

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet (ETF)

Katedra za signale i sisteme



Tehnike obrade biomedicinskih signala 13M051TOBS

Dr Nadica Miljković, vanredni profesor
kabinet 68, nadica.miljkovic@etf.bg.ac.rs

13M051TOBS

Информације о предмету

Спецификација предмета			
Назив предмета	Технике обраде биомедицинских сигнала		
Акроним	13M051TOBS		
Студијски програм	Електротехника и рачунарство		
Модул	модул Сигнали и системи		
Тип студија	мастер академске студије		
Наставник (за предавања)	доц. др. Надица Миљковић		
Наставник/сарадник (за вежбе)			
Наставник/сарадник (за ДОН)	доц. др. Надица Миљковић		
Број ЕСПБ	6	Статус предмета	изборни
Услов	нема		
Циљ предмета	Примена метода анализе и приказа биомедицинских сигнала и података са циљем дијагностике и оцене терапијских модалитета.		
Исход предмета	Студенти ће савладати на крају курса основне технике које се користе за обраду биомедицинских сигнала и података и моћи ће да примене одговарајуће методе анализе сигнала у пракси.		

- Први пут уведен 2016/2017. школске године
- Мастер студије, А група предмета
- Ужа област: Биомедицинска техника
- Летњи семестар – 14 недеља предавања и вежби (сada 13)
- Данас – шта можете да очекујете на предавањима, вежбама, испиту ...

TOBS kurs

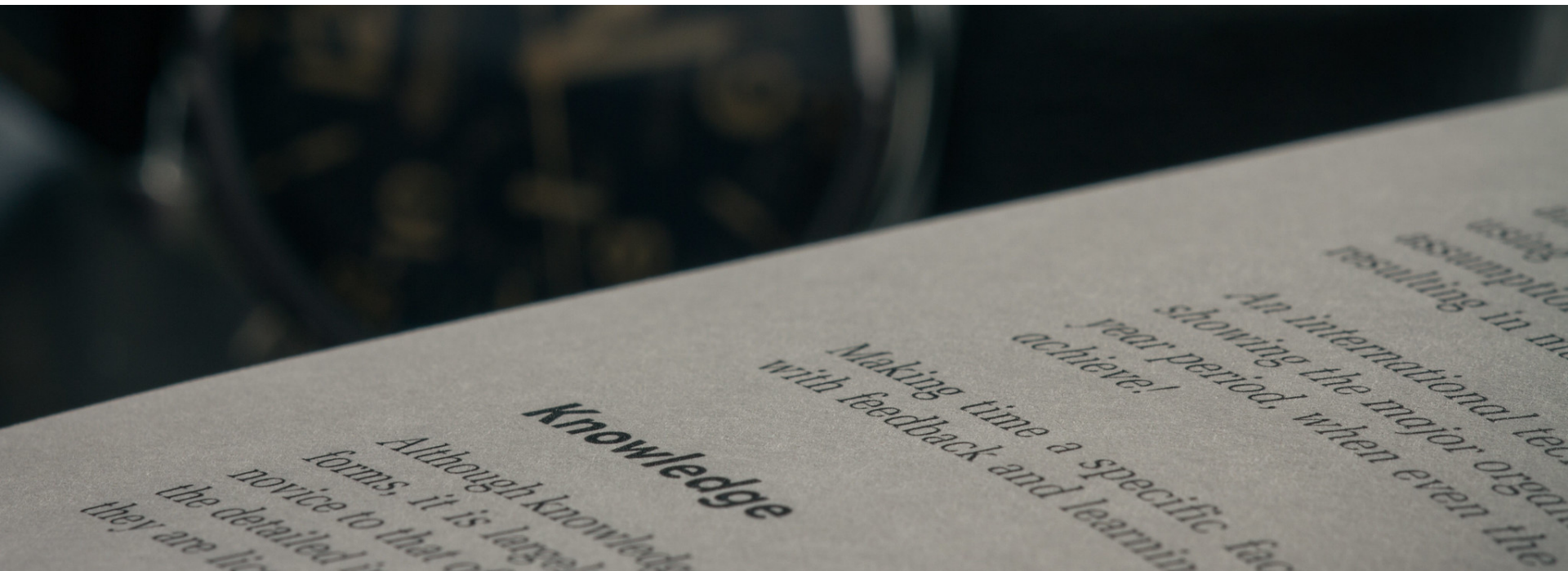
- Programski jezik R (<https://www.r-project.org/about.html>)
 - tipovi podataka
 - gramatika
- Obrada biosignala
 - obrada signala u vremenskom i frekvencijskom domenu
 - statističke metode za obradu biosignala i predstavljanje rezultata merenja biosignala
 - modeliranje u analizi biosignala
 - standardi za snimanje i arhiviranje biomedicinskih podataka
 - topografsko predstavljanje i analiza signala
- Primena tehnika obrade biosignala na realnim signalima
 - praktični rad
- Dodatno, predmet kursa uključuje i sledeće oblasti:
 - uvod u programsko okruženje Shiny (<http://shiny.rstudio.com/>) – projektovanje grafičkih korisničkih aplikacija (eng. *Graphical User Interface*, skraćeno GUI) za analizu biosignala
 - pisanje izveštaja i njihovo automatsko generisanje
 - pravila / preporuke prikaza signala i podataka (vizuelizacija)
 - merenje signala u R-u
 - etika

Ciljevi kursa

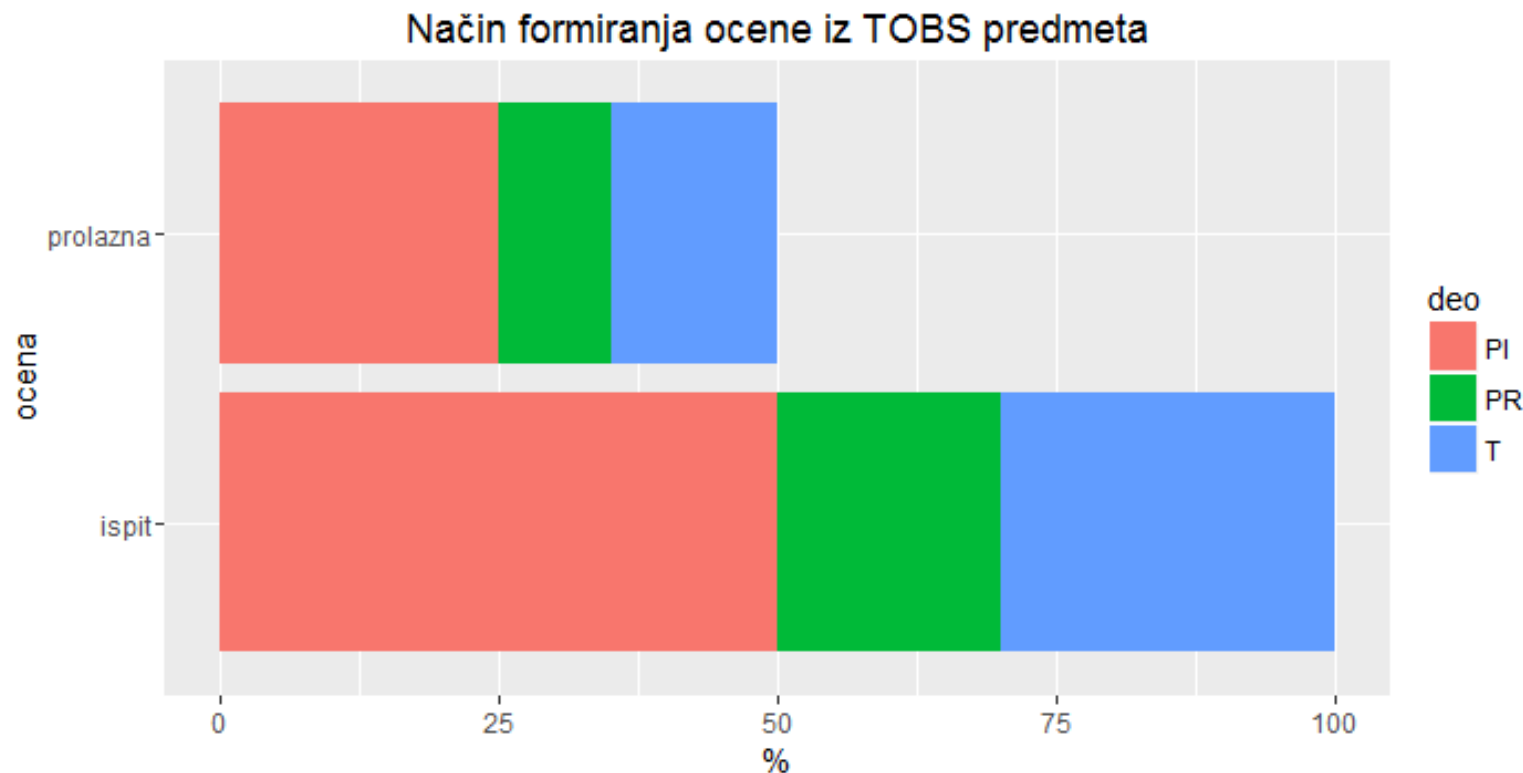
- Primena metoda analize biosignala na realnim signalima.
- Vizuelizacija biomedicinskih signala tj. biosignala snimljenih sa većeg broja elektroda/senzora.
- Primena R programskog okruženja za potrebe analize i modeliranja signala u biomedicinskom inženjerstvu.
- OSNOVNI CILJ: dijagnostika i ocena terapijskih modaliteta, kao i druge primene u zdravstvu (tzv. *clinical decision making*).
- INDIREKTNI CILJ (podjednako važan): Da motiviše studentkinje i studente da se bave analizom biosignala, programiranjem u R-u, da koriste slobodan softver, da nastave profesionalno usavršavanje, da pruži studentkinjama i studentima informacije o novim trendovima u *data science* oblasti (nauka o podacima) ...

Predznanje?

- Kurs je podeljen na dva dela:
 - Učenje programskog jezika R i učenje metoda za obradu biosignala (**Ne uči se programiranje, već programski jezik!**)
 - Primeri obrade realnih biosignala i podataka sa teorijskim osvrtom na poreklo signala i metode merenja
- Kurs je organizovan tako da predznanje o analizi biosignala i o programskom jeziku R nije potrebno



Ocena iz TOBS predmeta



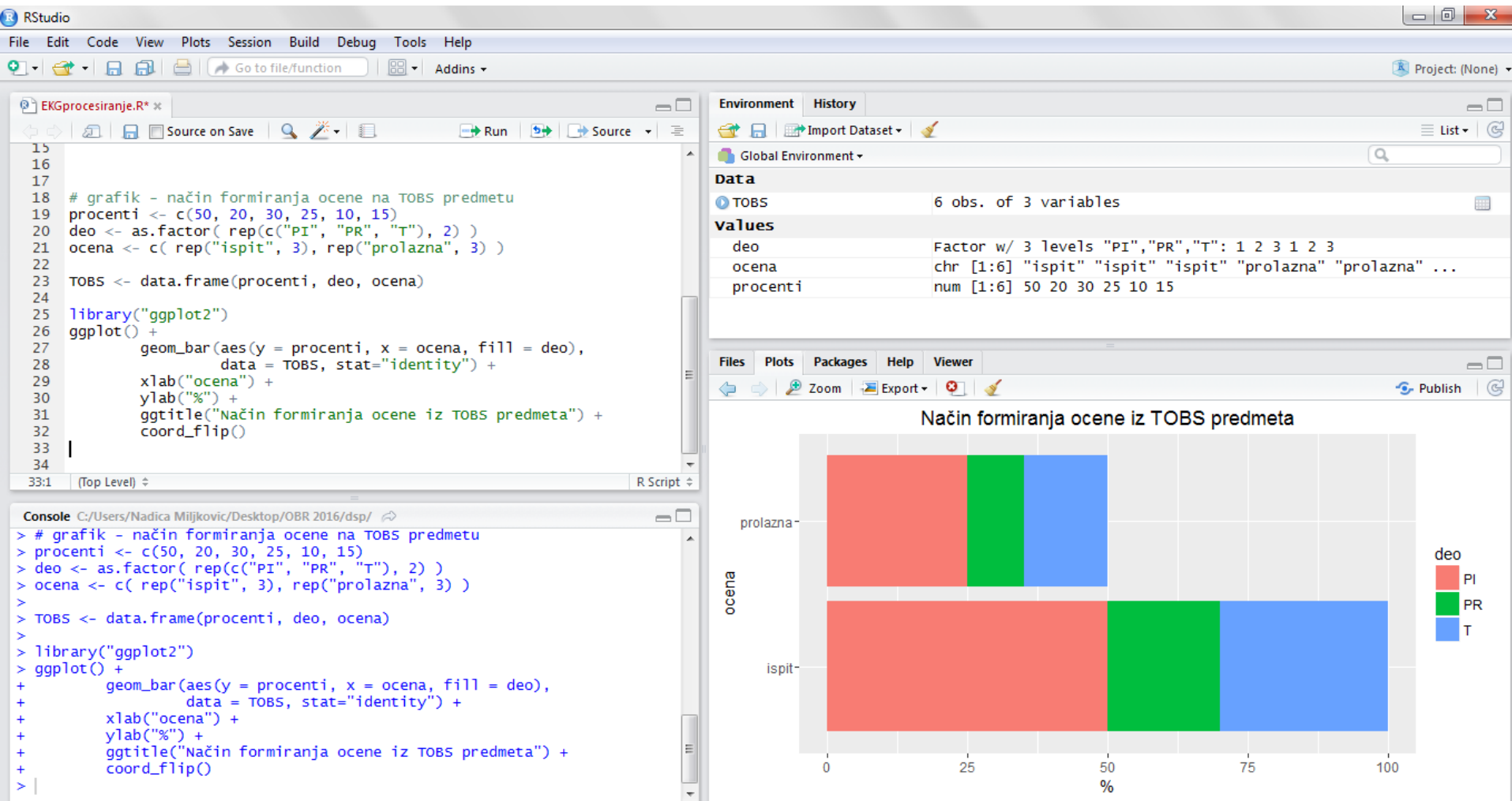
PI + PR + T = 100% (dovoljno je da u zbiru bude preko 50% poena za polaganje)

PI – pismeni ispit (50%)

PR – praktični rad, projekat (20%)

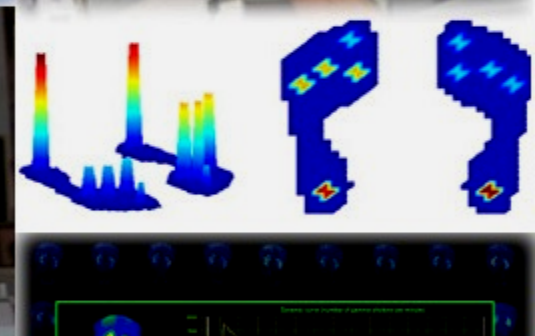
T – test (30%)

Ocena iz TOBS predmeta

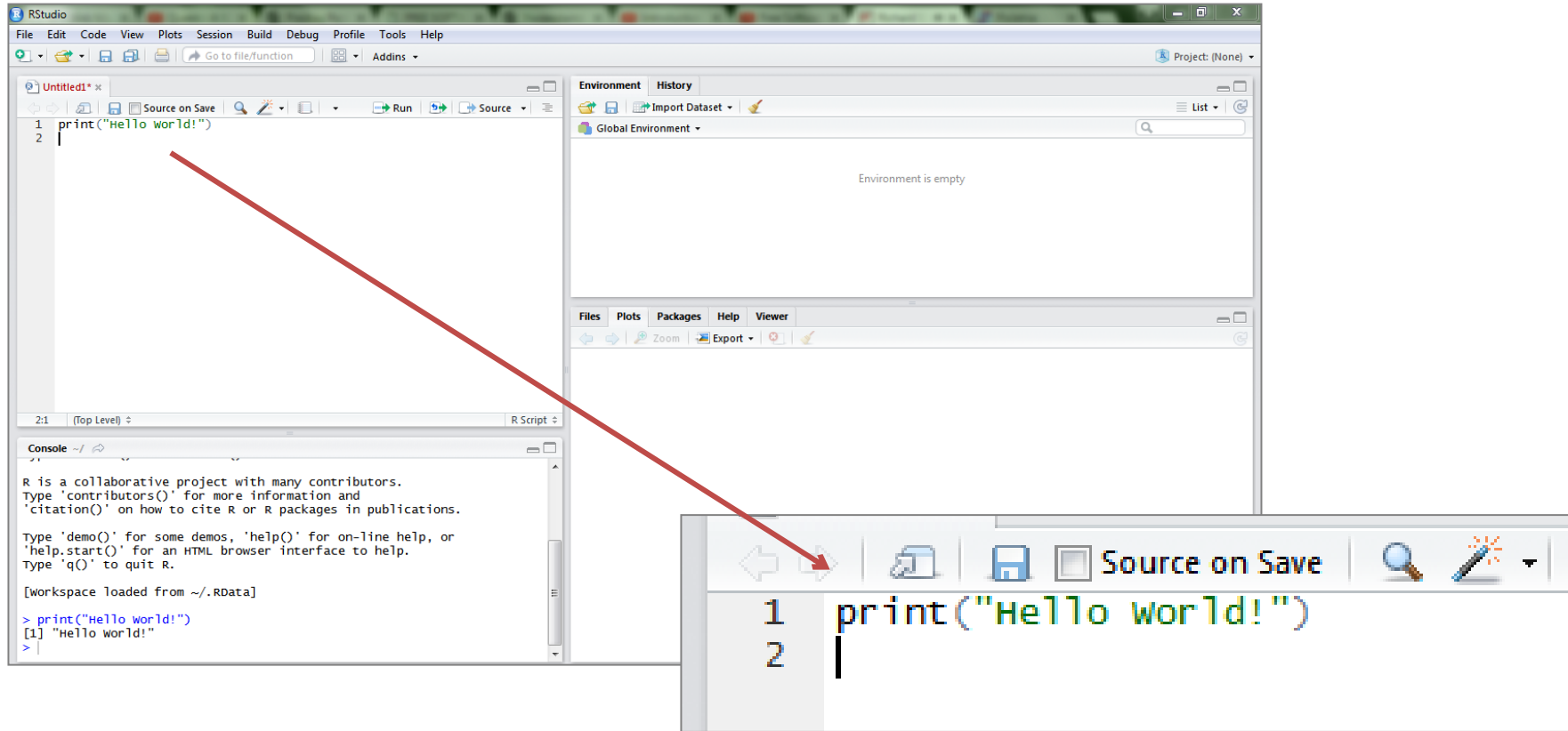


Nastava 13M051TOBS u 2024.

- Fond časova je 2 + 0 + 2.
- Predavanja i vežbe se od ove školske godine drže uživo.
- Studentkinje i studenti mogu, po želji, koristiti svoje laptop računare na, laboratorijskim vežbama, kolokvijumu i ispitu.
 - Na testu i ispitu korišćenje interneta je strogo zabranjeno.
- Termini konsultacija se zakazuju elektronskom poštom po dogovoru.



Laboratorijska vežba 1



- Cilj: pobediti BSS (eng. *blank screen syndrome*)
- *Gentle Introduction to R*
- Raspored predavanja i vežbi će biti dostupan – ideja da se drže u kontinuitetu

Programski jezik R

- R je programski jezik za statistička proračunavanja i grafičku interpretaciju koji su kreirali Ross Ihaka i Robert Džentlmen 1991. godine ('93. zvanično, a '96. publikovano).
- R je programski jezik, ali i softver i smatra se dijalektom programskog jezika S (*created by AT & T Bell Laboratories* 1976. godine).
- S-PLUS (Insightful -> TIBCO) – komercijalizovan.
- S jezik je projektovan za interaktivnu analizu podataka i njegovo okruženje je prilagođeno i za korisnike, ali i za razvojne inženjere računarstva.
- R i S imaju sličnu sintaksu, ali različitu semantiku.
- R je slobodan softver – GNU GPL (eng. *General Public Licence*).
 - Više u Pejović, Predrag, Miljković, Nadica, Cvetanović, Miloš, & Ševkušić, Milica. (2020, November 2). Licence slobodnog softvera i otvorenog hardvera — kratko uputstvo za nestrpljive —. Primena slobodnog softvera i otvorenog hardvera (PSSOH), Belgrade, Serbia.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4210352>.
- Danas, R nije samo jezik koji koriste statističari, nego i mnogi drugi koji analiziraju podatke i koji žele dinamično programsko okruženje.
- Nezamenljiv je u analizi podataka, a posebno je aktuelan u bioinformatici.
- Mnogi bivši studenti su imali plus kod poslodavaca što su znali R.
- ...

Polako...

- R i S imaju sličnu sintaksu, ali različitu semantiku. Da razjasnimo...
- Sintaksa proučava pravila koja određuju kako se reči kombinuju u rečenice u datom jeziku, izvor:
<https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0>
- Semantika, po široj definiciji, je nauka koja izučava značenje reči, izvor:
<https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
- Sintaksne greške su, na primer: pogršno otkucana reč, dvespojene reči, ...
Semantičke greške su logičkog tipa i tiču se razumevanja funkcije programa. (izvor: Sintaksa i semantika programskih jezika, Visual C# na interaktivan i zanimljiv način, <http://www.edusoft.math.rs/csharp/Verzija2005/racunar4.html>, pristupljeno 28.02.2019).



Ukratko o R-u

- 1995. R je postao slobodan softver
- 2000. R 1.0.0 je bio javno dostupan
- Slobodan softver je uvek dostupan – i kada završite Fakultet i zaposlite se ili sami krenete da radite ili osnujete svoju firmu tj. uvek i svuda
- R se masovno u početku koristio isključivo za potrebe statistike, ali to je programski jezik koji može i koji se sada i koristi za analizu podataka, mašinsko učenje, vizuelizaciju i druge primene
- R je *lingua franca* popularne *data science* oblasti (nauka o podacima)
- U poređenju sa Matlabom, Pajtonom i LabVIEW-om, ovo je relativno mlad programski jezik
- Za kraj, isplati se uložiti vreme u R ...

Slobodan softver



- Prema Fondaciji za slobodan softver (eng. *Free Software Foundation*, <http://www.fsf.org/>), slobodan softver garantuje korisnicima četiri vrste slobode:
 - 0. sloboda da se pokreće program u bilo koju svrhu
 - 1. sloboda da se proučava način na koji program radi i da se prilagodi posebnoj svrsi (podrazumeva se pristup izvornom kodu)
 - 2. sloboda da se “dele” kopije kako bi se “pomoglo komšiji”
 - 3. sloboda da se unapređuju programi i da se unapređenja “dele” (podrazumeva se pristup izvornom kodu)
- * Copyright primarnog izvornog koda R-a je u vlasništvu R fondacije, ali je objavljen pod GNU GPL 2.0 licencom
- Više o slobodnom softveru na: <https://www.gnu.org/philosophy/free-software-even-more-important.html>
- Govor Richard-a Stallman-a osnivača FSF na: <https://www.fsf.org/blogs/rms/20140407-geneva-tedx-talk-free-software-free-society>
- *Open Source* ≠ *Free Software* bilo, a sada je *Open Source* = *Free Software*
- O Inicijativi otvorenog koda (eng. *Open Source Initiative*) više na <https://opensource.org/osd>



PUBLIC MONEY

PUBLIC CODE

Why is software created using taxpayers' money not released as Free Software?

We want legislation requiring that publicly financed software developed for the public sector be made publicly available under a [Free and Open Source Software](#) licence. If it is public money, it should be public code as well.

Code paid by the people should be available to the people!





PSSOH

Application of Free Software and Open Hardware

DATE: October 14, 2023, PLACE: [amphitheater 56, ETF, Belgrade](#)

[Agenda](#)

Apply for PSSOH 2023

[HERE](#)

<https://pssoh.etf.bg.ac.rs/>

Osim R-a ...

- Postoji niz drugih slobodnih softverskih paketa i okruženja: LATEX, LibreOffice, Xcircuit, GNU Octave, PyLab, Maxima, SymPy, Pajton, ...
- Ako nekoga zanima slobodan softver u Srbiji:
 - Više informacija u radu: Pejović, Predrag. (2016). Free Software - Experiences from Using and Teaching. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1322447>
 - Više materijala na: <http://tnt.etf.rs/~oe4sae/> (Praktikum iz softverskih alata u elektronici, koji se više ne drži, ali materijali su dostupni)
 - I na drugim mestima, a posebno bih istakla Libre časopis o slobodnom softveru, <https://libre.lugons.org/>. Postoji članak koji je pisan u vezi sa nastankom TOBS kursa, <https://libre.lugons.org/index.php/2020/07/programski-jezik-r-i-njegova-pri-mera-u-nauci-o-podacima-2-deo/>
 - Konferencije: [PSSOH](#), [Descon](#), [LibrePlanet](#), [BalCCon](#) ...
 - I drugi izvori



Da se vratimo na R ...

CRAN je

- *Comprehensive R Archive Network*
- Sadrži R pakete:
 - osnovni (eng. *base*) paketi
 - preporučeni (eng. *recommended*) paketi
- Pored CRAN-a, moguće je naći R pakete i na:
 - sajtu Bioconductor projekta
 - ličnim sajtovima analitičarki/a, inženjerki/a, fakulteta, ...
 - na repizitorijumima (GitHub, BitBucket, ...)

Prednosti R-a

- Slobodan softver
 - češće su novije verzije
 - celokupna zajednica učestvuje u unapređenju softvera
- Skalabilnost i funkcionalnost
 - Korisnicima/ama je omogućeno da učestvuju u razvoju novih alata i paketa (trenutno postoji više od 10065 CRAN paketa - 10.02.2017., od 17.02.2018. 12162, od 20.02.2019. je 13741, od 01.03.2021. je 17214, od 26.02.2022. je 18980, od 04.10.2022. je 18701, od 03.10.2023. je 19946, a za trenutnu informaciju pogledati na <https://cran.r-project.org/web/packages/>)
 - omogućeno je dodavanje/instaliranje samo odabranih paketa
- Aktivan i relativno veliki broj korisnika
- Grafičke mogućnosti
 - odličan kvalitet grafika
 - mogućnost vizuelizacije kompleksnih grafika
 - “lattice” i “ggplot2” paketi – možda ste čuli za njih?

Mane R-a

- Objekti u R-u moraju biti smešteni u memoriju računara, ali:
 - memorija računara je u većini slučajeva “dovoljno velika” i
 - postoje određeni paketi koji mogu da unaprede korišćenje memorije
- Ako ne postoji niko zainteresovan za npr. određenu metodu analize signala, onda ne postoji ni takav paket, pa se mora:
 - napraviti sopstveni kod

RAM vs. podaci



- Povećanje RA memorije je veće od povećanja skupova podataka koji se koriste u analitici. (izvor: “RAM is eating bid data”, <https://www.linkedin.com/pulse/ram-eating-big-data-size-data-sets-use-d-analytics-chaaranpall-lambba>, pristupljeno 28. februara 2019. godine).
- Koliko “veliki” mogu biti podaci? U nekim oblastima radi se o TB i/ili PB...
- Uvek se mogu koristiti i klasteri računara, kao što je Apache™ Hadoop® (<http://hadoop.apache.org/>, logo by Apache Software Foundation , Apache License 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=63919822>).

Popularnost programskih jezika za nauku o podacima

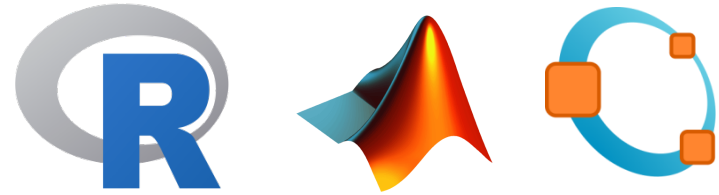
- Ako je to uopšte bitno.
 - R je na drugom mestu posle Pajtona, prema DataCamp sajtu u 2023. godini, a prate ih SQL, Java i Julia (<https://www.datacamp.com/blog/top-programming-languages-for-data-scientists-in-2022>, pristupljeno 03.10.2023).
 - Matlab je pretposlednji na listi.
 - Podaci sa edX-a imaju sličnu listu kao sa DataCamp-a (<https://www.edx.org/resources/9-top-programming-languages-for-data-science>, pristupljeno 03.10.2023).
- Kao glavna razlika između R-a i Pajtona navodi se to što R nije za opštu, već za specijalizovanu namenu. Što ima i prednosti i mane.

Zašto ja koristim R?

- Slobodan softver – nema licenciranja, imam pristup svim metodama i izvornom kodu
- Jednostavno je
- Najbolji moji grafici do sada!

- Iz mog iskustva: nije teško savladati programski jezik, istina je da je *lingua franca* – veći broj ljudi iz industrije i akademije ga koristi nego npr. Matlab za potrebe analize signala.
- Odlična podrška Zajednice koja nije u toj meri razvijena u drugim programskim jezicima.
- *Last, but not least*: Hvala prof. Pejoviću što je sa mnom podelio ideju slobodnog softvera i R-a!

R vs. Matlab



- Zašto ne npr. Matlab?
 - Postoje metode analize i vizuelizacije koje nisu dostupne u Matlabu ili ih je potrebno kupiti (postoje i funkcije u Matlabu koje nisu dostupne u R-u!)
 - R je *free software* i postoji veliki broj korisnika (<https://directory.fsf.org/wiki/R>)
 - R je jednostavan
 - R ima preko 19000 paketa (ovde: “ggplot2”, “signal”, “biosignalEMG”, “RHRV”, “eegkit”, “edf” i mnogi drugi)
 - Nijedan projekat nije napisan u jednom programskom jeziku -> u praksi se uvek koristi više programskih jezika
 - R je obavezan u kurikulumu na skoro svim prestižnim fakultetima
 - Velika debata koji jezik koristiti!
- Ko zna još jedan programski jezik zna više!
- Za one koji znaju Matlab, a uče R (ili obrnuto), preporuka je knjiga „R and Matlab“ autora Dejvida Hebelera
- I za kraj, prava nedoumica je možda Matlab vs. GNU Octave, a ne R vs. Matlab (više o GNU Octave na <https://www.gnu.org/software/octave/>) ...



"There are only two kinds of languages: the ones people complain about and the ones nobody uses"
 Bjarne Stroustrup (iz R.G. Peng. R programming for data science, LeanPub, 2015.)

Biomedicinski signali


- Bilo koji signal koji je moguće izmeriti u živom organizmu naziva se biomedicinski signal (eng. *biosignal*).
 - Izvor: Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Biosignal>
- Primeri biomedicinskih signala su
 - EEG, ECG, EMG, MMG, EOG, GSR/EDA, MEG ...
- Da li znate šta znače ove skraćenice?

Biomedicinski podaci

- Analiza signala koji se dobijaju klasičnim elektrofiziološkim (npr. EKG) ili drugim merenjima u klinici (npr. krvni pritisak) nisu dovoljni da se dobije kompletna informacija prilikom dijagnostike stanja pacijenta ili ocene prepisane terapije.
- Kada se podaci koji utiču na ukupnu medicinsku sliku pridruže biomedicinskim markerima (koji su dobijeni iz biomedicinskih signala) tada se dobijaju biomedicinski podaci.
- Izazovnije ih je analizirati, posebno imajući u vidu međusobnu zavisnost parametara i različitih dijagnostičkih metoda ili metoda za ocenu terapije.

Kompleksni biomedicinski podaci

- Zbog svoje prirode, a i dimenzija ti podaci se nazivaju kompleksnim.
- NAPOMENA 1: Termin “kompleksni” se koristi i za opisivanje nelinearnih pojava koje se ocenjuju u određenim biomedicinskim signalima.
- NAPOMENA 2: U upotrebi je i termin *Big Data*, ali i *Big Intensive Data*. Ja ga ne koristim.
- Više o inicijativi sa ciljem analize i prikupljanja podataka i potragom za “skrivenim” (takve su dok ih ne otkrijemo) informacijama u kompleksnim biomedicinskim podacima na: <https://www.youtube.com/watch?v=bFeYjFtSsrg> (Biomedical Signal Processing by Thomas Held, Institute for Medical Engineering & Science, MIT).
- Članak za preporuku: Intensive Analysis, MIT Spectrum, Fall 2016, <https://spectrum.mit.edu/fall-2016/intensive-analysis>. by Nicole Estvanik Taylor.

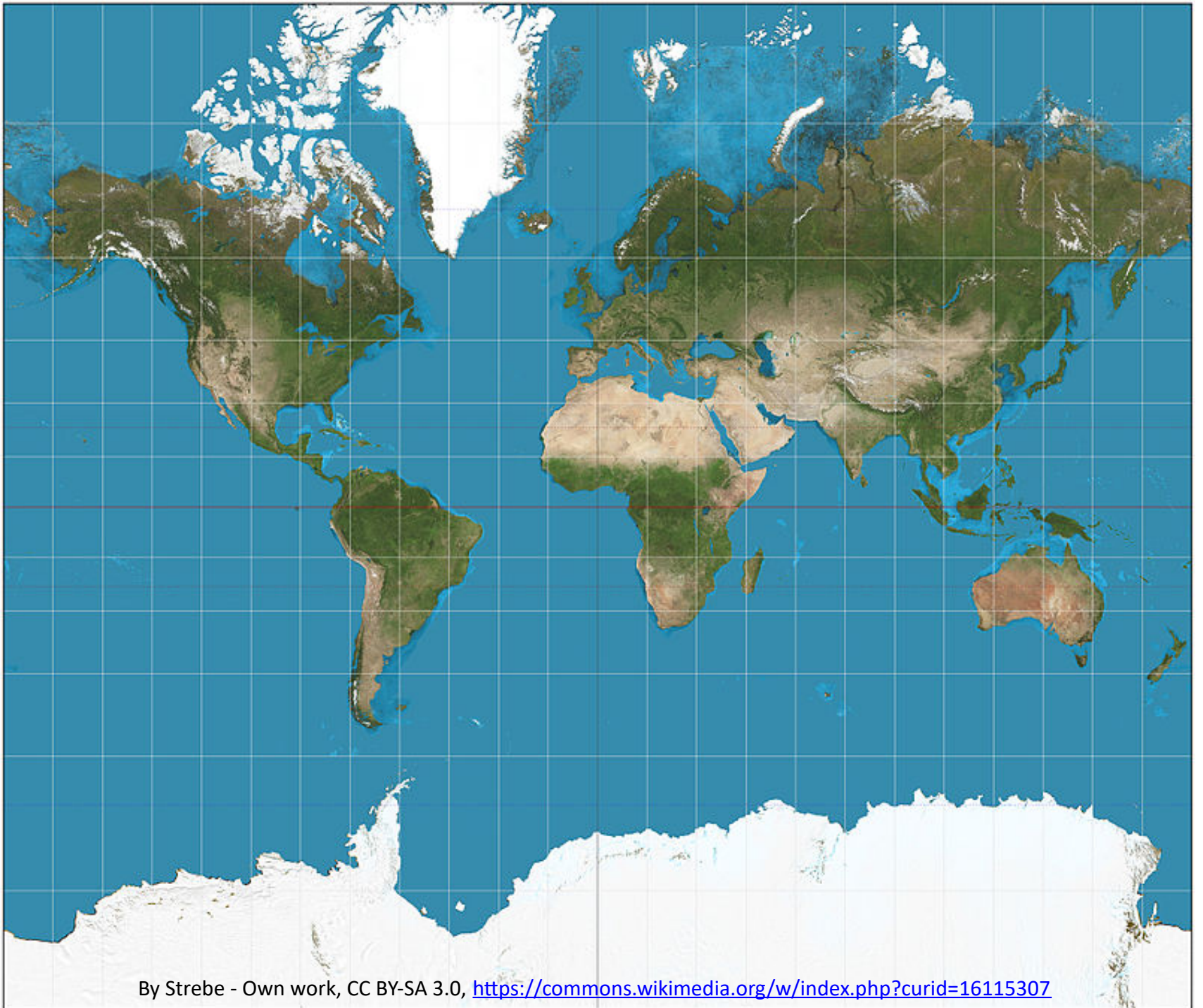


**IT'S ONE THING FOR DATA TO BE
CAPTURED, and quite another for
them to surrender their secrets.**

Intensive Analysis, MIT Spectrum, Fall 2016, by Nicole Estvanik Taylor

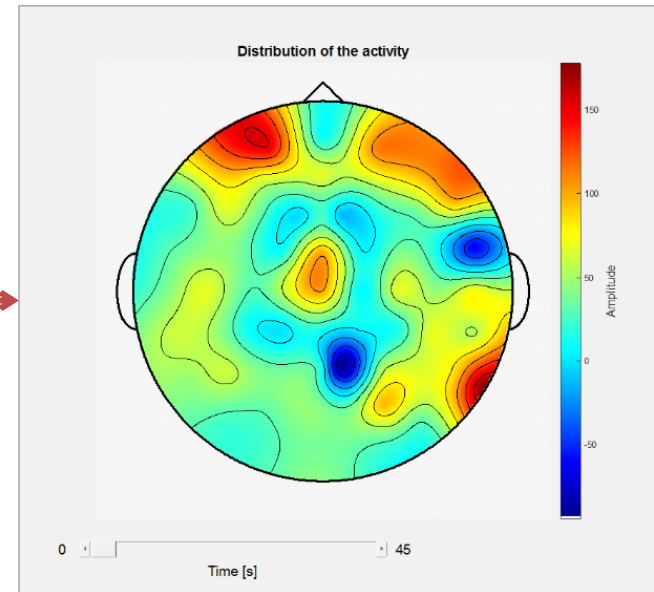
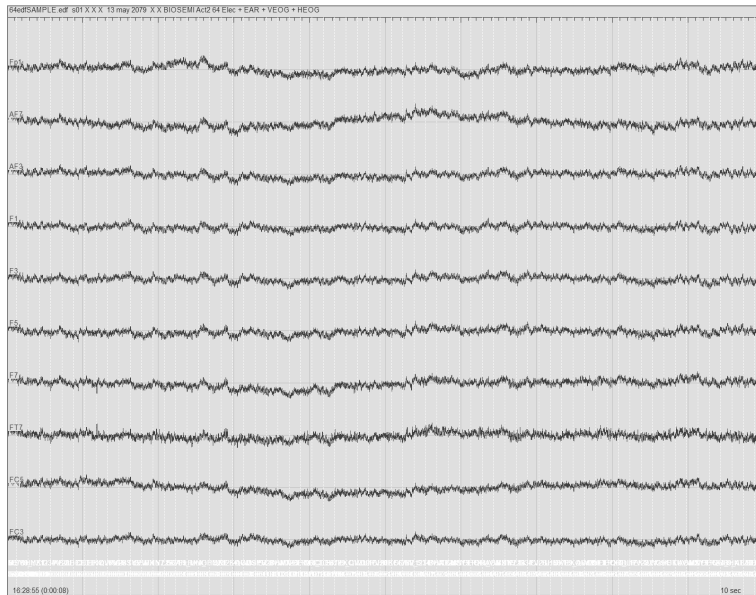
Topografija

- Topografija je geografska nauka.
- Bavi se opisivanjem i proučavanjem Zemljine površine, reljefa, ... (<https://en.wikipedia.org/wiki/Topography>).
- Nastala je od grčkih reči: “topos” (grč. τόπος) što znači položaj i od “grafo” (grč. γράφω) što znači pisanje.
- Topografija je, osim u geografiji, našla primenu i u drugim naučnim oblastima: oftamologiji, neuronaukama, *brain mapping*-u ...



By Strebe - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16115307>

EEG topografija



- Topografska analiza podataka ima za cilj jednostavniji prikaz “suštine” tj. obrazaca na osnovu kojih su generisani detalji (eng. *signal features*).
- Primenom topografskog mapiranja, postiže se prenošenje informacija iz 1D signala na 2D mape koje pored faktora promene moždane aktivnosti u vremenu, istovremeno prikazuju i približnu prostornu raspodelu iste te aktivnosti.
- Postoji eegkit CRAN paket, <https://cran.r-project.org/web/packages/eegkit/eegkit.pdf>.
- Slika je preuzeta iz diplomskog rada Lazara Jovanovića pod nazivom: Metode topografskog mapiranja elektroencefalografskih signala, 2016. Slika je iz Matlaba – tada nije bilo R-a na ETF-u.

EEG topografija u R-u!

eegkit paket Uvod eegcap eegica eegsmooth temporal **eegsmooth spatial** Literatura

Spatial smoothing signal sa jednog kanala

Funkcija eegsmooth može da smooth-uje signale sa jednog ili više kanala u vremenu ili prostoru.

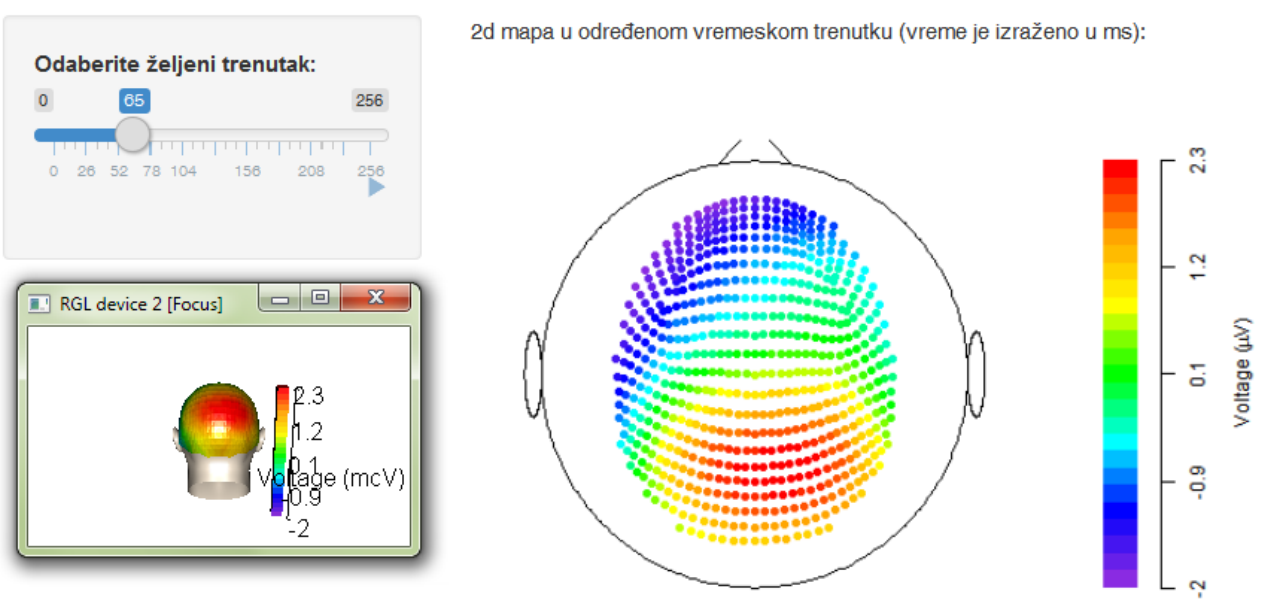
Ovde je prikazana raspodela potencijala u prostoru u određenom vremenskom trenutku. Ova funkcija je odlična za vizuelizaciju EEG podataka na 2D i 3D mapama.

Odaberite željeni trenutak:

0 65 256

0 26 52 78 104 156 208 256

2d mapa u određenom vremenskom trenutku (vreme je izraženo u ms):

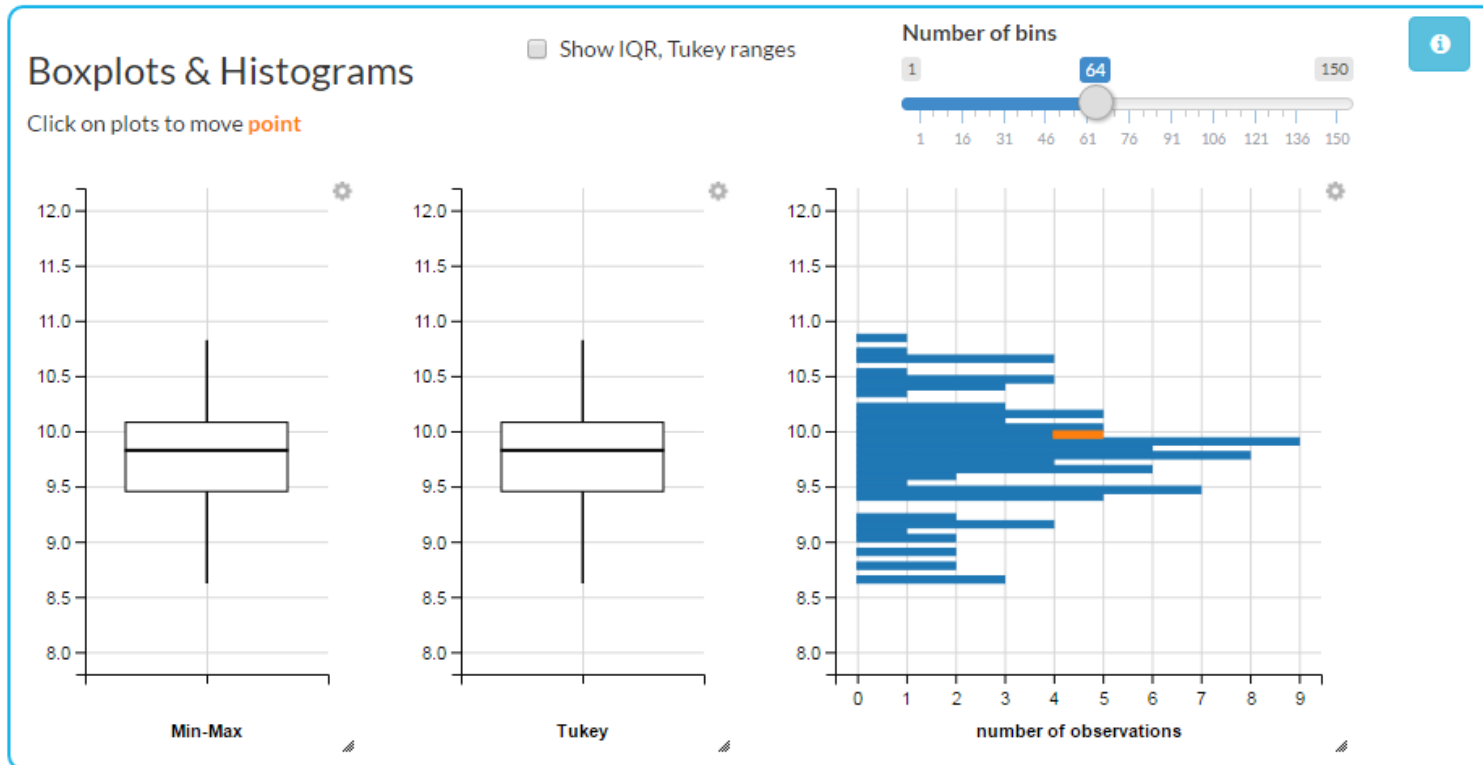


The figure displays a 2D topographic map of a human head, showing the distribution of EEG potentials at a specific time point. The map is overlaid on a circular outline of the head with ear markers. A color scale on the right indicates voltage in μV , ranging from -2 (dark blue) to 2.3 (dark red). The map shows a prominent positive (red/orange) region in the posterior (occipital) area, transitioning through yellow and green to negative (blue) regions in the anterior (frontal) area.

TOBS 2016/17, projekat Bojane Mihajlović je prikazan na slici. Ostale projekte pogledajte na:

http://automatika.etf.rs/images/FAJLOVI_srpski/predmeti/izborni_kursevi_os/biomedicinsko_inzenjerstvo/TOBS/TOBS%20projekti%202017%20studenti.png

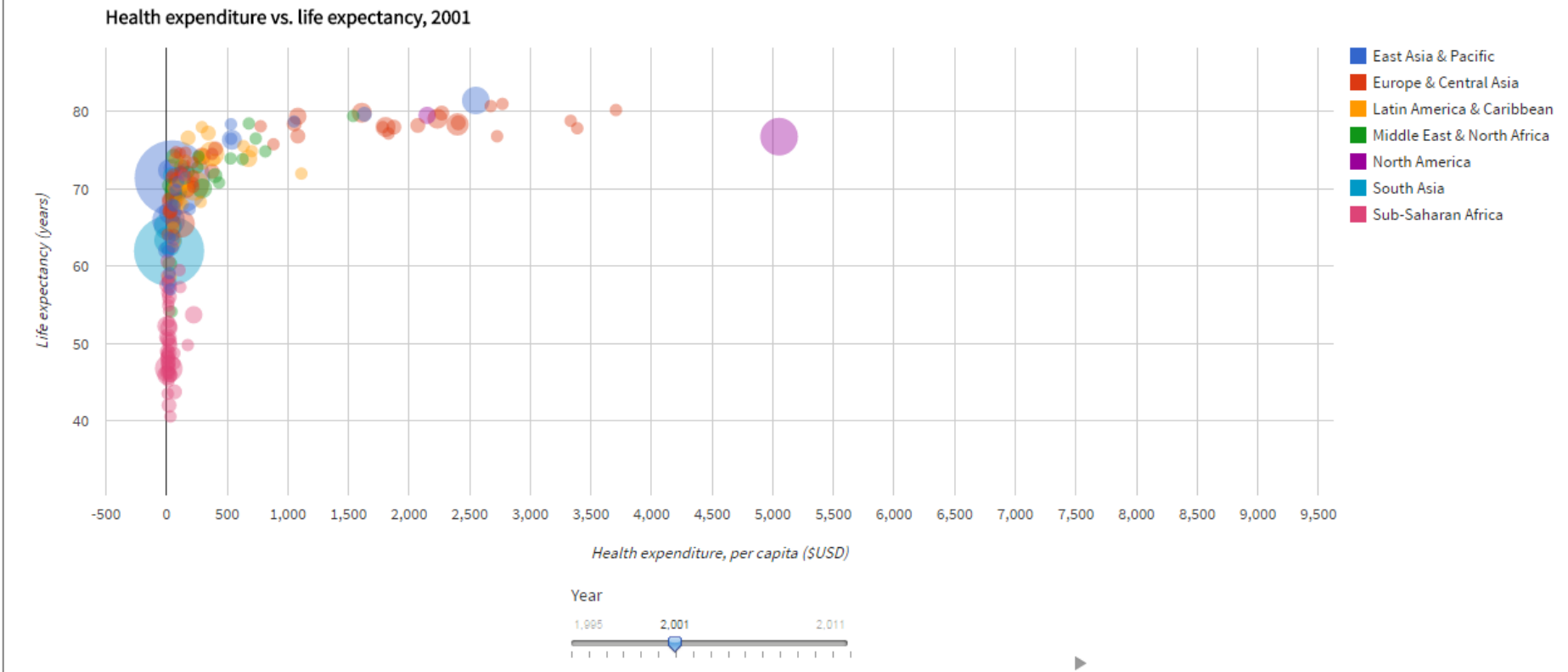
Shiny



- **Shiny je *web application framework* za R.**
- Odličan za distribuiranje aplikacija ...
- Interaktivno okruženje ...
- U osnovi je deljenje sa korisnicima, razvojnim inženjerima/kama ...
- Na slici je prikazana Shiny aplikacija Boxplots & Histograms by Ian Lyttle, Schneider Electric (<https://gallery.shinyapps.io/boxplot/>).

Shiny demo

Google Charts demo



Primer Shiny aplikacije sa sajta: <https://shiny.rstudio.com/gallery/google-charts.html>.

Shiny demo

Shiny
by RStudio

A web application framework for R
Turn your analyses into interactive web applications
No HTML, CSS, or JavaScript knowledge required

Iris k-means clustering

X Variable

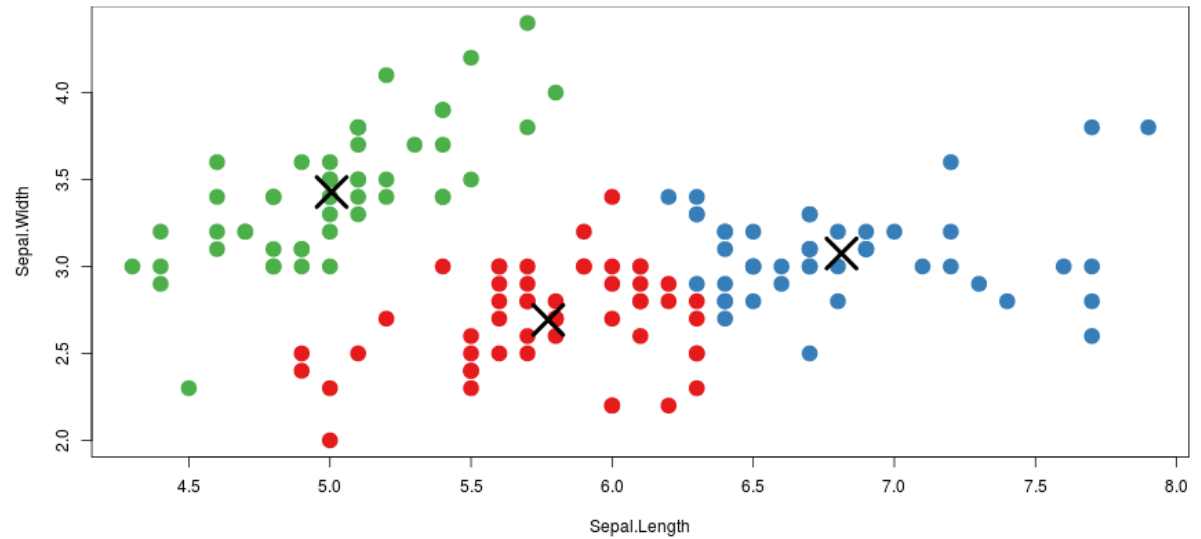
Sepal.Length

Y Variable

Sepal.Width

Cluster count

3



Kmeans example

by Joe Cheng <joe@rstudio.com>

server.R

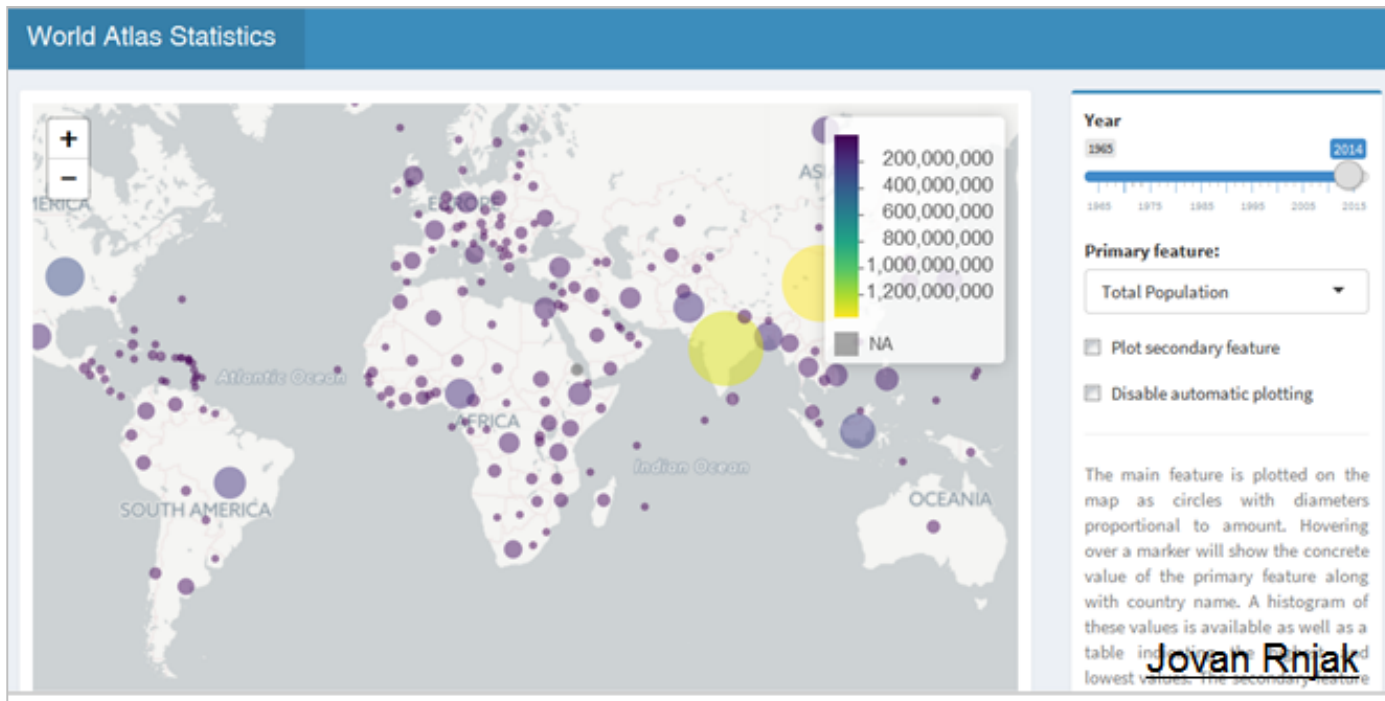
ui.R

↑ show with app

```
function(input, output, session) {
```

Primer Shiny aplikacije sa sajta: <https://shiny.rstudio.com/gallery/kmeans-example.html>.

Shiny



Jovan Rnjak

- Na ovom kursu delimično je pokriven Shiny.
- *Online tutorial:* <https://shiny.rstudio.com/tutorial/> (pristupljeno 28. februara 2019. godine)
- Pogledajte primere Shiny aplikacija iz 2016/17 na http://automatika.etf.rs/images/FAJLOVI_srpski/predmeti/izborni_kursevi_os/biomedicinsko_inzenjerstvo/TOBS/TOBS%20projekti%202017%20studenti.png

Literatura

- Svi materijali biće postavljeni na internet stranici predmeta (<https://automatika.etf.bg.ac.rs/sr/13m051tobs>) i dostupni preko *World Wide Web*-a za sve koje zanimaju biomedicinski podaci i R.
- Knjige koje se koriste i koje se preporučuju:
 - Biomedical Engineering Theory And Practice. (2015, November 9). Wikibooks, The Free Textbook Project. Retrieved 12:53, May 27, 2016.
 - Peng R. D. R programming for data science, Leanpub book, 2014-2016.
 - Cerutti S., Marchesi C. Advanced Methods of Biomedical Signal Processing, Wiley-IEEE Press, 2011.
 - Sornmo L., Laguna P. Bioelectric signal processing in cardiac and neurological applications, Elsevier Inc., 2005.
 - Irizarry R. A., Love M. I. Data Analysis for the Life Sciences, CRC Press, 2016.
 - Spisak R knjiga na CRAN-u: <https://www.r-project.org/doc/bib/R-books.html>
 - Grolemund G., Wickham H. R for Data Science, [online] <https://r4ds.had.co.nz/>.
- *Online* kursevi:
 - R Programming, John Hopkins University, <https://www.coursera.org/learn/r-programming>
 - Statistics and R, Harvard University, <https://www.edx.org/course/statistics-r-harvardx-ph525-1x>
- *Tutorials*:
 - Code School, <http://tryr.codeschool.com/>
 - DataCamp, https://www.youtube.com/watch?v=SWxoJqTqo08&list=PLjgj6kdf_snYBkIsWQYcYtUZiDpam7ygg
 - CRAN, <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.html>
 - CRAN, <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-data.html>

R knjiga

R Programming for Data Science



[Roger D. Peng](#)

This book brings the fundamentals of R programming to you, using the same material developed as part of the industry-leading Johns Hopkins Data Science Specialization. The skills taught in this book will lay the foundation for you to begin your journey learning data science. Printed copies of this book are [available through Lulu](#).

[Table Of Contents](#) ☰

R Programming for Data Science



Roger D. Peng

LAST UPDATED ON 2016-12-22

- Prvi deo kursa u kome se uči R jezik je zasnovan na knjizi: Peng R. D. R programming for data science, Leanpub book, 2014-2016.
- Slika je preuzeta sa sajta: <https://leanpub.com/rprogramming>.

Rezime

Take-home messages

- 13E051TOBS predmet se bavi obradom biosignala u programskom okruženju R i delimično projektovanjem *Shiny* aplikacija
- R je dijalekat S jezika
- R je slobodan softver sa relativno velikim brojem korisnika
- Biomedicinski signali su svi signali koje je moguće meriti na živim bićima
- Biomedicinski podaci su kompleksni podaci koji mogu sadržati i biomedicinske signale
- Pored odabira i znanja metoda obrade signala, posebno je važna i vizuelizacija signala: vizuelizacija predstavlja sastavni deo obrade signala.