

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

13M051TOBS - Технике обраде биомедицинских сигнала

Спецификација предмета			
Назив	Технике обраде биомедицинских сигнала		
Акроним	13M051TOBS		
Студијски програм	Електротехника и рачунарство		
Модул			
Тип студија	мастер академске студије		
Наставник (предавач)	о проф. др Надица Миљковић		
Наставник/сарадник (вежбе)			
Наставник/сарадник (ДОН)	о проф. др Надица Миљковић		
Број ЕСПБ	6.0	Статус предмета	изборни
Условљеност другим предметима	нема		

- Prvi put uveden 2016 /2017 školske godine.
- Master studije, A grupa predmeta
- Uža oblast: Biomedicinska tehnika
- Letnji semestar – 14 nedelja predavanja i vežbi (sada 13)
- Danas – šta možete da očekujete na predavanjima, vežbama, ispitu, ...

TOBS kurs

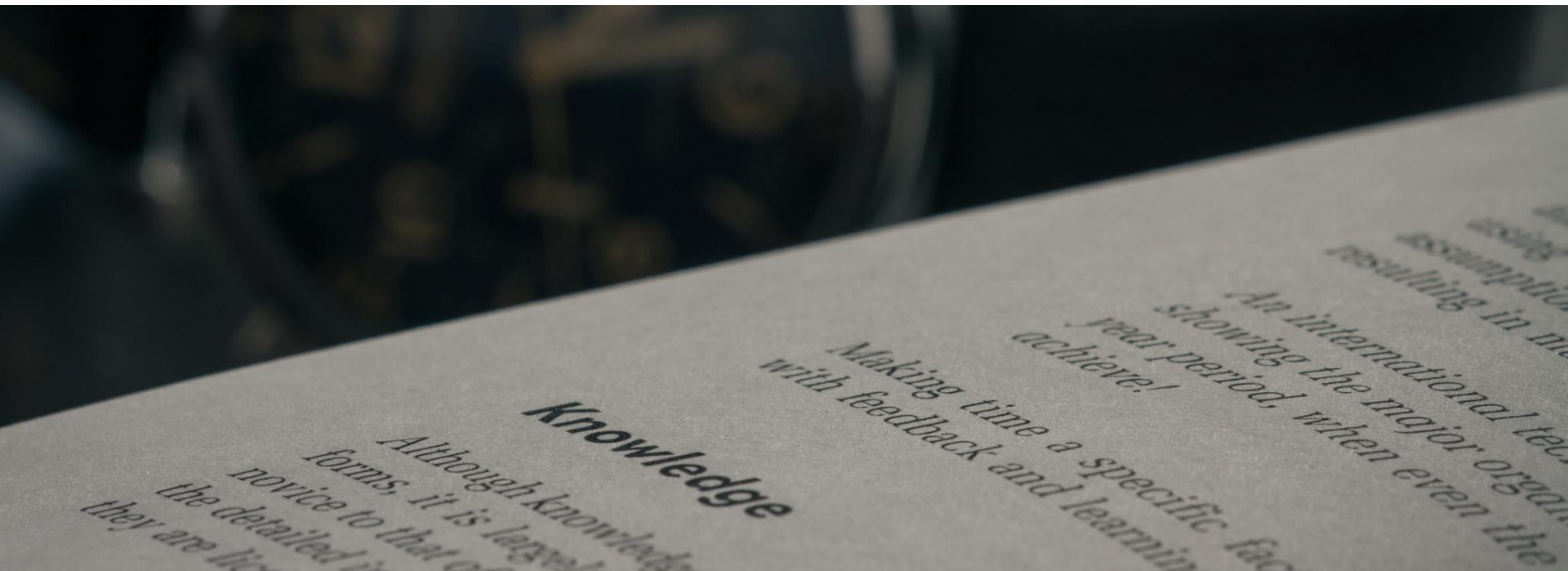
- Programski jezik R (<https://www.r-project.org/about.html>)
 - tipovi podataka
 - gramatika
- Obrada biosignala
 - obrada signala u vremenskom i frekvencijskom domenu
 - statističke metode za obradu biosignala i predstavljanje rezultata merenja biosignala
 - modeliranje u analizi biosignala
 - standardi 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 GUI aplikacija za analizu biosignala
 - pisanje izveštaja i njihovo automatsko generisanje
 - pravila / preporuke prikaza signala i podataka
 - merenje signala u R-u
 - etika

Ciljevi kursa

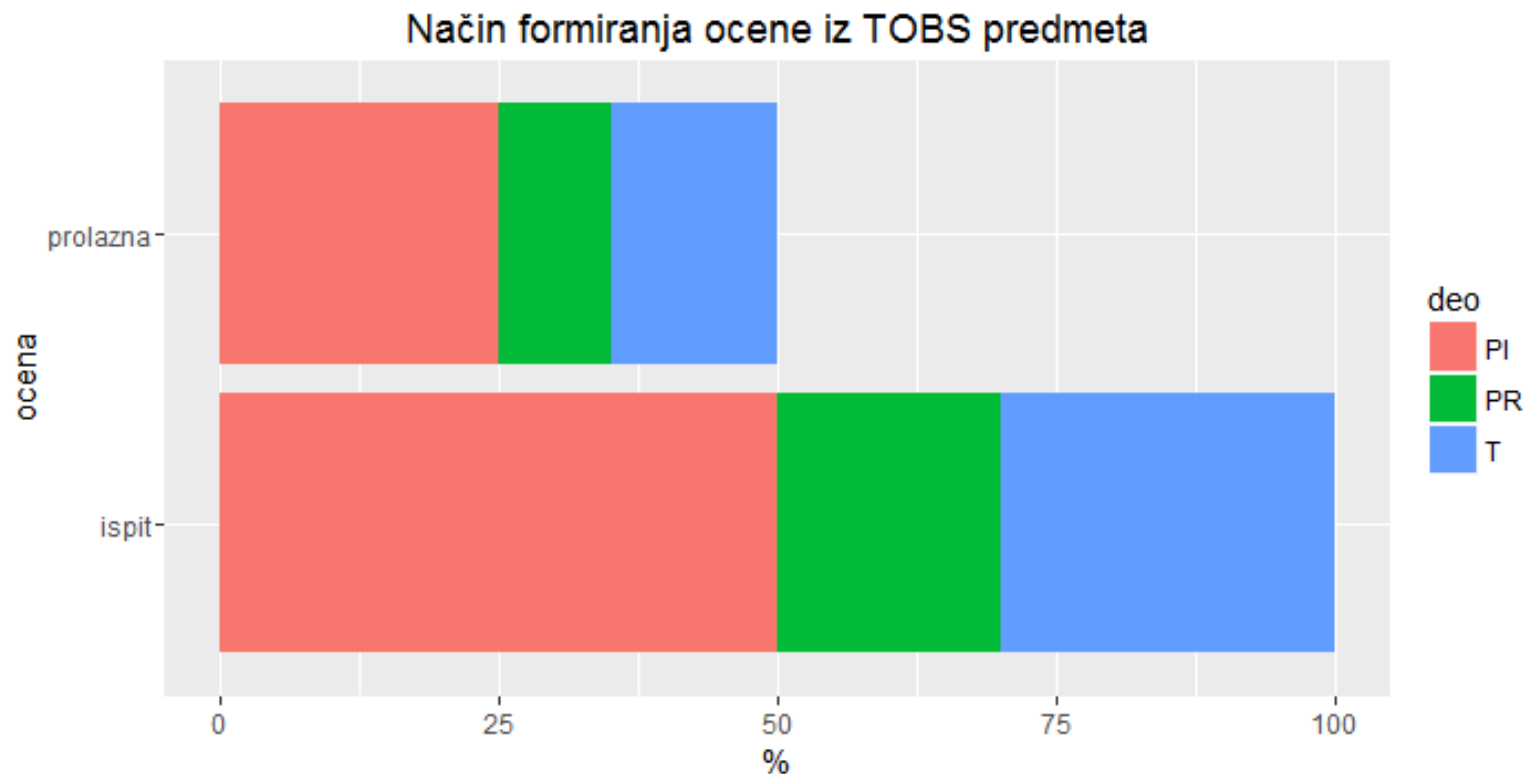
- Primena metoda analize biosignala na realnim signalima.
- Vizuelizacija biomedicinskih signala tj. biosignala snimljenih sa većeg broja elektroda/senzora.
- Primena R programskog okruženja za potrebe analize i modeliranja signala u biomedicinskom inženjerstvu.
- OSNOVNI CILJ: dijagnostika i ocena terapijskih 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 u 2 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



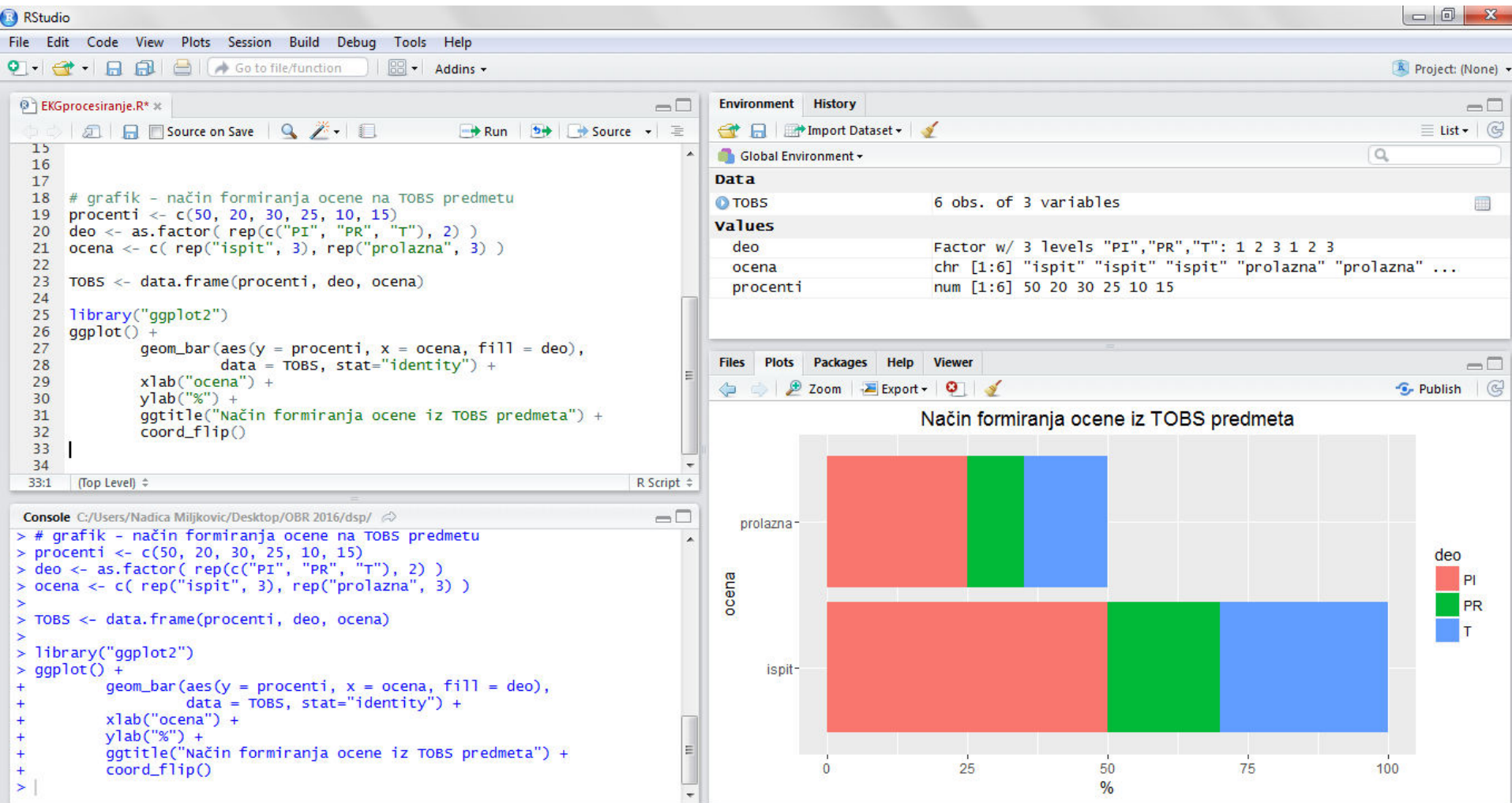
$PI + PR + T = 100 \%$

PI – pismeni ispit (50 %)

PR – praktični rad, projekat (20 %)

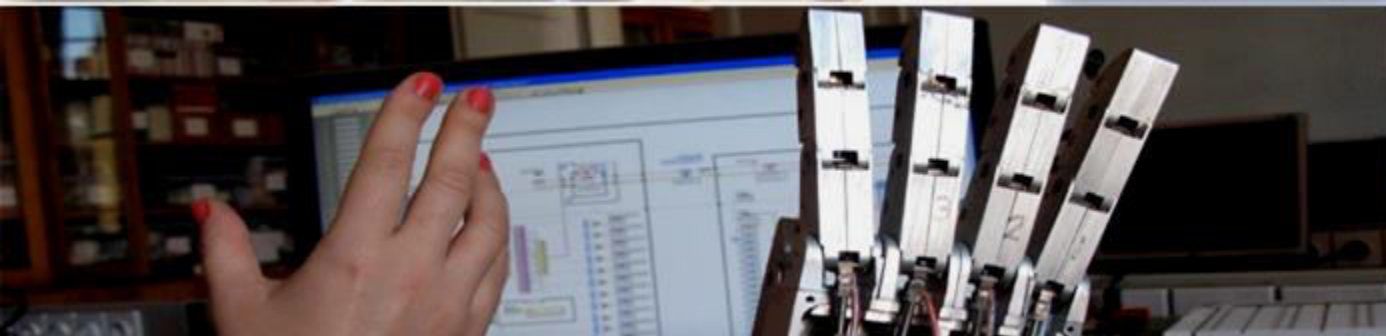
T – test (30 %)

Ocena iz TOBS predmeta

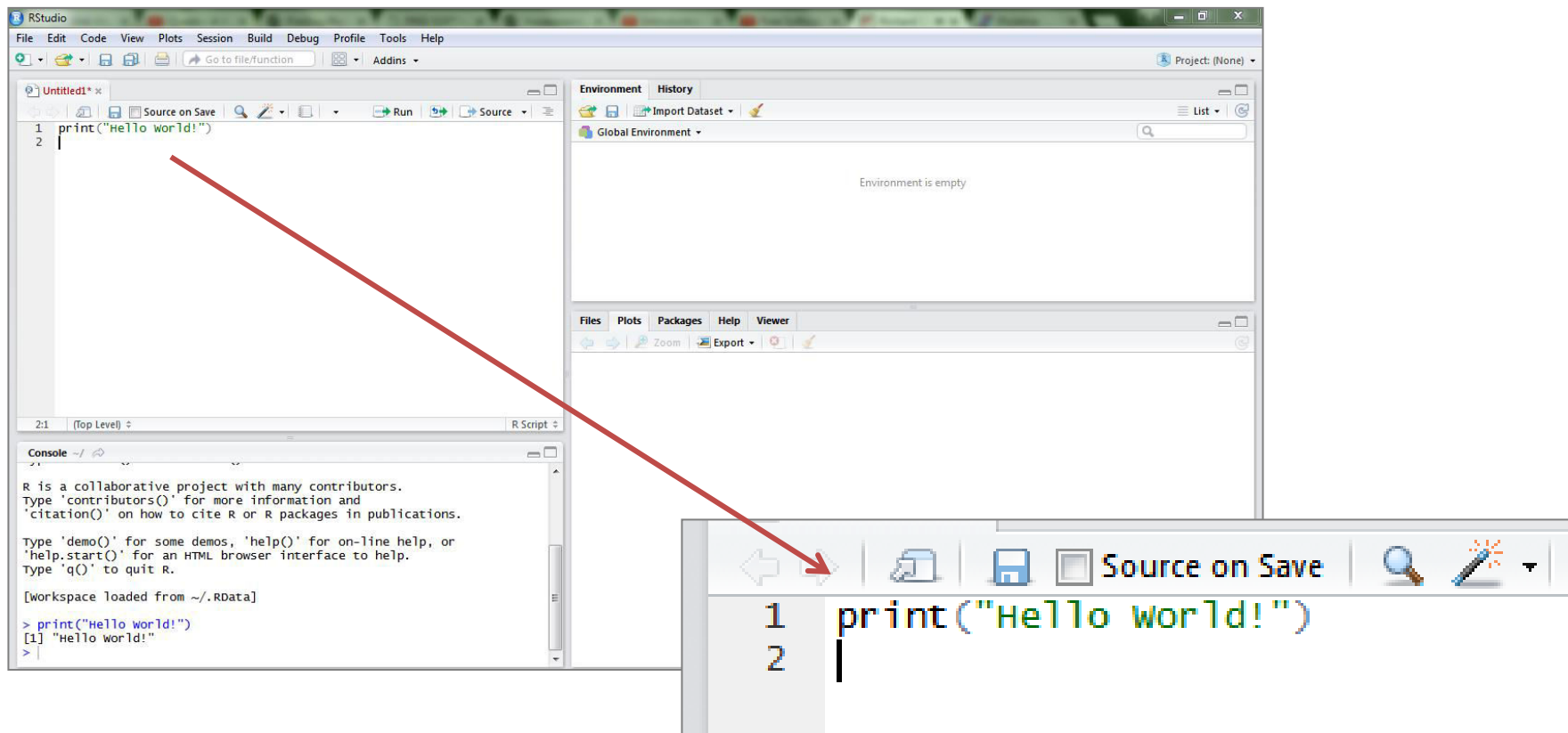


Nastava 13M051TOBS u 2021

- Fond časova je 2 + 0 + 2.
- Ukoliko ne bude moguće održati **kolokvijume** u predviđenom terminu, nadoknada odgovarajućih poena će biti omogućena na ispitu.
- **Predavanja** će se držati sinhrono preko Zoom aplikacije prema rasporedu.
- **Laboratorijske vežbe** se održavaju u laboratoriji 69 (prizemlje, ETF), a usled pandemije držaće se dva do tri bloka istovremeno. Moguće je nadoknaditi do dve laboratorijske vežbe, za nadoknadu većeg broja termina potrebno je opravdanje, u dogovoru sa predmetnim nastavnikom.
 - Prisustvo lab. vežbama je obavezno. Za laboratorijske vežbe koje se ne održe u predviđenom terminu, usled pandemije COVID-19 virusom, biće određen termin nadoknade, ukoliko to okolnosti dozvole.
- Studentkinje i studenti mogu, po želji, koristiti svoje **laptop računare** na času. Važno je da imaju pristup internetu.
 - NAPOMENA: Na testu i ispitu korišćenje interneta je strogo zabranjeno.



Laboratorijska vežba 1



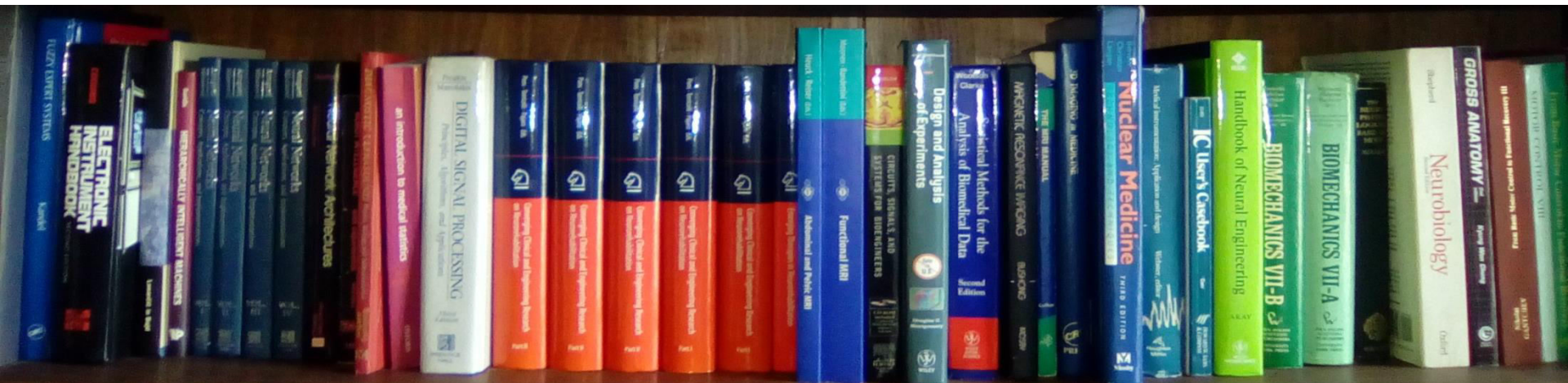
- Cilj: pobediti BSS (eng. *blank screen syndrome*).
- *Gentle Introduction to R*
- Vežbe se NE drže prve nedelje semestra.
- Vaš prvi R kod za 7 ili 14 dana!

Programski jezik R

- R je programski jezik za statistička proračunavanja i grafičku interpretaciju koji su kreirali Ross Ihaka i Robert Gentleman 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 i za razvojne inženjere računarstva.
- R je slobodan softver – GNU (eng. *General Public Licence*).
- 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.
- O poreklu R-a: R i S imaju sličnu sintaksu, ali različitu semantiku.
- ...

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>, pristupljeno 28. februara 2019).
- 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>, pristupljeno 28. februara 2019.).
- Sintaksne greške su, na primer: pogrešno 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. februara 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.
- R je *lingua franca* popularne *data science* oblasti.
- Za kraj, isplati se uložiti vreme u R ...

Slobodan softver



- Prema *Free Software Foundation* (<http://www.fsf.org/>), slobodan softver garantuje korisnicima 4 vrste slobode:
 - sloboda da se pokreće program u bilo koju svrhu
 - sloboda da se proučava način na koji program radi i da se prilagodi posebnoj svrsi (podrazumeva se pristup izvornom kodu)
 - sloboda da se “dele” kopije kako bi se “pomoglo komšiji”
 - 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 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 nekadašnjoj *Open Source Initiative* više na <https://opensource.org/osd>
- Ima i rad istraživača iz Srbije i sa ETF-a na temu licenci otvorenog i slobodnog softvera:
 - Pejović, Predrag, Miljković, Nadica, Cvetanović, Miloš, & Ševkušić, Milica. (2020). Licence slobodnog softvera i otvorenog hardvera — kratko uputstvo za nestrpljive — (Version 1). Presented at the Primena slobodnog softvera i otvorenog hardvera (PSSOH), Belgrade, Serbia: Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4210352>

Dragi Komšija, Neka ti je krava živa i zdrava ...





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

Primena slobodnog softvera i otvorenog
hardvera



Osim R-a ...

- Postoji niz drugih slobodnih softverskih paketa i okruženja: LATEX, LibreOffice, Xcircuit, GNU Octave, PyLab, Maxima, SymPy, Python, ...
- Ako nekoga zanima slobodan softver u Srbiji:
 - Više informacija u radu: Pejović, Predrag. (2016, May). 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)
 - I na drugim mestima, a posebno bih istakla Libre časopis o slobodnom softveru, <https://libre.lugons.org/>. Ima i članak koji je pisan u vezi sa nastankom TOBS kursa,
<https://libre.lugons.org/index.php/2020/07/programski-jezik-r-i-njegova-primena-u-nauci-o-podacima-2-deo/>
 - Konferencije: [PSSOH](#), [Descon](#), [LibrePlanet](#), [BalCCon](#), [Juliacon](#) ... a ima i besplatnih vebinara (npr. <https://learn.stanford.edu/webinar-effective-data-visualization.html>)
 - 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, <https://www.bioconductor.org/>
 - 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, 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
- Relativno velika zajednica
- Grafičke mogućnosti
 - odličan kvalitet grafika
 - mogućnost vizuelizacije kompleksnih grafika
 - “lattice”, “ggplot2”

Mane R-a

- Objekti u R-u moraju biti smešteni u memoriju u sistemu, 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 big data”, <https://www.linkedin.com/pulse/ram-eating-big-data-size-data-sets-used-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>).



Zašto R?

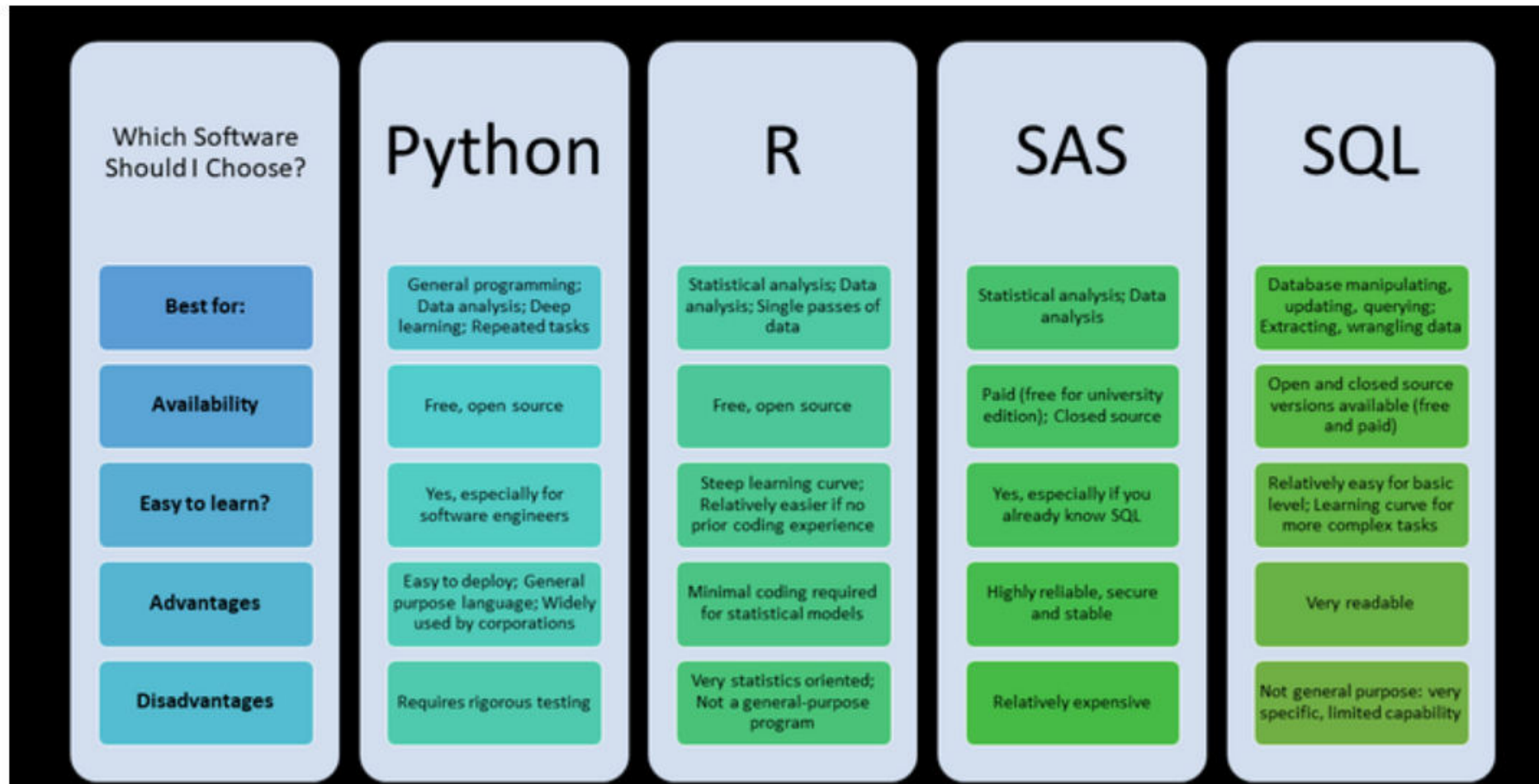
- R je na 4. mestu prema listi sa <https://www.upgrad.com/blog/data-science-programming-languages/> (Rohit Sharma, "Top 6 Data Science Programming Languages 2021 [Hand Picked]", January 8, 2021")
- <https://towardsdatascience.com/team-r-or-team-python-2f8cf04310e6>: "Based on this analysis., I found that the top three programming languages sought out by employers in data scientists are Python (mentioned in 90.4 % of the job ads considered), R (mentioned in 73.4 % of the job ads) and SQL (mentioned in 58.5 % of the job ads)."
- U više članaka su pored njegove prednosti za primenu u statistici, navedena i prednost u primeni za mašinsko učenje, <https://machinelearningmastery.com/best-programming-language-for-machine-learning/>, što je delimično zasluga i paketa koji su posvećeni ovoj oblasti, kao što je CARRoT (eng. *Cross-validation, Accuracy, Regression, and Rule of Ten*, <https://cran.r-project.org/web/packages/CARRoT/index.html>).
- U mnogim firmama se koristi R, lista iz 2016: <https://www.listendata.com/2016/12/companies-using-r.html>



Best Languages for Data Science and Statistics in One Picture

Posted by Stephanie Glen on January 27, 2020 at 1:00pm [View Blog](#)

Hundreds of programming languages dominate the data science and statistics market: Python, R, SAS and SQL are standouts. If you're looking to branch out and add a new programming language to your skill set, which one should you learn? This one picture breaks down the differences between the four languages.



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.
- *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 Matlab-u ili ih je potrebno kupiti (postoje i funkcije u Matlab-u 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 17000 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: [*R and MATLAB, Chapman and Hall / CRC, 2015, ISBN 9781466568389.*](#)
- I za kraj, prava nedoumica je možda Matlab vs. Octave, a ne R vs. Matlab (više o Octave na <https://www.gnu.org/software/octave/>) ...

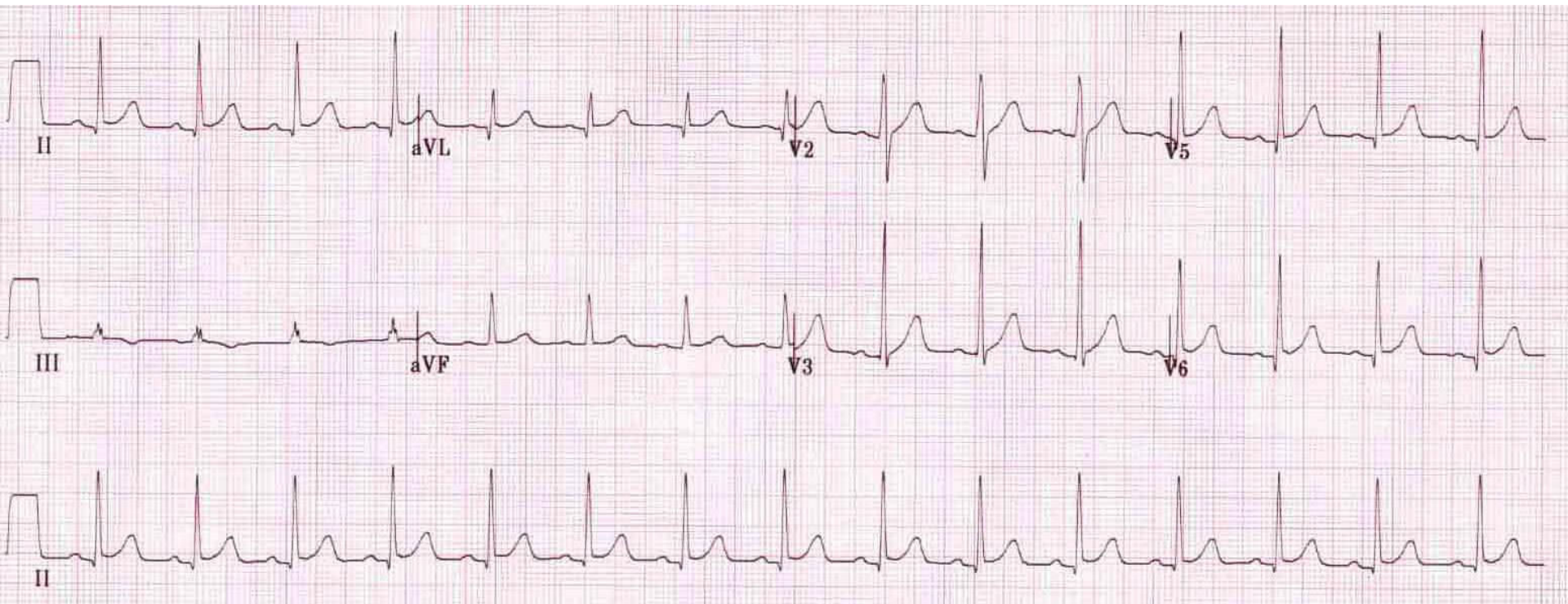


"There are only two kinds of languages: the ones people complain about and the ones nobody uses"
Bjarne Stroustrup (iz R.G. Peng. R programming for data science, LeanPub, 2015.)

BIOSIGNALI I TEHNIKE OBRADJE

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, MEG, ...
- Da li znate šta znače ove skraćenice?

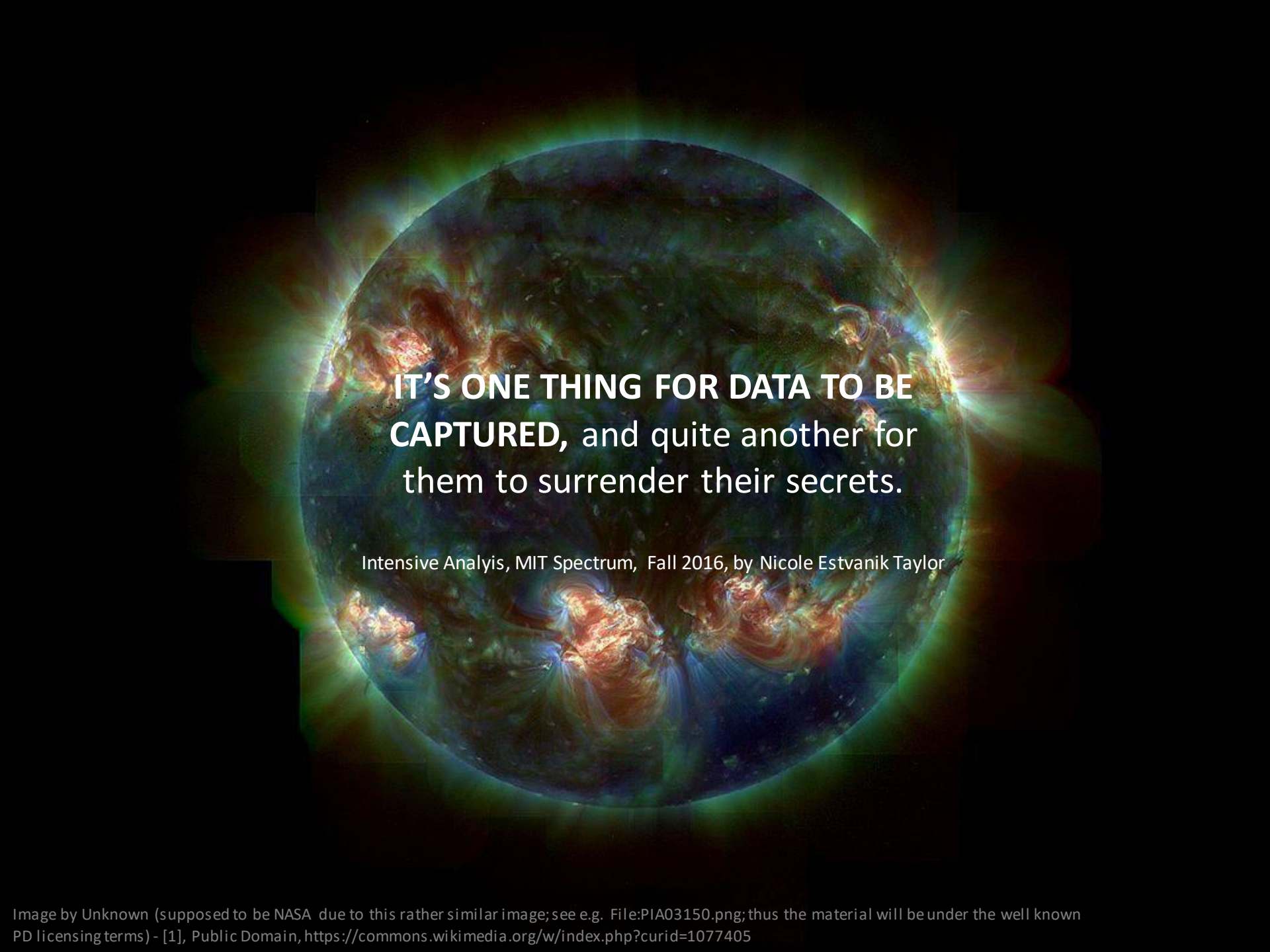


Biomedicinski podaci

- 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 i to kompleksni biomedicinski podaci.
- Zbog svoje prirode, a i dimenzija ti podaci se nazivaju kompleksnim.

Kompleksni biomedicinski podaci

- NAPOMENA 1: Termin “kompleksni” se koristi i za opisivanje nelinearnih pojava koje se ocenjuju 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.

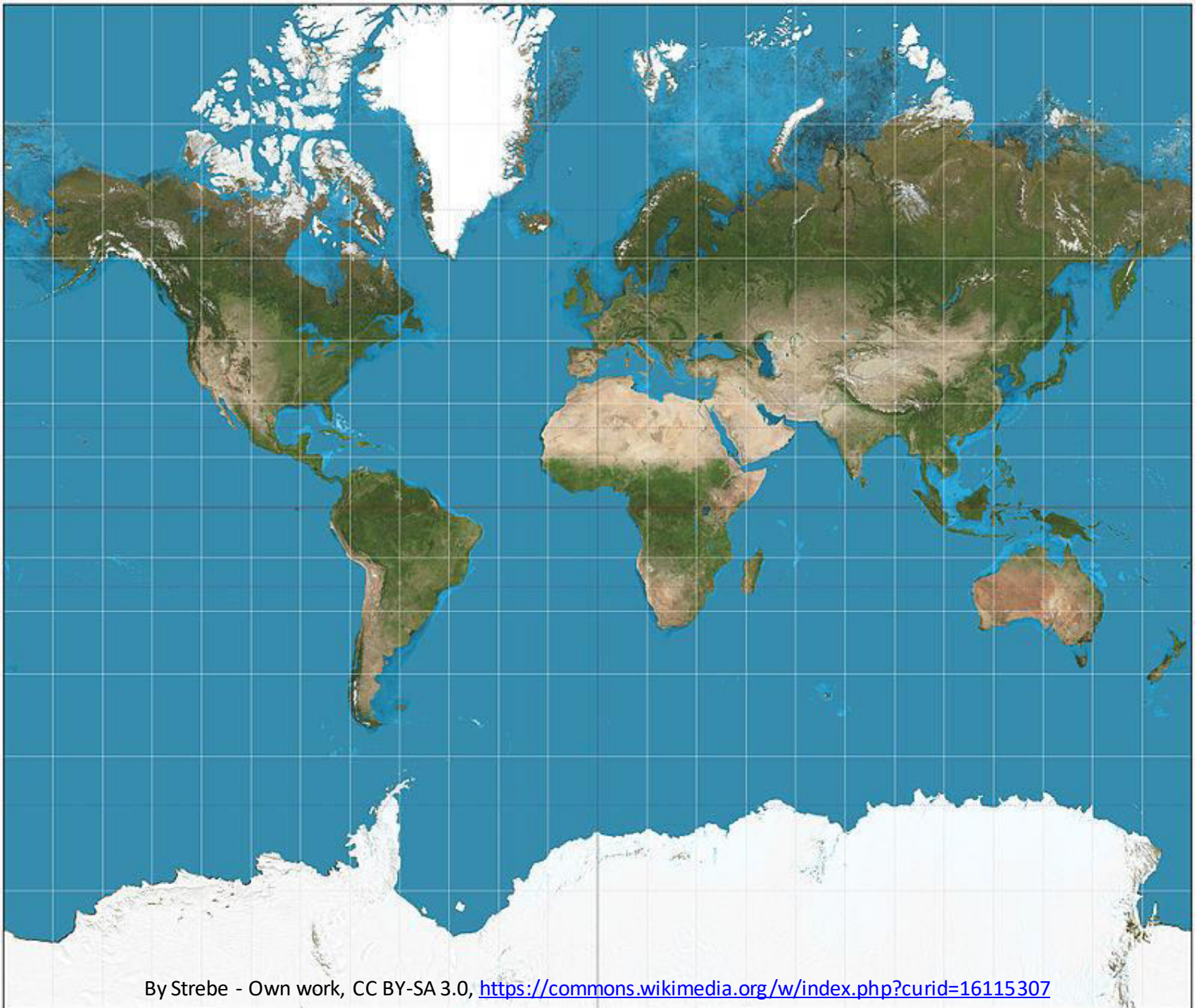


**IT'S ONE THING FOR DATA TO BE
CAPTURED,** and quite another for
them to surrender their secrets.

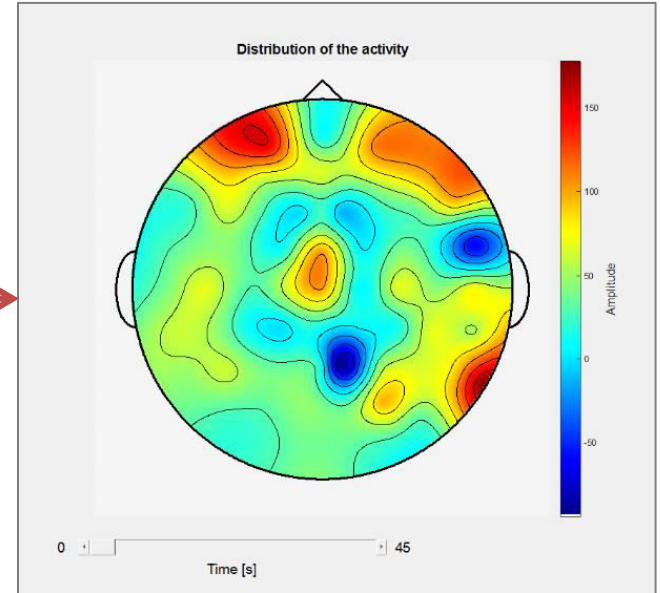
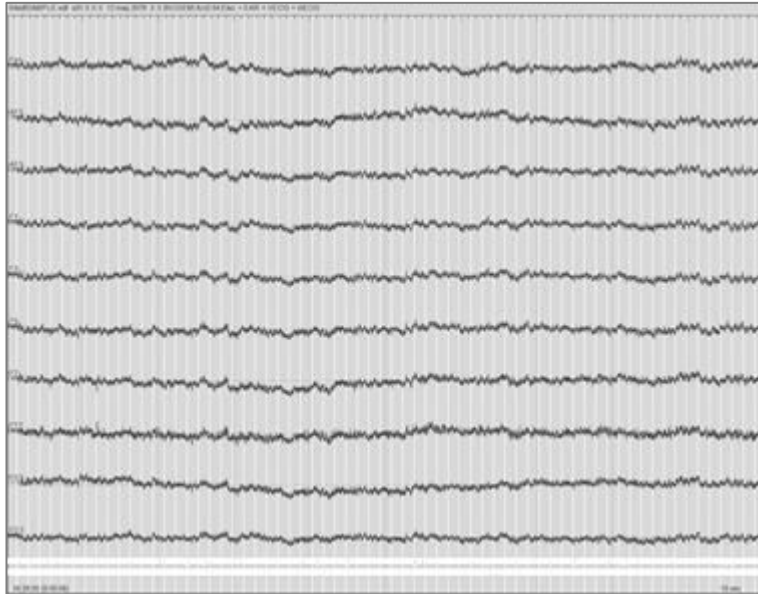
Intensive Analysis, MIT Spectrum, Fall 2016, by Nicole Estvanik Taylor

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, ...



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.

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.

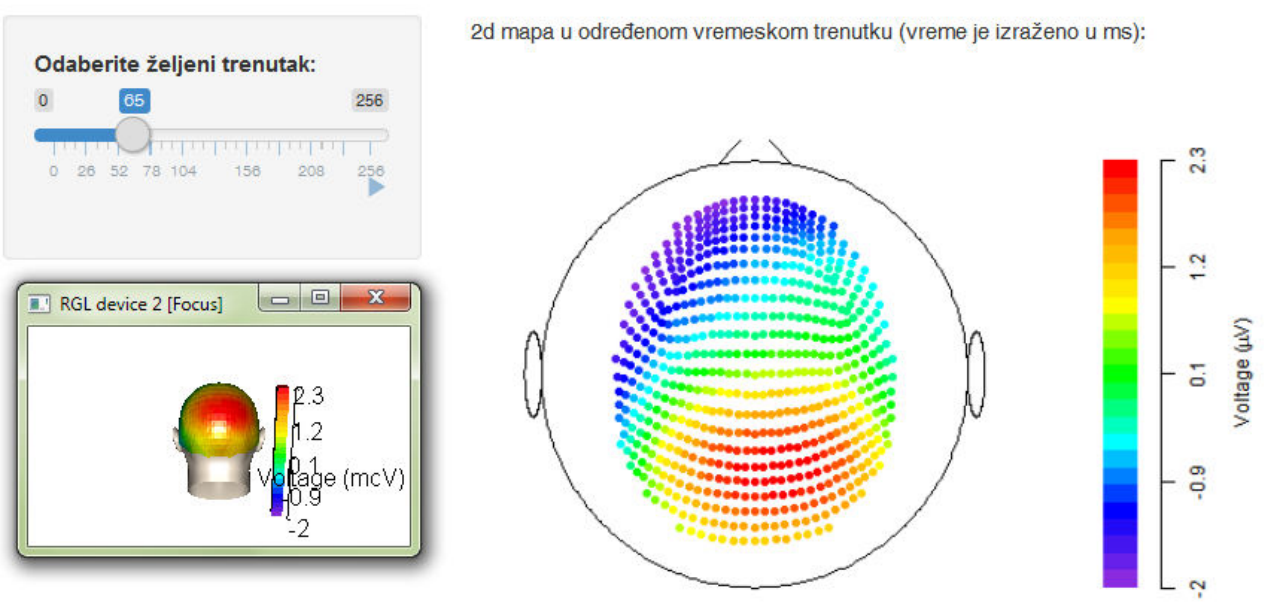
Ovde je prikazana raspodela potencijala u prostoru u određenom vremenskom trenutku. Ova funkcija je odlična za vizuelizaciju EEG podataka na 2D i 3D mapama.

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):



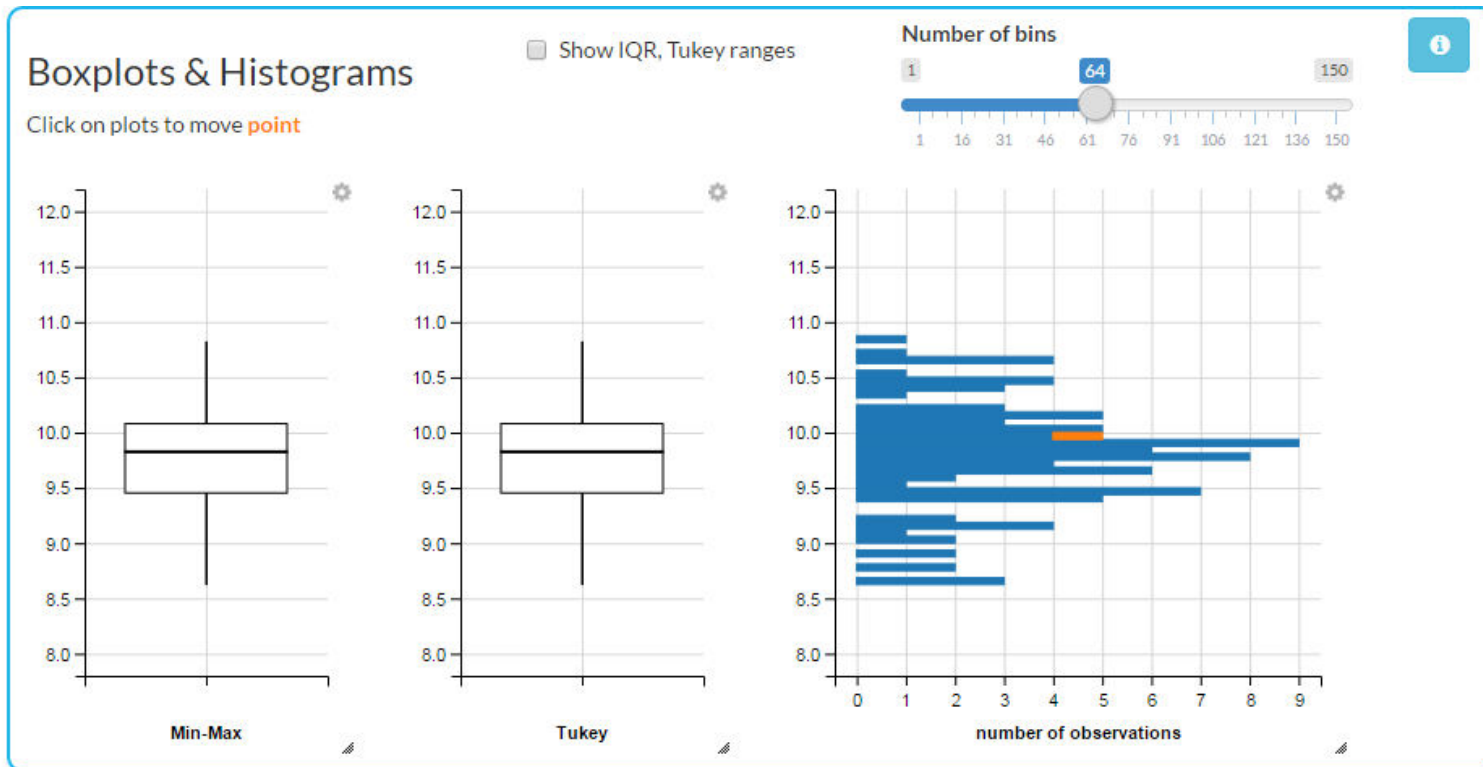
The figure displays a 2D topographic map of a head showing the spatial distribution of EEG potentials at a specific time point. The map is overlaid on a circular outline of a head with ear markers. The color scale ranges from -2 (dark blue) to 2.3 (dark red) μV . A secondary window titled 'RGL device 2 [Focus]' shows a 3D head model with a similar color scale, labeled 'Voltage (mcV)' with values from -2 to 2.3.

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

O projektima

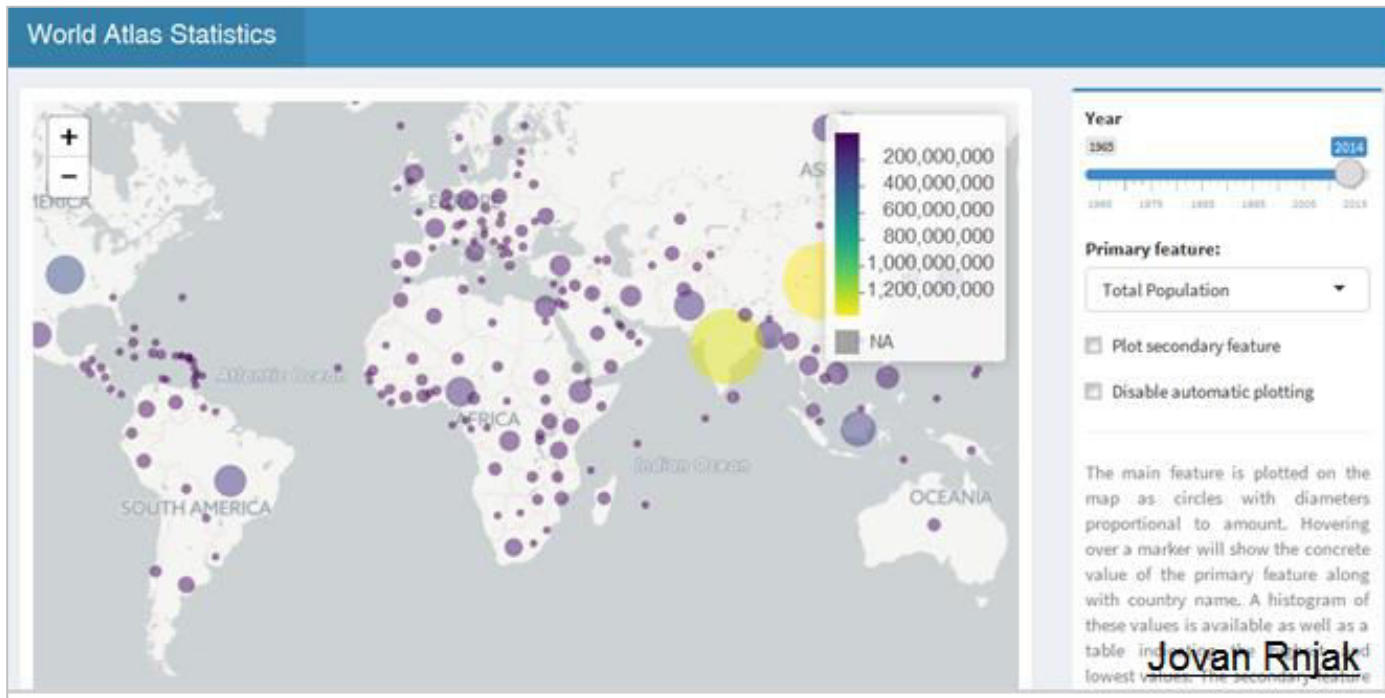
- Biće definisani početkom semestra
- Nekada je bilo i takmičenje – više informacija na sajtu i na Zenodo linkovima publikovanih projekata:
 - Šolaja, Nikola. (2019, October). Driving activity assessment using accelerometer data. Presented at the 28th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2019 (IEEE ERK), Portorož, Slovenia: Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3510840>
 - Gavrović, Đurđe. (2019, October 2). Projektni zadatak: Aplikacija za vizuelizaciju, pregled i pretragu stanja radiološke opreme u Srbiji. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3470124>

Shiny



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

Shiny



- 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/bio_medicinsko_inzenjerstvo/TOBS/TOBS%20projekti%202017%20studenti.png
- Aplikacija koju je pripremio Jovan Rnjak je prikazana na slici.

Literatura

- Svi materijali biće postavljeni na internet stranici predmeta (<http://automatika.etf.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>
 - Golemund 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, važna je i vizuelizacija signala