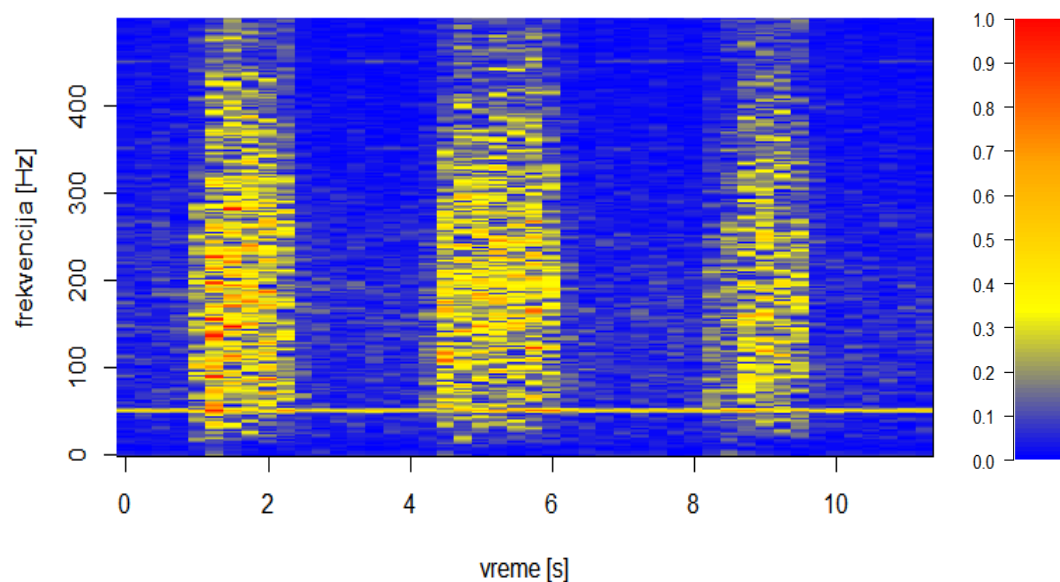
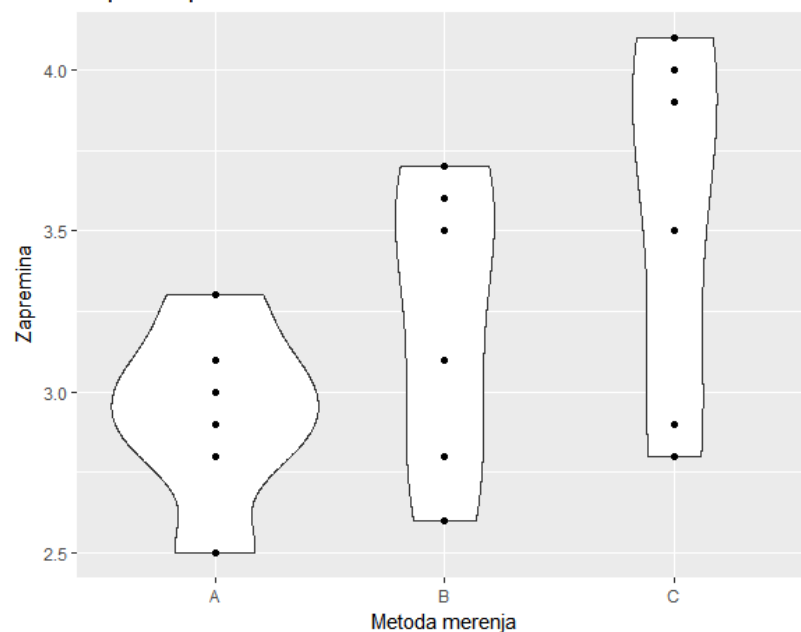


Tehnike obrade biomedicinskih signala 13M051TOBS

Spektrogram EMG signala



Kapacitet pluća



Dr Nadica Miljković, vanredna profesorka
kabinet 68, nadica.miljkovic@etf.bg.ac.rs

Analiza EMG signala

- Analiza EMG signala se primenjuje u medicinskoj dijagnostici/terapiji/istraživanjima, u rehabilitaciji, ergonomiji i sportu.
- Sirovi EMG signali ne mogu se koristiti za kvalitativnu analizu.
- Na primer:
 - dva ispitanika sa različitim impedansama kože, dimenzijama mišića, fizičkih i kondicionih karakteristika imaju kvantitativno različite EMG signale,
 - ako se meri EMG signal sa jednog mišića na istom ispitaniku, ponovljivost zavisi od mesta postavke elektroda,
 - ima i drugih primera.

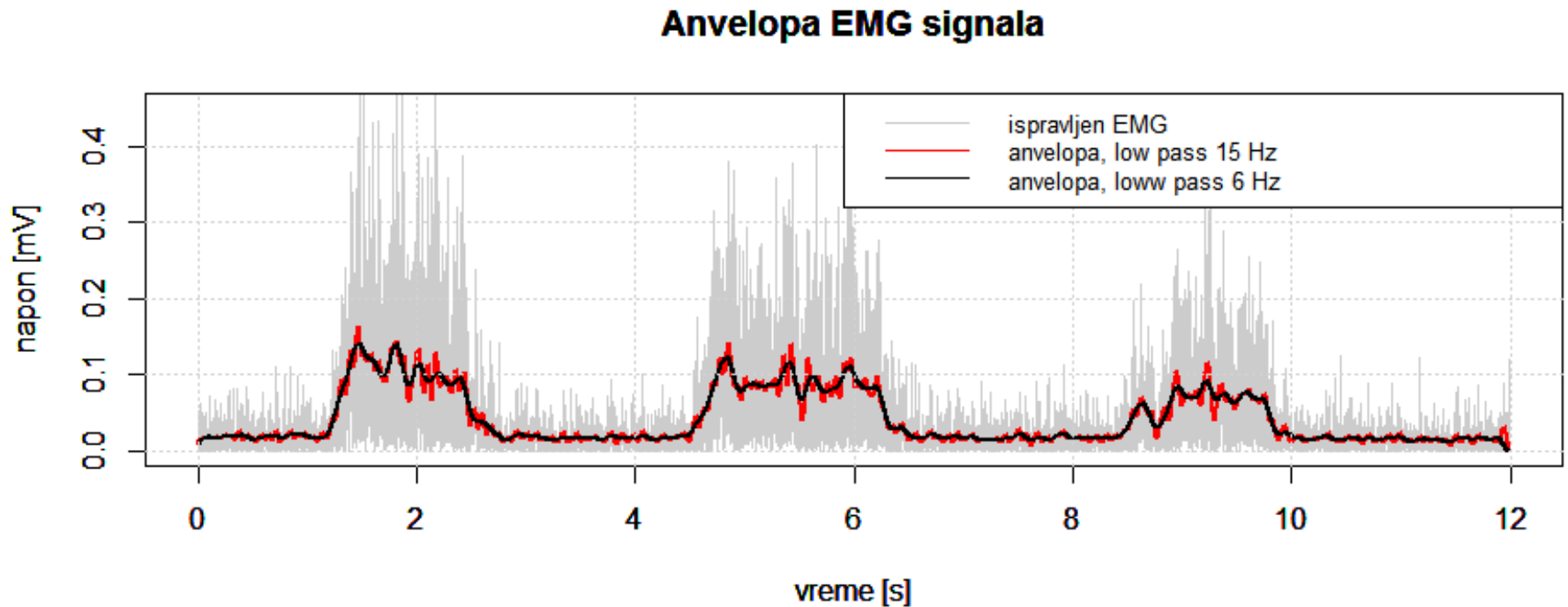
Tehnike za obradu EMG signala?

- Jednostrano/dvostrano ispravljanje signala
- Filtriranje
- Usrednjavanje
- *Smoothing*
- Integracija
- RMS (eng. *Root Mean Square*)
- FFT (eng. *Fast Fourier Transform*)
- Frekvencijska analiza zamora
- Broj prolaska kroz nulu. **Koju metodu “menja” ova metoda?**
- Funkcija raspodele verovatnoće amplitude signala
- *Wavelet* analiza tj. analiza talasića
- ...

Ispravljanje

- Najčešće se koristi dvostrano ispravljen signal.
- Međutim, postoje slučajevi kada se koristi jednostrano ispravljen signal.
- Kako se realizuje jednostrano i dvostrano ispravljanje signala:
 - softverski i
 - hardverski?
- Da li se srednja vrednost EMG signala menja?
- Kolika je srednja vrednost pre ispravljanja?
- Kolika je srednja vrednost signala posle ispravljanja?

Anvelopa/obvojnica EMG signala

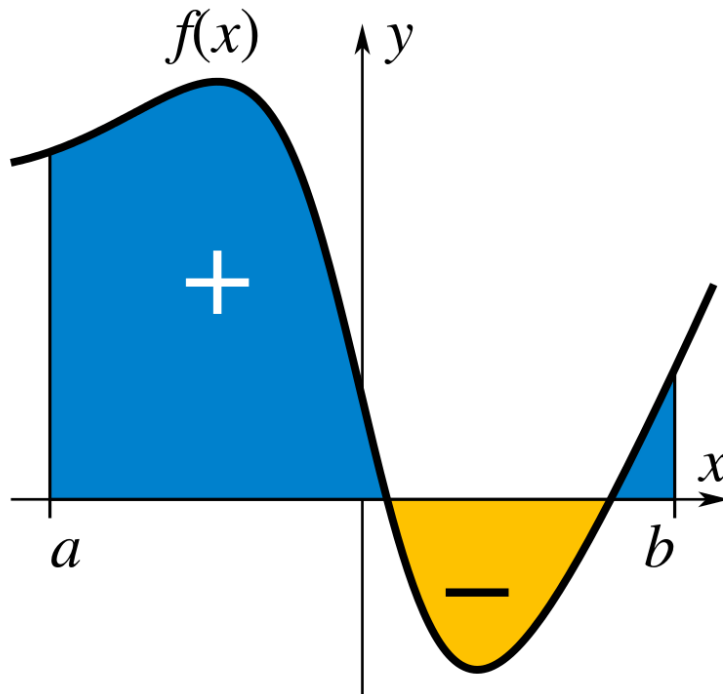


Prikazana je slika koja se dobija kao rešenje Vežbe 7 iz predmeta Tehnike obrade biomedicinskih signala. Najjednostavniji način za dobijanje anvelope ili obvojnice EMG signala jeste primena *low pass* filtra na dvostrano ispravljen signal kao na slici.

Usrednjavanje signala

- Mogu se koristiti i filtri za usrednjavanje signala (*smoothing* tehnika na prozorima koji su najčešće dužine 100-200 ms) za računanje obvojnice.
- Može se usrednjavati vremenski ponovljiv oblik:
 - aktivacija EMG signala na mišićima nogu tokom hoda (Kako?) i
 - evocirani EMG potencijali.
- Koji su problemi prilikom usrednjavanja signala?
- Koji se šum filtrira u tom slučaju?

Integracija signala

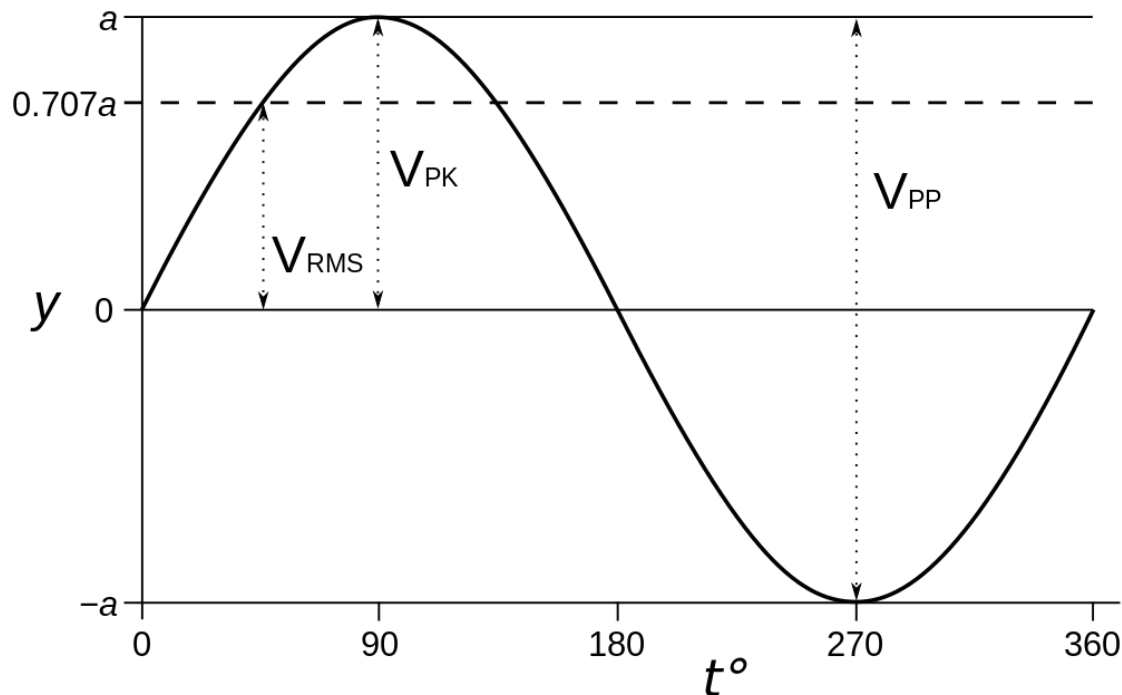


Slika: By I, KSmrq, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2268147>

- Jedinice su Vs.
- Računa se površina ispod krive. Kako se to postiže računarski?
 - *trapz()* funkcija?
 - U R-u postoji *cumtrapz()* u *pracma* (eng. *Practical Numerical Math Functions*) CRAN paketu
- Kako se radi hardverska integracija signala?
- Da li se može dobiti obvojnica integraljenjem?
- Integraljena usrednjena vrednost predstavlja 63.7% od polovine PTP (eng. *peak to peak*) vrednosti.

RMS

- Preporučena metoda od strane američkih istraživača (Basmajian i DeLuca)
 - jer RMS (eng. *Root Mean Square*) više odgovara energiji signala u odnosu na srednju vrednost dvostrano ispravljenih signala.
- Predstavlja 70.7% polovine PTP vrednosti signala.



By AlanM1 - Derived from
File:Sine wave 2.svg by
en:User:Booyabazooka (CC0-
licensed), CC0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29287784>

MA filter

$$y(n) = \sum_{k=0}^N b_k x(n - k),$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^N b_k z^{-k} = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}$$

- MA (eng. *Moving Average*) filter se može koristiti za generisanje obvojnice signala.
- To je filter u vremenskom domenu.
- Vremenski oblik MA filtra dat je u jednačini na gornjem panelu (x – ulazni signal, y – izlazni signal, b_k su koeficijenti i N je red filtra).
- Prikazana je, takođe, funkcija prenosa MA filtra u Z domenu ($H(z)$) u jednačini na donjem panelu.
- Najčešće se koristi MA sa prozorskim funkcijama. **Zašto?**
- Kako da se primeni u R-u? Pogledati:
 - http://www.cookbook-r.com/Manipulating_data/Calculating_a_moving_average/ (pristupljeno 10.04.2024.) i
 - <https://cran.r-project.org/package=signal> (pristupljeno 10.04.2024).
- Postoji i materijal na sajtu TOBS predmeta, https://automatika.etf.bg.ac.rs/images/FAJLOVI_srpski/predmeti/izborni_kursevi/os/biomedicinsko_inzenjerstvo/TOBS/Implementacija%20MA%20u%20R-u.pdf

Odabrane metode detekcije praga

- Detekcija mišićne kontrakcije poređenjem sa pragom
 - Kako definisati prag?
 - najčešće se poredi sa 2-3 puta većom vrednošću od standardne devijacije bazne linije <- šum!
 - uporedo se definiše i namanji mogući interval/trajanje mišićne kontrakcije (uobičajeno 50 ms) <- kašnjenje!
 - može se definisati kao procenat od maksimalne vrednosti (5%) <- za kontrakcije relativno sličnog intenziteta i ako ne postoji šum ili je SNR (eng. *Signal-to-Noise Ratio*) zadovoljavajuć!
- Postoje i druge tehnike koje se zasnivaju npr. na:
 - integraciji i
 - spektru signala.
- Koristi se i više metoda kombinovano.

Normalizacija?

- Predstavlja metodu kalibracije EMG signala.
- Normalizacija ne menja oblik EMG signala odnosno ne menja talasne osobine obvojnice.
- Normalizacija menja amplitudu obvojnice EMG signala.
- PRIMER: Važna je za definisanje praga kod *on/off* upravljanja EMG signalima. **Koliki prag bi trebalo koristiti u udelu od %MVC da bi se detektovao pokret?**

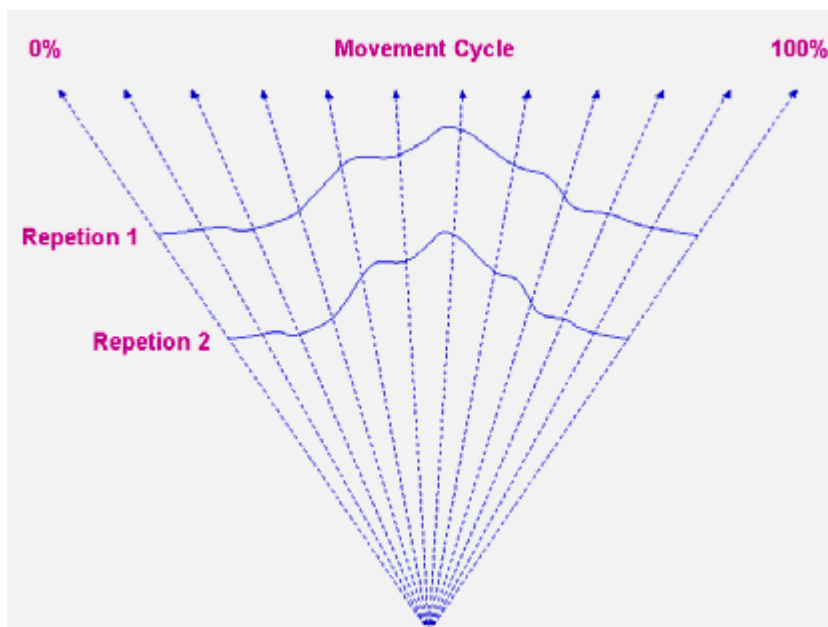
Šta je MVC?

- Signal se najčešće normalizuje u odnosu na maksimalnu voljnu kontrakciju MVC ili MVC (eng. *Maximal Voluntary Contraction*).
- Praktično, najmanji preporučeni broj ponavljanja je 4 (najčešće se u praksi sreće tri ponavljanja).
- Amplituda se predstavlja kao procenat u odnosu na MVC.
- Nekada se, zbog nemogućnosti izvođenja MVC, signal normalizuje u odnosu na odabranu referentnu vrednost.
- Kako lekar/istraživač/biomedicinski inženjer “zna” da je izvršena MVC?
- Novije: vrši se uparivanje – ako je normalizacija izometrična, onda je i pokret. Isto važi i za izotonične kontrakcije. Nije uvek moguće!

Normalizacija signala (referentna)

- Primjenjuje se u dva sledeća slučaja:
 - kada nije moguće obezbediti uslove za merenje MVC i
 - kada ispitanik (pacijent) ne može da izvrši MVC.
- Šta se podrazumeva pod referentnom mišićnom aktivnošću:
 - ponovljiv pokret ili postura koji za rezultat daju ponovljivu reprezentaciju sirovog (nefiltriranog, neobrađenog, originalno snimljenog, na eng. *raw*) EMG signala.
- Nekada se koristi i AME (eng. *Acceptable Maximal Effort*). Nije pogodna metoda zbog varijabilnosti npr. iz dana u dan (iz sesije u sesiju).

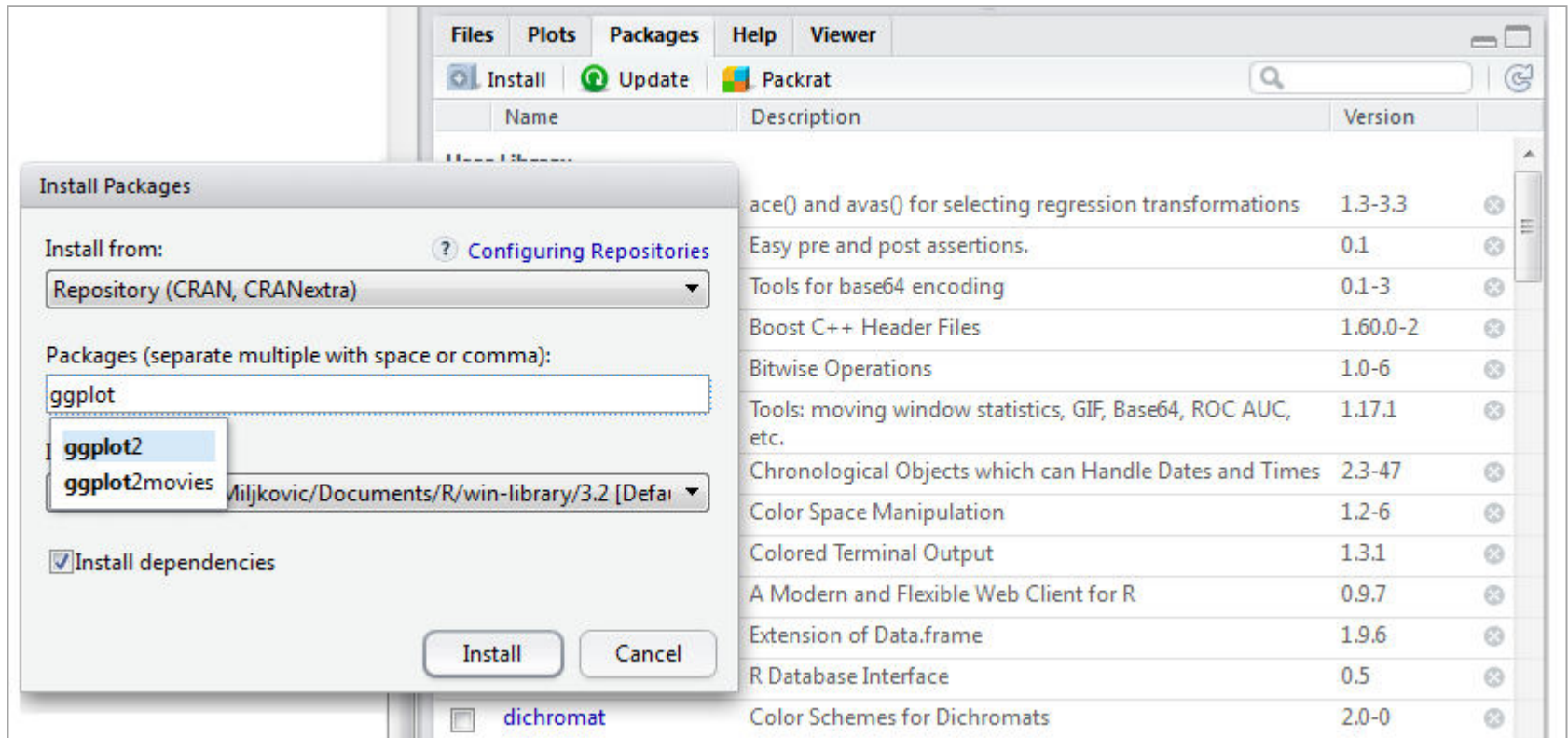
Vremenska normalizacija - tehnika



Slika je preuzeta iz Konrad P. The ABC of EMG, Noraxon, USA, 2006, <http://www.noraxon.com/wp-content/uploads/2014/12/ABC-EMG-ISBN.pdf>, Fair Use.

- Najpre se vrši *onset/offset* detekcija segmenata mišićne aktivacije.
- Prilikom merenja hoda, radi se segmentacija na korake (*swing* i *stance* faze, odnosno faza zamaha i faza oslonca).
- Potom se tako izdvojeni segmenti dele u periode (sa jednakim brojem odbiraka) i za svaki period se računa srednja vrednost. Svaki segment predstavlja određeni procenat u okviru ciklusa.

ggplot2



- Najpre instalacija paketa (na slici je prikazan jedan od načina kako je to moguće uraditi).
- Komandom `library()` aktivira se paket (isto kao i kod ostalih paketa).
- Sledećim komandama moguće je pregledati neke primere (kod kuće probajte):
 - `example("geom_point")`
 - `ggplot(diamonds) + geom_bar(aes(x = cut, fill = clarity))`

Diamonds?

diamonds {ggplot2}

Prices of 50,000 round cut diamonds

Description

A dataset containing the prices and other attributes of almost 54,000 diamonds.

Usage

diamonds

Format

A data frame with 53940 rows and 10 variables:

price

price in US dollars (¥\$326–¥\$18,823)

carat

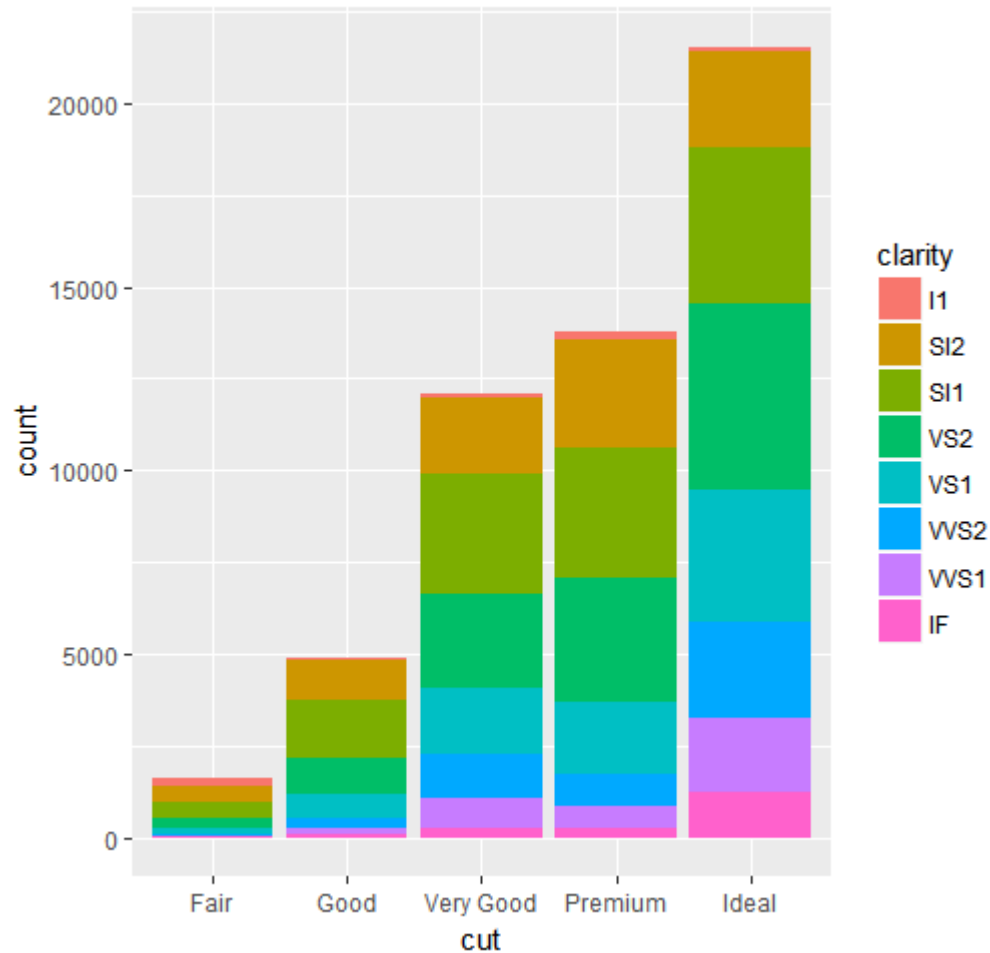
weight of the diamond (0.2–5.01)

cut

quality of the cut (Fair, Good, Very Good, Premium, Ideal)

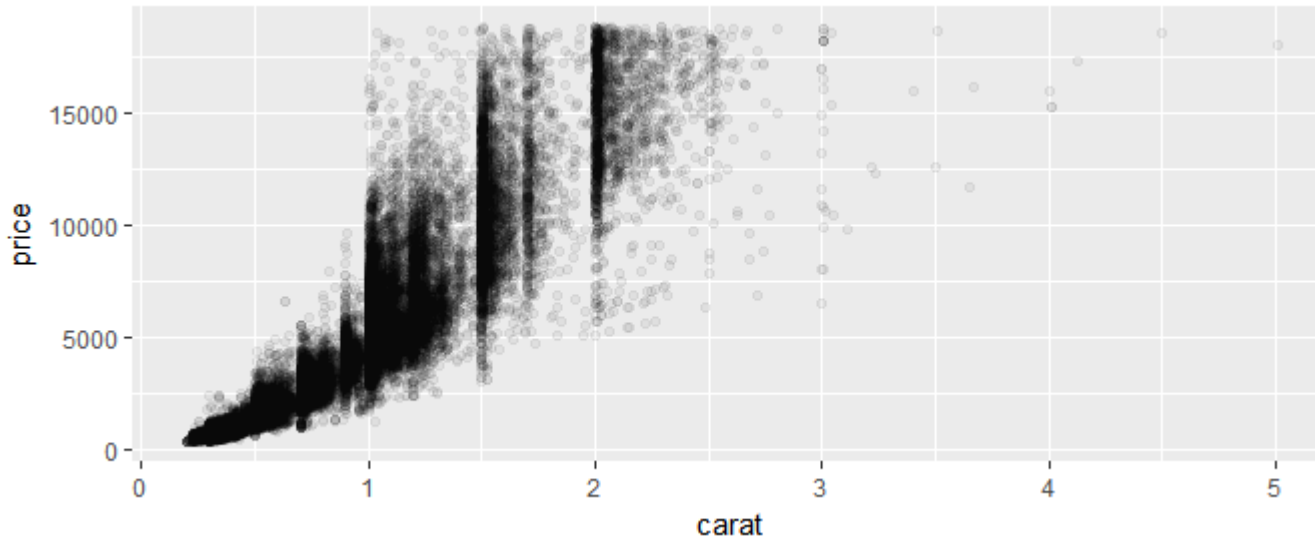
color

diamond colour, from J (worst) to D (best)



- Ovo su ugrađeni podaci u R-u.
- Primer grafika za kod sa prethodnog slajda je dat na slici.

ggplot2



- Na slici je dat primer ggplot2 grafika koji je ugrađen u paket i dobija se pozivom funkcije *example()*.
- ggplot2 paket (<https://ggplot2.tidyverse.org/>, pristupljeno 10.04.2024.) je:
 - fleksibilan i
 - ima relativno visok nivo apstrakcije.
- Ovaj paket nije pogodan za:
 - 3D grafike (paket koji treba koristiti u tom slučaju je **rgl**, <https://cran.r-project.org/package=rgl>, pristupljeno 10.04.2024.),
 - grafove iz teorije grafova i
 - interaktivne grafike (paket koji treba koristiti u tom slučaju je **ggvis**, <https://cran.r-project.org/package=ggvis>, pristupljeno 10.04.2024).
- Ovaj paket je napisao Hadley Wickham (<http://hadley.nz/>, pristupljeno 10.04.2024.) 2005. godine.
- Priprema ovog predavanja je inspirisana materijalima sa sajta: <http://tutorials.iq.harvard.edu/R/Rgraphics/Rgraphics.html>, pristupljeno aprila 2022. godine.

ggplot2

- Osnovni elementi grafika uključuju:
 - podatke,
 - *aesthetic mapping*,
 - geometrijske objekte,
 - statističke transformacije,
 - skaliranje,
 - koordinatni sistem,
 - pozicioniranje i
 - *faceting* (slob. prev. sa eng: oblikovanje).
- Najvažniji operator je “+” koji omogućava da se različita podešavanja uključe u vizuelizaciju.
- Primenom ggplot2 paketa, omogućava se kreiranje grafika sloj po sloj (eng. *layer*).
- Postoje posebne klase grafika koje omogućavaju da formirana struktura ostane sačuvana, ali i promenjena po želji korisnika.
- Postoje posebne funkcije i paketi koji omogućavaju da se funkcionalnost ggplot2 paketa koristi u Matlabu i u Pajtonu. Više na linkovima:
 - <https://github.com/yhat/ggpy> (pristupljeno 10.04.2024.) i
 - <https://github.com/piermorel/gramm> (pristupljeno 10.04.2024).



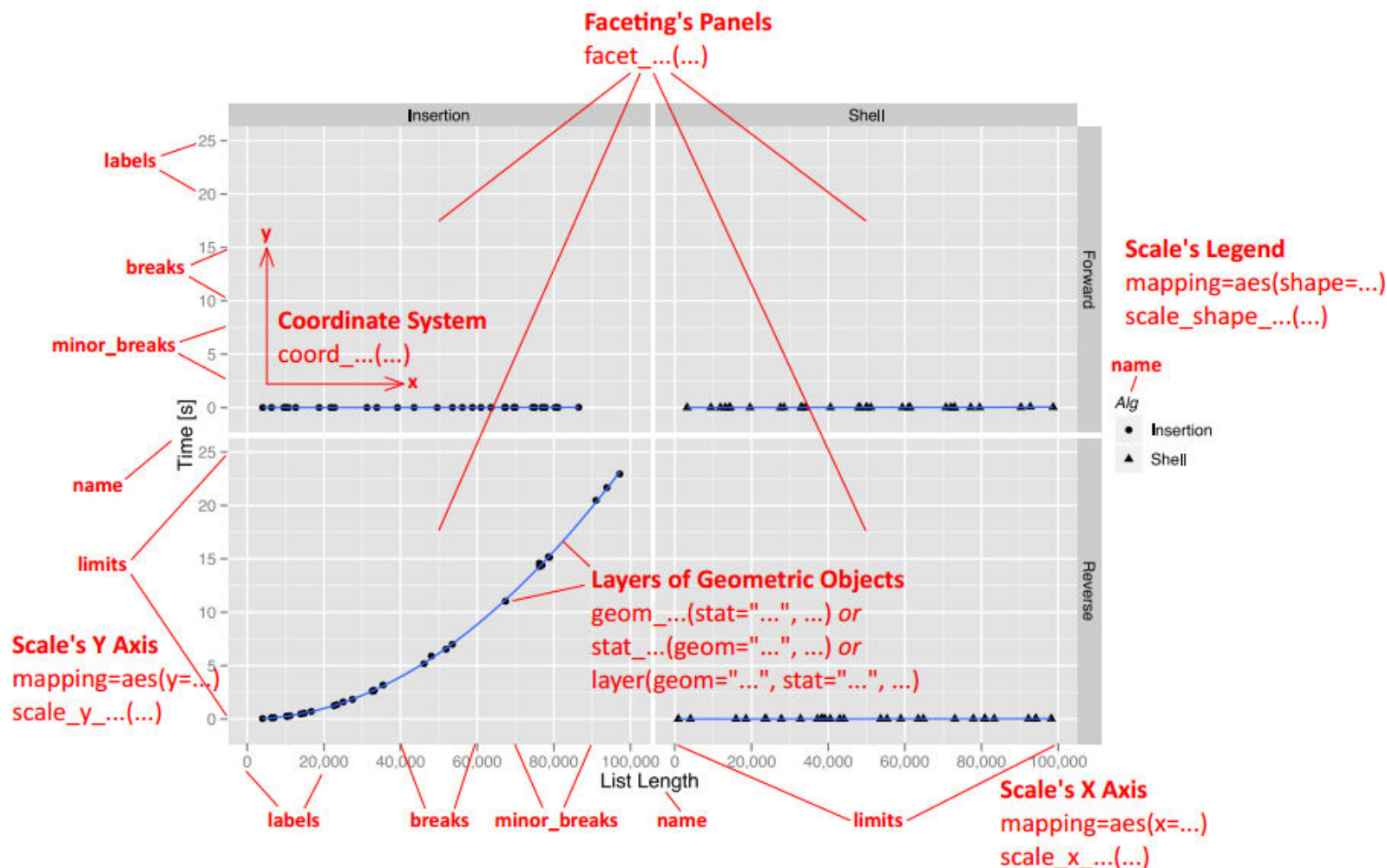
Gramatika: ggplot2 vs. osnovni grafici

- Za jednostavne grafike nije potrebno koristiti ggplot2.
- **Podaci bi trebalo da su tipa *data frame*.**
- Koristi se drugačiji sistem za “dodavanje elemenata” od klasičnih grafika.
 - i intuitivniji, takođe.
- O pandas, plotnine i drugim Pajton paketima koji omogućavaju funkcionalnost ggplot paketa, pogledati https://monashdatafluency.github.io/python-workshop-base/modules/plotting_with_ggplot/ (pristupljeno 10.04.2024).



By Marc Garcia - <https://github.com/pandas-dev/pandas/blob/master/web/pandas/static/img/pandas.svg>, BSD,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=73107397>

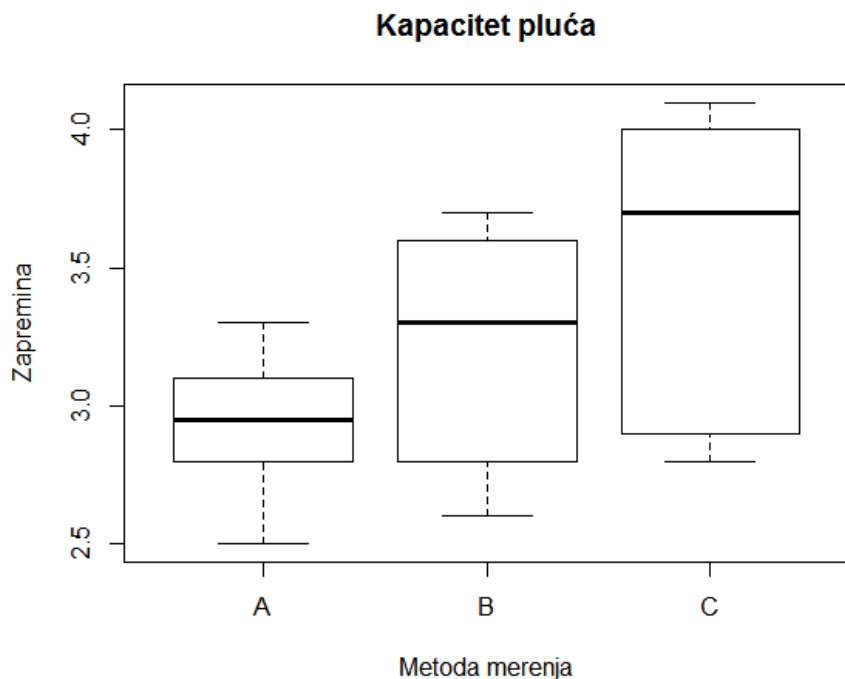
Osnovni elementi ggplot2 grafika



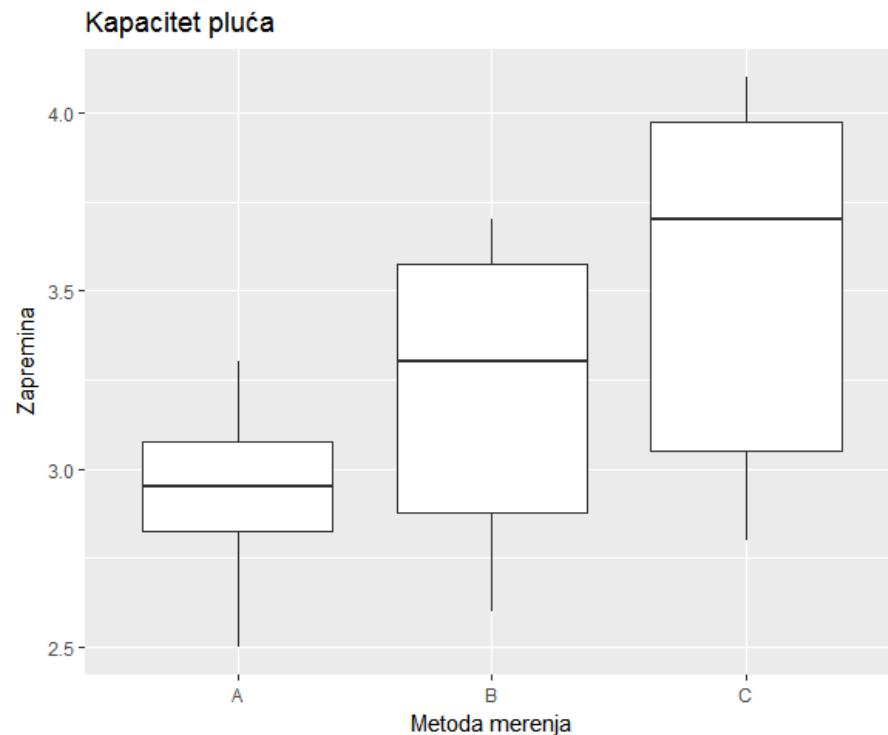
- Osnovi elementi ggplot2 grafika su prikazani na slici.
- Slika je preuzeta i izmenjena sa sajta: <http://boole.inf.usi.ch/sp-2014/slides/Lecture-20-ggplot2.pdf>, pristupljeno 10.04.2024. (Grammar of graphics with R and ggplot2), *Fair Use*.

PRIMERI GRAFIKA
I PRIKAZ BIOMEDICINSKIH PODATAKA

Podaci i *box plot*?



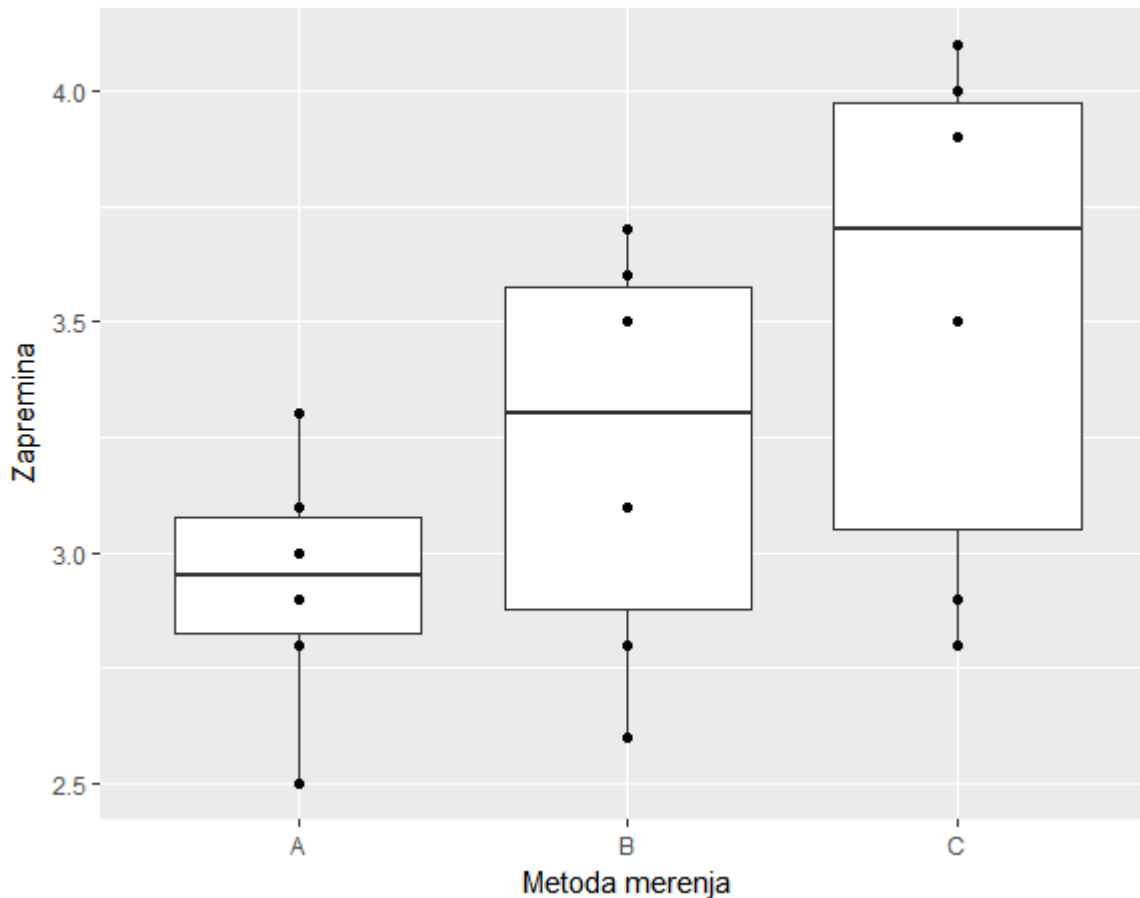
```
boxplot(volume ~ method, data=dat, main="Kapacitet pluća"  
        xlab="Metoda merenja", ylab="Zapremina")
```



```
p <- ggplot(dat, aes(x=method, y=volume)) +  
      labs(list(title = "Kapacitet pluća",  
               x = "Metoda merenja", y = "Zapremina"))  
p + geom_boxplot()
```

- U paketu ISwR se nalaze podaci "lung" koji sadrže podatke o kapacitetu pluća (eng. *lung volume*) za 18 ispitanika.
- Podaci su mereni sa tri različite metode koje su označene sa A, B i C.
- Podaci su prikazani primenom *box plot*-a (na levom panelu je prikazan primer sa osnovnim R paketima i na desnom pomoću ggplot2 paketa).
- **Prisetiti način definisanja grafika u ggplot-u. Promenljiva *p* pripada posebnoj ggplot klasi.**

Kapacitet pluća

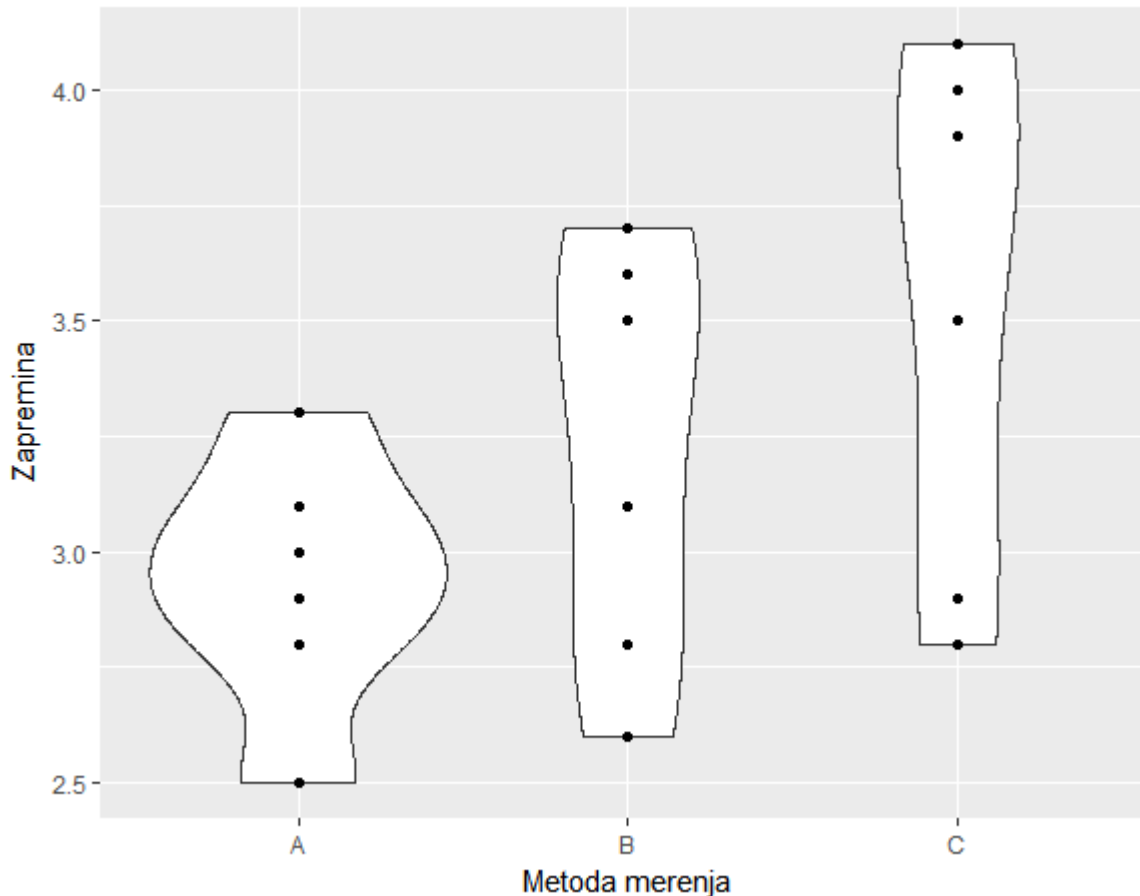


Box plot

```
p + geom_boxplot() + geom_point()
```

- Ovaj tip grafika služi za prikaz numeričkih vrednosti u različitim grupama podataka pomoću kvantila, srednje vrednosti i medijane (https://en.wikipedia.org/wiki/Box_plot).
- Nekada, ove sumirane vrednosti se crtaju zajedno i sa odbircima signala (pogledati sliku). Međutim, ne treba mešati odbirke sa *outlier*-ima!

Kapacitet pluća



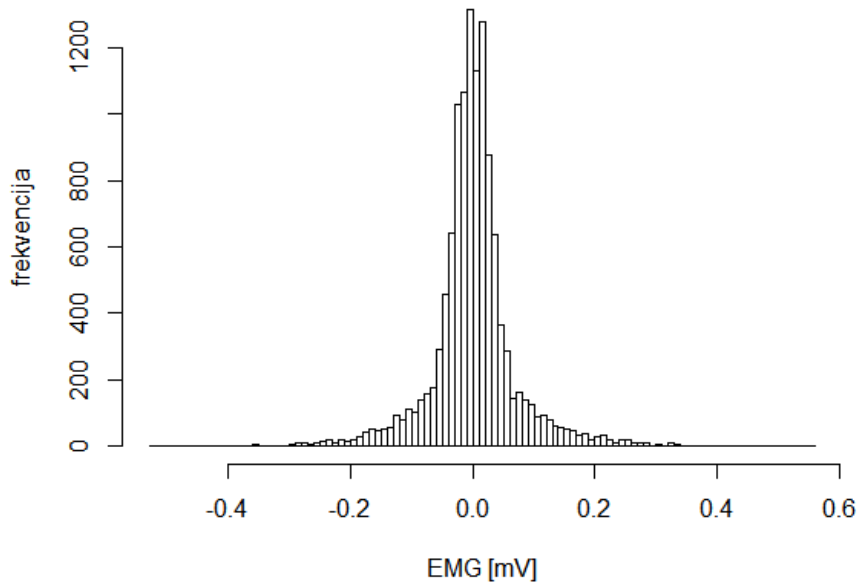
Violin plot

```
p + geom_violin() + geom_point()
```

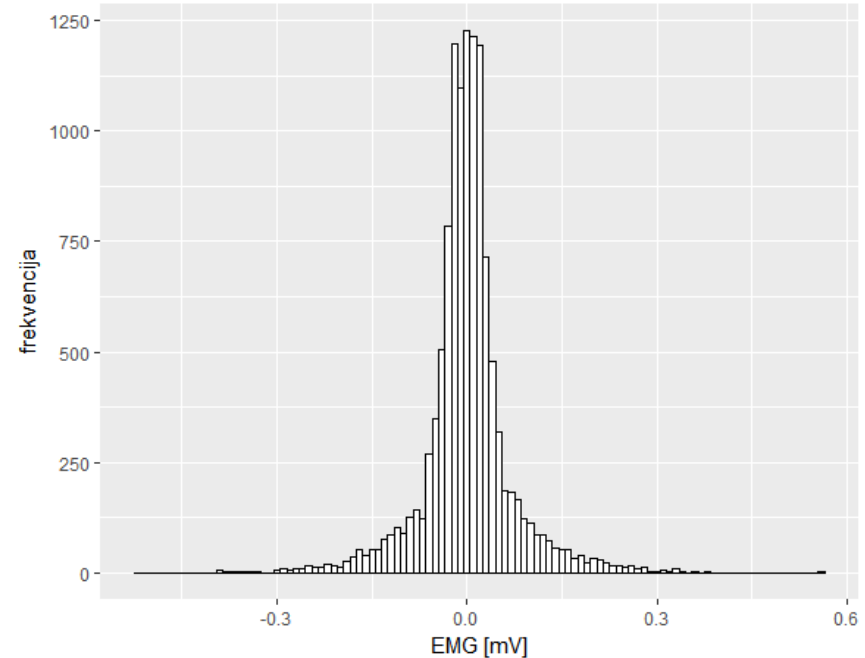
- Postoji više tipova *box plot-a*, a jedan od njih je *violin plot* (https://en.wikipedia.org/wiki/Violin_plot).
- Ovaj grafik sadrži i podatak o raspodeli verovatnoće. Kako?
- Šta se zaključuje o podacima koji su prikazani iz studije “lung” na slici? Da li se može zaključivati na osnovu dostupnog broja merenja?

Histogram i EMG podaci

Histogram EMG podataka



Histogram EMG podataka



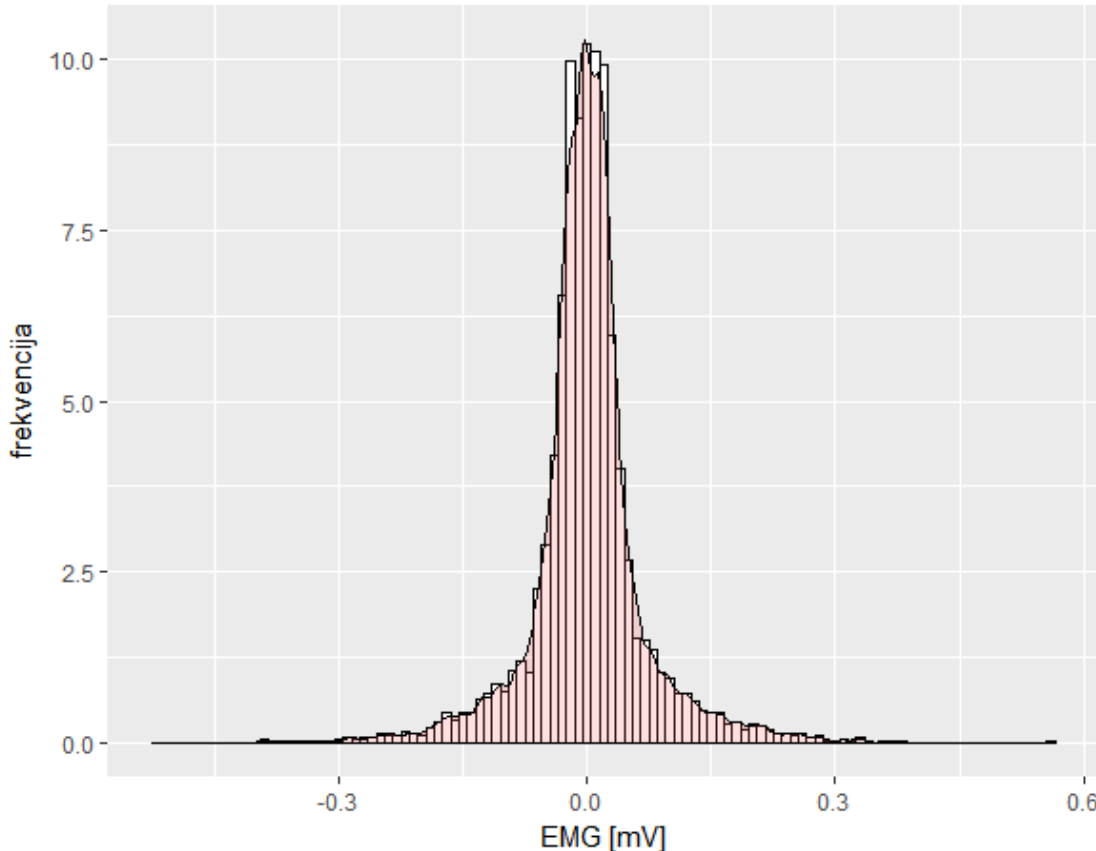
```
hist(pod$EMG, round(sqrt(length(dat$EMG)) + 1),  
     main = "Histogram EMG podataka",  
     xlab = "EMG [mV]", ylab = "frekvencija")
```

```
gr <- ggplot(pod, aes(x=EMG))+  
  ggtitle("Histogram EMG podataka") +  
  xlab("EMG [mV]") +  
  ylab("frekvencija")  
gr1 <- gr + geom_histogram(binwidth = 0.01,  
                           color="black", fill="white")  
print(gr1)
```

- Primeri grafika su dati na slikama: sa osnovnim R funkcijama (levi panel) i sa ggplot2 funkcijama (desni panel). **Kakvu raspodelu imaju podaci sa slike?**
- Histogram se koristi kao grafička reprezentacija raspodele numeričkih podataka (<https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram>). Pripada grupi *bar graph*-ova (https://en.wikipedia.org/wiki/Bar_chart).

Histogram – preporuka

Histogram EMG podataka



```
gr <- ggplot(pod, aes(x=EMG))+  
  ggtitle("Histogram EMG podataka") +  
  xlab("EMG [mV]") +  
  ylab("frekvencija")  
  
gr + geom_histogram(aes(y=..density..),  
  binwidth = 0.01,  
  color="black", fill="white") +  
  geom_density(alpha=.2, fill="#FF6666")
```

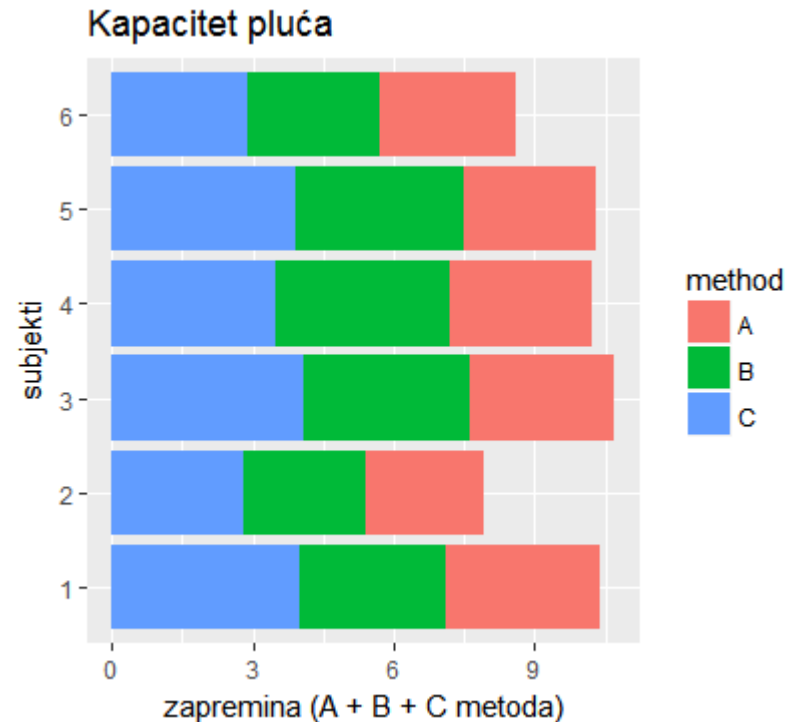
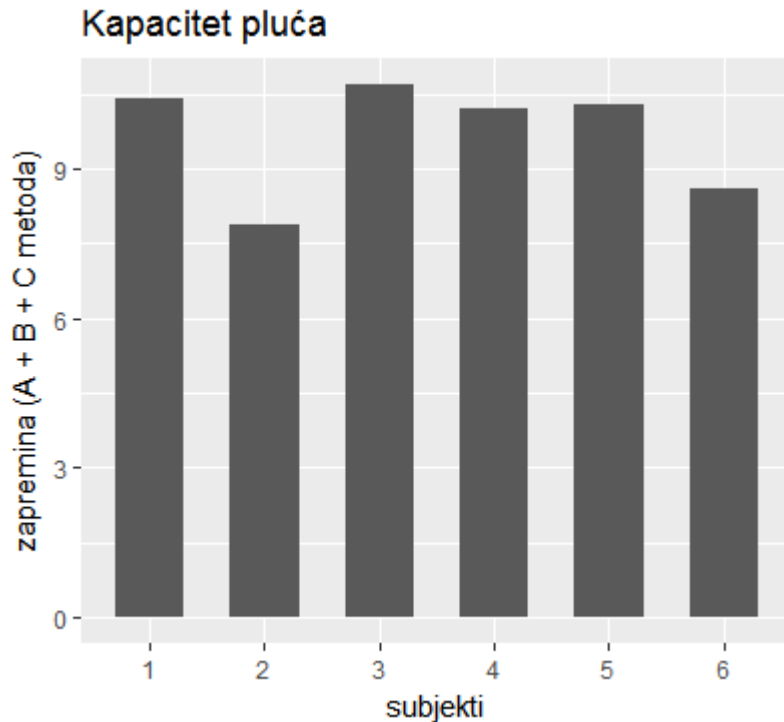
- Obratiti pažnju na ulazne parametre ggplot2 funkcije `geom_hist()`. Šta znači parametar `binwidth`?
- Uobičajeno je da se zajedno sa histogramom prikazuje i funkciju gustine verovatnoće za podatke od interesa.
- Alfa je parametar koji definiše transparentnost funkcije gustine verovatnoće.

Istorija histograma



- Prvi histogram je nacrtao engleski matematičar Karl Pearson koji se bavio biostatistikom (https://en.wikipedia.org/wiki/Karl_Pearson).
- Histogram ne nosi njegovo ime, ali jedan drugi uobičajen parametar/metoda da. **O čemu je reč?**

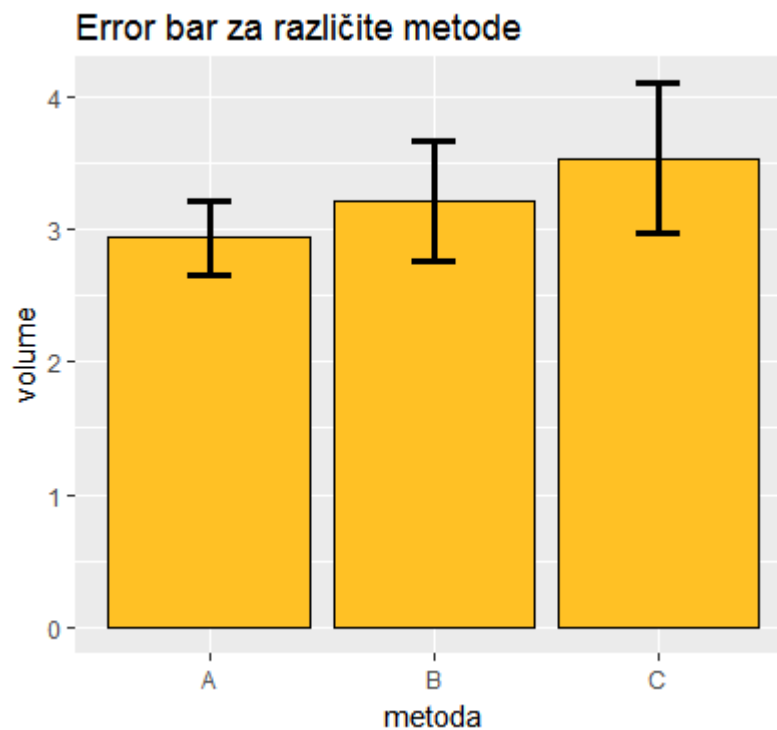
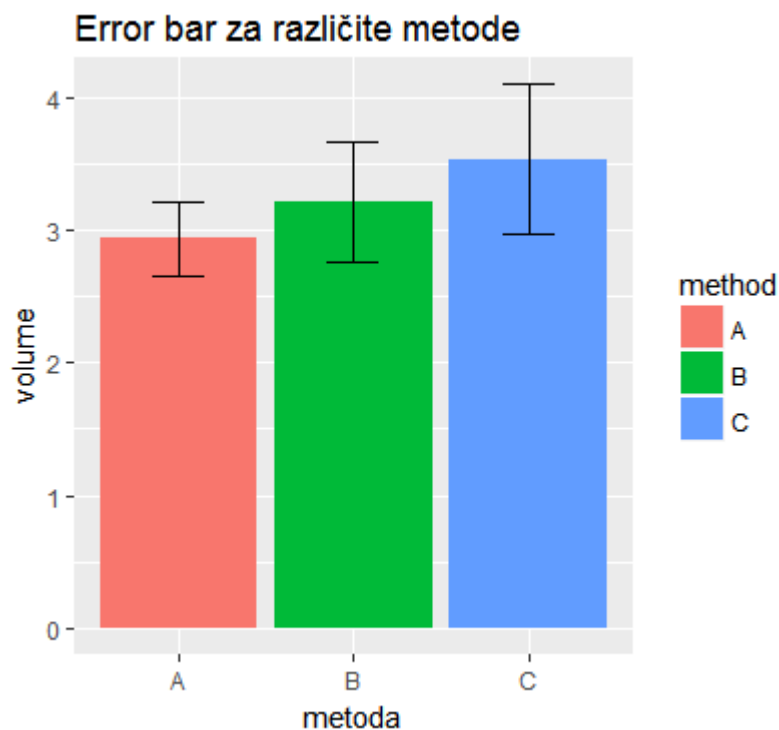
Bar dijagram



```
graf <- ggplot(dat) + labs(list(title = "kapacitet pluća",  
                               x = "subjekti", y = "zapremina (A + B + C metoda)"))  
  
graf + geom_bar(aes(x = subject, y = volume, fill = method),  
               stat = "identity") + coord_flip()  
  
graf + geom_bar(aes(x = subject, y = volume), stat = "identity", width = 0.6)
```

- Ovaj grafik omogućava prikaz podataka pomoću pravougaonika čije dužine su proporcionalne vrednostima koje se prikazuju (https://en.wikipedia.org/wiki/Bar_chart). Služi za poređenje tipova podataka / kategorija.
- **Preporuka je da se koristi horizontalni prikaz umesto vertikalnog.**
- Primer grafika za "lung" podatke (ISWR paket) su dati na slici. Ima li to ovde smisla?
- Posebna vrstu ovog grafika čini *error bar*.

Error bar



- Na slici su prikazani isti podaci kao na prethodnom slajdu na dva načina.
- **Koji od ova dva načina je pravilan, a koji nepravilan? Zašto?**
- Na ovoj slici su usrednjeni svi podaci za različite metode.
- Šta se može zaključiti o metodama koje su korišćene za merenje kapaciteta pluća sa ovih grafika?
- Da li nedostaje neki element u prikazu ovih grafika?

Error bar: priprema podataka i kod

```
# ERROR BAR GRAF
meanA <- filter(dat, method == "A") %>% select(volume) %>% unlist %>% mean
meanB <- filter(dat, method == "B") %>% select(volume) %>% unlist %>% mean
meanC <- filter(dat, method == "C") %>% select(volume) %>% unlist %>% mean
sdA <- filter(dat, method == "A") %>% select(volume) %>% unlist %>% sd
sdB <- filter(dat, method == "B") %>% select(volume) %>% unlist %>% sd
sdC <- filter(dat, method == "C") %>% select(volume) %>% unlist %>% sd

pod <- list("numeric")
pod$mn <- c(meanA, meanB, meanC)
pod$sd <- c(sdA, sdB, sdC)
pod <- data.frame(pod)

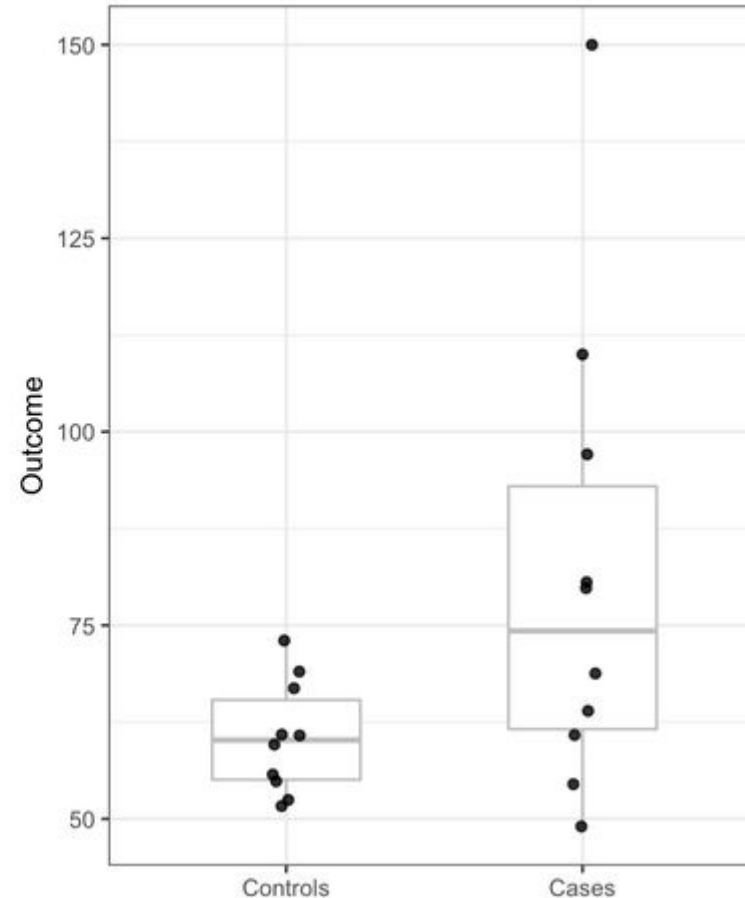
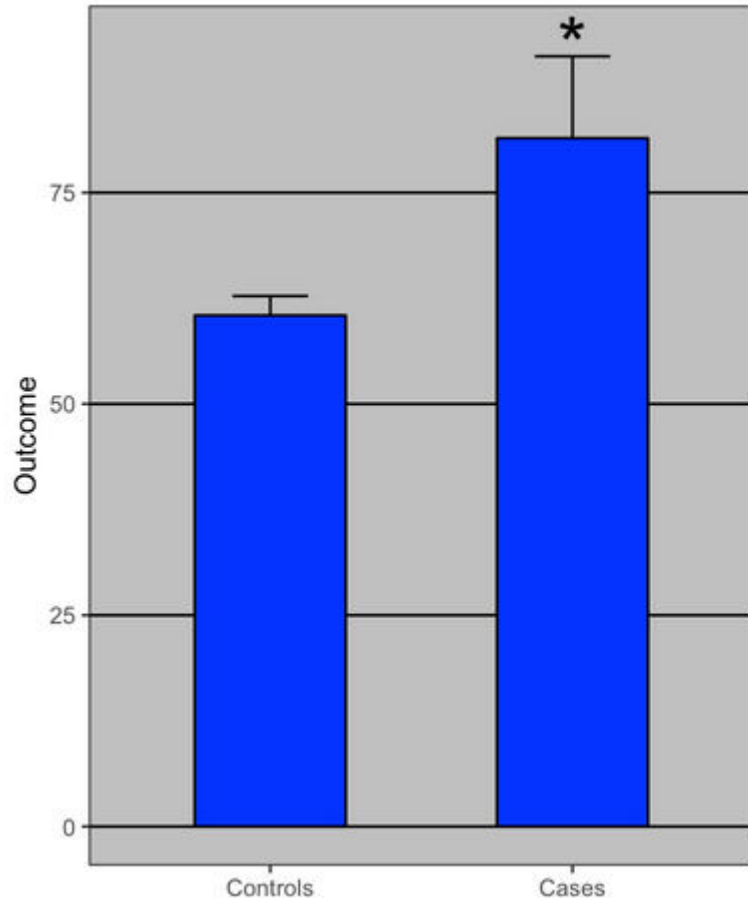
pod$method <- as.factor(c("A", "B", "C"))

# nacin 1
barE <- ggplot(pod, aes(x = method, y = mn, fill = method)) +
  ggtitle("Error bar za različite metode") +
  xlab("metoda") + ylab("volume") +
  geom_bar(stat = "identity")
barE + geom_errorbar(aes(ymin = mn - sd, ymax = mn + sd), width = 0.3)

# nacin 2
barE <- ggplot(pod, aes(x = method, y = mn)) +
  ggtitle("Error bar za različite metode") +
  xlab("metoda") + ylab("volume") +
  geom_bar(stat = "identity", fill = "goldenrod1", color = "black")
barE + geom_errorbar(aes(ymin = mn - sd, ymax = mn + sd), width = 0.2, lwd = 1.2)
```

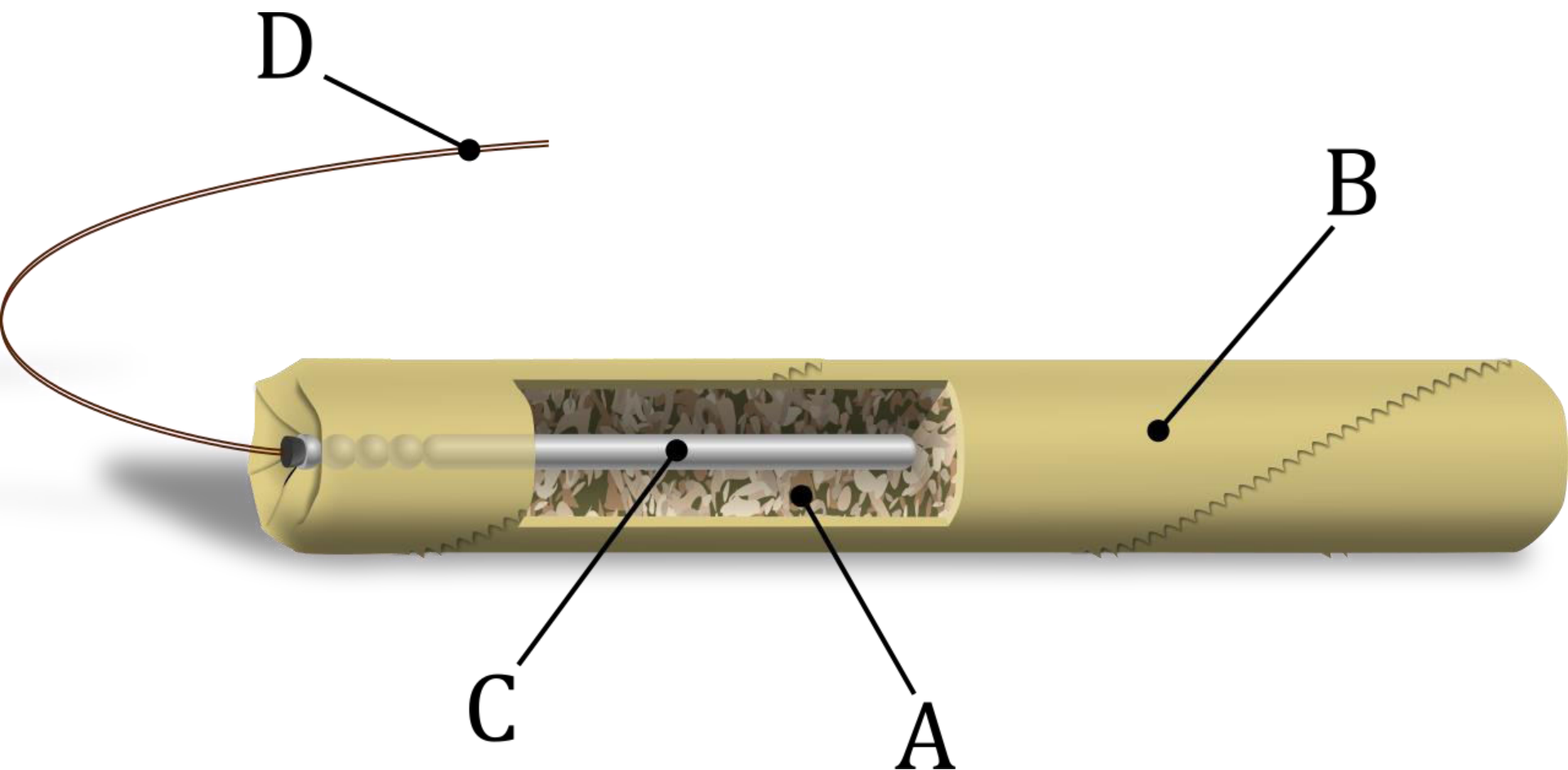
- Obratiti pažnju da je korišćen dplyr paket za pripremu podataka.
- Koje funkcije iz ggplot2 paketa se koriste?
- Kako bi se realizovao kod koji omogućava prikaz 15 različitih metoda?
- NAPOMENA: Ako je neka vrednost na grafiku označena na osi ili na neki drugi način, onda nema potrebe da se dodaje boja kao višak informacije.

Error bar i zašto ga (ne) treba koristiti



- Mogu loše da prenose informaciju.
- Detalje možete pogledati u blogu *“Open letter to journal editors: Dynamite plots must die”* profesora Rafaela Irizarija sa Harvard Univerziteta, pristupljeno aprila 2019. godine.
- Slika sa bloga, <https://simplystatistics.org/posts/2019-02-21-dynamite-plots-must-die/>, pristupljeno 10.04.2024.

Dynamite plot?



Liče?

Slika: By Pbroks13 - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74472594>

Vizuelizacija predstavlja i umetnost



By Mariano - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=265811>

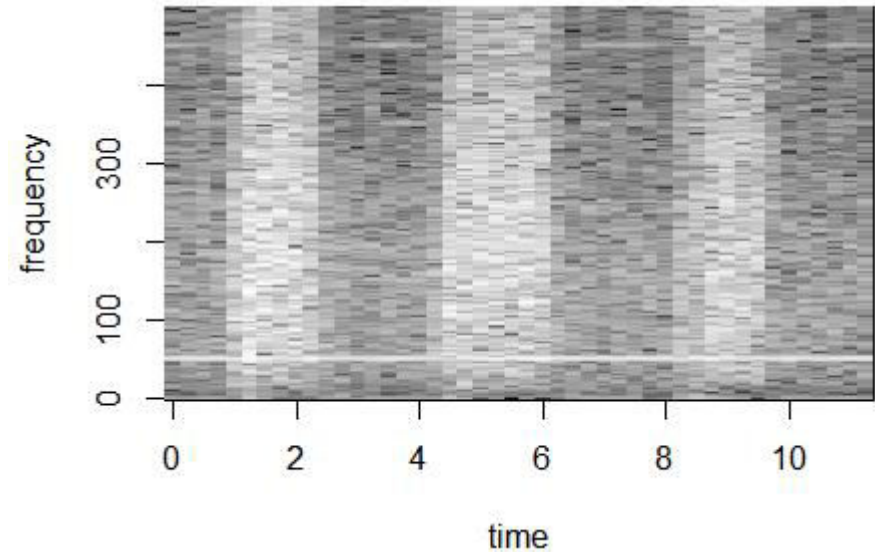
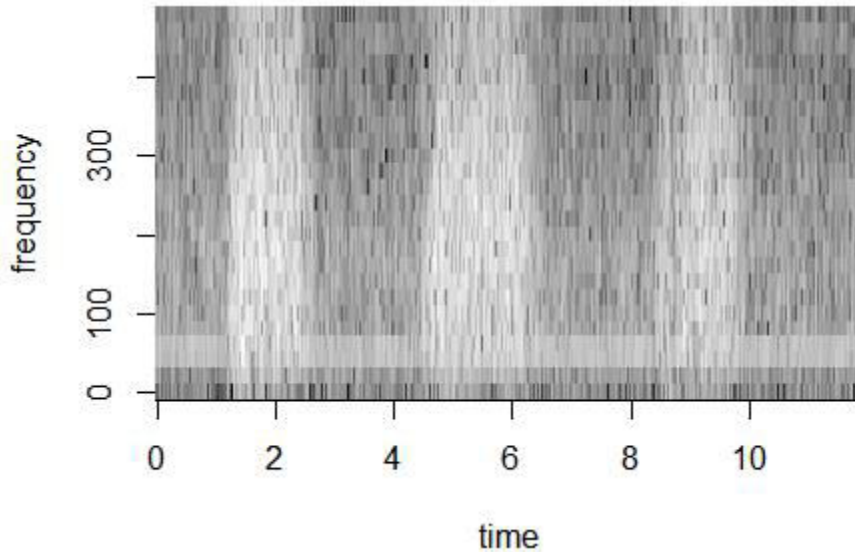
- Postoje pravila, ali ih je malo
- Većina smernica su preporuke
- Ukusi se razlikuju ...
- Možda krenuti od negativnih primera?
- https://www.biostat.wisc.edu/~kbromann/topten_worstgraphs/, pristupljeno 10.04.2024.
- Koga zanima više, pogledajte *Data Visualization Society*, možete postati i član?
- <https://www.datavisualizationsociety.com/mission>, pristupljeno 10.04.2024.
- Takođe, prof. Edvart Tufte je odličan izvor!
- <https://www.edwardtufte.com/tufte/>, pristupljeno 10.04.2024.
- Kad niste sigurni šta da radite, onda nek bude što jednostavnije i neka bude po mogućstvu crno/belo.

Geometrijski objekti i estetika

```
help.search("geom_", package = "ggplot2")
```

- “Estetika” se odnosi na sve vidljivo (koristi se *aes()* funkcija):
 - pozicija (na apscisi i ordinati),
 - boja (“outside”/“inside” color),
 - oblik,
 - tip linije i
 - veličina.
- Svaka *geom_()* funkcija prihvata neki podskup estetskih elemenata:
 - Tačke: *geom_point()* – za *scatter plot* i *dot plot*
 - Linije: *geom_line()* – za vremenske serije, trendove linija
 - Boxplot: *geom_boxplot()*
- Ako se više geom-a (tj. grafika) želi prikazati u istom prozoru, onda se koristi operator “+”.

Spektrogram

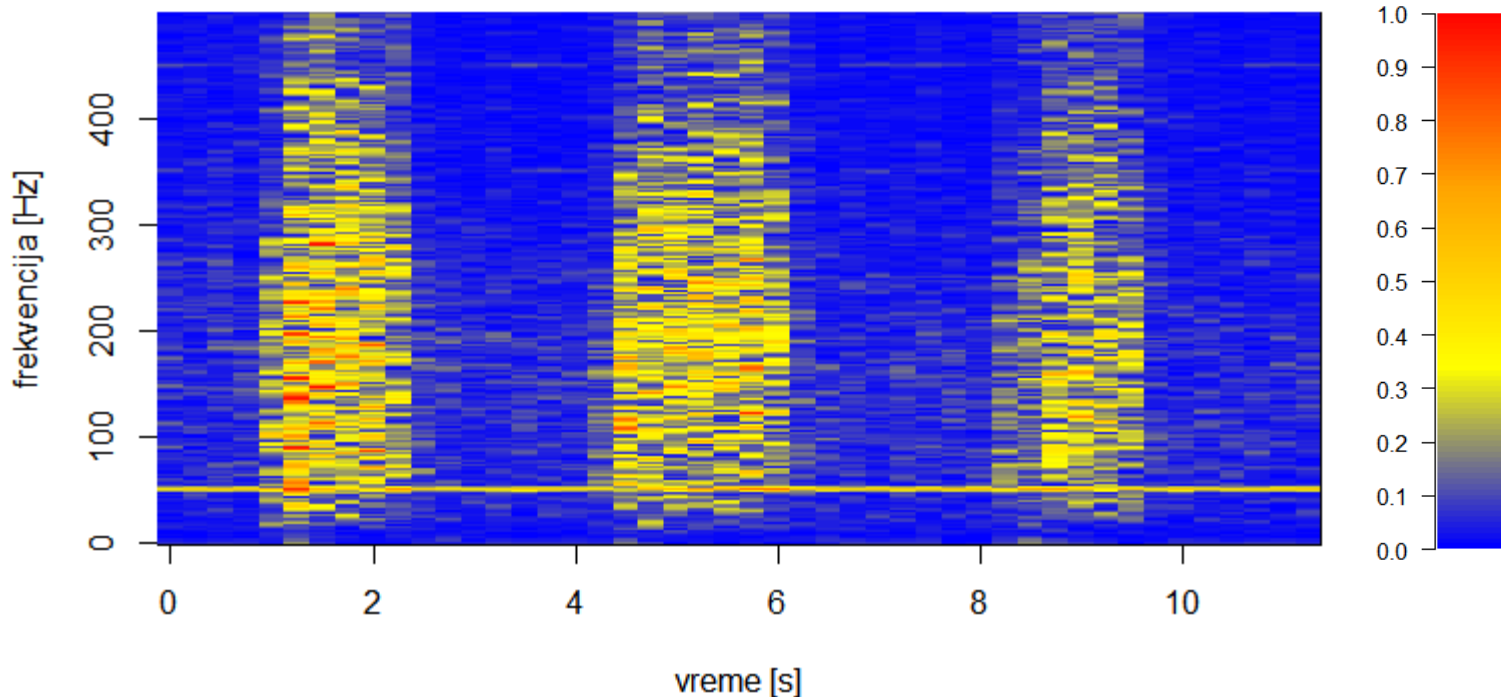


```
pod <- read.csv("EMG.csv")  
Fs = 1000  
specgram(pod$EMG, n = 50, Fs)  
specgram(pod$EMG, n = 500, Fs)
```

- Spektrogram se koristi za vizuelizaciju nestacionarnih signala (<https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrogram>).
- Spektrogram prikazuje promene i u vremenskom i u frekvencijskom domenu.
- Koje se promene uočavaju na prikazanim spektrogramima?
- Koji prozor je primenjen za levi, a koji za desni spektrogram (gde je bolja vremenska, a gde frekvencijska rezolucija)?
- Šta nedostaje na prikazanim slikama?

Bar sa bojama

Spektrogram EMG signala



- *Colorbar* nije moguće dodati *specgram()* funkciji iz *signal* paketa.
- Međutim, moguće je koristiti i druge funkcije za prikaz spektrograma u kombinaciji sa legendama koje sadrže informaciju o boji.
- Funkcija *color.bar()* je preuzeta sa: Color bar legends for neuroimaging in R (<http://www.colbyimaging.com/wiki/statistics/color-bars>, dostupno aprila 2022. godine). Kod na ->

Kod?

```
# a sa legendama?
sp <- specgram(pod$EMG, n = 500, Fs)
S <- abs(sp$S) # magnituda
S <- S/max(S)
image(z = t(S), x = sp$t, y = sp$f,
      xlab = "vreme [s]", ylab = "frekvencija [Hz]",
      main = "Spektrogram EMG signala",
      col = colorRampPalette(c("blue", "yellow", "orange", "red"))(100))

color.bar(colorRampPalette(c("blue", "yellow", "orange", "red"))(100), min = 0, max = 1)

color.bar <- function(lut, min, max=-min, nticks=11, ticks=seq(min, max, len=nticks), title='') {
  scale = (length(lut)-1)/(max-min)

  dev.new(width=1.75, height=5)
  plot(c(0,10), c(min,max), type='n', bty='n', xaxt='n', xlab='', yaxt='n', ylab='', main=title)
  axis(2, ticks, las=1)
  for (i in 1:(length(lut)-1)) {
    y = (i-1)/scale + min
    rect(0,y,10,y+1/scale, col=lut[i], border=NA)
  }
}
```

- Na slici je prikazana upotreba *specgram()* funkcije u signal paketu. Pored ovog, postoji i niz drugih specijalizovanih paketa koji se mogu koristiti za vremensko-frekvencijsku vizuelizaciju signala.
- Spektrogram je normalizovan! Da li je moguće normalizovati spektrogram u odnosu na neke druge vrednosti? Zbog čega bi to bilo povoljno?

Rezolucija i princip neodređenosti

- Rezolucija u slučaju merenja je najmanja promena koju neki instrument prikazuje/registruje (izvor: Miljković, Nadica. (2016). Metode i instrumentacija za električna merenja. Belgrade, Serbia: University of Belgrade - School of Electrical Engineering. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1335250>).
- Važno je odabrati odgovarajući korak za primenu spektrograma kako bi se podesile vremenska i frekvencijska rezolucija.
 - Hajzenbergov princip neodređenosti!!!
- Rezolucija u slučaju STFT može biti:
 - vremenska i
 - frekvencijska.
- Vremenska rezolucija predstavlja najmanju moguću vremensku promenu koja se može uočiti na STFT. U oznaci Δt i jednaka je širini prozora/segmenta.
- Frekvencijska rezolucija je jednaka opsegu frekvencija koji može prikazati dati prozor. U oznaci Δf i jednaka je fs/N , gde je fs frekvencija odabiranja, a N broj odbiraka na prozoru.



Princip neodređenosti – podsetnik

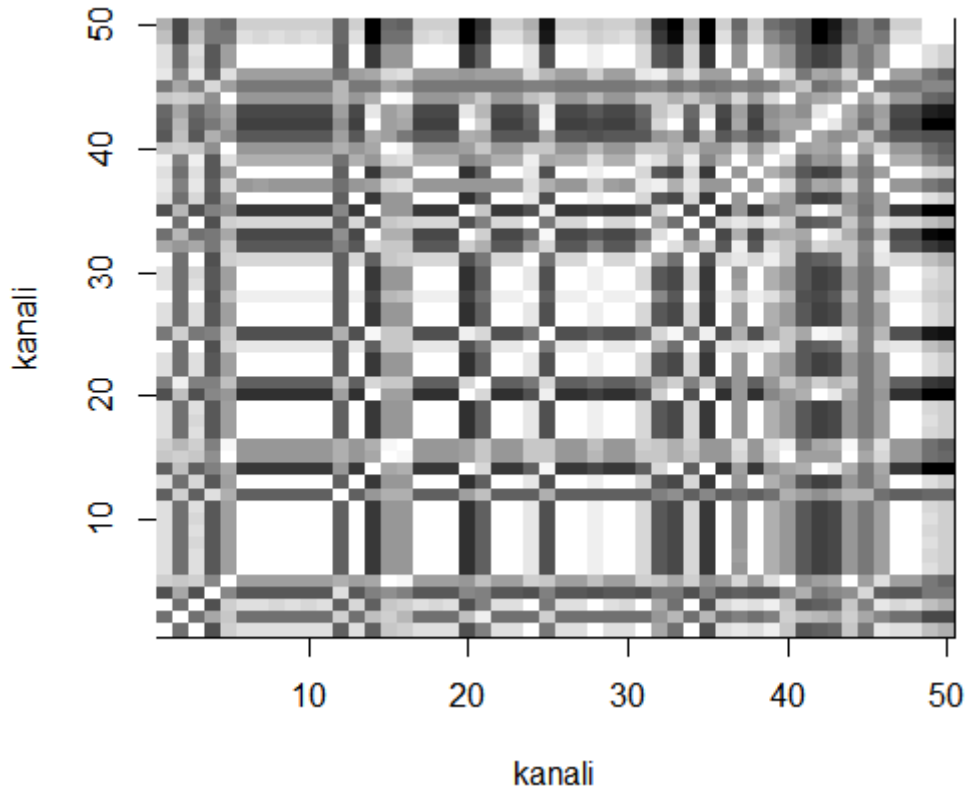
- Kompromis vremenske i frekvencijske rezolucije.
- Zahteva se da proizvod vremenske i frekvencijske rezolucije bude veći od nekog minimuma: $\Delta f * \Delta t \geq 1 / 4\pi$.
- Princip neodređenosti se drugačije naziva i Hajzenbergov princip neodređenosti (https://en.wikipedia.org/wiki/Uncertainty_principle). Definisao ga je nemački fizičar Verner Hazjenberg (https://en.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg), a osnovna definicija je data u oblasti kvantne mehanike.

2D prikaz

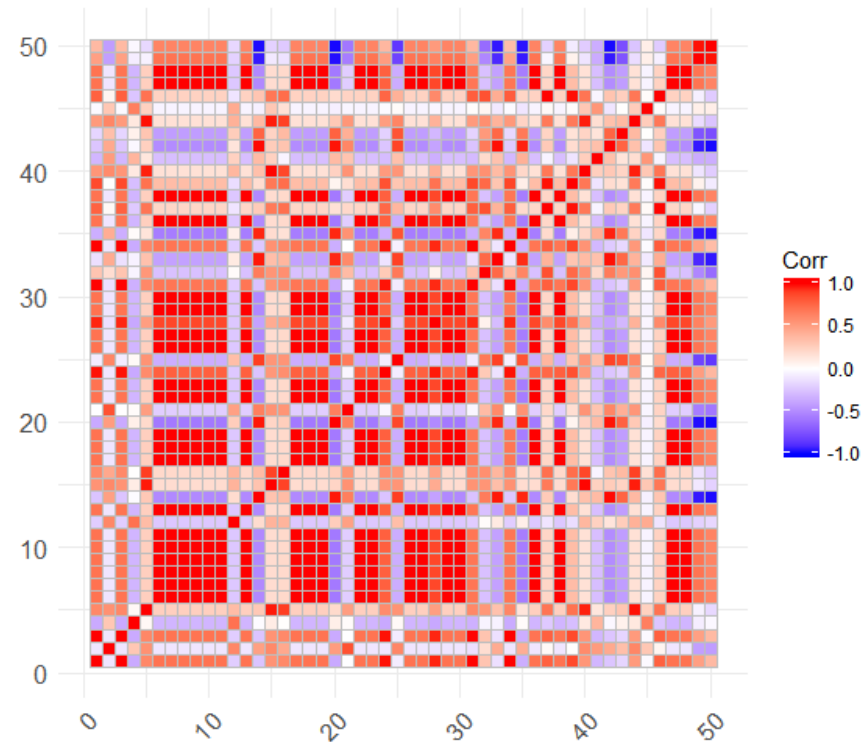
- Za meren relativno veliki broj podataka, potrebno je proveriti kakva je kroskorelacija između pojedinačnih kanala.
- To je važan predkorak u redukciji dimenzionalnosti podataka i najčešće predstavlja osnovnu informaciju o merenim signalima. Može da definiše korake koji će biti korišćeni u daljoj analizi.
- Neka je meren video signal i neka je na licu ispitanika izdvojeno 50 markera koji su snimljeni u datoteci "50.txt".
 - Koji biomedicinski signal je moguće izdvojiti na ovaj način?
- Za tih 50 podataka izračunat je kroskorelacioni koeficijent.
- Potrebna je tehnika kojom će se prikazati 250 korelacionih koeficijenata.

Vizuelizacija

Kros-korelacija



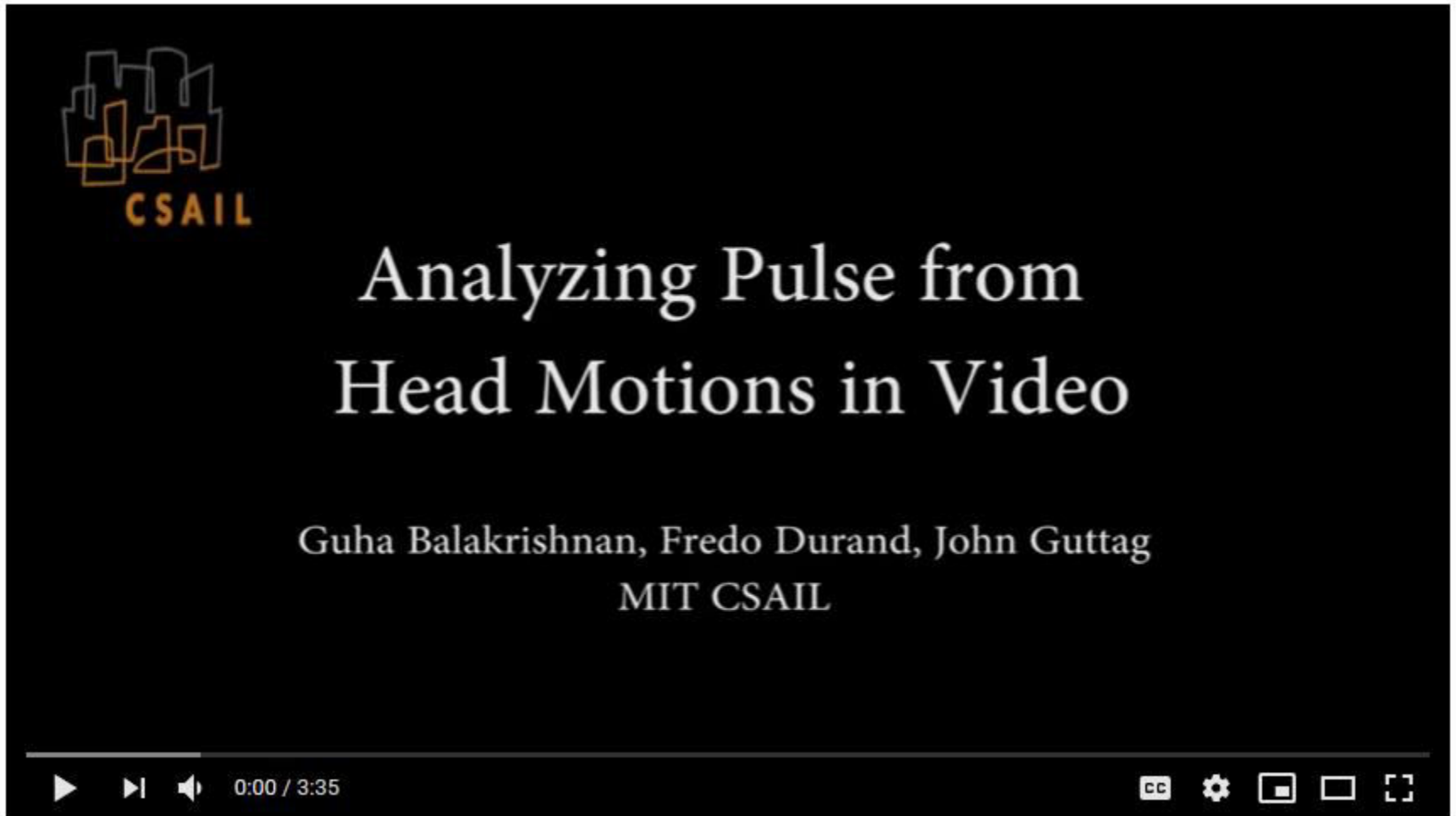
```
image(corM, x = 1:50, y = 1:50,  
      xlab = "kanali", ylab = "kanali",  
      main = "Kros-korelacija", col = gray((0:32)/32))
```



```
ddat <- read.table("50.txt")  
dim(ddat)  
  
corM <- cor(ddat)  
rownames(corM) <- factor(c(1:50))  
colnames(corM) <- factor(c(1:50))  
  
library(ggcorrplot)  
ggcorrplot(corM)
```

- Postoji paket koji se oslanja na ggplot2 i koji se zove ggcorrplot.
- Na slici su prikazane kros-korelacione matrice za 50 kanala koji su učitani iz datoteke "50.txt" primenom osnovnih i ggcorrplot paketa.

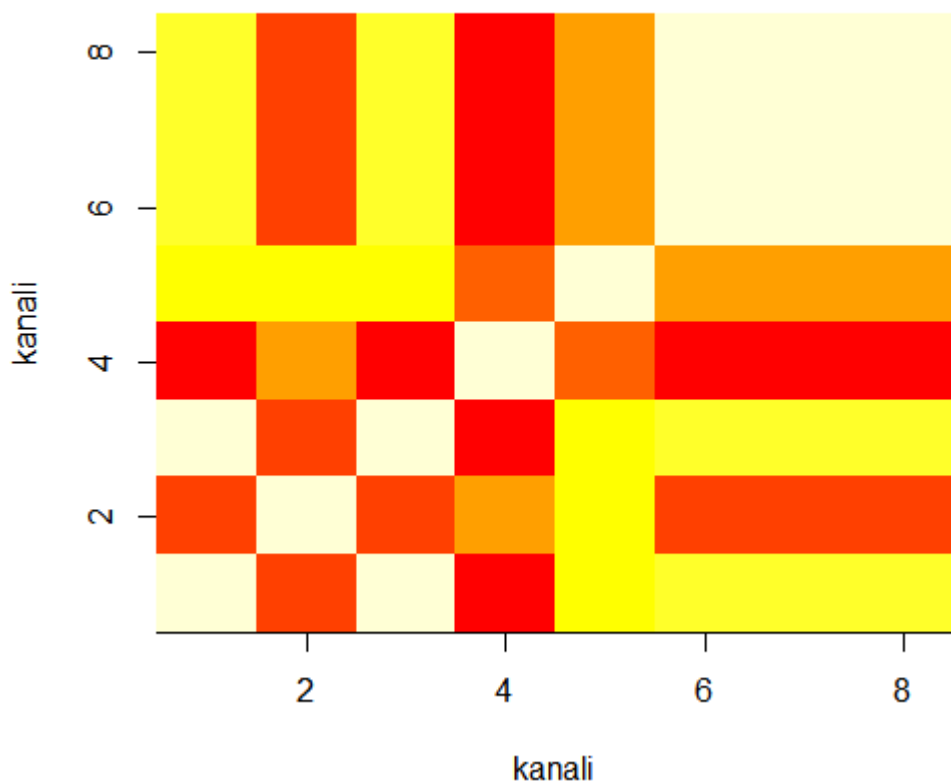
Detecting pulse from head motions



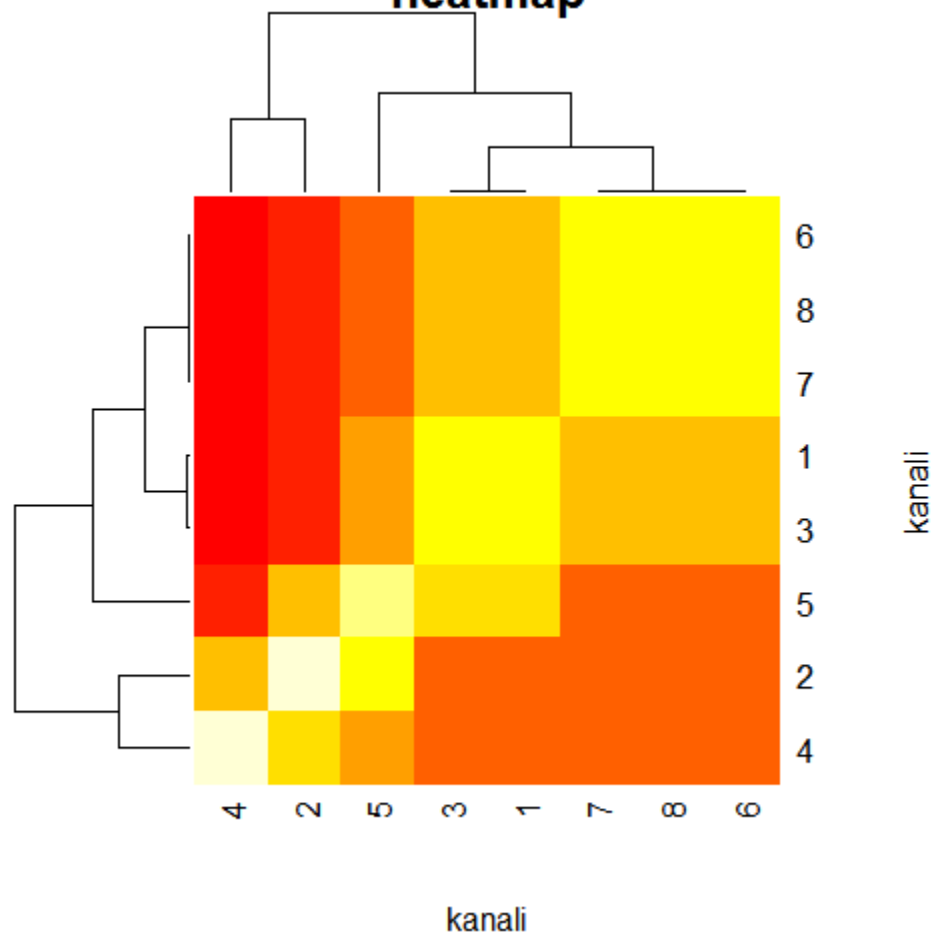
Video: <https://youtu.be/EhZXDgG9oSk> by MITCSAIL via YouTube, Jun 20, 2013.

Kako izgleda *heat map*?

Kros-korelacija



heatmap



- Primetiti da je kros-korelaciona matrica simetrična i da je moguće prikazati samo njenu polovinu.
- Dalje, na primeru prvih 8 kanala pokazana je razlika između kros-korelacione matrice i *heat map*-a.

Heat map anatomija?

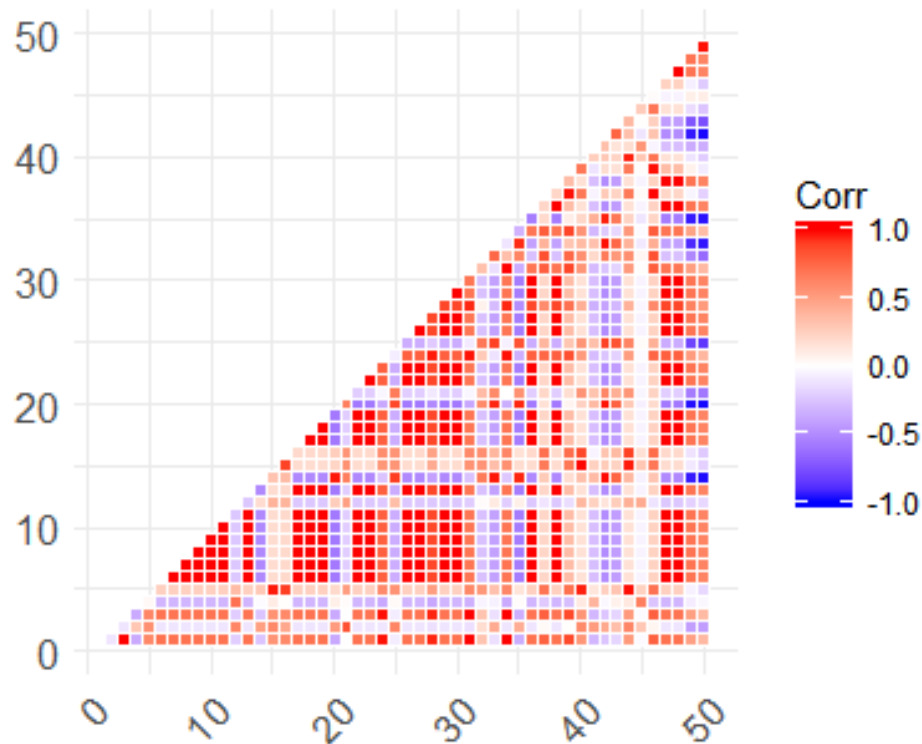
- *Heat map* (https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_map, *Fair Use*) se koristi za vizuelizaciju kompleksnih podataka u slučaju kada je potrebno prikazati relativno veliki broj informacija (dimenzija) signala.
- Ovaj prikaz postoji u R-u u velikom broju paketa.
- Postoji više vrsta ovih mapa. Primer jedne od najpoznatijih grafika koji prikazuje epidemiološke podatke za male boginje (eng. *measles*) pre i posle početka primene vakcije ('60-ih godina): <http://graphics.wsj.com/infectious-diseases-and-vaccines/>, pristupljeno 10.04.2024.
- Za prikaz podataka normalizacija je veoma važna, pa se ovaj prikaz ponavlja za različite normalizacije, pre i posle, ...
- *Heat map* računa rastojanja i primenjuje hijerarhijsku klasterizaciju koja je opcino prikazana na grafiku (zato je važna i reorganizacija podataka, npr. *reordering*).

2D vizuelizacija



- Za one koji žele da unaprede svoje znanje i veštine u 2D prikazu, mogu da koriste i paket viridis sa CRAN sajta (<https://cran.r-project.org/package=viridis>, pristupljeno 10.04.2024.
- Slika sa sajta <https://cran.r-project.org/web/packages/viridis/vignettes/intro-to-viridis.html>, pristupljeno 10.04.2024. – *Fair Use*).
- Postoji par ciljeva koji mogu biti postignuti “pametnim” izborom boja u grafiku:
 - uočavanje razlika i sličnosti na grafiku je jednostavnije,
 - robusnost u slučaju da korisnik ne može jednostavno da prepozna različite boje,
 - perceptualna uniformnost (iste osobine boja se projektuju na sličnost u vrednostima) i
 - vizuelna lepota.

Kros-korelacione matrice su simetrične!



```
ggcorrplot(corrM, type = "lower",  
            outline.col = "white")
```

Više o primerima primene ggcorrplot paketa može se naći na:

<http://www.sthda.com/english/wiki/ggcorrplot-visualization-of-a-correlation-matrix-using-ggplot2>, pristupljeno 10.04.2024.

Kod?

```
datN <- ddat[1:8]
corm2 <- cor(datN)
rownames(corm2) <- factor(c(1:8))
colnames(corm2) <- factor(c(1:8))
image(corm2, x = 1:8, y = 1:8,
      xlab = "kanali", ylab = "kanali",
      main = "Kros-korelacija")

heatmap(corm2, xlab = "kanali", ylab = "kanali",
        main = "heatmap")
```

- *Heatmap* je grafički prikaz višedimenzionalnih signala (https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_map).
- Najčešće se koristi u prikazu “gene expression” podataka. Funkcija *heatmap()* dolazi sa osnovnim R paketima.
- Ima više primena ...

Rezime 8. lekcije

- Određivanje obvojnice je jedan od najvažnijih koraka u analizi EMG signala.
 - Dodatno, filtriranje sa ciljem uklanjanja šuma, detekcija kontrakcije (početak i kraj) i normalizacija su važni u analizi EMG signala.
 - Više o tehnikama obrade EMG signala na: <http://www.noraxon.com/wp-content/uploads/2014/12/ABC-EMG-ISBN.pdf>, pristupljeno 10.04.2024.
- Funkcije u ggplot2 paketu, ali i druge funkcije u R-u su korisne za pravilnu vizuelizaciju podataka odnosno prikaz rezultata.
- Koga zanima više o vizuelizaciji, preporučujem da pogleda:
 - Su YS. It's easy to produce chartjunk using Microsoft® Excel 2007 but hard to make good graphs. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2008 Jun 15;52(10):4594-601. (ima odličnih primera šta ne treba raditi generalno)
 - <http://kbroman.org/>, pristupljeno 10.04.2024. (blog univerzitetskog profesora sa odličnim preporukama)
 - <https://www.perceptualedge.com/>, pristupljeno 10.04.2024. (o *Visual Business Intelligence*)
 - <https://www.amazon.com/Elements-Graphing-Data-William-Cleveland/dp/0963488414>, pristupljeno 10.04.2024. (knjiga sa odličnim uputstvima o vizuelizaciji)
 - kurs prof. Rafaela Irizarija sa Harvarda: Data Science: Visualization, <https://www.edx.org/course/r-data-visualization-2>, pristupljeno 10.04.2024.
- Deo ovog predavanja inspirisan je predavanjem Tala Galilija sa linka: <https://www.youtube.com/watch?v=g80DzGuwSuY> (pristupljeno aprila 2018. godine).