

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet (ETF)

Katedra za signale i sisteme



Tehnike obrade biomedicinskih signala 13M051TOBS

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

Preslušavanje

- Preslušavanje (eng. *cross talk*) elektrofizioloških signala se dešava kada se signal od interesa meri u neposrednoj blizini izvora drugih signala.
- Primeri:
 - EMG preslušavanje sa EKG signalom
 - kada se meri EMG u blizini grudnog koša
 - kada se meri EKG prilikom pokreta ispitanika
 - Može i EMG signal sa EMG signalom koji potiče od drugog mišića
 - EKG trudnice i fetusa (EKG fetusa je od značaja)
 - EEG i EOG signali (kada se meri EEG signal u frontalnoj regiji)
 - EEG i EKG (naročito izražen kod novorođenčadi)
- NAPOMENA: preslušavanje je širi pojam i može se odnositi na merenje signala generalno (<https://en.wikipedia.org/wiki/Crosstalk>), ali i na druge probleme:
 - Primer: preslušavanje kod pejsmejкера: stimuliše se u jednoj komori, ali dolazi i do neželjene stimulacije u drugoj komori, više o tome na: https://en.wikipedia.org/wiki/Pacemaker_crosstalk.

Definicija i demo

Obično se preslušavanje definiše za EMG signal:

1. “The crosstalk phenomenon consists in recording the volume-conducted electromyographic activity of muscles other than that under study.”, Mezzarane, R. A., & Kohn, A. F. (2009). A method to estimate EMG crosstalk between two muscles based on the silent period following an H-reflex. *Medical engineering & physics*, 31(10), 1331-1336. doi: [10.1016/j.medengphy.2009.09.005](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2009.09.005)
2. “A basic assumption in surface EMG is that the recorded potentials originate from the muscle directly under the electrodes. However, potentials from muscles further away may also reach the recording site through volume conduction, thus contributing to the EMG signal. This phenomenon is referred to as ‘crosstalk’.”, Van Vugt, J. P. P., & Van Dijk, J. G. (2001). A convenient method to reduce crosstalk in surface EMG. *Clinical Neurophysiology*, 112(4), 583-592. doi: [10.1016/S1388-2457\(01\)00482-5](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(01)00482-5)

Rešenja izazova

- Poznavanje prirode korisnog signala i šuma
- Primena odgovarajuće merne metode
- Primena odgovarajućih tehnika za ekstrakciju šuma
- Primena odgovarajućih tehnika za analizu signala i izdvajanje obeležja (eng. *feature extraction*)
- Prostorni filtri?



str() funkcija

```
> ?str
> x <- c(2, 5, 3, 2)
> str(x)
  num [1:4] 2 5 3 2
> y <- list(c("prvi", "drugi", "treći"), c(1, 2, 3))
> y
[[1]]
[1] "prvi" "drugi" "treći"

[[2]]
[1] 1 2 3

> str(y)
List of 2
 $ : chr [1:3] "prvi" "drugi" "treći"
 $ : num [1:3] 1 2 3
>
```

- Ova funkcija se koristi da prikaže strukturu R objekta.
- Na slici su dati primeri primene *str()* funkcije i primeri ulaza i izlaza ove funkcije.
- Kako su i funkcije objekti u R-u (o tome više na sledećim časovima) to se *str()* funkcija može primeniti i na funkcijama.

readLines() funkcija

```
> con <- file("EMG.txt")
> con
description      class        mode        text        opened      can read   can write
"EMG.txt"       "file"        "r"         "text"      "closed"    "yes"     "yes"
> podaci <- readLines(con, 10)
> podaci
[1] "# snimani su Pectoralis left i Pectoralis right mišići tokom sedenja."
[2] "# vidljivi su EKG artefakti."
[3] "# u prvoj koloni se nalazi signal sa desnog mišića, a u drugoj sa levog mišića."
[4] "# Pojačanje je tokom merenja podešeno na 1000 puta, a frekvencija odabiranja na 1000 odbiraka po sekundi."
[5] "# Ostalih 14 kolona su prazne - nije bilo nikakvo merenog signala na njima."
[6] ""
[7] "-0.060\t-0.323\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000"
[8] "-0.060\t-0.319\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000"
[9] "-0.097\t-0.297\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000"
[10] "-0.129\t-0.267\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000\t0.000"
>
```

readLines() funkcija se koristi za čitanje tekstulanih podataka za datu konekciju.

Interfejs u R-u

```
> link <- url("http://automatika.etf.rs/index.php/sr/predmeti/izborni-kursevi
-za-os/biomedicinsko-in%C5%BEenjerstvo")
> x <- readLines(link)
Warning message:
In readLines(link) :
  incomplete final line found on 'http://automatika.etf.rs/index.php/sr/predm
eti/izborni-kursevi-za-os/biomedicinsko-in%C5%BEenjerstvo'
> head(x)
[1] "<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http:
//www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">"
[2] ""
[3] "<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="sr-yu" lang="s
r-yu">"
[4] ""
[5] "<head>"
[6] "    <script type="text/javascript">"

> tail(x)
[1] "" "" "" "</body>" "" "</html>"
> |
```

- Ako se koristi `url()` funkcija u kombinaciji sa `readLines()` funkcijom, moguće je očitati i podatke sa neke internet adrese.
- Ako se u pretraživaču odabere prikaz opcije *Source Code*, trebalo bi da se dobije HTML (eng. *Hyper Text Markup Language*) izlaz kao na ekranu. Proverite!

Interfejs u R-u

- Podaci se osim iz tekstualnih i binarnih datoteka (npr. *read.table()* funkcija) mogu čitati i iz:
 - gz datoteka (gzip kompresija),
 - bz datoteka (bzip2 kompresija) i
 - url konekcija (sa interneta)
- Ukratko, kada se podaci čitaju otvara se konekcija i ona se koristi da bi se preko nje došlo do tih podataka. Ta konekcija/veza može biti sa datotekom ili internet konekcija i sl. Nakon “čitanja” (ili “upisa”) podataka, konekcija se zatvara. Najčešće se ove funkcije odvijaju u pozadini.
- *readLines()* i *writeLines()* funkcije se mogu koristiti za čitanje pojedinih delova datoteka (konekcija se zatvara sa funkcijom *close()*).

gzip i bzip2 kompresije

The word 'gzip' is rendered in a large, blue, 3D-style font with a glossy finish and a slight shadow, giving it a three-dimensional appearance.The word 'bzip2' is rendered in a large, blue, 3D-style font with a glossy finish and a slight shadow, giving it a three-dimensional appearance.

<http://www.gzip.org/>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34750054>

By bzip project - www.bzip.org, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2576238>

- gzip je format datoteka i softverska aplikacija koja se koristi za kompresiju i dekompresiju (<https://en.wikipedia.org/wiki/Gzip>).
- bzip2 je program za kompresiju podataka koji vrši kompresiju pojedinačnih datoteka, ali ne i arhiviranje (<https://en.wikipedia.org/wiki/Bzip2>).

Pristup podacima

- Ako su podaci koje je potrebno učitati dostupni na sajtu onda im je moguće direktno pristupiti iz R-a:
 - `dat <- read.csv(url("http://...csv"))`
- NAPOMENA: Ako se koristi `url()` funkcija, a veb stranica je podložna promenama, onda je bolje “ručno” preuzeti podatke.

Modifikovana fotografija od [v2osk](#) na [Unsplash](#)



MANIPULACIJA PODACIMA
OPSEG POKRETA

ROM u medicini

- ROM (eng. *Range Of Motion*) je linearna ili ugaona razdaljina koju određeni objekat može da pređe u opštem slučaju (https://en.wikipedia.org/wiki/Range_of_motion).
- U medicini se odnosi na razdaljinu i pravac zgloba između dve pozicije koje se definišu kao fleksija i ekstenzija.
- U fizikalnoj terapiji postoji više vrsta ROM-a:
 - PROM (eng. *Passive Range Of Motion*)
 - AAROM (eng. *Active Assistive Range Of Motion*)
 - AROM (eng. *Active Range Of Motion*)

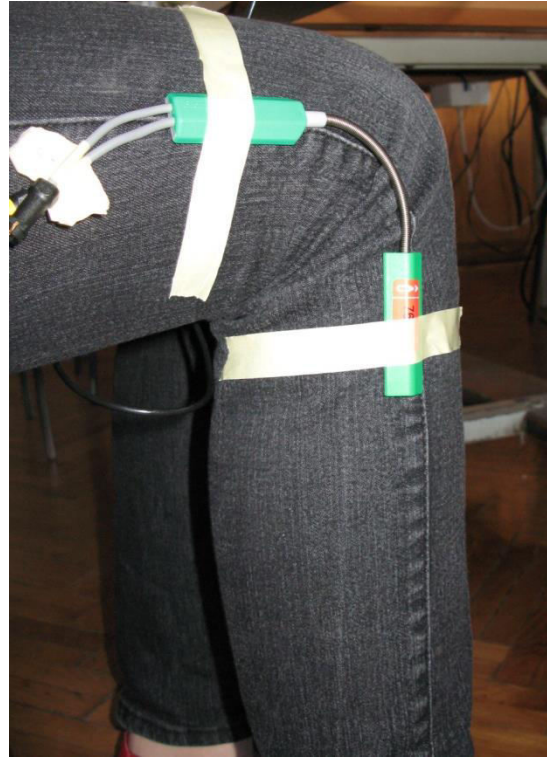
Goniometri za merenje ROM

- Najčešće se za merenje ROM koriste goniometri.
- Goniometar tj. uglomer se koristi za merenje ugla između dva rigidna tela.
- Goniometri se za merenje ROM koriste u rehabilitaciji za ocenu oporavka pacijenata nakon povrede.
- **Koji senzor/pretvarač čini osnovu električnih goniometra?**
- Postoji i komercijalno rasprostranjena verzija goniometra koja dolazi zajedno sa “pametnim” telefonima (eng. *smart phone*) i koja na osnovu merenja koja se dobijaju iz akcelerometara procenjuje uglove u stepenima:
 - Pogledati primere na internetu.
 - Ili aplikaciju: <https://youtu.be/kMGle-jwHg8> (pristupljeno 09.03.2024), Goniometer Pro App (G-pro) for iOS and Android.



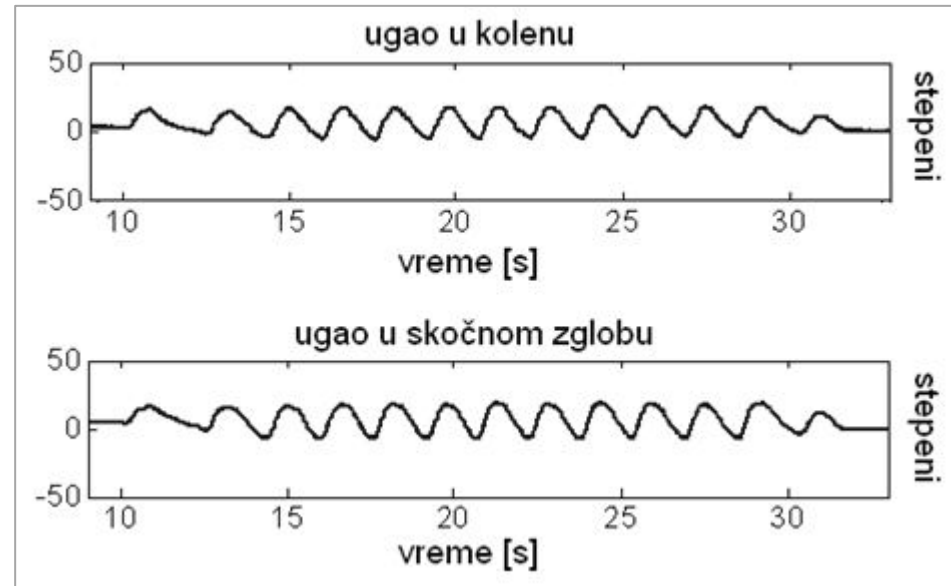
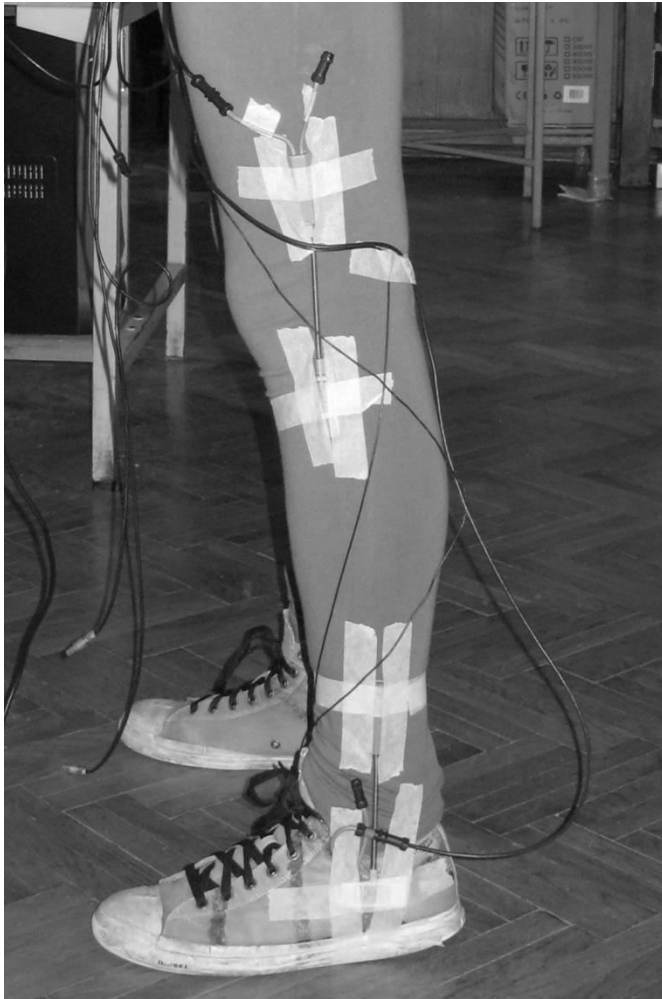
Photo by [Nelka](#) on [Unsplash](#)

ROM u skočnom zglobu i kolenu



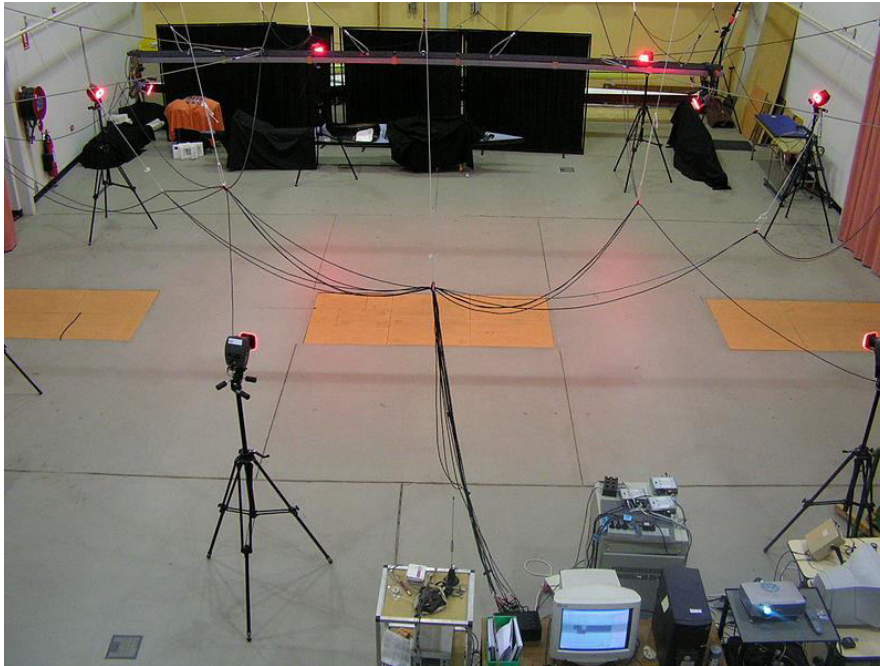
- Primeri postavke električnog goniometara za merenje uglova u skočnom zglobu i kolenu su prikazani na slikama.
- Na slici je prikazan goniometar firme Biometrics Ltd. (<http://www.biometricsltd.com/>). Fotografije su slikane na Elektrotehničkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu (ETF).
- Da li su goniometri na odgovarajući način postavljeni na prikazanim slikama? U kojim ravnima se mere ovi uglovi?

Pozicioniranje električnih goniometara



- Na slici na levom panelu je prikazano pravilno pozicioniranje goniometara za merenje uglova tokom hoda. Fotografija je snimljena na ETF-u.
- Na slici na gornjem desnom panelu su prikazani uglovi u kolenu i skočnom zglobu tokom hoda.
- **Kolika je tačnost električnih goniometara sa slike?**

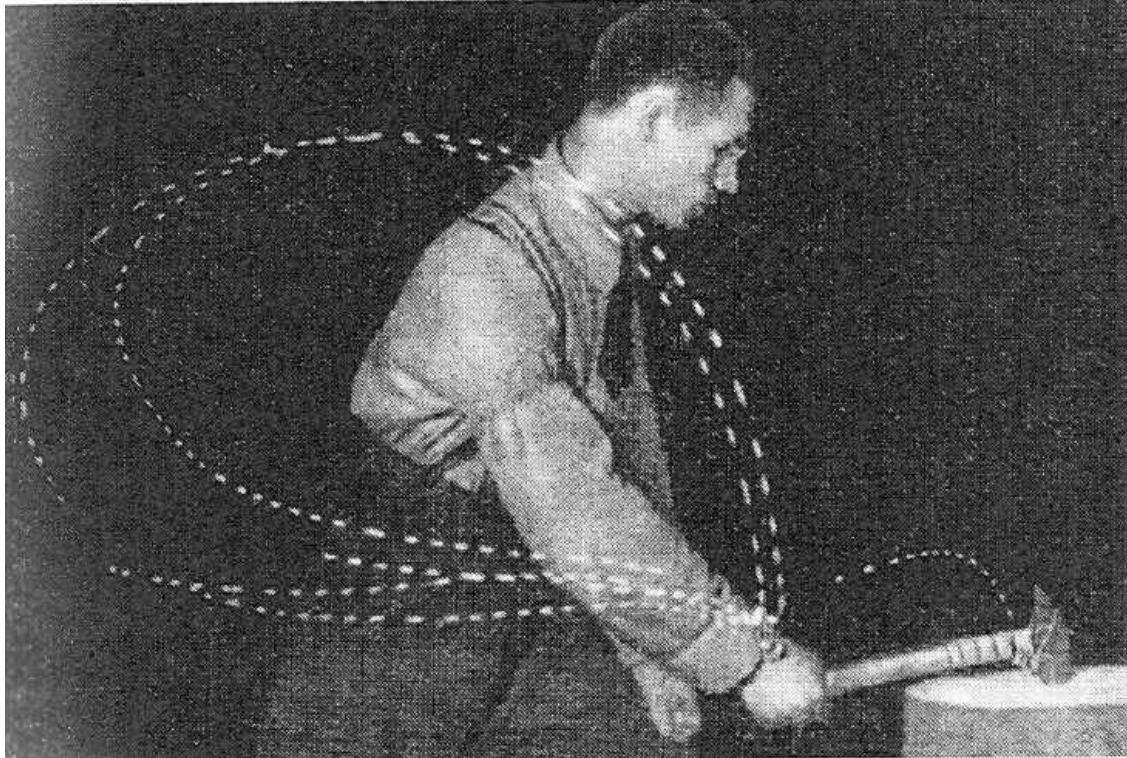
Sistemi za snimanje ROM



By D. Gordon E. Robertson - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8469181>

- Postoji niz različitih sistema koji se mogu koristiti za snimanje ROM.
- Električni goniometri (kao na prethodnom slajdu) su namenjeni isključivo merenju uglova u stepenima, ali neki od sistema imaju i druge opcije tj. mogu meriti i druge signale od značaja.
- Najčešće su to posebno opremljene laboratorije koje sadrže IR (eng. *Infra Red*) kamere (beleže položaje markera u 3D prostoru koji se postavljaju na ispitanika) i sadrže platforme za merenje sila.

Istorija ROM

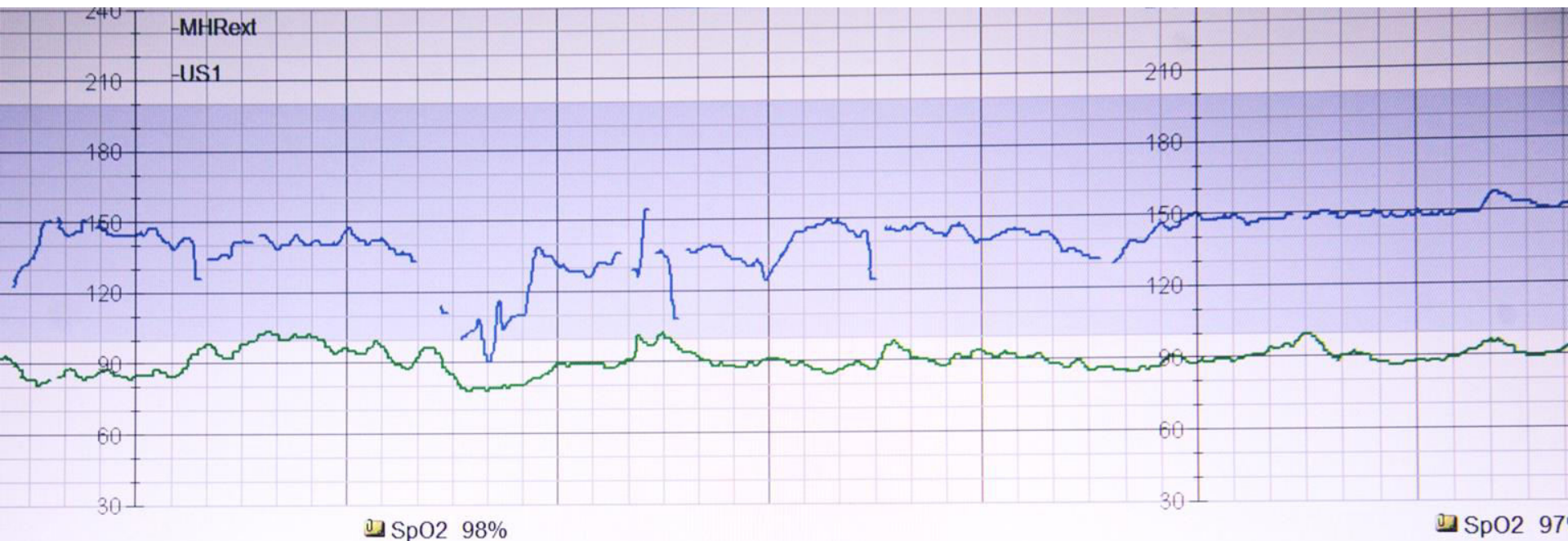


Бу автор фото неизвестен, скан - собственная работа - Книга «Трудовые установки», М., ЦИТ, 1924, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15483992>

- Pionir u senzorno-motornoj kontroli i u kontroli pokreta je bio Nikolaj Bernštajn (https://en.wikipedia.org/wiki/Nikolai_Bernstein).
- On je prvi definisao termin i oblast biomehanike.
- Na slici je prikazana jedna od studija na kojoj je Bernštajn radio.
- Odličan članak Instituta Maks Plank: <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/news/features/features-feature6> (pristupljeno 09.03.2024.) i video Nikolai Bernstein od Thomas Oger: <https://www.youtube.com/watch?v=yDxPJlBqWuM> (pristupljeno 09.03.2024).

Prikaz podataka

- Jenda od najčešće korišćenih funkcija u R-u je *plot()* funkcija.
- Unutar ove funkcije omogućeno je dodati različite argumente kako bi se označile ose, prikazao naslov grafika, definisale granice osa, tip linije, tip markera, boje, debljina linije, tip linije, ...
- O vizuelizaciji signala i ggplot2 paketu za prikaz podataka će biti priče tokom semestra. Sada – isključivo osnovne funkcije za jednostavniji rad u R-u.



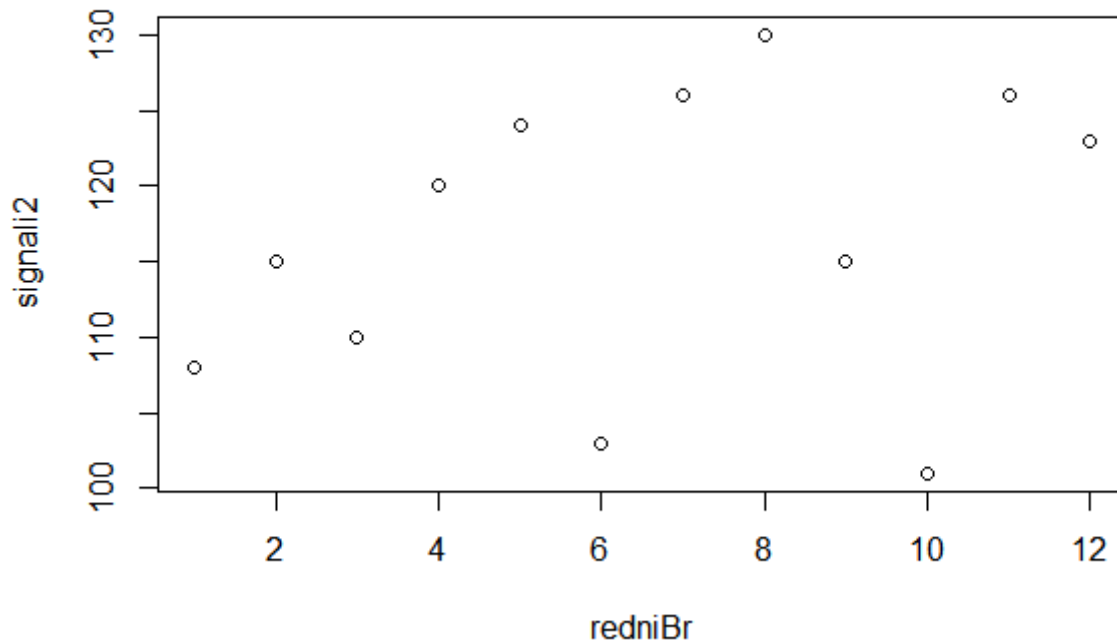
plot() funkcija

p1	p2	
98	108	
87	115	
73	110	
75	120	
78	124	
92	103	
76	126	
85	130	
94	115	
84	101	
75	126	
82	123	

```
signal11 <- c(98, 87, 73, 75, 78, 92, 76, 85,  
              94, 84, 75, 82)  
signal12 <- c(108, 115, 110, 120, 124, 103,  
              126, 130, 115, 101, 126, 123)  
redniBr <- 1:length(signal11)  
  
plot(redniBr, signal12)
```

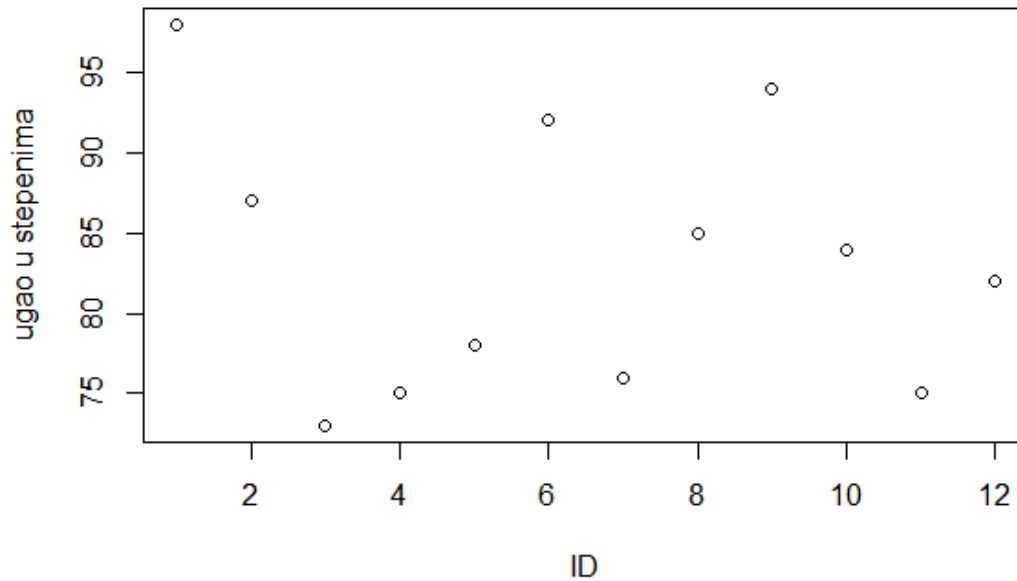
- U “primerPodataka.csv” datoteci se nalaze simulirani signali koji bi trebalo da odgovaraju različitim ROM podacima i merenju dva ugla.
- Ove podatke moguće je i ručno uneti u R-u primenom *c()* funkcije (slika na desnom panelu).
- Jednostavan poziv *plot()* funkcije je prikazan na slici.

Rezultat?



Primetiti da se na apscisi (tzv. x osa) i ordinati (tzv. y osa) nalaze nazivi promenljivih i da je podrazumevani prikaz diskretan (za one koji znaju Matlab / GNU Octave, odgovara *stem()* funkciji, delimično).

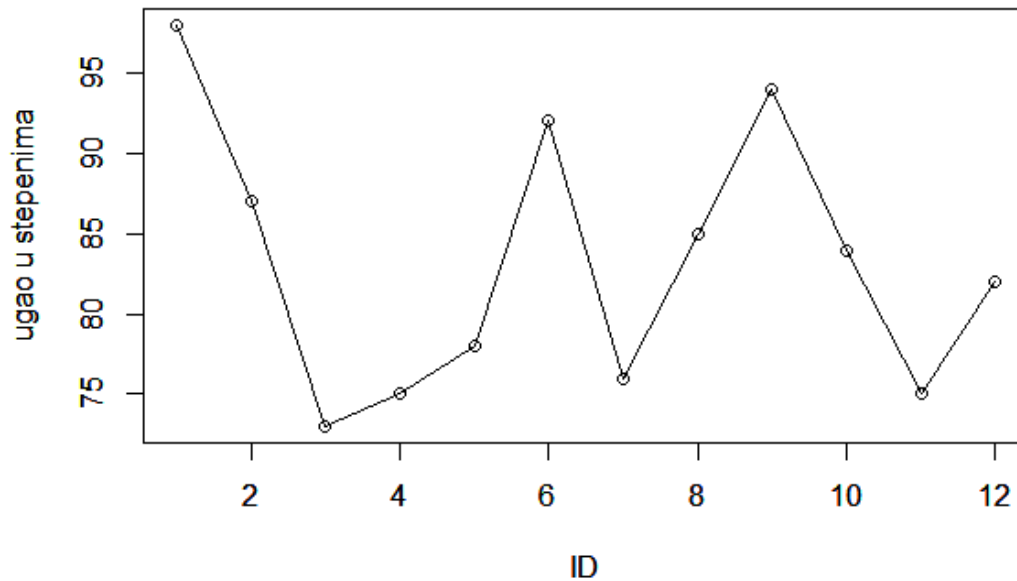
Uglovi (simulirani podaci)



```
plot(redniBr, signali1,  
      xlab = "ID", ylab = "ugao u stepenima",  
      main = "Uglovi (simulirani podaci)")
```

```
par(new=TRUE)  
plot(redniBr, signali1,  
      xlab = "ID", ylab = "ugao u stepenima",  
      main = "Uglovi (simulirani podaci)",  
      type = "l")  
par(new = FALSE)
```

Uglovi (simulirani podaci)

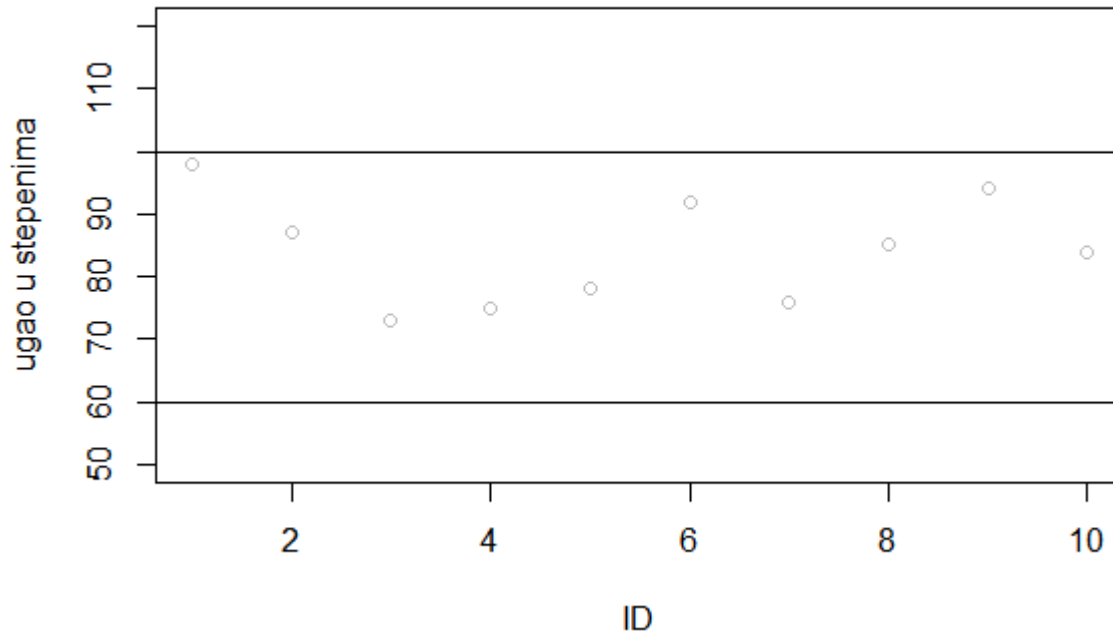


Još *plot()* opcija?

Boja, granice, linije, ...

```
plot(redniBr, signal1,  
     xlab = "ID", ylab = "ugao u stepenima",  
     main = "Uglovi (simulirani podaci)",  
     xlim = c(1, 10), ylim = c(50, 120),  
     col = "gray")  
abline(h = 60)  
abline(h = 100)
```

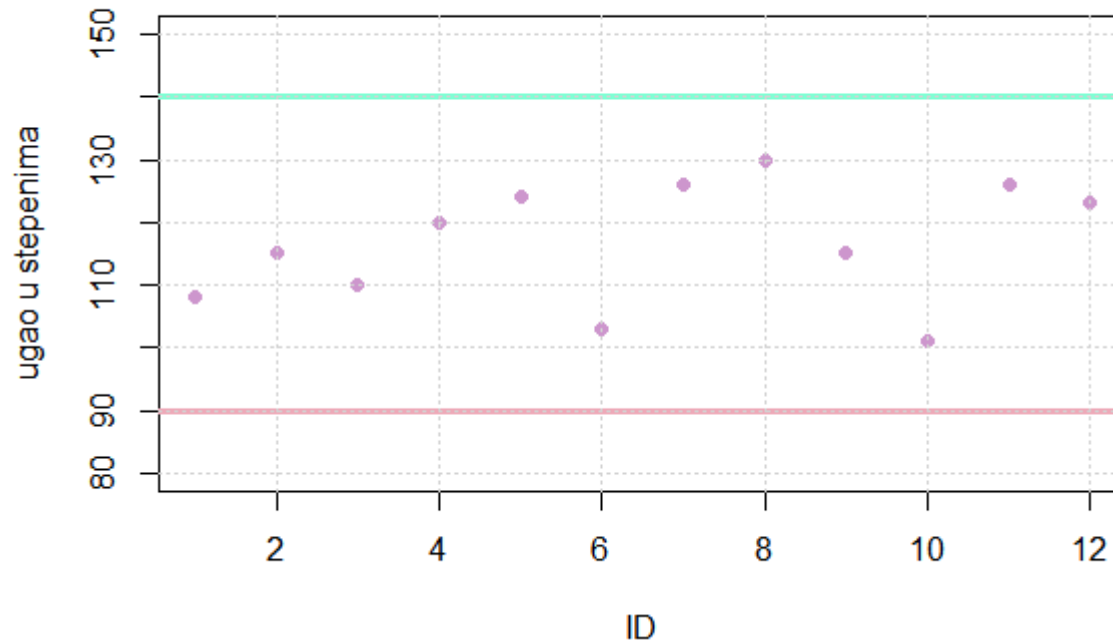
Uglovi (simulirani podaci)



Debljina linije, simboli i *grid()*

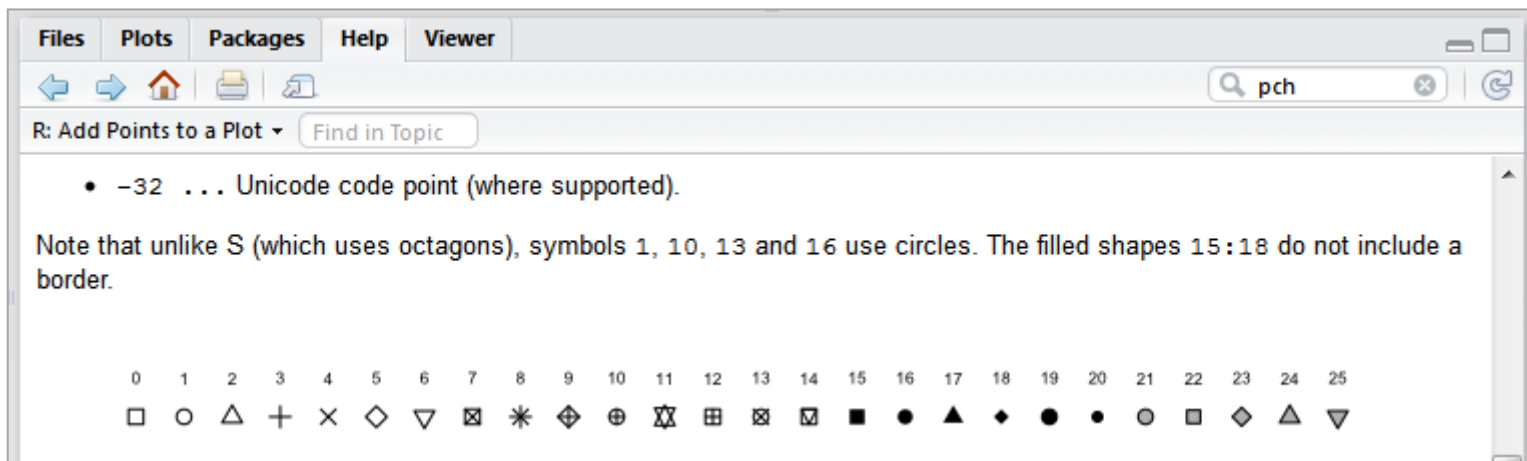
```
plot(redniBr, signali2,  
     xlab = "ID", ylab = "ugao u stepenima",  
     main = "Uglovi (simulirani podaci)",  
     xlim = c(1, 12), ylim = c(80, 150),  
     col = "plum3", pch = 16)  
abline(h = 90, col = "pink2", lwd = 3)  
abline(h = 140, col = "aquamarine", lwd = 3)  
grid(col = "lightgray", lty = "dotted")
```

Uglovi (simulirani podaci)



Boje i simboli

```
> colors()
[1] "white"           "aliceblue"       "antiquewhite"
[4] "antiquewhite1"  "antiquewhite2"  "antiquewhite3"
[7] "antiquewhite4"  "aquamarine"     "aquamarine1"
[10] "aquamarine2"   "aquamarine3"   "aquamarine4"
[13] "azure"          "azure1"         "azure2"
```



- Na internetu se može naći veliki broj tablica, a da bi se izlistale sve boje (po imenima kao u prethodnim primerima) potrebno je ukucati `colors()` u konzoli.
- Simboli se mogu pregledati u *Help* kartici sa `?pch`.
- **Za sada više nego dovoljno!!!**

Katalog boja

- <http://www.stat.columbia.edu/~tzheng/files/Rcolor.pdf> (pristupljeno 09.03.2024.)
- Na slici: prikaz PrtSc sa gornjeg linka, *Fair Use*

color	name	color	name
	white		burlywood4
	aliceblue		cadetblue
	antiquewhite		cadetblue1
	antiquewhite1		cadetblue2
	antiquewhite2		cadetblue3
	antiquewhite3		cadetblue4
	antiquewhite4		chartreuse
	aquamarine		chartreuse1
	aquamarine1		chartreuse2
	aquamarine2		chartreuse3
	aquamarine3		chartreuse4
	aquamarine4		chocolate
	azure		chocolate1
	azure1		chocolate2
	azure2		chocolate3
	azure3		chocolate4

Operatori za određivanje podskupa

```
> niz <- c("a", "s", "o", "c", "i", "j", "a", "c", "i", "j", "a")
> niz
[1] "a" "s" "o" "c" "i" "j" "a" "c" "i" "j" "a"
> niz[1]
[1] "a"
> niz[2]
[1] "s"
> niz[5]
[1] "i"
> niz[50]
[1] NA
> niz[4:7]
[1] "c" "i" "j" "a"
> niz[c(1, 4, 7)]
[1] "a" "c" "a"
> logIndeks <- niz > "a"
> logIndeks
[1] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE FALSE TRUE TRUE TRUE FALSE
> niz[logIndeks]
[1] "s" "o" "c" "i" "j" "c" "i" "j"
> niz[niz > "c"]
[1] "s" "o" "i" "j" "i" "j"
> |
```

- Operatori:
 1. “[” za određivanje podskupa, dobija se objekat istog tipa kao original
 2. “[[” za određivanje podskupa dimenzije jednog elementa listi i *data frame*-a, podaci mogu, ali najčešće nisu istog tipa kao originalni
 3. “\$” za elemente liste ili *data frame*-a po imenu, za podatke važi isto kao i za [[, s tim što “\$” može da izdvoji više od jednog elementa
- Indeksi mogu biti numerički i logički (to se vidi na primeru određivanja podskupa niza).

Određivanje podskupa matrice

```
> matrica <- matrix(1:10, 2, 5)
> print(matrica)
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
[1,]   1   3   5   7   9
[2,]   2   4   6   8  10
> matrica[2, 2]
[1] 4
> matrica[1, 4]
[1] 7
> matrica[, 4]
[1] 7 8
> matrica[1, ]
[1] 1 3 5 7 9
> matrica[1, 4, drop = FALSE]
      [,1]
[1,]    7
> matrica[1, 4, drop = F]
      [,1]
[1,]    7
> matrica[1, , drop = F]
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
[1,]   1   3   5   7   9
> |
```

- Način na koji može biti određen podskup matrice dat je na slici.
- Jedan element matrice odgovara nizu, a ne matrici, ali ako želimo da podskup matrice uvek bude matrica, onda se mora postaviti atribut *drop* kao na slici.
 - Ovaj atribut se retko koristi i treba voditi računa, jer može da dovede do neželjenih rezultata.

Određivanje podskupa liste

```
> podaci <- list(redniBroj = 1:5, ispitanici = c("H", "P"))
> podaci
$redniBroj
[1] 1 2 3 4 5

$ispitanici
[1] "H" "P"

> podaci[1]
$redniBroj
[1] 1 2 3 4 5

> podaci[[1]]
[1] 1 2 3 4 5
> podaci[["ispitanici"]]
[1] "H" "P"
> podaci$redniBroj
[1] 1 2 3 4 5
> imeElementa <- "redniBroj"
> podaci$imeElementa
NULL
> podaci[c(2, 1)]
$ispitanici
[1] "H" "P"

$redniBroj
[1] 1 2 3 4 5

> podaci[[c(2, 1)]]
[1] "H"
> podaci[[2]][[1]]
[1] "H"
>
```

- Primer korišćenja operatora za određivanje podskupa liste je prikazan na slici.
- Zašto je operator "\$" koristan?
- Koja je razlika u korišćenju "[" i "[[" operatora sa listom?
- NAPOMENA: Operator "\$" se ne može koristiti sa promenljivim tipa *string*, već isključivo sa nazivom elementa liste.

Delimično poklapanje sa "\$"

```
> podaci <- list(redniBroj = 1:5, ispitanici = c("H", "P"))
> podaci$r
[1] 1 2 3 4 5
> podaci$ispi
[1] "H" "P"
> podaci[["ispi"]]
NULL
> podaci[["ispi", exact = FALSE]]
[1] "H" "P"
>
```

- NAPOMENA: Ovo je zgodno koristiti prilikom testiranja koda (u konzoli), ali nije poželjno za veće (tj. duže) kodove.
- Za operator "[[" mora se podesiti argument *exact* na vrednost FALSE, ako se koristi delimično poklapanje.
- Za veće skripte i kodove, zgodno je koristiti *autofill* opciju u R-u. Kako radi ova opcija?

NA vrednosti

- Usled nedostupnosti pacijenta/ispitanika (pacijentkinje/ispitanice) prilikom ponovljenog merenja
- Usled nedostatka opreme (kvar na opremi)
- Usled nedostupnosti inženjera/doktora (inženjerke/doktorke)
- Gubitak podataka
- Nedostatak finansijskih sredstava da se nastavi sa ispitivanjem ili da se ispitivanje privede kraju
- ...

Manipulacija NA vrednostima

```
> mereniUglovi <- c(90, NA, 87, 92, NA, 91)
> nedostajucevr <- is.na(mereniUglovi)
> mereniUglovi[!nedostajucevr]
[1] 90 87 92 91
> nedostajucevr
[1] FALSE TRUE FALSE FALSE TRUE FALSE
> !nedostajucevr
[1] TRUE FALSE TRUE TRUE FALSE TRUE
> |
```

- Svi realni podaci imaju nedostajuće vrednosti (NA).
- Kako bi se omogućila odgovarajuća analiza tih podataka potrebno je uvesti “uklanjanje” ovih vrednosti.
- To se može uraditi:
 - korišćenjem logičkih promenljivih
 - podešavanjem argumenata unutar određenih funkcija
- Šta znači operator “!”?

... manipulacija NA vrednostima

```
> mereniUglovi <- c(90, NA, 87, 92, NA, 91)
> mereniUgloviPolozaj <- c(NA, NA, "sedeci", "stojeci", "sedeci", NA)
> nedostajuceVr <- complete.cases(mereniUglovi, mereniUgloviPolozaj)
> mereniUgloviPolozaj[nedostajuceVr]
[1] "sedeci" "stojeci"
> mereniUglovi[nedostajuceVr]
[1] 87 92
> nedostajuceVr
[1] FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE
> |
```

- Ako postoji više objekata nad kojima je kasnije potrebno uraditi operacije, onda postoji funkcija *complete.cases()* koja se koristi umesto funkcije *is.na()* i koja omogućava da se izvede takva operacija.
- Funkcija *complete.cases()* se može koristiti i sa matricama, listama i *data frame*-ovima.

Vektorske operacije: nizovi

```
> x <- 1:4; y <- 5:8
> x
[1] 1 2 3 4
> y
[1] 5 6 7 8
> x + y
[1] 6 8 10 12
> x > 2
[1] FALSE FALSE TRUE TRUE
> x > 100
[1] FALSE FALSE FALSE FALSE
> x >= 3
[1] FALSE FALSE TRUE TRUE
> y == 6
[1] FALSE TRUE FALSE FALSE
> x * y
[1] 5 12 21 32
> y / x
[1] 5.000000 3.000000 2.333333 2.000000
> |
```

- Smanjuju upotrebu kontrolnih struktura (*for*, *while* petlji i sl.)
- Po tome je i Matlab poznat ...
- Koji operator omogućava da se u jednoj liniji pišu dve komande?
- Šta će se desiti ako nizovi nisu istih dimenzija?
- Šta znače operatori “<=”, “>=” i “==”?

```
> x <- 1:4; y <- 1:3
> x
[1] 1 2 3 4
> y
[1] 1 2 3
> x - y
[1] 0 0 0 3
Warning message:
In x - y : longer object length is not a multiple of shorter object length
> x * y
[1] 1 4 9 4
Warning message:
In x * y : longer object length is not a multiple of shorter object length
> |
```


Vektorske operacije: matrice

```
> x <- matrix(1:4, 2, 2)
> y <- matrix(rep(10, 4), 2, 2)
> x
      [,1] [,2]
[1,]    1    3
[2,]    2    4
> y
      [,1] [,2]
[1,]   10   10
[2,]   10   10
> x * y
      [,1] [,2]
[1,]   10   30
[2,]   20   40
> x %*% y
      [,1] [,2]
[1,]   40   40
[2,]   60   60
>
```

- Ako se npr. množe dve matrice (element po element) onda se koristi standardni multiplikator (“*”).
- Ako se množe dve matrice, onda se koristi multiplikator za množenje matrica (“%*%”)

Rezime

Take-home messages

- O R-u:
 - Postoje funkcije koje omogućavaju da se podaci u R-u čitaju delimično ili sa interneta.
 - Funkcija *plot()* se koristi kao osnovna funkcija za prikaz podataka i u njoj se podešavaju odgovarajući argumenti.
 - Ekstrakcija podataka se vrši operatorima: “[“, “[[” i “\$”.
 - Za manipulaciju NA vrednostima najvažniji su funkcija *is.na()* i logički operatori. Može se koristiti i *complete.cases()*.
- O biomedicinskim signalima:
 - Prilikom merenja potrebno je voditi računa o preslušavanju, a ako do njega ipak dođe potrebno je primeniti odgovarajuće metode za filtriranje podataka (ekstrakciju neželjenog signala).
 - ROM je važan parametar u senzorno-motornoj kontroli.
- Literatura korišćena za programiranje u R-u: Peng, R. D. (2016). R programming for data science (pp. 86-181). Leanpub

Preporučena literatura/predavanja

Data Science:

Hilary Mason, Dirty Secrets of Data Science, 2013, <https://youtu.be/fZuDwiM1XBQ> (pristupljeno 09.03.2024.)

Hilary Mason, R&D, Salon 13: Bigger Data, 2015, <https://youtu.be/jW8mZOHbRyY> (pristupljeno 09.03.2024.)

Hilary Mason, The Next Generation of Data Products, AnacondaCON, 2017, <https://youtu.be/OuRINNSDtIM> (pristupljeno 09.03.2024.)

Potrebno je napomenuti da je nauka o podacima samo novi termin za oblast koja već postoji i da se u nekim sredinama/okruženjima uopšte ne koristi.

Više o AI, ali i o Data Science:

Rachel Thomas, AI, Medicine, and Bias: Diversifying Your Dataset is Not Enough, 2020, <https://youtu.be/vVRWeGIMkGk> (pristupljeno 09.03.2024.)

Ima i kurseva, <https://www.fast.ai/2020/08/19/data-ethics/> (pristupljeno 09.03.2024.)