гипотезе:

$$p_c = \frac{\tilde{p}_1 n + \tilde{p}_2 m}{n + m}$$

- Правило принятия решения: Отклонить  $H_0$ , если  $z_{\text{score}} < -z_\alpha$  в левостороннем тесте или если  $z_{\text{score}} > z_\alpha$  в правостороннем тесте.

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Пример 1: решение

- Гипотезы:  $H_0 : p_A = p_B$  против  $H_1 : p_A < p_B$  (левосторонний тест)
- Данные:  $n = 800$ ,  $m = 400$ ,  $\tilde{p}_A = 0.65$ ,  $\tilde{p}_B = 0.72$ ,  $\alpha = 0.05$
- Объединённая доля:

$$p_c = \frac{0.65 \cdot 800 + 0.72 \cdot 400}{800 + 400} = \frac{520 + 288}{1200} = 0.673$$

- $z$ -статистика:  $z_{0.05} = 1.645$

$$z_{\text{score}} = \frac{0.65 - 0.72}{\sqrt{0.673 \cdot 0.327 \cdot \left(\frac{1}{800} + \frac{1}{400}\right)}} = \frac{-0.07}{\sqrt{0.220 \cdot 0.00375}} \approx -2.58$$

- Решение:  $z_{\text{score}} = -2.58 < -z_{0.05} = -1.645$ , поэтому отклоняем  $H_0$ .
- Вывод: Имеются достаточно статистически значимые основания для утверждения, что новое лекарство более эффективно, чем стандартное лечение. Консервативная гипотеза отклоняется в пользу альтернативной.

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Пример 2: двусторонний тест

Сеть ресторанов сравнивает уровень удовлетворённости клиентов между двумя локациями. Вопрос: есть ли значимая разница в уровне удовлетворённости?

- Удовлетворённость клиентов — важный фактор успеха бизнеса. Понимание различий между локациями может помочь в распределении ресурсов и выборе стратегии развития.
- Данные:
  - Локация А:  $n = 200$  клиентов,  $\tilde{p}_A = 0.85$  (85% удовлетворены)
  - Локация В:  $m = 200$  клиентов,  $\tilde{p}_B = 0.78$  (78% удовлетворены)
- Гипотезы:
  - $H_0 : p_A = p_B$  (нет разницы в уровне удовлетворённости)
  - $H_1 : p_A \neq p_B$  (разные уровни удовлетворённости)

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Двусторонний тест

Для тестирования  $H_0 : p_1 - p_2 = 0$  против  $H_1 : p_1 - p_2 \neq 0$ :

- Распределение при нулевой гипотезе:

$$D \sim \mathcal{N} \left( 0, \quad p_c(1-p_c) \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \right)$$

- $z$ -статистика:

$$z_{\text{score}} = \frac{\tilde{p}_1 - \tilde{p}_2}{\sqrt{p_c(1-p_c)(\frac{1}{n} + \frac{1}{m})}}$$

- Объединённая доля:

$$p_c = \frac{\tilde{p}_1 n + \tilde{p}_2 m}{n + m}$$

- Правило принятия решения: Отклонить  $H_0$ , если  $|z_{\text{score}}| > z_{\alpha/2}$ .

# Тестирование гипотез о разности долей двух бинарных признаков

## Пример 2: решение

- **Гипотезы:**  $H_0 : p_A = p_B$  против  $H_1 : p_A \neq p_B$  (двусторонний тест)
- **Данные:**  $n = 200$ ,  $m = 200$ ,  $\tilde{p}_A = 0.85$ ,  $\tilde{p}_B = 0.78$ ,  $\alpha = 0.05$
- **Объединённая доля:**

$$p_c = \frac{0.85 \cdot 200 + 0.78 \cdot 200}{200 + 200} = \frac{170 + 156}{400} = 0.815$$

- **$z$ -статистика:**  $z_{0.025} = 1.96$

$$z_{\text{score}} = \frac{0.85 - 0.78}{\sqrt{0.815 \cdot 0.185 \cdot \left(\frac{1}{200} + \frac{1}{200}\right)}} = \frac{0.07}{\sqrt{0.151 \cdot 0.01}} \approx 1.80$$

- **Решение:**  $|z_{\text{score}}| = 1.80 < z_{0.025} = 1.96$ , поэтому не отклоняем  $H_0$ .
- **Вывод:** Результаты тестирования не предоставляют достаточных статистически значимых оснований для отклонения нулевой гипотезы. Нет достаточных оснований утверждать, что существует статистически значимая разница в уровне удовлетворённости клиентов между двумя локациями.

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

## Точечная оценка разности математических ожиданий

- Предположим, у нас есть две независимые выборки:  $\mathcal{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$ ,  $\mathcal{Y} = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ . Характеристики называем  $\mu_X \equiv E[X_i]$ ,  $\sigma_X^2 \equiv Var[X_i]$ , и соответственно  $\mu_Y \equiv E[Y_i]$ ,  $\sigma_Y^2 \equiv Var[Y_i]$
- Нас интересует разность истинных математических ожиданий:

$$\theta = \mu_X - \mu_Y$$

- Введём точечную оценку  $\hat{\theta} = \bar{X} - \bar{Y}$  — разность двух выборочных средних.
- Свойства точечной оценки:  $E[\hat{\theta}] = \mu_X - \mu_Y$ ,  $Var[\hat{\theta}] = \frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}$ .
- При  $n, m > 30$  работает ЦПТ и распределение точечной оценки для  $\theta$ :

$$\hat{\theta} \sim \mathcal{N}\left(\mu_X - \mu_Y, \frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}\right)$$

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

## Пример 3: левосторонний тест

Интернет-магазин тестирует новый дизайн сайта против текущего дизайна. Вопрос: увеличивает ли новый дизайн среднюю стоимость заказа?

- Изменения в дизайне сайта могут значительно повлиять на поведение пользователей и выручку. Даже небольшие улучшения в средней стоимости заказа могут привести к существенному увеличению доходов.
- Данные:
  - Текущий дизайн (A):  $n = 100$  клиентов,  $\bar{x}_A = 85$  долларов,  $s_A = 15$  долларов
  - Новый дизайн (B):  $m = 100$  клиентов,  $\bar{x}_B = 92$  доллара,  $s_B = 18$  долларов
- Гипотезы:
  - $H_0 : \mu_A = \mu_B$  (нет разницы в средней стоимости заказа)
  - $H_1 : \mu_A < \mu_B$  (новый дизайн увеличивает среднюю стоимость заказа)

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

## Односторонний тест (тест Уэлча)

- Идея: мы можем ввести новую случайную величину  $D = \bar{X} - \bar{Y}$
- Её параметры:  $E[D] = \mu_X - \mu_Y$ ,  $Var[D] = \frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}$
- Если  $\mu_X = \mu_Y$ , то  $E[D] = 0$ , если  $\mu_X < \mu_Y$ , то  $E[D] < 0$
- Таким образом, задача сравнения  $\mu_X$  с  $\mu_Y$  сводится к тестированию математического ожидания одной случайной величины  $D$ :

$$H_0 : E[D] = 0, H_1 : E[D] < 0$$

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

## Односторонний тест (тест Уэлча)

Для тестирования  $H_0 : \mu_X - \mu_Y = 0$  против  $H_1 : \mu_X - \mu_Y < 0$ :

- Распределение при нулевой гипотезе:  $\bar{X} - \bar{Y} \sim \mathcal{N} \left( 0, \frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m} \right)$ ,  $\sqrt{\frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}}} \sim t_k$
- Число степеней свободы  $k$  задаётся формулой:

$$k \approx \frac{(V_X + V_Y)^2}{\frac{V_X^2}{n-1} + \frac{V_Y^2}{m-1}}, \text{ где } V_X = \frac{S_X^2}{n}, V_Y = \frac{S_Y^2}{m}$$

- Используем  $t$ -статистику:

$$t_{\text{score}} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_X^2}{n} + \frac{s_Y^2}{m}}}$$

- Правило принятия решения: Отклонить  $H_0$ , если  $t_{\text{score}} < -t_{(k,\alpha)}$  в левостороннем тесте или если  $t_{\text{score}} > t_{(k,\alpha)}$  в правостороннем тесте.

## Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

Пример 3: решение

- Гипотезы:  $H_0 : \mu_A = \mu_B$  против  $H_1 : \mu_A < \mu_B$  (левосторонний тест)
- Данные:  $n = 100, m = 100, \bar{x}_A = 85, \bar{x}_B = 92, s_A = 15, s_B = 18, \alpha = 0.05$
- Степени свободы:

$$V_A = \frac{15^2}{100} = 2.25, \quad V_B = \frac{18^2}{100} = 3.24$$

$$k = \frac{(2.25 + 3.24)^2}{\frac{2.25^2}{99} + \frac{3.24^2}{99}} = \frac{30.14}{0.051 + 0.106} \approx 192$$

- $t$ -статистика:  $t_{(192, 0.05)} \approx 1.653$  (используем  $t_{(200, 0.05)}$  как приближение)

$$t_{\text{score}} = \frac{85 - 92}{\sqrt{\frac{15^2}{100} + \frac{18^2}{100}}} = \frac{-7}{\sqrt{2.25 + 3.24}} = \frac{-7}{2.34} \approx -2.99$$

- Решение:  $t_{\text{score}} = -2.99 < -t_{(192, 0.05)} \approx -1.653$ , поэтому отклоняем  $H_0$ .
- Вывод: Имеются достаточно статистически значимые основания для утверждения, что новый дизайн увеличивает среднюю стоимость заказа по сравнению с текущим дизайном. Консервативная гипотеза отклоняется в пользу альтернативной.

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

## Пример 4: двусторонний тест

Производственная компания сравнивает эффективность производства между двумя заводами. Вопрос: есть ли значимая разница в среднем времени производства единицы продукции?

- Эффективность производства напрямую влияет на затраты и сроки доставки клиентам. Понимание различий в производительности помогает в распределении ресурсов и оптимизации процессов.
- Данные:
  - Завод А:  $n = 100$  единиц,  $\bar{x}_A = 45$  минут,  $s_A = 8$  минут
  - Завод В:  $m = 80$  единиц,  $\bar{x}_B = 42$  минуты,  $s_B = 7$  минут
- Гипотезы:
  - $H_0 : \mu_A = \mu_B$  (нет разницы в среднем времени производства)
  - $H_1 : \mu_A \neq \mu_B$  (разные средние времена производства)

# Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

Двусторонний тест (тест Уэлча)

Для тестирования  $H_0 : \mu_X - \mu_Y = 0$  против  $H_1 : \mu_X - \mu_Y \neq 0$ :

- Распределение при нулевой гипотезе:  $\bar{X} - \bar{Y} \sim \mathcal{N}\left(0, \frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}\right)$ ,  $\sqrt{\frac{\sigma_X^2}{n} + \frac{\sigma_Y^2}{m}} \sim t_k$

- Число степеней свободы:

$$k \approx \frac{(V_X + V_Y)^2}{\frac{V_X^2}{n-1} + \frac{V_Y^2}{m-1}}, \text{ где } V_X = \frac{S_X^2}{n}, V_Y = \frac{S_Y^2}{m}$$

- $t$ -статистика:

$$t_{\text{score}} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_X^2}{n} + \frac{s_Y^2}{m}}}$$

- Правило принятия решения: Отклонить  $H_0$ , если  $|t_{\text{score}}| > t_{(k, \alpha/2)}$ .

## Гипотезы о разности математических ожиданий при неизвестных дисперсиях

Пример 4: решение

- Гипотезы:  $H_0 : \mu_A = \mu_B$  против  $H_1 : \mu_A \neq \mu_B$  (двусторонний тест)
- Данные:  $n = 100, m = 80, \bar{x}_A = 45, \bar{x}_B = 42, s_A = 8, s_B = 7, \alpha = 0.05$
- Степени свободы:

$$V_A = \frac{8^2}{100} = 0.64, \quad V_B = \frac{7^2}{80} = 0.613$$

$$k = \frac{(0.64 + 0.613)^2}{\frac{0.64^2}{99} + \frac{0.613^2}{79}} = \frac{1.57}{0.0041 + 0.0048} \approx 175$$

- $t$ -статистика:  $t_{(175, 0.025)} \approx 1.976$  (используем  $t_{(200, 0.025)}$  как приближение)

$$t_{\text{score}} = \frac{45 - 42}{\sqrt{\frac{8^2}{100} + \frac{7^2}{80}}} = \frac{3}{\sqrt{0.64 + 0.613}} = \frac{3}{1.12} \approx 2.68$$

- Решение:  $|t_{\text{score}}| = 2.68 > t_{(175, 0.025)} \approx 1.976$ , поэтому отклоняем  $H_0$ .
- Вывод: Имеются достаточно статистически значимые основания для утверждения, что существует разница в среднем времени производства между двумя заводами. Консервативная гипотеза отклоняется в пользу альтернативной.

## Гипотезы о разности матожиданий при неизвестных, но предположительно равных дисперсиях

### Точечная оценка разности математических ожиданий

- Предположим, у нас есть две независимые выборки:  $\mathcal{X} = \{X_1, \dots, X_n\}$ ,  $\mathcal{Y} = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ . Характеристики называем  $\mu_X \equiv E[X_i]$ ,  $\sigma_X^2 \equiv Var[X_i]$ , и соответственно  $\mu_Y \equiv E[Y_i]$ ,  $\sigma_Y^2 \equiv Var[Y_i]$
- Дисперсии  $\sigma_X^2$  и  $\sigma_Y^2$  **неизвестны**, но для простоты предполагаем, что они равны:  $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 = \sigma^2$ .
- Нас интересует разность истинных математических ожиданий:

$$\theta = \mu_X - \mu_Y$$

- Введём точечную оценку  $\hat{\theta} = \bar{X} - \bar{Y}$  — разность двух выборочных средних.
- Свойства точечной оценки:  $E[\hat{\theta}] = \mu_X - \mu_Y$ ,  $Var[\hat{\theta}] = \sigma^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)$ .
- При  $n, m > 30$  работает ЦПТ и распределение точечной оценки для  $\theta$ :

$$\hat{\theta} \sim \mathcal{N} \left( \mu_X - \mu_Y, \sigma^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \right)$$

- Проблема: мы не можем использовать  $\sigma^2$  при тестировании гипотез, так как дисперсия неизвестна!

## Гипотезы о разности матожиданий при неизвестных, но предположительно равных дисперсиях

### Объединенная выборочная дисперсия

- Решение: заменяем неизвестную дисперсию  $\sigma^2$  на её оценку — объединённую выборочную дисперсию  $S_p^2$ , и используем  $t$ -распределение вместо нормального.
- Вводим  $t$ -распределённую переменную:

$$\frac{\bar{X} - \bar{Y} - (\mu_X - \mu_Y)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \sim t_{(n+m-2)}$$

- Объединённая дисперсия  $S_p^2$  — это взвешенное среднее выборочных дисперсий:

$$S_p^2 = \frac{(n-1)S_X^2 + (m-1)S_Y^2}{n+m-2}$$

- **Интуиция:** мы "объединяем" информацию о дисперсии из обеих выборок, используя веса, пропорциональные размерам выборок минус один (степени свободы). Идея в том, что чем больше размер выборки, тем точнее реализации выборочной дисперсии, и тем больше будет вес у этого слагаемого в сумме.
- Число степеней свободы:  $n + m - 2$  (сумма степеней свободы обеих выборок).

## Гипотезы о разности матожиданий при неизвестных, но предположительно равных дисперсиях

Для тестирования  $H_0 : \mu_X - \mu_Y = 0$  против  $H_1 : \mu_X - \mu_Y \gtrless 0$  или  $H_1 : \mu_X \neq \mu_Y$ .

- Распределение при нулевой гипотезе:  $\bar{X} - \bar{Y} \sim \mathcal{N}\left(0, \sigma^2\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)\right)$ ,  $\frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \sim t_{(n+m-2)}$
- Используем  $t$ -статистику:

$$t_{\text{score}} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s_p \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}$$

- где  $s_p^2$  — реализация объединённой дисперсии:

$$s_p^2 = \frac{(n-1)s_X^2 + (m-1)s_Y^2}{n+m-2}$$

- Правило принятия решения: Отклонить  $H_0$ , если  $t_{\text{score}} < -t_{(n+m-2,\alpha)}$  в левостороннем тесте или если  $t_{\text{score}} > t_{(n+m-2,\alpha)}$  в правостороннем тесте.
- Для двустороннего теста: Отклонить  $H_0$ , если  $|t_{\text{score}}| > t_{(n+m-2,\alpha/2)}$ .

## Модель простой линейной регрессии

Модель простой линейной регрессии предполагает, что существует прямая с коэффициентом сдвига  $\alpha$  и наклоном  $\beta$ , называемая истинной или генеральной линией регрессии. Когда фиксируется значение независимой переменной  $x$  и делается наблюдение зависимой переменной  $y$ :

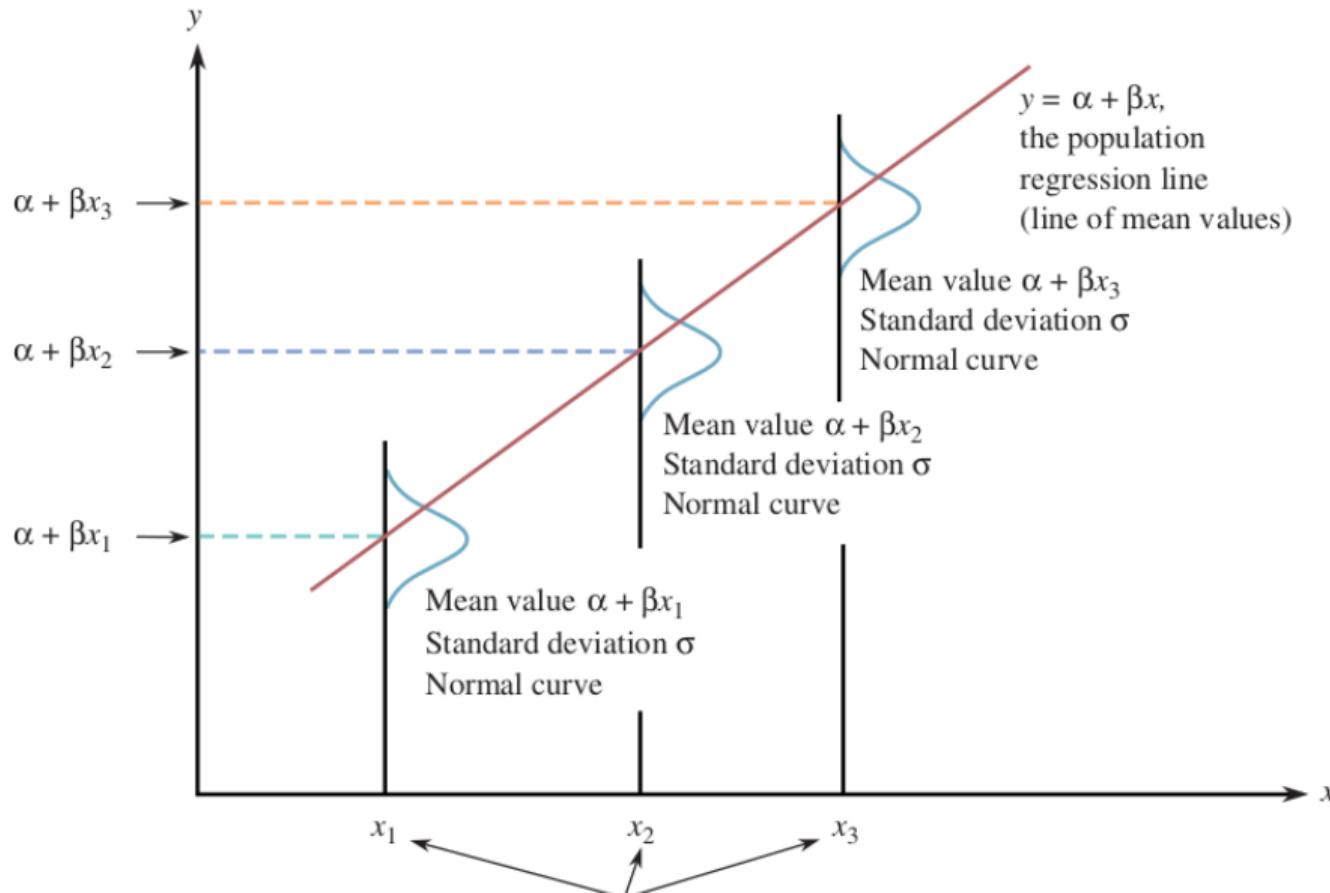
$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon$$

Предполагаем, что некоторая случайная величина  $Y$  зависит от  $X$  линейным образом. Может не быть сильной линейной зависимости, но по крайней мере есть тренд линейного изменения одного параметра относительно другого.

## Основные предположения модели

1. Распределение  $\varepsilon$  при любом конкретном значении  $x$  имеет среднее значение 0. То есть  $\mu_\varepsilon = 0$ .
2. Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) величины  $\varepsilon$  (которое описывает разброс её распределения) одинаково для любого конкретного значения  $x$ .
3. Распределение  $\varepsilon$  при любом конкретном значении  $x$  нормальное, т.е.  $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ .
4. Случайные отклонения  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , связанные с разными наблюдениями, независимы друг от друга.

## Иллюстрация модели регрессии



## Поведение при различных значениях $\sigma$

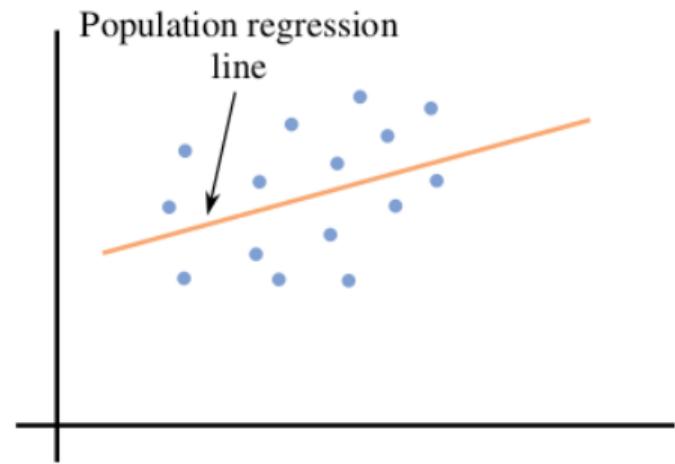
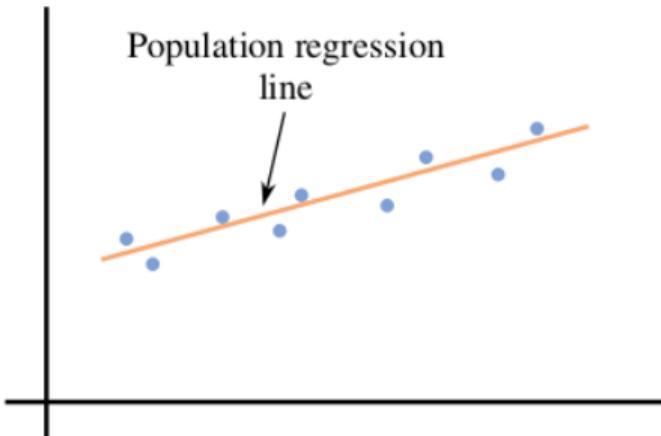


Рис. 2: Поведение при различных значениях  $\sigma$

## Точечная оценка параметров

МНК: Метод Наименьших Квадратов

Выборочные средние:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Суммы квадратов:

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2, \quad S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2, \quad S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Оценки параметров:

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x}, \quad \hat{\beta} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Полученная (оценочная) линейная функция:

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x$$

## Коэффициент корреляции

Выборочный коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}}$$

Можно использовать его для двустороннего теста, есть ли связь между переменными в генеральной совокупности.

**Распределение:**

Следующая функция коэффициента корреляции ведёт себя как  $t$ -переменная Стьюдента с  $(n - 2)$  степенями свободы (при нулевой гипотезе  $\rho = 0$ ):

$$r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \sim t_{(n-2)}$$

## Тест независимости

Гипотезы:

$H_0 : \rho = 0$  (Нет корреляции между переменными в генеральной совокупности)

$H_1 : \rho \neq 0$  (Есть корреляция между переменными в генеральной совокупности)

Правило принятия решения:

- Подставляя выборочное значение  $r$ , которое мы получили, вычисляем  $t_{\text{score}}$  теста:

$$t_{\text{score}} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

- После этого действуем обычным образом, сравнивая координаты критической точки  $t_{(n-2,\alpha/2)}$  и полученный  $t_{\text{score}}$  теста.
- Отклонить  $H_0$ , если  $|t_{\text{score}}| > t_{(n-2,\alpha/2)}$