

---

# Проверка статистических гипотез

---

Версия 2

---

# Определение

- Статистическая гипотеза – утверждение о свойствах распределения вероятностей случайной величины *(или случайного вектора)*.
  - Гипотеза нуждается в проверке.
  - Проверка основывается на результатах эксперимента, на наблюдениях.
-

---

# Напоминание

- Что такое функция распределения?
  - Что такое плотность распределения?
-



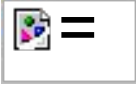

---

# Раздел 1

Зачем проверяют  
статистические гипотезы

- Обсудим наиболее важные статистические гипотезы.
-

# 1. Гипотеза согласия.

- Обозначим  функцию распределения случайной величины  $X$ .
- Пусть  - некоторая заданная функция распределения.
- **Гипотеза** : функции распределения совпадают, то есть  = 
- Кому и когда приходится проверять гипотезу согласия?

---

# Пример гипотезы согласия

- Гипотеза о нормальности распределения
- В этом случае



GD9674175N9

Deutsche Bundesbank

*Heinrich* *Heine*

Frankfurt am Main  
1. Oktober 1993



ZEHN DEUTSCHE MARK

10

GD9674175N9

1777-1855 Carl Friedr. Gauß

---

# Почему гипотеза нормальности важна?

- 1. Нормальное распределение часто встречается  
(вспомним центральную предельную теорему).
-



# Почему гипотеза нормальности важна?

- 2. Когда распределение нормальное, экономим деньги: если
  - А) распределение можно считать нормальным и
  - Б) задана необходимая погрешность результата,
    - то при проведении анализа можно обойтись меньшим числом наблюдений.
  - Например, опросить меньше покупателей.

---

# Пример гипотезы согласия 2

- Гипотеза об экспоненциальности распределения.
- В этом случае функция распределения



---

# Почему важна гипотеза экспоненциальности?



- Экспоненциальное распределение часто встречается, когда изучается «время ожидания».
-

---

## Например,

- Время до аварии (нужно для расчета страховой премии).
  - Время обслуживания покупателя кассиром (нужно для определения числа касс в супермаркете).
  - Время до поломки изделия (нужно для планирования расходов на гарантийный ремонт).
-

## 2. Гипотеза однородности.

- Обозначим  функцию распределения случайной величины  $X$ .
- Обозначим  функцию распределения случайной величины  $Y$
- **Гипотеза** : функции распределения совпадают



- Кому и когда приходится проверять гипотезу согласия?

---

## Например,

- Распределение продаж до рекламной акции и после нее.
  - Если распределение продаж не изменилось, то улучшения нет.
  - Может сравниваться распределение покупателей по возрасту. Например, если реклама была нацелена на конкретный сегмент, например, на молодых мам.
-

---

## 3. Гипотеза независимости.

- **Гипотеза** : случайные величины  $X$  и  $Y$  независимы
  - Кому и когда приходится проверять гипотезу независимости?
-

---

# Например,

- Если возраст покупателей и объем покупки зависимы, то возраст надо учитывать при сегментации покупателей.
  - Иногда зависимость бывает неочевидной.
  - Длина волос и рост людей – зависимые переменные.
-



---

# Вопрос:

- наличие балкона влияет на цену квартиры?

---

## На шаг дальше...

- В эконометрике редко интересен сам факт зависимости. Обычно идут дальше, пытаются описать зависимость.
  - Подобные задачи решаются, в частности, методами регрессионного анализа.
  - Регрессионный анализ – следующая тема.
-

---

## 4. Гипотезы о параметре распределения.

- Очень часто не так важно распределение случайной величины. Интересна лишь одна характеристика распределения.
-

---

Если анализируются продажи магазина,  
то в первую очередь интересно...

- Математическое ожидание
  - Так как математическое ожидание – вероятностная модель для среднего значения.
  - В данном случае для средних продаж.
-

- 
- **Гипотеза.** Математические ожидания случайных величин  $X$  и  $Y$  одинаковы.

- $EX = EY$

---

# Если сравниваются медианы:

- Гипотеза. Медианы случайных величин  $X$  и  $Y$  одинаковы.
  - $\text{Med}(X) = \text{med}(Y)$



---

# Основные условия применения статистических тестов

- Вопрос должен касаться какой-либо характеристики массового явления.
  - Характеристика меняется случайным образом от наблюдения к наблюдению.
  - Вопрос должен быть относительно простым и четко сформулированным
-

# Пример 1

- В обычных условиях зафиксирован некоторый уровень продаж. Затем была проведена рекламная акция.
- Руководству фирмы надо оценить результат.
- Для этого нужно выяснить, было ли существенное увеличение продаж. В частности, окупилась ли затрата на рекламу.



---

# Основная проблема:

Увеличение продаж могло быть вызвано случайными факторами.

- Продажи все время меняются, случайным образом отклоняются от заданного значения.
  - Статистически значимое отклонение должно превышать эти случайные отклонения.
-

---

## Пример 2

- Разработан новый варианта упаковки товара.
  - Требуется проверить предположение, что товар в новой упаковке имеет в данном регионе больший уровень продаж, чем вариант в старой упаковке.
-

---

## Пример 3

- Верно ли, что основной конкурент действует на том же сегменте рынка, что и фирма «Х»?
  - При ответе на этот вопрос может потребоваться проверить, одинаково ли распределение по возрасту у покупателей товаров фирмы «Х» и ее основного конкурента.
-

---

## Пример 4

- Фирма изучает постоянных покупателей своей продукции, чтобы увеличить их лояльность и количество.
  - В рамках этой задачи аналитик проверяет, зависит ли лояльность потребителя от его пола, возраста, уровня образования.
-

## Пример 4. Часть 2

- Статистическая формулировка: проверить гипотезы о независимости уровня лояльности и
  - а) пола покупателя;
  - б) возраста покупателя;
  - в) уровня образования покупателя.
- Далее, можно проверить, различаются ли средние значения изучаемых показателей у лояльных и не лояльных покупателей.

---

## Раздел 2

Технологии проверки статистических гипотез

Основные понятия

---

---

# Выбираем из двух гипотез!

- Гипотеза принимается или отвергается
  - Так неудобно
  - 
  - Надо: выбираем между двумя статистическими гипотезами.
  -
-

---

# Определение

- Проверку гипотез на основе выборочных статистических данных называют статистической проверкой гипотез.
-



---

# Основная и альтернативная гипотезы

- Одну из гипотез называют основной и обозначают, как правило,  $H$ , а другую — альтернативной (конкурирующей) и обозначают  $K$ .
  - Если не уточняется, о какой гипотеза идет речь, то имеется в виду основная гипотеза.
  - Чаще всего (но не всегда) одна гипотеза утверждает, что предположение верно, другая — что нет.
-

- 
- Неточно говорить «...выбрана основная гипотеза...» или «...выбрана альтернативная гипотеза...»,
  - 
  - Неточно говорить
  - «...основная гипотеза принята...» или «основная гипотеза отвергнута...».
-

---

## Важное уточнение.

- Правильно говорить
  - «основная гипотеза отвергнута...» и
  - «основная гипотеза не отвергнута...».
- 
- Так как обычно проверяют лишь достаточное условие.
-

---

# Комментарий 1:

- Гипотеза: число делится на 6 нацело.
  - Фактически проверяем, делится ли число на 2 нацело.
-

---

## Комментарий 2:

Часто случается, что у аналитика недостаточно данных, чтобы проявился изучаемый эффект.

- Например,
  - фармацевтическая компания выпускает лекарство, аналогичное уже существующему, так называемый "дженерик" (generic) вместо оригинального, производимого разработчиком ("brand-named").
  - Компания проводит исследование, проверяющее, что лекарство-аналог эквивалентно уже существующему.
-

---

# Отвергнуть гипотезу недостаточно

- Основная гипотеза при анализе: отличия между лекарствами нет.
  - Дело касается здоровья людей, и не отвергнуть гипотезу недостаточно.
  - Необходимы более жесткие требования к процедуре. Надо проверить еще и побочные эффекты у лиц страдающих заболеванием «x1», «x2», и так далее...
-

---

# ВЫВОД

- Хотя часто можно услышать, что (основная) гипотеза принята, такое выражение неточно.
  - Точнее говорить, что (основная) гипотеза не отвергнута
-

---

# Ошибки первого и второго рода

- Ошибка первого рода состоит в том, что отвергается основная гипотеза, когда на самом деле она верна.
  - Ошибка второго рода состоит в том, что отвергается конкурирующая гипотеза, когда она верна.
-



---

# Аналогия

- В больнице врач принимает решение, направлять пациента на операцию, или нет.
-

- 
- Когда врач делает ошибку первого рода?
  - Когда врач делает ошибку второго рода?
-

# Гипотеза: нужна срочная операция

	Гипотеза верна	Гипотеза не верна
Гипотеза принята	+	Ошибка 2 рода
Гипотеза отвергнута	Ошибка 1 рода	+

- 
- Может ли врач свести частоту (вероятность) ошибок первого рода к нулю?
  - Может ли врач свести частоту (вероятность) ошибок второго рода к нулю?
-

---

# Есть исключения

- Например,
  - если мы будем вакцинацию считать операцией,
  - то получается, что врачи предпочитают делать маленькую "превентивную" операцию всем, чтобы исключить ошибки первого рода.
-

---

# Последствия ошибок могут быть различными

- Ошибка первого рода (обычно) опаснее, но полностью избежать ее не удастся.
  - При проверке статистических гипотез исходят именно из этой предпосылки
-

---

# Уровень значимости

- Долю ошибок первого рода ограничивают сверху числом, называемым уровнем значимости.
  - Исторически сложилось так, что в качестве уровня значимости чаще всего выбирают одно из чисел 0.005, 0.01, 0.05.
  - То есть аналитик допускает, что (в среднем) одна проверка из 200, 100, 20 будет давать неверный результат.
-

---

## Для новичков!

- Чаще всего уровень значимости равен 0,05
  - На самом деле выбор уровня значимости – большая проблема! Зависит, например, от числа наблюдений!
  - Смотрите литературу
-



- 
- «медицинский» пример
  - На что влияет выбор уровня значимости?
  - Проектирование атомной электростанции
  - Трелевочный трактор
  - Генетика: теперь уровень значимости не 0.05, а 0.01
-

---

# Ошибка второго рода и мощность

- Как добиться того, чтобы вероятность ошибки второго рода была малой?
  - Очень сложно.
  - Состоятельные критерии.
  - Ошибку можно уменьшить, если увеличить число анализируемых наблюдений.
  - Необходимы большие выборки.
-

# Дополнительно

- Если выборка маленькая (часто границей между большой и маленькой выборкой рекомендуют считать 30 наблюдений), проверить гипотезу по малой выборке удастся.
- Но
- Платой за малый размер будет неприемлемо большая вероятность ошибки второго рода.
- Большинство практиков игнорируют ошибку второго рода.
- Это неверно.
- Профессиональные статистики в таких ситуациях часто увеличивают уровень значимости (например до 0.15 или 0.2), чтобы сделать вероятности ошибок сопоставимыми.

---

# Задача.

- Вместо врача рассмотрим банковского служащего, принимающего решение, выдавать заем или нет.
  - 
  - Как будут интерпретироваться статистические понятия в этом случае?
-

---

# Алгоритм проверки статистических гипотез

- 1. Имеются  $n$  наблюдений, то есть  $n$  чисел, полученных, например, в результате опроса.
  - 2. Заранее задан уровень значимости  $\alpha$ . Обычно это одно из чисел 0.005, 0.01, 0.05.
-

- 
- 3. Задан статистический критерий, то есть функция от наблюдений .
  - 
  - 4. Найдено  $p$ -значение ( $p$ -value).
  - Иногда переводится как значимость (Significance).
-

- 
- 5. Проверяются все условия, при которых критерий будет работать.
  - Условия – Из учебника или справочника.
  - Несколько важных критериев будет рассмотрено далее
-

- 
- 6.
  - Если  $p < \alpha$  - гипотезу отвергаем, если  $p > \alpha$  - не отвергаем.
  - 
  - Напомним:
    - $\alpha$  – уровень значимости
    - $p$  - p-value.
-



---

# *Комментарии*

- Наблюдения не обязательно являются числами.
  - Выбор того статистического критерия, который подходит для задачи – важная и сложная задача
-

---

# Проверка условий применимости

- Например, для применения  $t$  – критерия Стьюдента или для проверка гипотезы независимости с помощью критерия Пирсона надо проверить близость распределения переменных к нормальному.
-

---

# Статистика критерия или тестовая статистикой

- Иногда используют статистику критерия или тестовую статистику.
  - Изредка она важна сама по себе (например, коэффициент корреляции), в таких конкретных случаях мы будем ее указывать.
-

---

# Интерпретация статистики критерия

- Значение статистики критерия (обычно) измеряет, насколько данные согласуются с гипотезой.



- 
- "Маленькие" значения статистики критерия указывают, что данные «ведут себя» в соответствии с гипотезой.
  - В этом случае гипотеза не отвергается.
-

- 
- "Большие" значения статистики критерия указывают, что данные не соответствуют гипотезе, противоречат ей.
  - Гипотеза отвергается.
-

# Пример

- Нормальное распределение с дисперсией 1
- Имеется  $n$  наблюдений
- Основная гипотеза: математическое ожидание равно 11
- Альтернативная гипотеза: математическое ожидание равно 12

# Напоминание из теории вероятностей

- Среднее арифметическое  $n$  независимых одинаково распределенных случайных величин с общим нормальным распределением  $N(a, b)$  имеет нормальное распределение  $N(a, b/n)$



---

# Вопрос:

- Где на графике ошибка первого рода, где ошибка второго рода?

---

# Интерпретация статистики критерия

- В статистике жестко прописано, что именно задавать в качестве основной гипотезы.
  - Примеры.
-

---

# Раздел 3

Важные частные случаи

---

---

# Проверка гипотезы о нормальности распределения случайной величины

---

---

# Статистическая формулировка

- **Гипотеза:** Случайная величина имеет нормальное распределение, значения параметров распределения заранее не известны.
  - **Конкурирующая гипотеза:** Распределение случайной величины отличается от нормального.
-

---

# Литература

Thode

Testing For Normality

CRC Press 2002 368c

---

---

# Критерий Шапиро-Уилка

- Критерий Шапиро-Уилка.
  - `shapiro.test(data)`
  - От 3 до 5000 наблюдений
-

---

# Package "nortest"

Критерий Anderson-Darling

```
library(nortest)
```

```
ad.test(data)
```

Критерий Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov)

```
library(nortest)
```

```
lillie.test(x)
```

---



---

# Число наблюдений

Если меньше 2000 наблюдений,  
рекомендуется использовать критерий  
Шапиро-Уилка  
если больше 2000, то критерий  
Колмогорова-Смирнова.

---

---

А нужно ли проверять гипотезу  
нормальности?

---

- 
- Методы, которые рассматриваются в курсе, работают не только когда переменные имеют нормальное распределение, но и когда «распределение данных несущественно отличается от нормального».
-

- 
- допустим известно, что распределение случайной величины не нормальное.
  - В каком случае отклонение от нормальности не существенное?
-

---

Итак,

- гипотеза о нормальности распределения изучаемой переменной **уже** отвергнута.



---

# Существенные отклонения

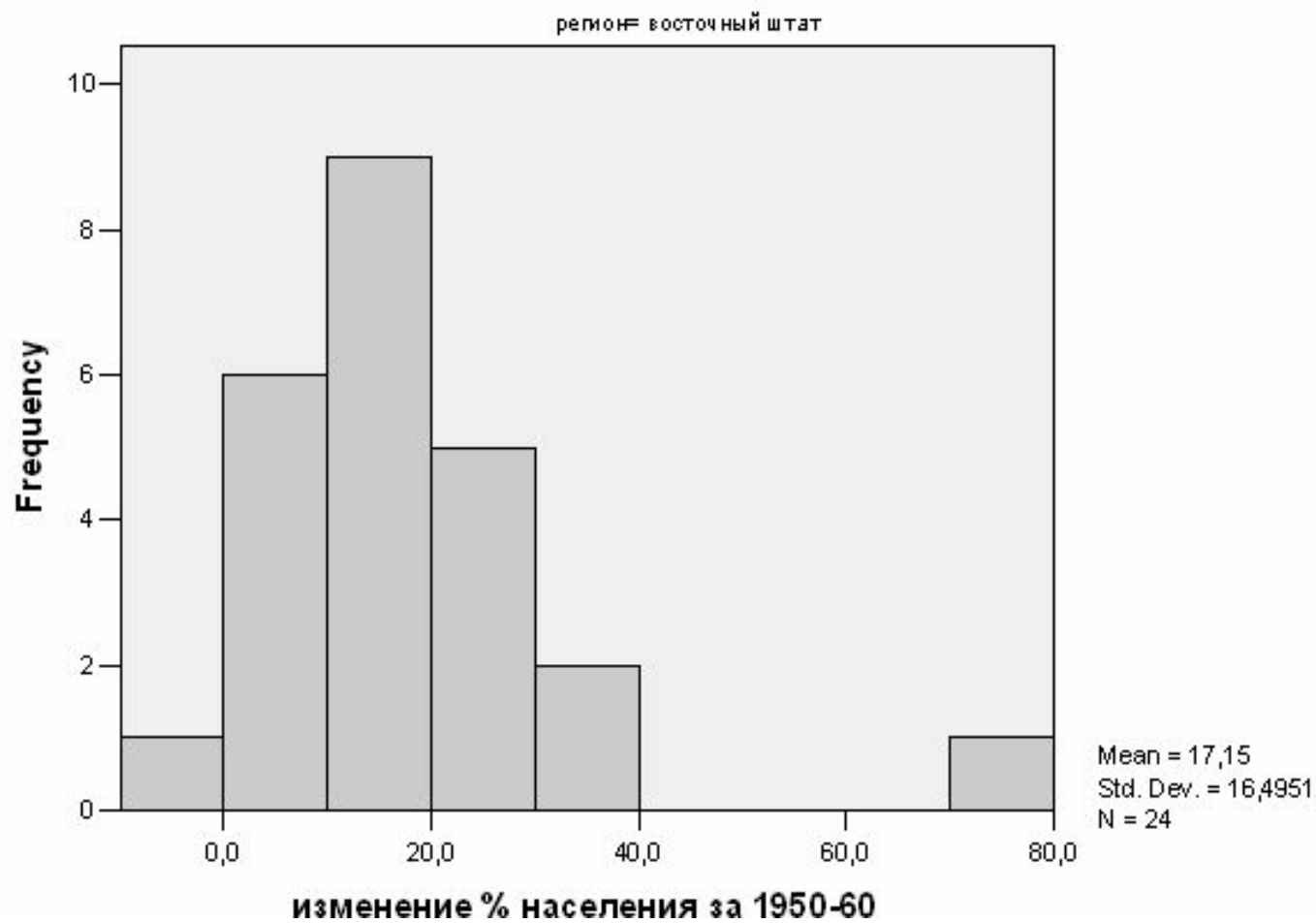
- 1. Наличие выбросов в данных.
  - 2. Явная асимметрия гистограммы.
  - 3. Очень сильное отклонение формы гистограммы от колоколообразной формы.
-

---

# Рекомендуется

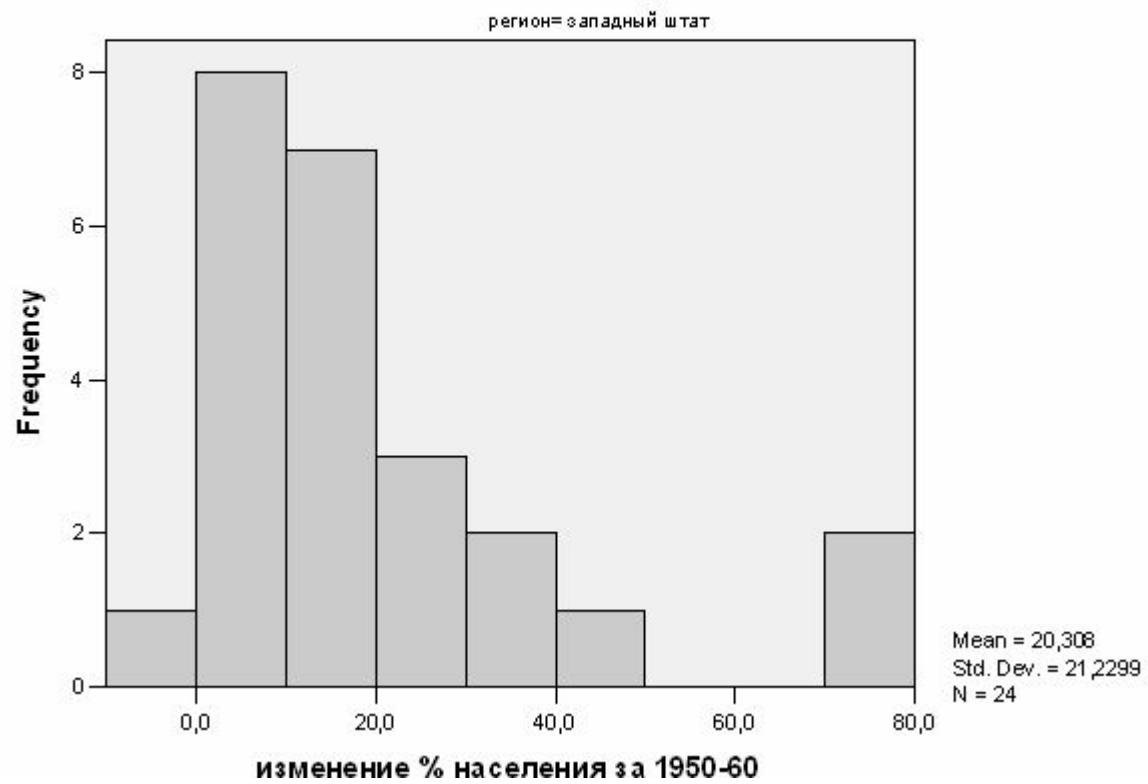
- строго относиться к присутствию выбросов,
  - снисходительно к отклонениям от симметрии.
  - Наше отношение к колоколообразной форме гистограммы зависит от числа наблюдений. Если имеется меньше 30 наблюдений, наше отношение в высшей степени либерально, если число наблюдений находится между 30 и 150, мы относимся к отклонениям снисходительно, если имеется больше 150 наблюдений – строго.
-

## Histogram

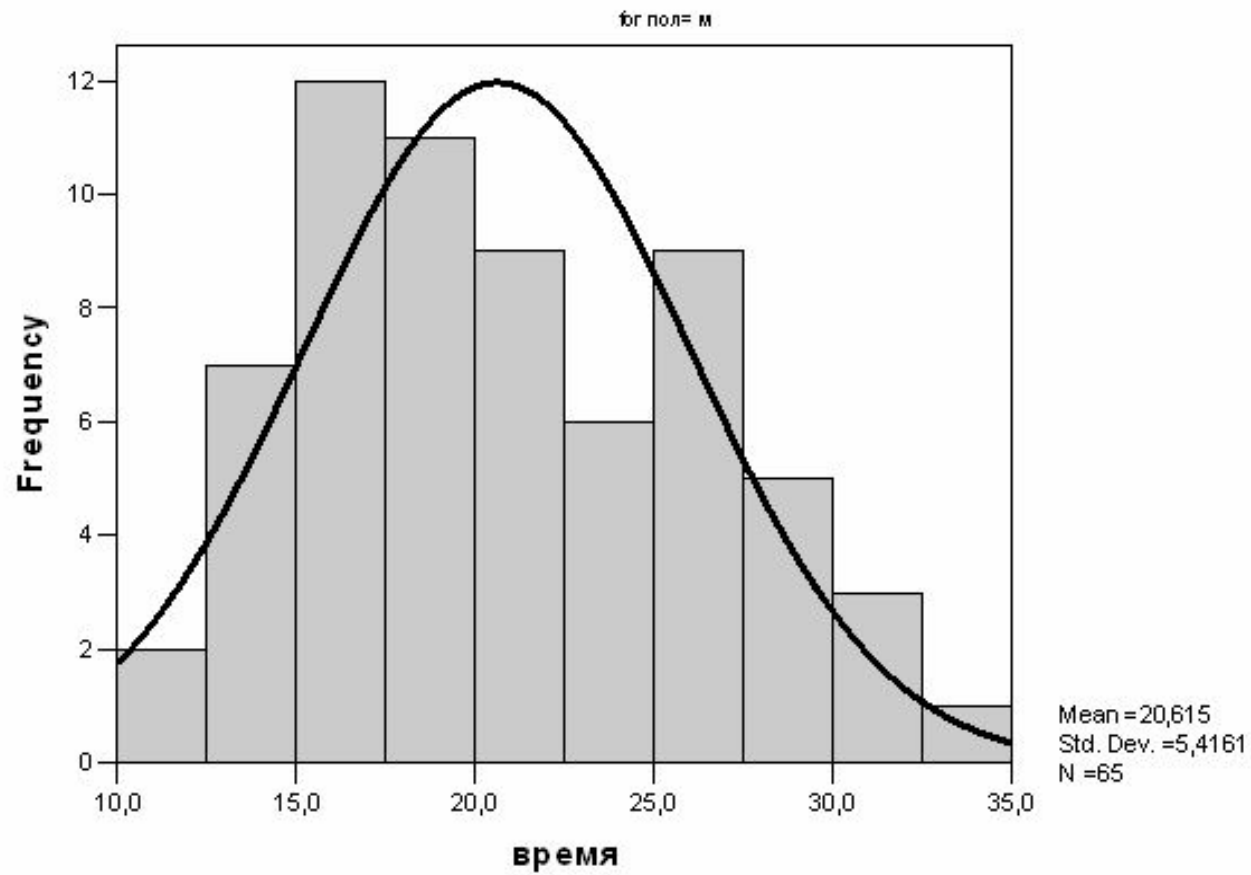




## Histogram



## Histogram



---

# Лекарство

Иногда оно опаснее болезни...

Выбросы — удаляем (осторожно!)

Асимметрия — преобразуем данные (например, логарифмируем, или преобразование Бокса-Кокса)

Бимодальность — разбиваем выборку на подвыборки

---

---

# Пример 1

- Население городов России в 1959 году
  - Исходные данные
  - Логарифм населения
-

---

# Пример 2

- Альбукерк – продажи домов

---

# Сравнение центров распределений

---

---

# Сравнение центров распределений

- *Центр распределения* - то одно единственное число, которое описывало, характеризовало бы выборку.
  - В качестве центра чаще всего используют среднее арифметическое, медиану или усеченное среднее.
-

---

# Другие методы оценки центра распределения

Andrews; Bickel; Hampel; Huber; Rogers,  
Tukey.

Robust estimates of location: survey and  
advances.

1972 Princeton University Press

---



# Среднее арифметическое или медиана?

- Если распределение хотя бы одной из выборок существенно отличается от нормального, в качестве центра предлагается использовать медиану.
- В остальных случаях, то есть если распределение каждой выборки можно считать нормальным или несущественно отличающимся от нормального, в качестве центра предлагается использовать среднее арифметическое.

---

# Выбор центра распределения

- Если центром распределения выбрана медиана, центры сравниваются с помощью критерия Манна – Уитни-Вилкоксона.
  - Если центром распределения выбрано среднее арифметическое, центры сравниваются с помощью одной из версий критерия Стьюдента.
-

---

# Прагматичный подход

Применить оба теста.

Если выводы совпадают, ответ есть

Если выводы различны, начинаем  
разбираться.

---

---

# Примеры

- Обучение менеджеров
- Магазины



---

# Парные и независимые выборки

- В случае парных выборок имеются пары наблюдений (измерений) одного и того же объекта.
  - Вариант: пары измерений делались в один и тот же момент.
-

---

# Независимые выборки

- В случае *независимых выборок* каждое наблюдение соответствует отдельному объекту, т.е. измеряются разные объекты.

Принадлежность объектов выборкам определяется по значениям дополнительной группирующей переменной.

---

---

# Независимые и парные выборки

- Если выборки парные, используется опция `paired = TRUE`.
  - Если выборки независимые, используется опция `paired = FALSE`.
-

---

# Примеры

- Время в магазинах
- Альбукерк





---

# Сравнение медиан выборок

- **Гипотеза:** Медианы равны.
  - **Альтернативная гипотеза:** Медианы различаются.
-

# Mood's median test

```
m <- median(c(x1,x2))    # joint median
f11 <- sum(x1>m)         # Pop.1 samples above
  median
f12 <- sum(x2>m)
f21 <- sum(x1<=m)       # Pop.1 samples
  below or at median
f22 <- sum(x2<=m)
# 2x2 contingency table
table <- matrix(c(f11,f12,f21,f22),
  nrow=2,ncol=2)
```

---

# Mood's median test

Friedlin, B. & Gastwirth, J. L. (2000).

Should the median test be retired from general use?

The American Statistician, 54, 161–164.

Ответ: да, не используем. Большая ошибка 2 рода даже для малых выборок (по сравнению с другими тестами)

---

---

# Критерий Манна-Уитни

Mann–Whitney–Wilcoxon,

Wilcoxon rank-sum test,

Wilcoxon–Mann–Whitney test

---

# Важно!

- Критерий Манна-Уитни проверяет не равенство медиан, а другое утверждение.
- Имеются две выборки наблюдений случайных величин  $X$  и  $Y$ .
- Гипотеза:  $P\{X>Y\}=P\{X<Y\}$ .
- Альтернативная гипотеза:  $P\{X>Y\} \neq P\{X<Y\}$ .

# Статистика критерия Манна-Уитни U

$$U_1 = n_1 * n_2 + \{n_1 * (n_1 + 1) / 2\} - T_1$$

$$U_2 = n_1 * n_2 + \{n_2 * (n_2 + 1) / 2\} - T_2$$

$$U = \min(U_1, U_2)$$

$T_i$  — сумма рангов в объединенной выборке наблюдений из выборки  $i$

$n_1$  и  $n_2$  — размеры выборок

---

# Статистика критерия Манна-Уитни

## идея метода

Обозначим одну выборку  $x$ , другую  $y$ .

Для каждого наблюдения из выборки  $x$  сосчитаем число тех наблюдений в выборке  $y$ , которые меньше его. (пока считаем, что совпадений нет).

Сложим все полученные числа.

---

---

# Тогда причём тут медианы?

## Дополнительные предположения

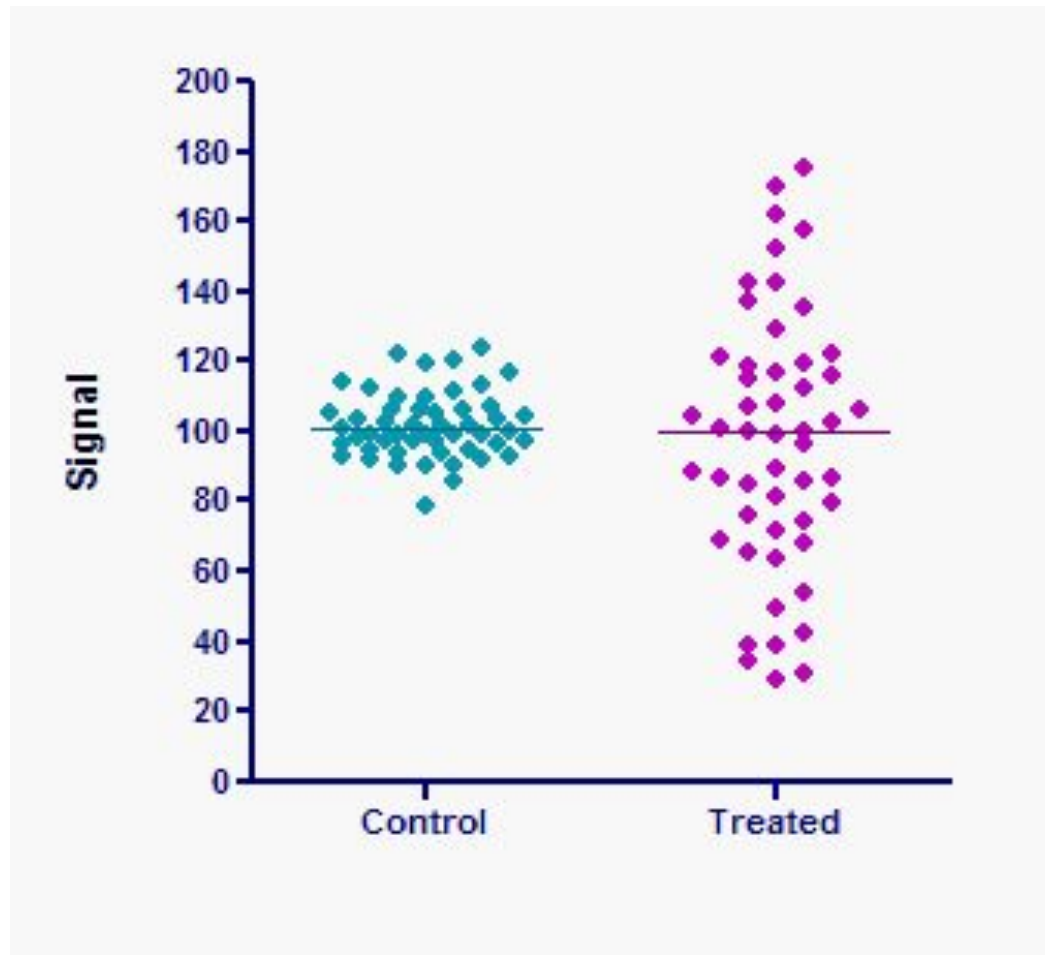
- if the responses are assumed to be continuous
  - alternative is restricted to a shift in location (i.e.  $F_1(x) = F_2(x + \delta)$ ),
  - we can interpret a significant MWW test as showing a difference in medians.
-



Гипотеза отвергается:  $p=0.0288$



Гипотеза не отвергается:  $p=0.46$



---

# Критерий Манна-Уитни-Вилкоксона

```
wilcox.test(x, y,  
            alternative = "two.sided",  
            paired = FALSE,  
            exact = TRUE,  
            correct = FALSE)
```

---

---

# Примеры

- Время в магазинах
- Альбукерк



---

# Сравнение средних значений выборок

- **Гипотеза:** Математические ожидания равны.
  - **Альтернативная гипотеза:** Математические ожидания различны.
-

---

# T-критерий Стьюдента

`t.test(x, y, alternative = "two.sided", paired = FALSE, var.equal = FALSE)`

---

---

# Выбор статистического критерия

- Если выборки парные, рекомендуется использовать парный t-критерий Стьюдента.
  - Если выборки независимые, рекомендуется использовать t-критерий Стьюдента для 2-х независимых выборок.
-

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 1

## Метод 1

F-test of equality of variances

**Не рекомендуется**, слишком чувствителен к отклонениям от нормальности. См.

[http://en.wikipedia.org/wiki/F-test\\_of\\_equality\\_of\\_variances](http://en.wikipedia.org/wiki/F-test_of_equality_of_variances)

`var.test(x, y)`

---



---

# Надо еще сравнить дисперсии - 2

## Метод 2

Bartlett's test

Если данные нормально распределены,  
лучший вариант.

**Не рекомендуется:** чувствителен к  
отклонениям от нормальности;

Если данные не нормальны, часто дает  
"false positive" результат.

---

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 2

## Метод 2

Bartlett's test

```
bartlett.test(x, g, data=data.table)
```

```
bartlett.test(x~g, data=data.table)
```

---

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 3

- Levene's test
- Критерий Ливиня/Левена
- Содержится в пакете car

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 3

- Levene's test

```
library(car)
```

```
leveneTest(x~g, data=data.table)
```

---

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 4

Fligner-Killeen test

Робастный, **рекомендуется**.

Хотя есть еще Brown-Forsythe test, возможно он еще лучше...

---

---

# Надо еще сравнить дисперсии - 4

Fligner-Killeen test

```
fligner.test(x~g, data=data.table)
```



---

# Примеры

- Время в магазинах
- Альбукерк



---

# Гипотеза независимости

- Основная гипотеза:
  - Случайные величины  $X$  и  $Y$  независимы
  
  - Альтернативная гипотеза:
  - Случайные величины  $X$  и  $Y$  зависимы
-



---

# На практике:

- Отвечаем на вопрос: переменная  $X$  влияет на переменную  $Y$ ?



---

# Комментарий

- Если неизвестно, что на что влияет:
  - $X$  на  $Y$  или
  - $Y$  на  $X$
  - статистический критерий не поможет!
-

- 
- Пример Бернарда Шоу
  - 
  - Гибридизация нескольких методов распознавания образов
-

---

# Диаграмма рассеивания

- Иногда пишут - диаграмма рассеяния
- Пример – швейцарские банкноты.



# Зависимость -1

- X – в количественной шкале
- Y – в количественной шкале
  
- Применяется коэффициент корреляции Пирсона
- Или Спирмена
- Иногда - Кендалла

---

# Функциональная зависимость

---

# Статистическая зависимость двух переменных

- Обобщение функциональной зависимости.
- Одному и тому же значению  $x$  могут соответствовать разные значения  $y$ .
- Например, один и тот же товар (например, телефон) может продаваться в разных магазинах по разной цене, то есть одному и тому же товару соответствуют разные цены.

---

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

- Определение статистическая зависимость – это функциональная зависимость СРЕДНЕГО значения переменной  $y$  от значения переменной  $x$ .
  - Откуда появляется среднее значение? Проводятся эксперименты (или наблюдается явление) при одном и том же значении  $x$ , при этом регистрируются разные значения  $y$ , затем эти значения усредняются.
  - На практике не всегда заметно, что одному и тому же значению переменной  $x$  может соответствовать много значений  $y$ , например когда повторные наблюдения при одном значении  $x$  не делались.
-



---

среднее значение переменной  $y$  равно натуральному логарифму значения  $x$ .

---

---

среднее значение переменной  $y$  равно  
натуральному логарифму значения  $x$ .

---

- 
- Коэффициент корреляции как «градусник», измеряющий степень зависимости
  - Формула для коэффициента корреляции
-

# Выбор коэффициента

- Если распределение каждой переменной несущественно отличается от нормального, применяется коэффициент корреляции Пирсона
- В остальных случаях - коэффициент корреляции Спирмена
- Вместо коэффициента корреляции Спирмена используют коэффициент корреляции Кендалла

Интервал значений коэффициента корреляции	Интерпретация
0 – 0,2	Очень слабая корреляция
0,2 - 0,5	Слабая корреляция
0,5 – 0,7	Средняя корреляция
0,7 – 0,9	Высокая корреляция
0,9 - 1	Очень высокая корреляция

- 
- Как проявляется зависимость на диаграмме рассеивания
-

---

Коэффициент корреляции равен 1

---

---

Коэффициент корреляции равен 0.9

---



---

Коэффициент корреляции равен 0.8

---

---

Коэффициент корреляции равен 0.6

---

---

Коэффициент корреляции равен 0.4

---

---

Коэффициент корреляции равен 0.2

---

---

Коэффициент корреляции равен 0.

---

- 
- Проблемы и ошибки при использовании коэффициента корреляции









---

Данные без выброса  
коэффициент корреляции равен  $-0.81$

---

---

Добавлен выброс в точке (10,10).

Коэффициент корреляции упал до -0,55.

---

---

Выброс сдвинут в точку  $(18,5, 18,5)$

Коэффициент равен 0

---

---

Выброс сдвинут в точку (53, 53).

Корреляция равна +0,81

---

- 
- Ложная корреляция
-

## Зависимость -2

- X – в количественной шкале
- Y – в номинальной шкале
  
- Сравниваем средние или медианы в группах
- Или перекодируем количественную переменную, переводим ее в номинальную шкалу

---

# Зависимость -3

- X – в порядковой шкале
  - Y – в порядковой шкале
  
  - Используем коэффициент корреляции Спирмена
  - Или Кендалла
-

---

# Зависимость -4

- X – в номинальной шкале
  - Y – в номинальной шкале
  
  - Таблица сопряженности и критерий  $\chi^2$
-



- 
- Критерий хи-квадрат
  - Формула для статистики
-

---

# Статистика хи-квадрат как коэффициент корреляции

- Коэффициент Пирсона
  - Коэффициент Чупрова
-

- 
- Примеры типичных ошибок при использовании критерия хи-квадрат
-

# Пример 1

- Действительно ли использование Internet связано с полом?
- Все опрошенные пользуются Интернетом. Тех из них, кто использует Интернет пять часов в месяц или меньше, отнесли к мало пользующимся, остальных – к активным пользователям.

---

# Пример 1

- sex = пол.
  - Кодировка: "1" – мужчина, "0" – женщина.
  - internet = использование Internet.
  - Кодировка: "0" – использует мало, "1" – использует активно.
  - 
  - Имеется 30 наблюдений (опрошенных).
-

---

# Пример 1

---

---

## Пример 2

- В результате изучения связи между покупкой модной одежды и семейным положением получены, среди прочих, следующие данные.
  - Имеется 1000 наблюдений (опрошенных).
-

## Пример 2

- Переменные.
- sex = пол.
- Кодировка: "1" – мужчина, "0" – женщина.
- marriage = семейное положение.
- Кодировка: "1" – женат/замужем, "0" – не женат/не замужем.
- fashion = покупка модной одежды.
- Кодировка: "0" – покупает мало, "1" – покупает много.



---

# Пример 2

---

---

# Пример 2

---

---

# Пример 2

---

---

## Пример 3

- Маркетолог проводит исследование для рекламного агентства, разрабатывающего рекламу для автомобилей стоимостью свыше 30 тысяч долларов.
  - Он пытается проанализировать факторы, влияющие на владение дорогими автомобилями.
-

# Пример 3

- Переменные.
- high\_edu = образование.
- Кодировка: "1" – высшее образование, "0" – нет высшего образования.
- exre\_car = наличие дорогого автомобиля.
- Кодировка: "0" – дорогого автомобиля нет, "1" – дорогой автомобиль есть.
- income = доход.
- Кодировка: "0" – низкий доход, "1" – высокий доход.
- 
- Имеется 1000 наблюдений (опрошенных).

---

# Пример 3

---

# Пример 3

---

# Пример 3



---

## Пример 4

- Маркетолог, исследующий сферу туристических поездок за границу, предположил, что на желание путешествовать влияет возраст.
  - Имеющиеся в его распоряжении данные содержат, среди прочего, следующую информацию.
-

# Пример 4

- Переменные.
- desire = желание совершить путешествие за границу.
- Кодировка: "1" – желание есть, "0" – желания нет.
- sex = пол.
- Кодировка: "0" – женщина, "1" – мужчина.
- age = возраст.
- Кодировка: "0" – до 45 лет, "1" – 45 лет или старше.
- 
- Имеется 1000 наблюдений (опрошенных).

---

# Пример 4

---

---

# Пример 4

---

---

# Пример 4

---

# Пример 4

---

# Пример 5

- Результаты анкетирования о проведении семейного досуга содержат, среди прочего, следующую информацию.
- Переменные.
- fastfood = частота посещения ресторанов быстрого питания.
  - Кодировка: "1" – часто, "0" – редко.
- income = доход семьи.
  - Кодировка: "1" – высокий, "0" – низкий.
- family = размер семьи.
  - Кодировка: "1" – большая семья, "0" – малая семья.

---

# Пример 5

---



---

# Пример 5

---

---

# Пример 5