Мастер академске студије
Рачунарство и аутоматика

Рачунарство високих перформанси у информационом инжењерингу

Анализа података кроз језик R и колекцију пакета tidyverse

(материјали за предавања)

Садржај

Колекција пакета tidyverse

Колекција пакета *tidyverse*

- скуп пакета који нуди широку подршку раду над подацима
  - учитавање, снимање, чишћење, трансформисање, визуализовање...
- одабрани принципи рада над подацима уграђени у пакете
- аутори
  - Хадли Викам и бројни сарадници
  - *RStudio*
- Интернет стране
  - https://www.tidyverse.org/
  - https://www.tidyverse.org/packages/
  - https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html
- актуелна верзија
  - *tidyverse 2.0.0* (22. фебруар 2023)
- две групе пакета
  - основни пакети
  - додатни пакети

Колекција пакета *tidyverse*

- основни пакети
  - пакет **`dplyr`**
  - пакет **`forcats`**
  - пакет **`ggplot2`**
  - пакет **`lubridate`**
  - пакет **`purrr`**
  - пакет **`readr`**
  - пакет **`stringr`**
  - пакет **`tibble`**
  - пакет **`tidyr`**

Колекција пакета *tidyverse*

- додатни повезани пакети
  - учитавање података
    - пакет **DBI**
    - пакет **googledrive**
    - пакет **googlesheets4**
    - пакет **haven**
    - пакет **httr**
    - пакет **jsonlite**
    - пакет **readxl**
    - пакет **rvest**
    - пакет **xml2**

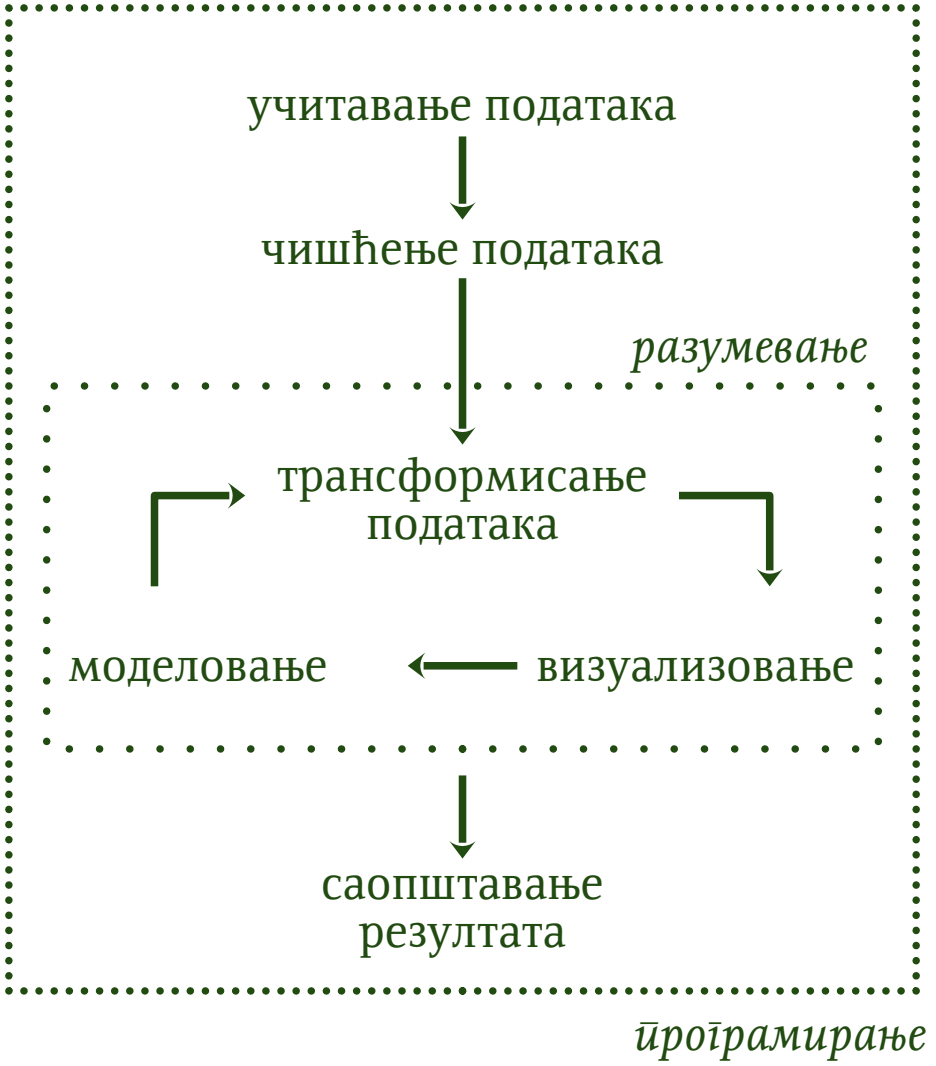
Колекција пакета *tidyverse*

- додатни повезани пакети
  - сређивање података
    - пакет **`blob`**
    - пакет **`dbplyr`**
    - пакет **`dtplyr`**
    - пакет **`hms`**
  - програмирање
    - пакет **`glue`**
    - пакет **`magrittr`**
  - моделовање
    - колекција пакета **`tidymodels`**

Колекција пакета tidyverse

Модел структуре пројеката у науци о подацима (по Викаму и сарадницима)

- модел процеса у науци о подацима
  - учитавање података
  - чишћење података
  - разумевање – итеративни циклус
    - трансформисање података
    - визуализовање
    - моделовање
  - саопштавање резултата
- програмирање
  - алат чија употреба прожима пројекат



Садржај

Скупови података коришћени у примерима

скупови података **`mostovi.svi`** и **`mostovi`**

скуп података *Pittsburgh Bridges*

аутори *Yoram Reich* и *Steven Fenves*

електронска локација (доступни скуп података и пратеће информације)

http://archive.ics.uci.edu/dataset/18/pittsburgh+bridges

https://doi.org/10.24432/C5RP5H

репозиторијум *UC Irvine Machine Learning Repository* на електронској локацији http://archive.ics.uci.edu/

скуп података дониран за репозиторијум 31. 7. 1990.

датотека *pittsburgh+bridges.zip* (преузето 13. 3. 2024)

електронска локација

http://archive.ics.uci.edu/static/public/18/pittsburgh+bridges.zip

подаци у датотекама *bridges.data.version1* и *bridges.data.version2*

лиценца *Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)*

електронска локација

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode

скуп података *Pittsburgh Bridges* читан, обрађиван и анализиран језиком *R*

активности над скупом података и резултати представљени у наставку

датотеке визуализација генерисане за формат *TIFF* (15,5 x 15,5 cm, 300 *DPI*)

Скупови података коришћени у примерима

- скуп података **`mostovi.svi`**
  - подаци о мостовима Питсбурга (САД)
  - 108 записа
  - 16 обележја укупно (нека обележја дата и у номиналној и у континуалној верзији)
    - намена, тип, распон, време изградње, дужина, број трака...
  - коришћен скуп података *Pittsburgh Bridges*
    - подаци из датотека *bridges.data.version1* и *bridges.data.version2* након учитавања су спојени у један скуп података, који је даље обрађиван и анализиран

Скупови података коришћени у примерима

- скуп података **`mostovi`**
  - записи из скупа података **`mostovi.svi`** који немају недостајућих вредности
  - 70 записа
  - 16 обележја

Скупови података коришћени у примерима

скупови података **mostovi.svi** и **mostovi** – припрема

```
# install.packages("tidyverse")

library(readr)
library(tidyr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
```

УЛАЗ

Скупови података коришћени у примерима

скупови података **mostovi.svi** и **mostovi** – припрема

```
mostovi.v1 <- read_csv("bridges.data.version1",
                       col_names=c("identif", "river",
                                   "location", "erected_c",
                                   "purpose", "length_c",
                                   "lanes_c", "clearg",
                                   "tord", "material",
                                   "span", "rell",
                                   "type"),
                       col_types=cols(
                         col_character(), col_factor(),
                         col_character(), col_integer(),
                         col_factor(), col_double(),
                         col_double(), col_factor(),
                         col_factor(), col_factor(),
                         col_factor(), col_factor(),
                         col_factor()),
                       na="?")
```

УЛАЗ

Скупови података коришћени у примерима

скупови података **mostovi.svi** и **mostovi** – припрема

```
mostovi.v2 <- read_csv("bridges.data.version2",
                       col_names=c("identif", "river",
                                   "location", "erected_n",
                                   "purpose", "length_n",
                                   "lanes_n", "clearg",
                                   "tord", "material",
                                   "span", "rell",
                                   "type"),
                       col_types=cols(
                         col_character(), col_factor(),
                         col_character(), col_factor(),
                         col_factor(), col_factor(),
                         col_factor(), col_factor(),
                         col_factor(), col_factor(),
                         col_factor()),
                       na="?")
```

УЛАЗ

Скупови података коришћени у примерима

скупови података **mostovi.svi** и **mostovi** – припрема

```
mostovi.svi <- inner_join(mostovi.v1, mostovi.v2)

mostovi <- mostovi.svi %>%
  drop_na() %>%
  select(identif:erected_c, erected_n, purpose,
         length_c, length_n, lanes_c,
         lanes_n, everything())
```

УЛАЗ

Пакет *tibble*

- омогућава коришћење посебне структуре података за чување скупова података
  - таблица (енгл. *tibble*)
    - класа **`tbl_df`** из пакета **`tibble`**
      - поткласа класе **`data.frame`**
    - упрошћени скуп података
      - без подразумеваног увођења назива редова
      - без подразумеване конверзије текстуалног садржаја у факторе
      - флексибилност при именовању колона
      - прилагођени текстуални приказ
      - ...
    - распрострањена употреба у пакетима колекције *tidyverse*
    - креирање таблице
      - функција **`as_tibble(...)`**

Пакет *tibble*

скуп података у табеларном облику

```
> typeof(mostovi)
[1] "list"
> class(mostovi)
[1] "tbl_df"     "tbl"        "data.frame"
> mostovi
# A tibble: 70 x 16
   identif river location erected_c erected_n purpose length_c length_n lanes_c lanes_n
   <chr>   <fct> <chr>        <int> <fct>     <fct>      <dbl> <fct>      <dbl> <fct>
 1 E2      A     25            1819 CRAFTS    HIGHWAY     1037 MEDIUM         2 2
 2 E5      A     29            1837 CRAFTS    HIGHWAY     1000 MEDIUM         2 2
 3 E7      A     27            1840 CRAFTS    HIGHWAY      990 SHORT          2 2
 4 E8      A     28            1844 CRAFTS    AQUEDU…     1000 MEDIUM         1 1
 5 E9      M     3             1846 CRAFTS    HIGHWAY     1500 MEDIUM         2 2
 6 E11     A     29            1851 CRAFTS    HIGHWAY     1000 MEDIUM         2 2
 7 E14     M     6             1856 CRAFTS    HIGHWAY     1200 MEDIUM         2 2
 8 E16     A     25            1859 CRAFTS    HIGHWAY     1030 MEDIUM         2 2
 9 E18     A     28            1864 CRAFTS    RR          1200 MEDIUM         2 2
10 E19     A     29            1866 CRAFTS    HIGHWAY     1000 MEDIUM         2 2
# … with 60 more rows, and 6 more variables: clearg <fct>, tord <fct>, material <fct>,
#   span <fct>, rell <fct>, type <fct>
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

- „граматика манипулисања подацима”
- бројне функције за трансформисање скупова података
  - основне групе функција
    - манипулисање редовима у скупу података
    - манипулисање колонама у скупу података
    - агрегирање података
    - спајање скупова података
    - ...

Пакет *dplyr*

манипулисање редовима у скупу података

- функција **`slice(skup-podataka, ...)`**
  - издвајање редова на основу задатих позиција
    - позиције дате кроз додатне аргументе
- функција **`filter(skup-podataka, ...)`**
  - издвајање редова на основу задатих услова
    - издвојени редови задовољавају сваки од задатих услова
    - услови дати кроз додатне аргументе
- функција **`arrange(skup-podataka, ...)`**
  - уређење поретка редова на основу вредности задатих колона
    - колоне дате кроз додатне аргументе
- …

Пакет *dplyr*

манипулисање редовима у скупу података

```
> slice(mostovi, 2, 5)
# A tibble: 2 x 16
  identif river location erected_c erected_n purpose length_c
  <chr>   <fct> <chr>         <int> <fct>     <fct>       <dbl>
1 E5      A     29             1837 CRAFTS    HIGHWAY      1000
2 E9      M     3              1846 CRAFTS    HIGHWAY      1500
# … with 9 more variables: length_n <fct>, lanes_c <dbl>,
#   lanes_n <fct>, clearg <fct>, tord <fct>, material <fct>,
#   span <fct>, rell <fct>, type <fct>
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

манипулисање редовима у скупу података

```
> filter(mostovi, erected_c==1887)
# A tibble: 1 x 16
  identif river location erected_c erected_n purpose length_c
  <chr>   <fct> <chr>        <int> <fct>     <fct>       <dbl>
1 E31     M     8             1887 EMERGING  RR           1161
# … with 9 more variables: length_n <fct>, lanes_c <dbl>,
#   lanes_n <fct>, clearg <fct>, tord <fct>, material <fct>,
#   span <fct>, rell <fct>, type <fct>
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

манипулисање редовима у скупу података

```
> slice(arrange(mostovi, desc(erected_c)),
+       c(1, 5))
# A tibble: 2 x 16
  identif river location erected_c erected_n purpose length_c
  <chr>   <fct> <chr>        <int> <fct>     <fct>       <dbl>
1 E90     M     7             1978 MODERN    HIGHWAY       950
2 E86     A     33            1961 MODERN    HIGHWAY       980
# … with 9 more variables: length_n <fct>, lanes_c <dbl>,
#   lanes_n <fct>, clearg <fct>, tord <fct>, material <fct>,
#   span <fct>, rell <fct>, type <fct>
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

- манипулисање колонама у скупу података
  - функција **`select(skup-podataka, ...)`**
    - издвајање колона
      - избор колона на основу назива или својства
      - доступан напредан механизам за бирање колона
        - **`contains()`**, **`starts_with()`**, **`ends_with()`**, **`matches()`**, **`last_col()`**, **`everything()`**...
  - функција **`rename(skup-podataka, ...)`**
    - преименовање колона
      - задавање новог назива и старог назива као пар нови–стари
  - функција **`mutate(skup-podataka, ...)`**
    - формирање нових колона
      - задавање парова назив–вредности
      - могуће је искористити садржаје постојећих колона
  - ...

Пакет *dplyr*

манипулисање колонама у скупу података

```
> select(mostovi, identif, river, contains("length"))
# A tibble: 70 x 4
   identif river length_c length_n
   <chr>   <fct>    <dbl> <fct>
 1 E2      A         1037 MEDIUM
 2 E5      A         1000 MEDIUM
 3 E7      A          990 SHORT
 4 E8      A         1000 MEDIUM
 5 E9      M         1500 MEDIUM
 6 E11     A         1000 MEDIUM
 7 E14     M         1200 MEDIUM
 8 E16     A         1030 MEDIUM
 9 E18     A         1200 MEDIUM
10 E19     A         1000 MEDIUM
# … with 60 more rows
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

манипулисање колонама у скупу података

```
> rename(mostovi, id=identif, loc=location)
# A tibble: 70 x 16
   id    river loc   erected_c erected_n purpose  length_c
   <chr> <fct> <chr>     <int> <fct>     <fct>        <dbl>
 1 E2    A     25         1819 CRAFTS    HIGHWAY       1037
 2 E5    A     29         1837 CRAFTS    HIGHWAY       1000
 3 E7    A     27         1840 CRAFTS    HIGHWAY        990
 4 E8    A     28         1844 CRAFTS    AQUEDUCT      1000
 5 E9    M     3          1846 CRAFTS    HIGHWAY       1500
 6 E11   A     29         1851 CRAFTS    HIGHWAY       1000
 7 E14   M     6          1856 CRAFTS    HIGHWAY       1200
 8 E16   A     25         1859 CRAFTS    HIGHWAY       1030
 9 E18   A     28         1864 CRAFTS    RR            1200
10 E19   A     29         1866 CRAFTS    HIGHWAY       1000
# … with 60 more rows, and 9 more variables: length_n <fct>,
#   lanes_c <dbl>, lanes_n <fct>, clearg <fct>, tord <fct>,
#   material <fct>, span <fct>, rell <fct>, type <fct>
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

манипулисање колонама у скупу података

```
> select(mutate(mostovi, lengthm_c=length_c * 0.3048),
+        identif:location, length_c, length_n, last_col())
# A tibble: 70 x 6
   identif river location length_c length_n lengthm_c
   <chr>   <fct> <chr>        <dbl> <fct>         <dbl>
 1 E2      A     25            1037 MEDIUM         316.
 2 E5      A     29            1000 MEDIUM         305.
 3 E7      A     27             990 SHORT          302.
 4 E8      A     28            1000 MEDIUM         305.
 5 E9      M     3             1500 MEDIUM         457.
 6 E11     A     29            1000 MEDIUM         305.
 7 E14     M     6             1200 MEDIUM         366.
 8 E16     A     25            1030 MEDIUM         314.
 9 E18     A     28            1200 MEDIUM         366.
10 E19     A     29            1000 MEDIUM         305.
# … with 60 more rows
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

агрегирање података

- функција **`summarise(skup-podataka, ...)`**
  - агрегирање података на основу група
    - могуће је применити сумарне функције
- функција **`group_by(skup-podataka, ...)`**
  - увођење група у податке
    - критеријуми груписања дати кроз додатне аргументе
      - могуће је груписање на основу колона или израчунавања
- ...

Пакет *dplyr*

агрегирање података

```
> summarise(mostovi,
+           lanes_c_median=median(lanes_c))
# A tibble: 1 x 1
  lanes_c_median
           <dbl>
1              2
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

агрегирање података

```
> select(group_by(mostovi, material),
+        identif, material:type)
# A tibble: 70 x 5
# Groups:   material [3]
   identif material span   rell  type
   <chr>   <fct>    <fct>  <fct> <fct>
 1 E2      WOOD     SHORT  S     WOOD
 2 E5      WOOD     SHORT  S     WOOD
 3 E7      WOOD     MEDIUM S     WOOD
 4 E8      IRON     SHORT  S     SUSPEN
 5 E9      IRON     SHORT  S     SUSPEN
 6 E11     WOOD     MEDIUM S     WOOD
 7 E14     WOOD     MEDIUM S     WOOD
 8 E16     IRON     MEDIUM S-F   SUSPEN
 9 E18     IRON     SHORT  S     SIMPLE-T
10 E19     WOOD     MEDIUM S     WOOD
# … with 60 more rows
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

агрегирање података

```
> summarise(group_by(mostovi, material),
+           n=n(),
+           length_c_mean=mean(length_c))
# A tibble: 3 x 3
  material      n length_c_mean
  <fct>     <int>         <dbl>
1 WOOD          9         1058.
2 IRON          4         1182.
3 STEEL        57         1712.
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *dplyr*

- спајање скупова података
  - спајање по редовима
    - функција **`bind_rows(...)`**
      просто спајање надодавањем редова
    - функција **`union(a, b, ...)`**
      формирање уније
    - функција **`intersect(a, b, ...)`**
      формирање пресека
    - функција **`setdiff(a, b, ...)`**
      формирање разлике
    - …

Пакет *dplyr*

- спајање скупова података
  - спајање по колонама
    - функција **`bind_cols(...)`**
      просто спајање надодавањем колона
    - функција **`inner_join(a, b, ...)`**
      унутрашње спајање
    - функција **`left_join(a, b, ...)`**
      лево спајање
    - функција **`right_join(a, b, ...)`**
      десно спајање
    - функција **`full_join(a, b, ...)`**
      потпуно спајање

Пакет *ggplot2*

- „граматика графике”
  - компоненте визуализације у складу са слојевитом граматиком (по Викаму)
    - основни скуп података и естетских пресликавања променљивих
    - један или више слојева
      - слој обухвата геометријски објекат, статистичку трансформацију, подешавање позиције
        - опционо скуп података
        - опционо скуп естетских пресликавања
    - скала за свако естетско пресликавање
    - координатни систем
    - спецификација аспекта
- креирање визуализација података по посебном систему
  - кроз ланчање наредби за подешавање појединачних компоненти

Пакет *ggplot2*

- подржане бројне визуализације података
  - визуализације за једну, две или три променљиве
    - хистограми
    - графикони функције густине вероватноће
    - стубичасти графикони
    - графикони расејања
    - кутијасти графикони
    - виолински графикони
    - топлотне карте
    - ...
  - графичке примитиве
    - дужи
    - криве
    - многоуглови
    - траке
    - ...

Пакет *ggplot2*

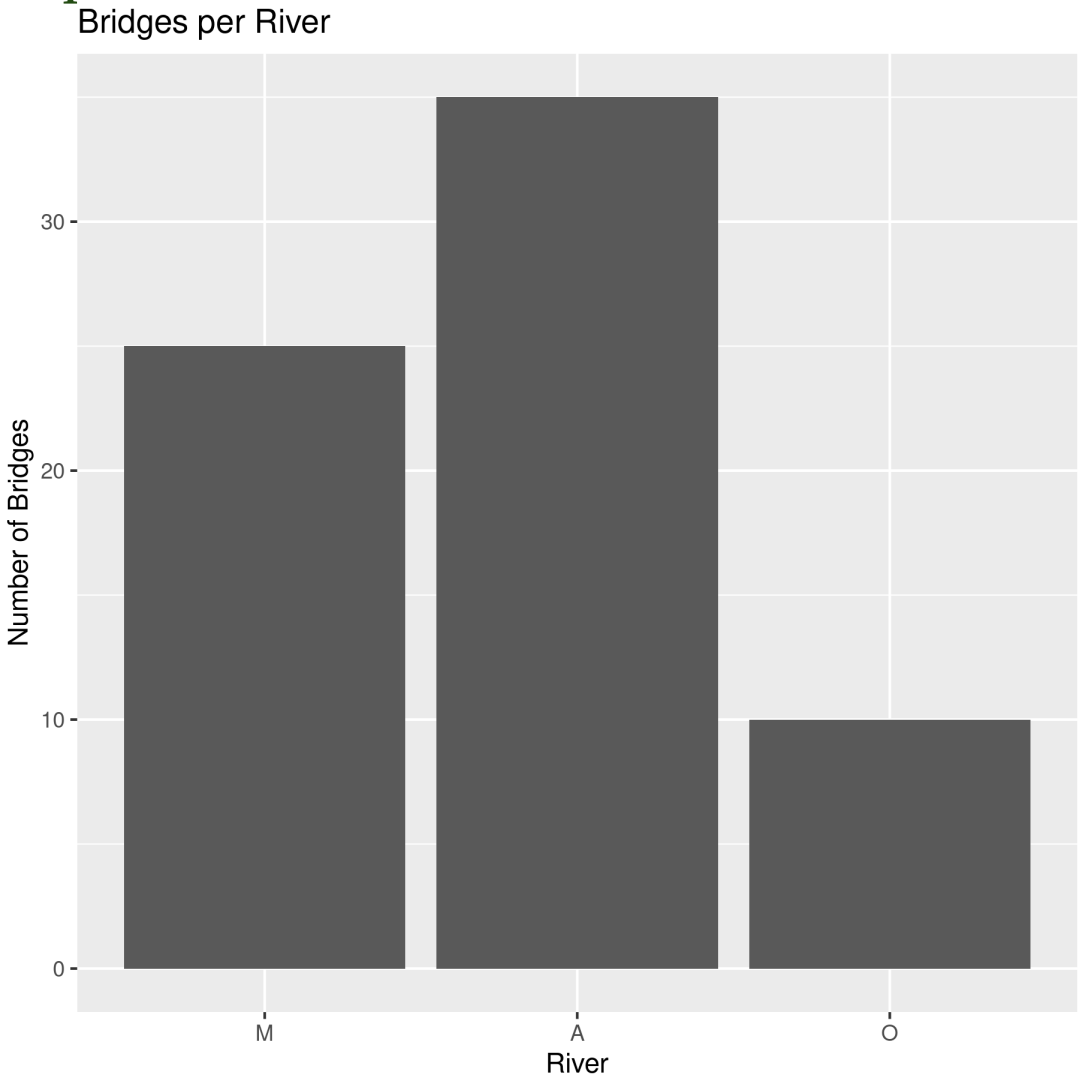
стубичасти графикон

```
ggplot(mostovi) +
  geom_bar(mapping=aes(x=river)) +
  labs(title="Bridges per River",
       x="River", y="Number of Bridges")
```

УЛАЗ

Пакет *ggplot2*

стубичасти графикон



Пакет *ggplot2*

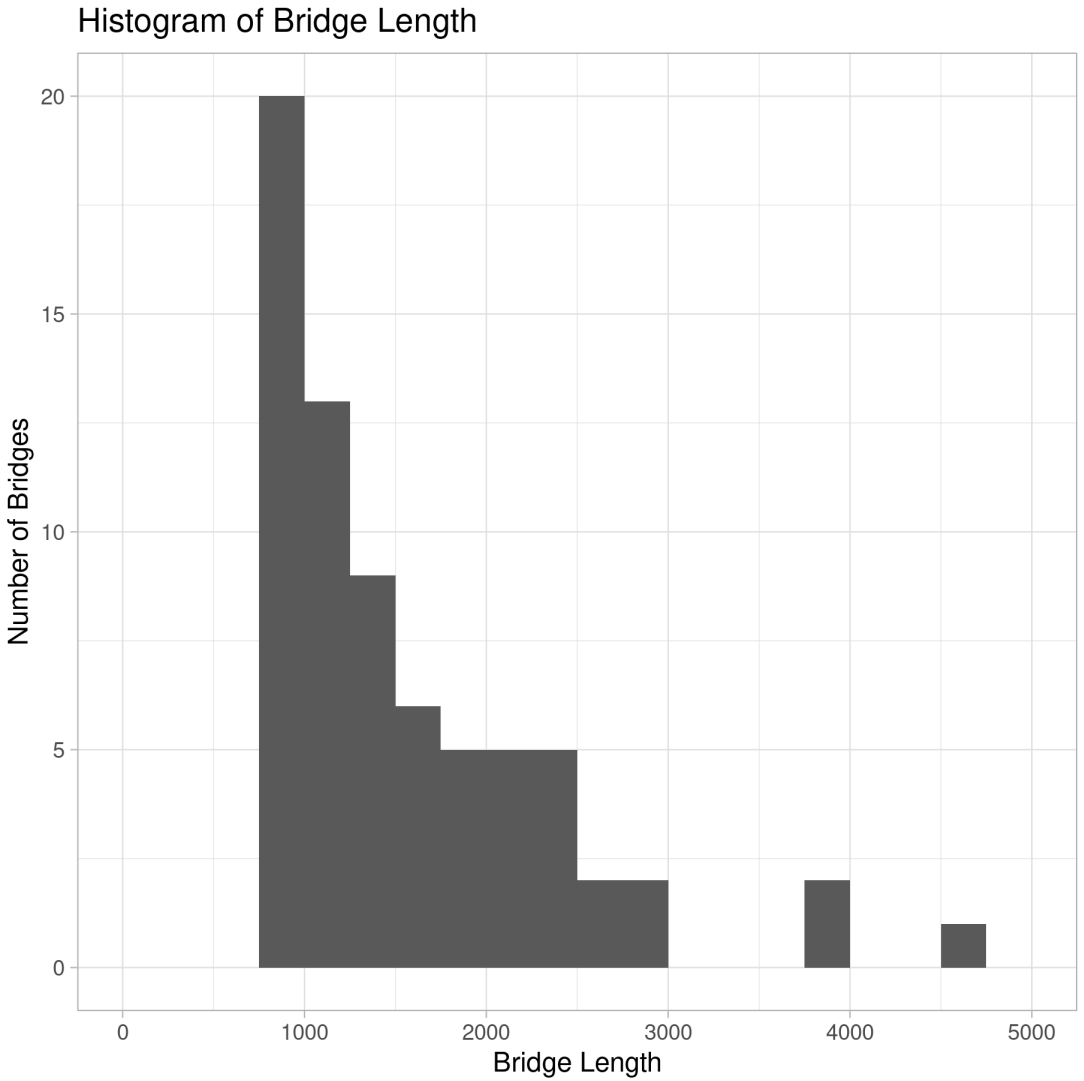
хистограм

```
ggplot(mostovi) +
  geom_histogram(mapping=aes(x=length_c),
                 breaks=seq(0, 5000, 250)) +
  labs(title="Histogram of Bridge Length",
       x="Bridge Length", y="Number of Bridges") +
  theme_light()
```

УЛАЗ

Пакет *ggplot2*

хистограм



Пакет *ggplot2*

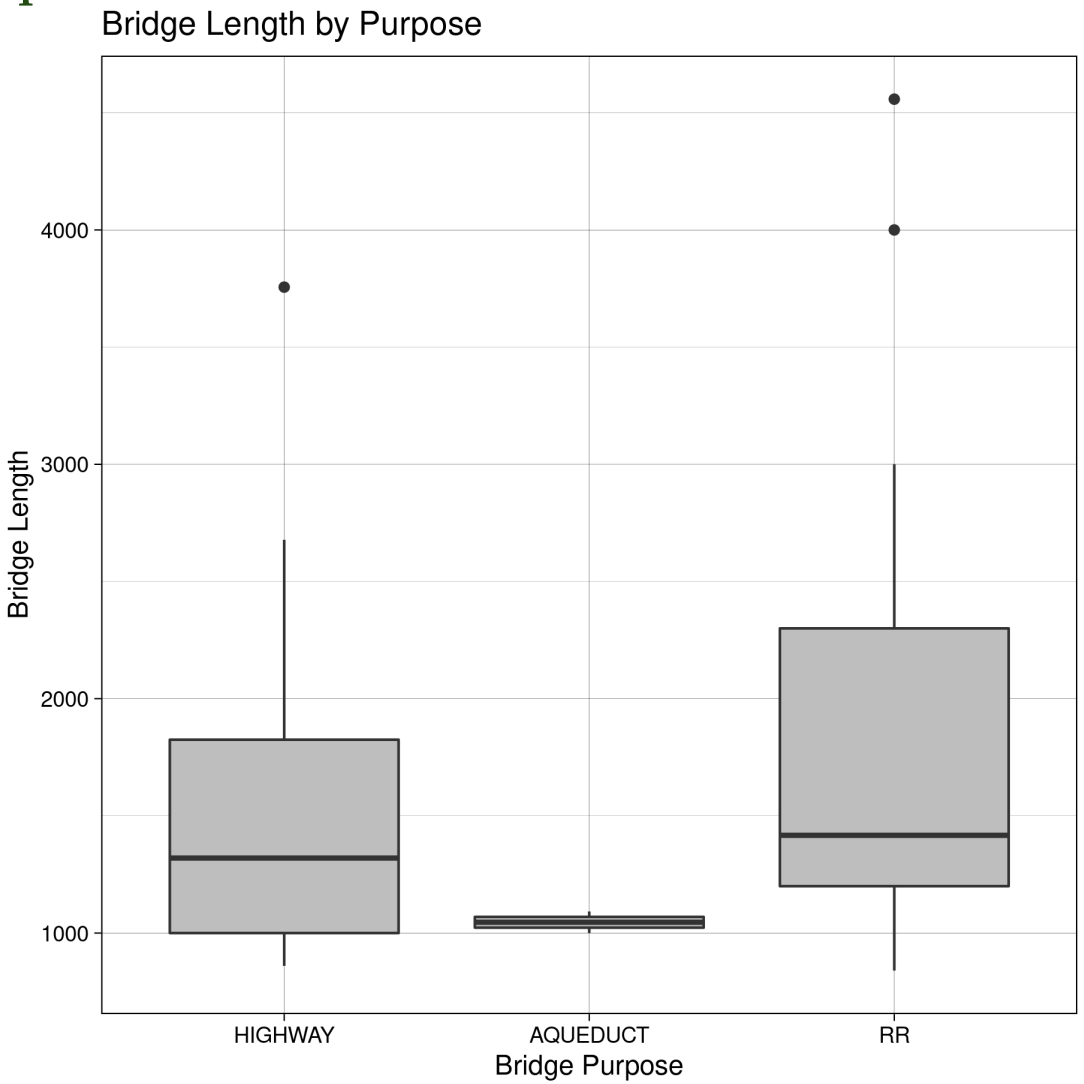
кутијасти графикон

```
ggplot(mostovi, mapping=aes(x=purpose, y=length_c)) +
  geom_boxplot(fill="gray") +
  labs(title="Bridge Length by Purpose",
       x="Bridge Purpose", y="Bridge Length") +
  theme_linedraw()
```

УЛАЗ

Пакет *ggplot2*

кутијасти графикон



Пакет *ggplot2*

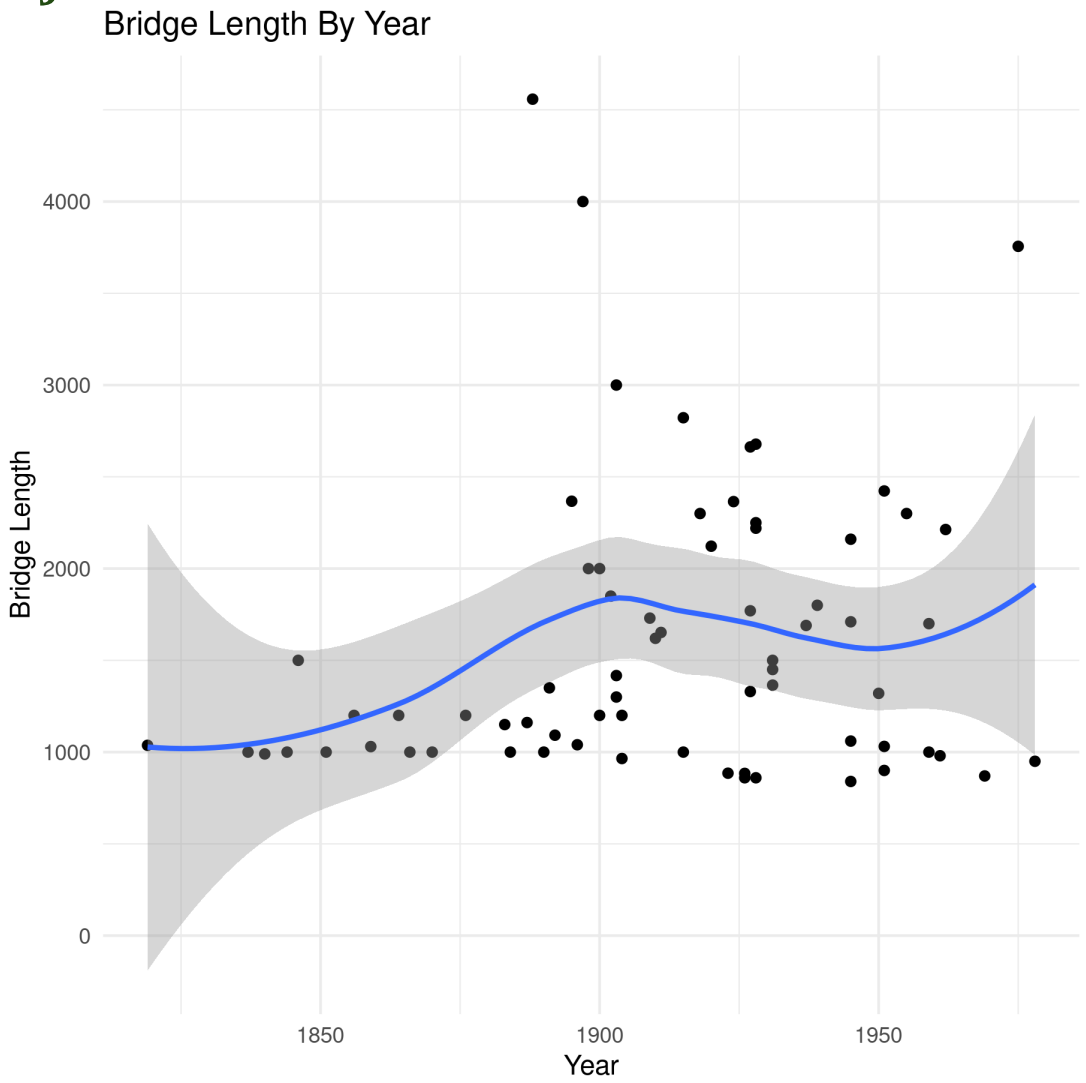
графикон расејања

```
ggplot(mostovi,
       mapping=aes(x=erected_c, y=length_c)) +
  geom_point() +
  geom_smooth(method="loess", formula=y ~ x) +
  labs(title="Bridge Length By Year",
       x="Year", y="Bridge Length") +
  theme_minimal()
```

УЛАЗ

Пакет *ggplot2*

графикон расејања



Пакет *magrittr*

- увођење помоћних оператора
  - могуће је другачије организовати изворни кôд
  - постизање веће једноставности и прегледности
- помоћни оператори
  - оператор **`%>%`**
    - прослеђивање вредности изразу или функцији а резултат је резултат операције с десне стране
    - пример
      - уместо **`funkcija(v)`** може се користити **`v %>% funkcija`**
  - оператор **`%T>%`**
    - прослеђивање вредности а резултат је вредност с леве стране
  - оператор **`%$%`**
    - отварање назива из објекта с леве стране према изразу с десне стране
  - оператор **`%<>%`**
    - прослеђивање уз доделу резултата с десне стране левој страни

Пакет *magrittr*

оператор **%>%**

```
> mostovi %>%
+   filter(material=="WOOD") %>%
+   summarise(length_c_mean=mean(length_c))
# A tibble: 1 x 1
  length_c_mean
          <dbl>
1         1058.
>
```

КОНЗОЛА

Пакет *magrittr*

оператор **%>%**

```
> mostovi %>%
+   select(identif, river, erected_c, length_c) %>%
+   filter(erected_c > 1900) %>%
+   group_by(river) %>%
+   summarise(n=n(),
+             length_c_med=median(length_c))
# A tibble: 3 x 3
  river     n length_c_med
  <fct> <int>        <dbl>
1 M        16        1374.
2 A        20        1385
3 O         9        1700
>
```

КОНЗОЛА

Садржај

Извори и литература

Основни извори и литература

- R Project. R: A language and environment for statistical computing – Reference index – The R Core Team – Version 4.5.1 (2025-06-13). Internet: https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf
- Adler J. R in a nutshell: A desktop quick reference. 2nd edition. O'Reilly; 2012.
- Tidyverse. Tidyverse. Internet: https://www.tidyverse.org/
- Tidyverse. Tidyverse packages. Internet: https://www.tidyverse.org/packages/
- Wickham H, Çetinkaya-Rundel M, Grolemund G. R for data science: Import, tidy, transform, visualize, and model data. 2nd edition. O'Reilly; 2023. Internet: https://r4ds.hadley.nz/
- Posit Software. Posit cheatsheets. Internet: https://posit.co/resources/cheatsheets/
- R Project. CRAN: Package tidyverse. Internet: https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html

Извори и литература

Основни извори и литература

- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, D'Agostino McGowan L, François R, Grolemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H. Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software. 2019;4(43); 1686.
- Wickham H. A layered grammar of graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 2010;19(1); 3–28.

Извори и литература

Основни извори података

- скупови података **`mostovi.svi`** и **`mostovi`**
  - скуп података *Pittsburgh Bridges*
    - аутори *Yoram Reich* и *Steven Fenves*
    - електронска локација (доступни скуп података и пратеће информације)
      - http://archive.ics.uci.edu/dataset/18/pittsburgh+bridges
      - https://doi.org/10.24432/C5RP5H
      - репозиторијум *UC Irvine Machine Learning Repository* на електронској локацији http://archive.ics.uci.edu/
        - скуп података дониран за репозиторијум 31. 7. 1990.
    - датотека *pittsburgh+bridges.zip* (преузето 13. 3. 2024)
      - електронска локација
        - http://archive.ics.uci.edu/static/public/18/pittsburgh+bridges.zip
      - подаци у датотекама *bridges.data.version1* и *bridges.data.version2*
    - лиценца *Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)*
      - електронска локација
        - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode
  - скуп података *Pittsburgh Bridges* читан, обрађиван и анализиран језиком *R*

Мастер академске студије
Рачунарство и аутоматика

Рачунарство високих перформанси у информационом инжењерингу

Анализа података кроз језик R и колекцију пакета tidyverse

(материјали за предавања)