



# **Savremeni automatizovani pristupi u unapređenju medicinskog imidžinga sa ciljem efikasne dijagnostike, upravljanja i procene rizika**

dr Ana Gavrovska

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

# ***IPTM - Image Processing, Telemedicine and Multimedia***



**Prof. dr Ana Gavrovska**

**Kontakt:**

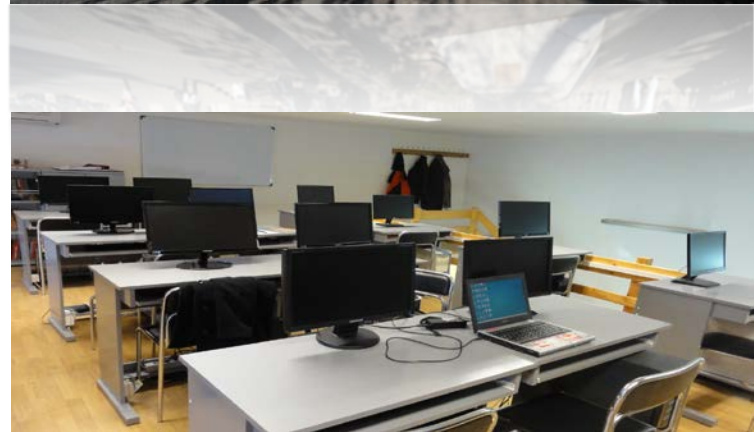
**[anaga777@etf.bg.ac.rs](mailto:anaga777@etf.bg.ac.rs)**



**Univerzitet u Beogradu – ETF,  
<https://www.etf.bg.ac.rs/>**

***IPTM (Image Processing, Telemedicine and Multimedia)*  
Laboratorija,**

**Katedra za telekomunikacije, <http://telit.etf.rs/>**



# Sadržaj



1. AI, ekspertski sistemi i prenos znanja - uvod



2. Uloga IKT, efikasna obrada i prenos medicinskih podataka i informacija – primer DICOM standarda



3. CAD sistemi i ML/DL



4. Poznavanje arhitektura i ograničenja postojećih rešenja



5. Perspektive daljeg razvoja u domenu medicinskog imidžinga i IKT-a - zaključak

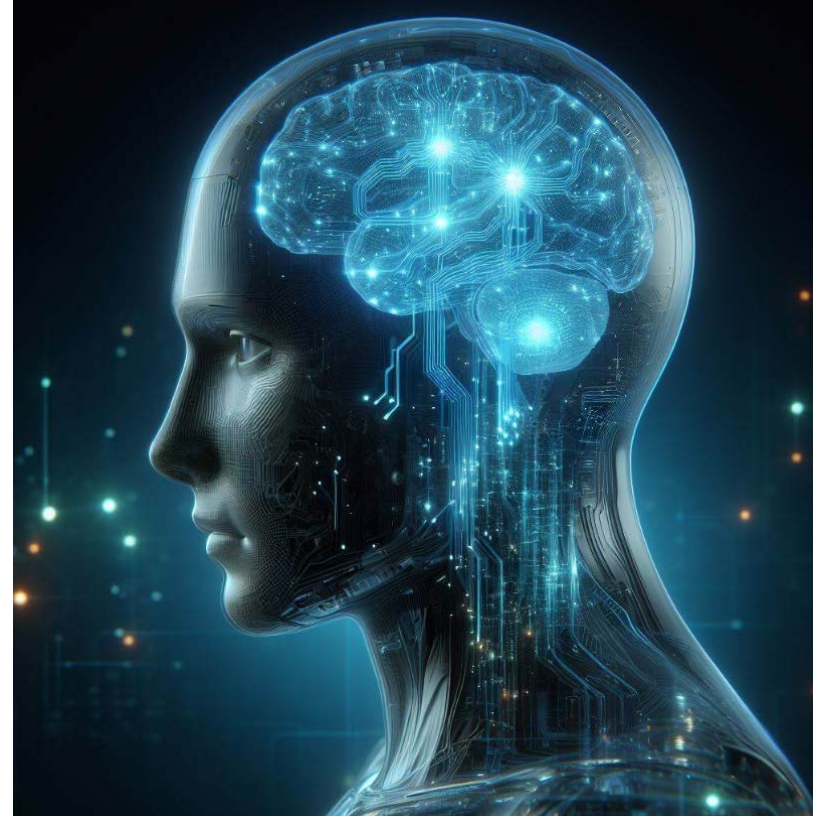


Image generated with AI

# 1. AI, ekspertski sistemi i prenos znanja - uvod



- **Današnji automatizovani pristupi i veštačka inteligencija (AI)**
- Mašinsko i dubinsko učenje u oblasti medicinskog imidžinga i rada sa drugim relevantnim pratećim podacima.
- Efikasna obrada i prenos informacija:
  - za kliničke ili edukacione servise,
  - pružanje usluga van kliničkih centara i
  - efikasnije kompletiranje dokumentacije radi smanjenja troškova...

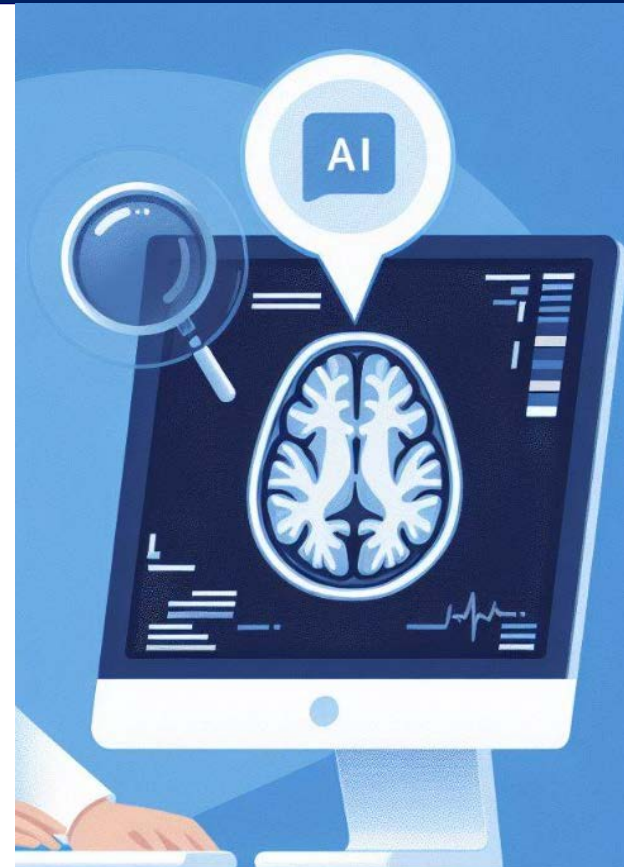
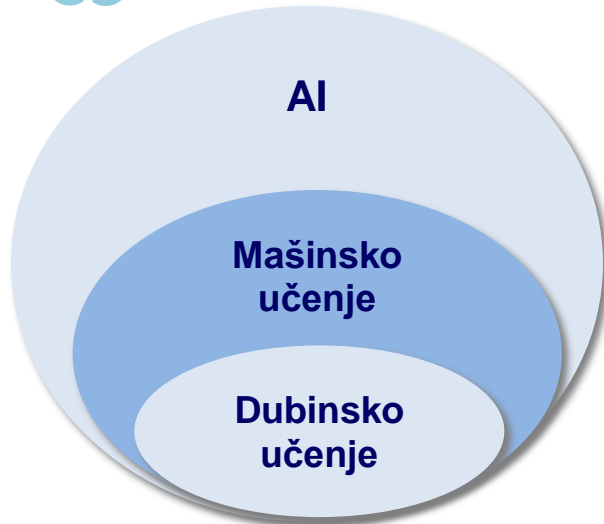
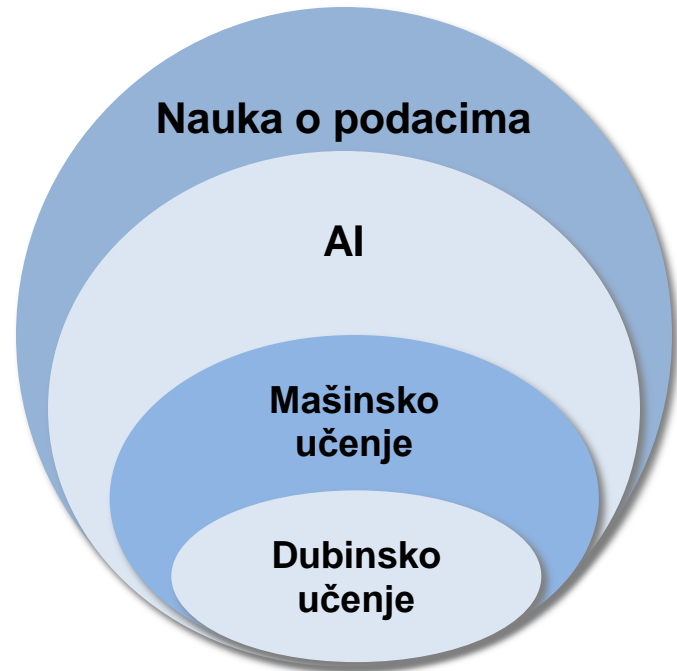


Image generated with AI



**AI – ML - DL**

- **Podučavanje mašine inteligentnom ponašanju/razumevanju nalik ljudskom**
- Sistemima veštačke inteligencije se dozvoljava da uče iz velike količine bogatih podataka
- Važna razumevanja:
  - izrade ekspertskih sistema,
  - primene mašinskog i dubinskog učenja,
  - raspoloživih resursa,
  - informaciono komunikacionih tehnologija (IKT),
  - statistike i vizuelizacije podataka radi daljeg odlučivanja, itd.



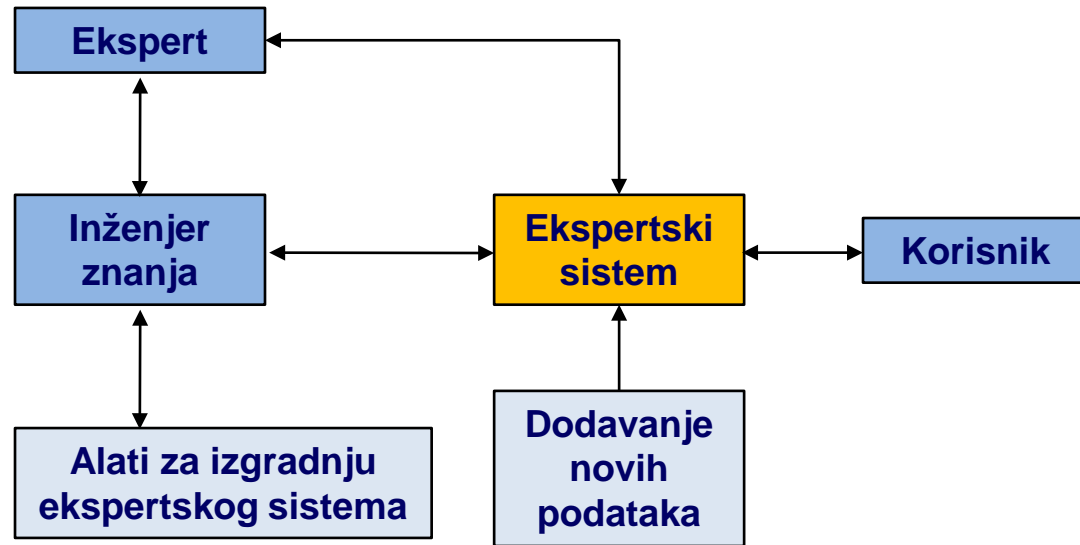
- **Mašinsko učenje (ML)** – razumevanje osnovnih pristupa i dizajn novih algoritama zasnovanih na relevantnim obeležjima
- **Dubinsko učenje (DL)** – kompleksnije strukture uz učenje reprezentacije podataka
- **Vizuelizacija** – integracija vizuelnog sagledavanja (kroz interaktivnost i pristup strukturama u bogatom skupu podataka)
- **Predikcija** - da se razume i predvidi ishod i ponašanje
- Analiza ponašanja i pronalaženje obrazaca/šablona -> nauka o podacima

# Data Science



# Ekspertski sistem

- Saradnja eksperta i inženjera znanja
- Interdisciplinarni projekti
- Mehanizmi za:
  - izgradnju baze podataka
  - za davanje objašnjenja
  - za zaključivanje



- To je posebno od značaja u oblasti **medicinskog imidžinga**
- ML u prepoznavanju lica i drugih objekata od interesa, obradi prirodnih jezika, robotici...
- Očekuje se
  - poboljšanje medicinskih i pratećih **servisa, aplikacija i sistema,**
  - podrška **korisnicima različitih profila,** kao i
  - **podrška ekspertima** koji rade sa različitim modalitetima medicinske slike i medicinskim i drugim relevantnim podacima

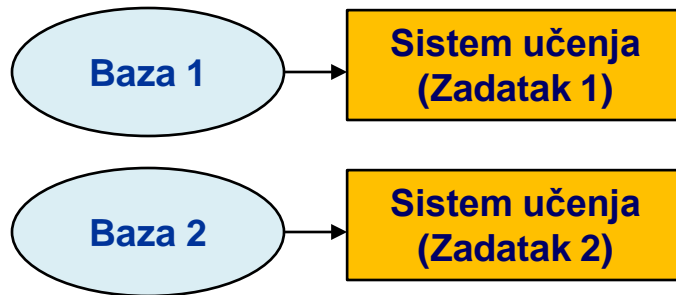




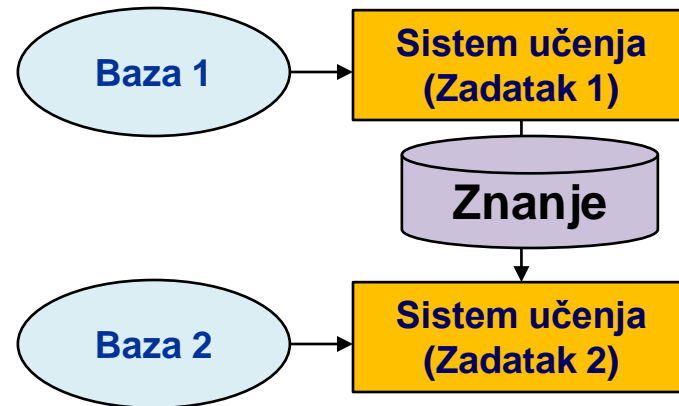
- Svi učimo i prenosimo znanje
- Prenos znanja postoji i kod ML



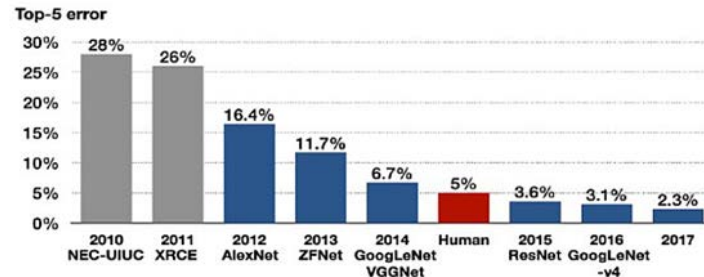
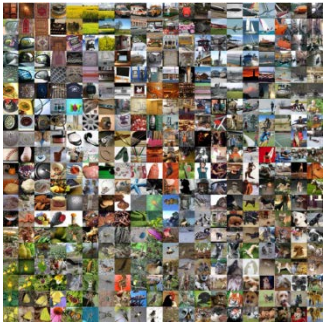
### Tradicionalno učenje



### TL – *Transfer Learning*



- Od 60tih godina prošlog veka - ML
- 2006 – počinje se sa realizacijom baze koja predstavlja osnovu za klasifikacione zadatke
- Od 2010 – nagli razvoj računarske, mašinske i svake druge vizije i DL sa godišnjim izazovom/konkursom - *ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC)*



# IMAGENET

LeNet (1998)  
AlexNet (2012)  
ZFNet (2013)  
GoogLeNet / Inception (2014)  
VGGNet (2014)  
ResNet (2015)

...

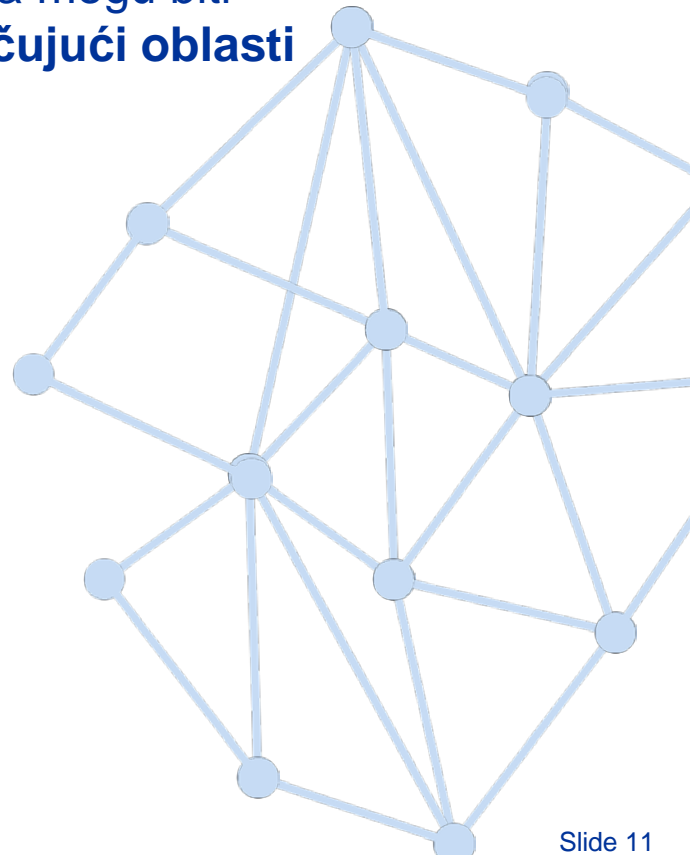
## 2. Uloga IKT, efikasna obrada i prenos med. podataka

- Popularnost **IKT/ICT** je velika i otkrića u istraživanjima mogu biti iskorišćena i primenjena u različitim oblastima, **uključujući oblasti medicine.**
- Veb pristupi, servisi, SOA, mikroservisi



### Atributi i očekivanja

- Interoperabilnost
- Skalabilnost
- Dostupnost
- Mobilnost
- Sveprisutnost
- Sigurnost
- Analitičnost
- Upotrebljivost



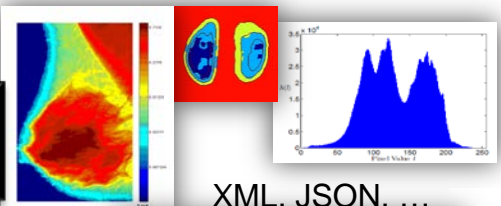
# Prenos znanja na relaciji inženjer-medicinar (u oba smera)

- Razlozi za razumevanje novih arhitektura:
  - pragmatičnost u cilju upoznavanja kako (pod)sistem funkcioniše,
  - upravljanje resursima,
  - razumevanje osnovne logike i koordinacija za različite primene,
  - sposobnosti modelovanja i konceptualizacije u različitim oblastima,
  - razvoj u skladu sa društvenim perspektivama i trendovima,
  - prilagođavanje tranzicijama kojim podležu elementi i čitavi sistemi,
  - uključivanje svih učesnika u procese promena...
- **Saradnja i razumevanje između različitih profesija** u cilju dobijanja rezultata vrednih domaće i međunarodne pažnje i prakse.
- Primeri koristi:
  - upotreba naprednih alata u analizi i određivanju karakterističnih obeležja,
  - poznavanje rada u različitim okruženjima koji omogućavaju efikasno dobijanje naučnoistraživačkih i praktičnih rezultata,
  - automatizacija postupaka i dobijanje efikasnih rešenja ...



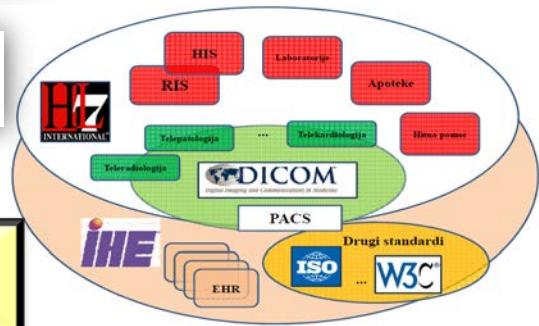
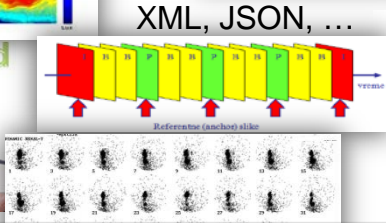
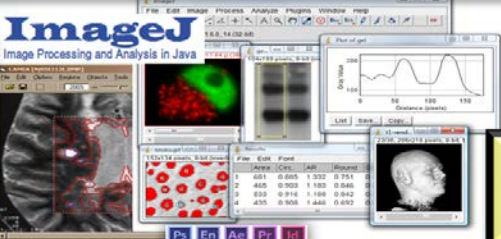
- IPTM istraživačke aktivnosti su usmerene na oblasti:
  - digitalne obrade slike, video, audio zapisa,
  - medicinskog imidžinga, telemedicine, informatike, obrade medicinskih signala,
  - distribucije, skladištenja, pretraživanja i indeksiranja multimedijalnih sadržaja
  - razvoja ekspertskih sistema, koje uključuje upotrebu linearnih i nelinearnih metoda analize signala i upotrebu alata veštačke inteligencije
  - video tehnologija, telekomunikacionih sistema, protokola, autentičnosti multimedijalnih signala...

Razvoj novih formata, metodologija i softverskih alata pomoću različitih programskih paketa



python  
MATLAB  
C/C++  
MySQL

Rad u različitim okruženjima



Unapređenje metodologija

Upotreba odgovarajućih standarda

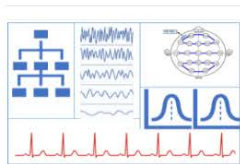
- DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) – jedan od najznačajnijih telemedicinskih standarda



2024	2023	2022	2021	2020	2019
DicomWeb Storage Commitment <sup>Sup234</sup>	General 32-bit ECG Waveform <sup>Sup237</sup>	Security Profiles update <sup>Sup235</sup>	Whole Slide Imaging Annotation <sup>Sup232</sup>	Dermoscopy <sup>Sup231</sup>	Thumbnail Service over DICOMweb <sup>Sup203</sup>
	High-Throughput JPEG 2000 (HTJ2K) <sup>Sup235</sup> Compression	Elastography SR Template <sup>Sup227</sup>	MR Prostate Imaging Structured Report <sup>Sup203</sup>	Neurophysiology Waveforms <sup>Sup217</sup>	Realtime Video <sup>Sup202</sup>
	Variable Modality LUT Softcopy Presentation State <sup>Sup231</sup>	Multi-Fragment Video Transfer Syntax Changes <sup>Sup225</sup>	Cone Beam CT Radiation Dose SR <sup>Sup214</sup>	Encapsulated Additional Models 3D Manufacturing <sup>Sup208</sup>	Web Services Re-Documentation <sup>Sup183</sup>
	Photoacoustic Image <sup>Sup229</sup>	Archive Inventory <sup>Sup223</sup>	XA Protocol <sup>Sup212</sup>	RT Radiation Records <sup>Sup199</sup>	2nd Gen. C-Arm RT Treatment <sup>Sup175</sup>
	Confocal Microscopy <sup>Sup226</sup>	2G-RT: Enhanced RT Image <sup>Sup213</sup>	2G-RT: Patient Setup & Delivery <sup>Sup140</sup>	2nd Gen. Other non C-Arm RT Treatment <sup>Sup176</sup>	
		Revision of DICOM Conformance Statement <sup>Sup209</sup>			

• *WG-23: Artificial Intelligence/Application Hosting – pojednostavljenje rada sa DICOMweb-om i podrška za AI zasnovane radne tokove*

• **DICOMweb** -standard za veb zasnovan medicinski imidžing kao skup RESTful servisa



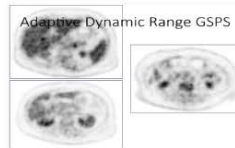
General 32-bit ECG Waveform <sup>Sup237</sup>



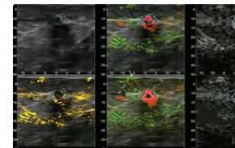
High-Throughput JPEG 2000 (HTJ2K) Compression <sup>Sup235</sup>



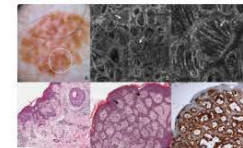
DicomWeb Storage Commitment <sup>Sup234</sup>



Variable Modality LUT Softcopy Presentation State <sup>Sup231</sup>



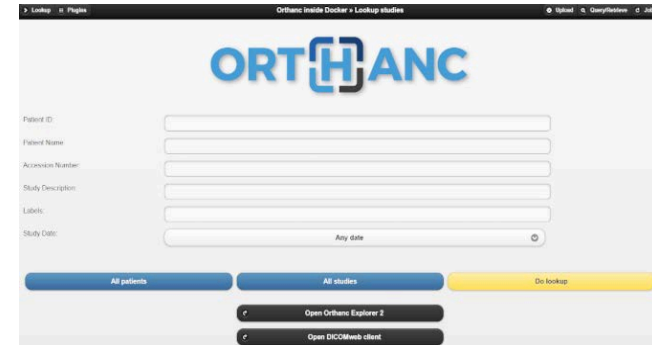
Photoacoustic Imaging <sup>Sup229</sup>



Confocal Microscopy <sup>Sup226</sup>



- **DICOMweb** - servisi zasnovani na DICOM standardu radi uniformisanja formata i protokola prenosa, razmene i skladištenja medicinskih slika i relevantnih podataka u veb zasnovanim IK sistemima
- **Primena veb servisa** se prilagođava *DIMSE (DICOM message service element)* servisima (komunikacija sa udaljenim lokacijama/objektima)
- **Orthanc PACS** – *open source* DICOM server realizovan pomoću *Docker* alata – popularan alat za postavljanje i administriranje mrežne arhitekture zajedno sa drugim klijent-server rešenjima
- Kompresioni standardi (npr. JPEG2000)





- Servisno orijentisani pristup, personalizovana rešenja, efikasna dokumentacija
- eHealth, mHealth, telemedicina, IoMT

Administriranje (npr. zdravstvenog osiguranja)

Informisanje (npr. edukacija pacijenata ili korisnika servisa zdravstvene nege)

Propisivanje (npr. lekova, terapije, tretmana pomoću medicinskih uređaja)

Merenje (npr. testovi, snimanja, akumulacija podataka o pacijentu)

Pristup pacijentu (npr. posete bolnici, telemedicinske posete, posete laboratoriji)

Monitoring radi prevencije

Dijagnostika

Proceduralna priprema

Lečenje

Rehabilitacija /oporavak

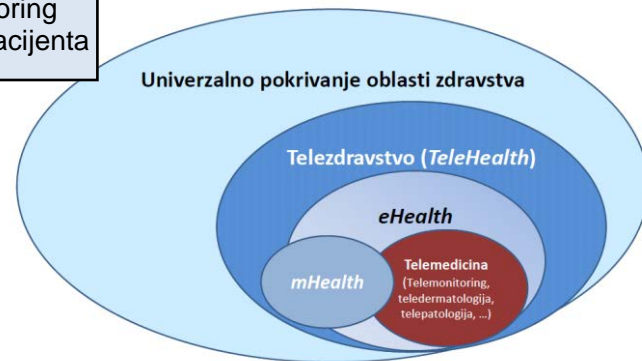
Monitoring stanja pacijenta



<https://www.sg2.com/>



Univerzalno pokrivanje oblasti zdravstva



### 3. CAD sistemi i ML/DL

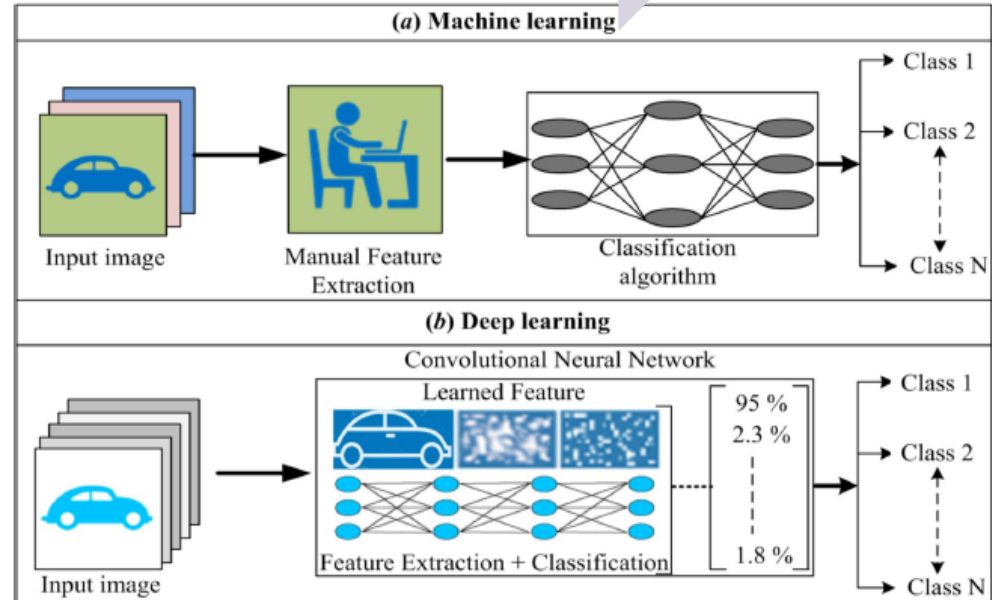
- CAD (*Computer Aided Diagnosis*) sistemi se smatraju veoma važnim, čijim razvojem se omogućava ispomoć u donošenju **odluka pri lečenju i pružanju pomoći** u cilju **smanjenja grešaka, troškova i poboljšanja kvaliteta** pružanih usluga
- **Podrška kliničkom odlučivanju**
- CAD (*Computer Aided Detection*) sistemi u digitalnoj obradi slike se najčešće odnose na **automatizovanu detekciju karakterističnih pojava**, (npr. potencijalnih kandidata za anomalije), odnosno **obeležja** unutar medicinskog signala/slike/videoa.



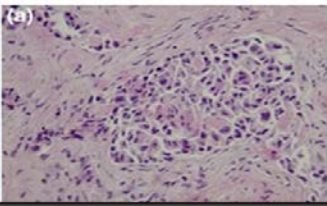
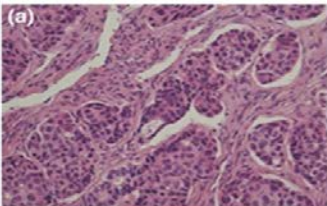
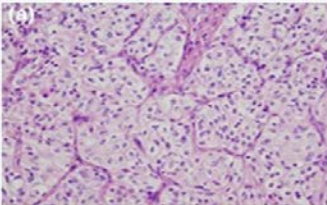
Image generated with AI



- Treniranje, Validacija, Testiranje
- *Feature engineering* – manuelno pronalaženje relevantnih obeležja, konstruisanje vektora obeležja (FV – *feature vector*) za potrebe ulaza
- Mašina obavlja i odabir obeležja i klasifikaciju







Softver za detekciju, odabiranje i analizu masa u digitalnom mamogramu

UCITAJ SLIKU      NAĐJI MASE      PRIKAZI DICOM PODATKE

Originalna slika      Slika sa detektovanim masama

IZDVOJ MASE      SELEKTUJ

Dimenzije mase: 66 x 66 px  
Dimenzije uvećane mase: 350 x 350 px  
Površina mase: 1310 px  
Orijentacija mase u odnosu na x-osu: 34.8973  
Obim mase: 174.7623 px  
Center mase: x-os: 26.7855 y-os: 29.1473  
Elaćcentricitet elipse: 0.9246  
Dužina glavne ose elipse: 45.9168 px  
Dužina manje ose elipse: 37.933 px  
Maksimalni intenzitet piksela: 0.78431  
Minimalni intenzitet piksela: 0.70195  
Prosječni intenzitet piksela: 0.7456

SACUVAJ PODATKE      IZADJI

Detekcija karakterističnih pojava u medicinskoj slici (mase u mamogramu)

Fraktalne i multifraktalne analize medicinskih slika i signala

Originalna slika      Usrednjavanje

Originalna slika      ALM

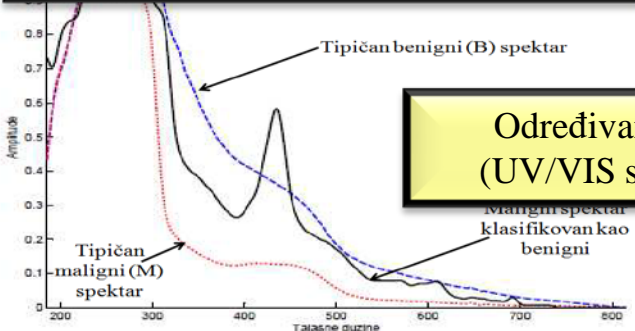
PTR      EM

Gama korekcija      DRCDZMPE

MAX      MIN      OSC

Predloženi postupci adaptivnog filtriranja na osnovu usrednjavanja i tri multifraktalne mere (MAX, MIN i OSC)

Lokalizacija primarnog karcinoma (na osnovu morfologije metastatičnih ćelija kostiju)



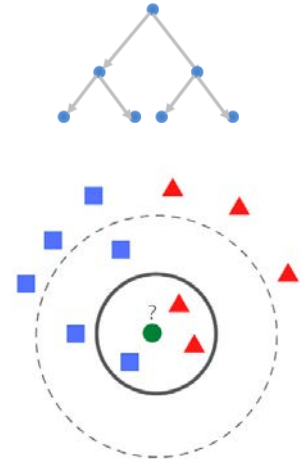
Određivanje stepena maligniteta (UV/VIS spektri pleuralnih izliva)

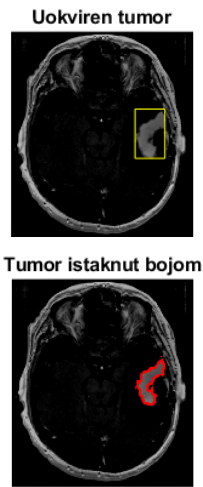
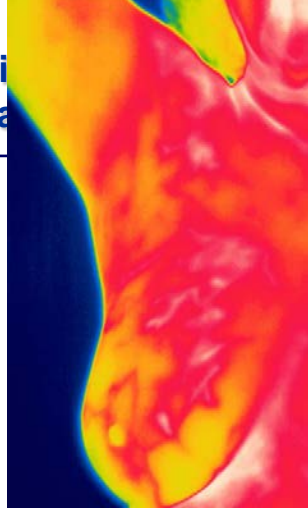
- IPTM iskustva i niz **domaćih i međunarodnih projekata**, među kojima su:
  - ❑ “Automatska detekcija mikrokalcifikacija u digitalizovanom mamogramu u cilju rane dijagnoze karcinoma dojke”
  - ❑ “Razvoj visokokvalitetnih uređaja posebne namene na bazi novih tehnologija kristalnih jedinki”
  - ❑ “Razvoj digitalnih tehnologija i umreženih servisa u sistemima sa ugrađenim elektronskim komponentama” - podprojekat “Telekomunikacioni sistem za razmenu i analizu medicinskih signala”
  - ❑ “RF и микроталасна инфраструктура у информационо комуникационим системима (RFMIKS) ”
  - ❑ “*ECG, PCG, MCG analysis of heart activity*”, EMRC - *European Medical Research Centre Ltd.*
  - ❑ *INTELLI-CHAIR* (интелигентна колица за хендикепиране особе) за *PF-FOUNDATION*
  - ❑ COST 292 “Semantic multimodal analysis of digital media”
  - ❑ COST IC0604 “Anatomic Telepathology Network (EURO-TELEPATH)”
  - ❑ COST IC1002 “Multilingual and Multifaceted Interactive Information Access: MUMIA”
  - ❑ COST IC1005 “HDRI- High Dynamic Range Images”
  - ❑ EUREKA “Digitalizovan uređaj za klasifikaciju UV-VIS signala za dijagnostiku benignih oboljenja i tuberkuloze”
  - ❑ “Компресија слика са високим динамичким опсегом” – bilateralni projekat
  - ❑ “Истраживање нових метода за аутоматску процену квалитета дигиталних слика” – bilateralni projekat
- ...



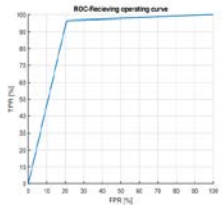
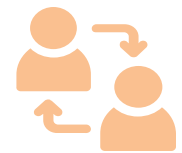
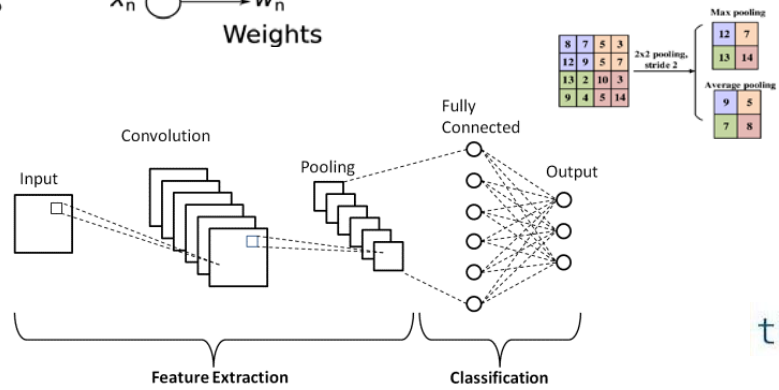
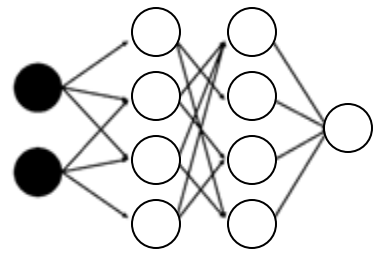
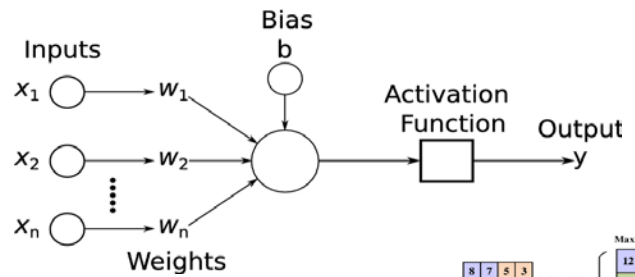
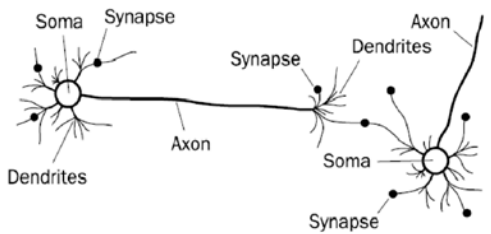


- **AI sistemi** su se razvijali: u skladu sa metodama zasnovanim na znanju, zahvaljujući statistički zasnovanim odlučivanjima i zahvaljujući podacima (*data-driven*)
- **Tipovi mašinskog učenja**
  - **učenje sa nadgledanjem** (*supervised learning*) – npr. stabla odlučivanja – hijerarhijski pristup
  - **učenje bez nadgledanja** (*unsupervised learning*) – traži se pravilnost u ulaznim podacima bez uvida u konkretne i sl. (npr. Algoritam k najbližih suseda)
- **Polunadgledano učenje** (*Semi-supervised learning*) - deo ulaznih podataka ima pridružen izlaz; **učenje sa podrškom** (*Reinforcement learning*) gde se optimalno ponašanje uči kroz akcije sa okuženjem koje se tumači negativno ili pozitivno, a skup akcija je dovodi do pozitivnog rezultata doprinosi korekciji ponašanja.





- **Neuralne mreže**
- Tekstualne anotacije slika, pretraživanje na osnovu sadržaja, kontekstualni pristupi, uključivanje memorije, različite vrste slika ...

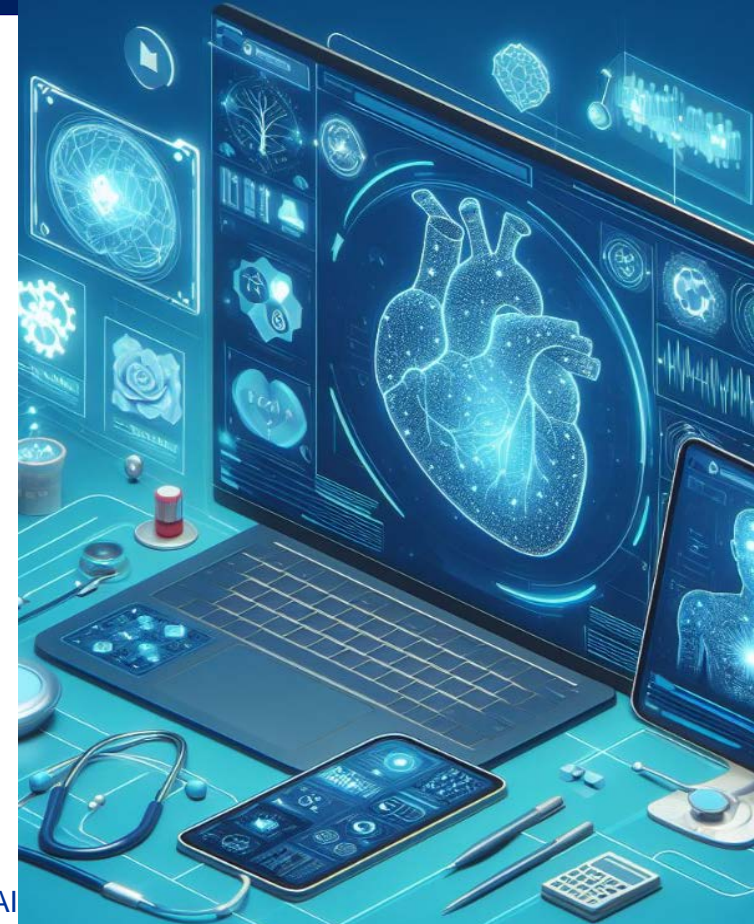


# 4. Poznavanje arhitektura i ograničenja rešenja



- Pomoć **ranog dijagnostikovanja i pretraživanja relevantnih podataka** očekuje se da će u potpunosti izmeniti zdravstvene sisteme
- Bez obzira da li je reč o mamografiji, retinopatiji, kompjuterizovanoj tomografiji, magnetnoj rezonanci itd.
- Koncept “crne kutije”
- Stoga, zbog osetljivosti podataka neophodno je voditi računa o mehanizmima zaštite, regulaciji rada, etičkim pitanjima i integritetu medicinske slike.

Image generated with AI



# Primer upotrebe portala za radiologe

- *Federated learning* – kolaborativno treniranje AI modela od 2022 u domenu radiologije
- AI-Lab
- *Data lake* (sve vrste podataka i centralizacija)
- *Data mining*

<https://ailab.acr.org/>



AI-LAB WELCOME

Sign In HELP

Test An Ophthalmology Model

### Create

Develop your own AI model for a specific AI use case. Select the use case and the data set, preprocess the images, define the architecture, and train and test your model.

Define Problem Prepare Data Configure Model Train and Test

Create Now

### Run

Run inference on selected cases to test the performance of AI models.

Try Now

### Evaluate

Compare the performance of two models on the same data set.

Try Now

### FDA-cleared AI models

To simplify information for radiologists and developers, DSI has developed and continually updates a database of FDA-cleared AI algorithms for medical imaging. Many of the models match the ACR DSI's Define-AI use cases and are linked under related use cases.

View FDA-Cleared AI Models

### COVID-19 Learning Cases

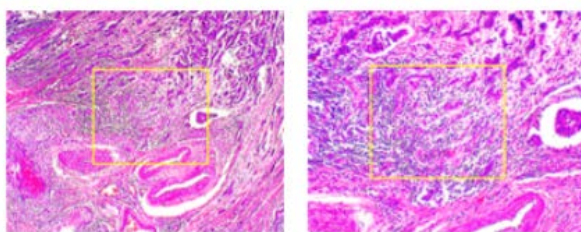
This collection of cases from around the world is intended to help radiologists educate themselves and each other on the imaging appearance of COVID-19. The compendium of negative and positive COVID-19 cases will assist AI developers in creating algorithms for COVID-19.

American College of Radiology



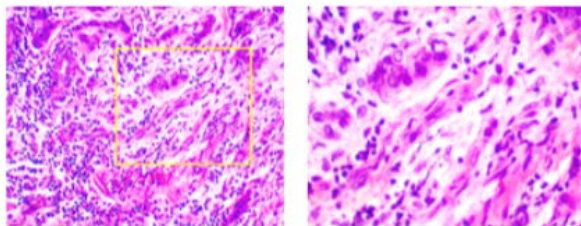
# Primer upotrebe CNN-a u histopatologiji

- Poseban značaj CNN mreža
- Operacija konvolucije u slojevima mreže za primenu filtara
- Mikroskopske slike – veličina anomalije i efekat “isprane” slike -> Faza preprocesiranja
- *Inception* mreže u oblasti CNN mreža



(a)

(b)

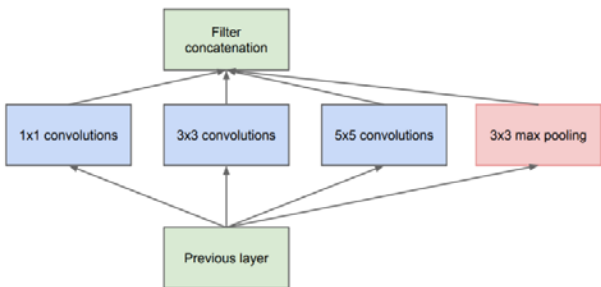
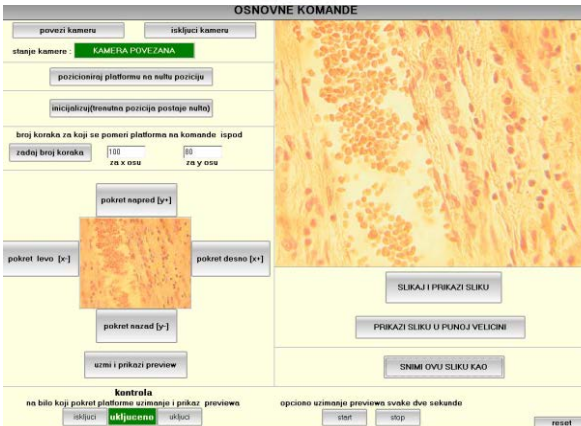


(c)

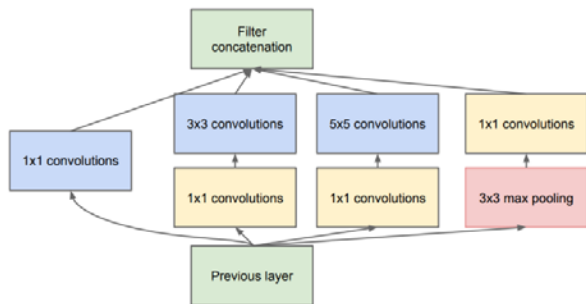
(d)

A slide of breast malignant tumor (stained with HE) seen in different magnification factors: (a) 40X, (b) 100X, (c) 200X, and (d) 400X.

OSNOVNE KOMANDE



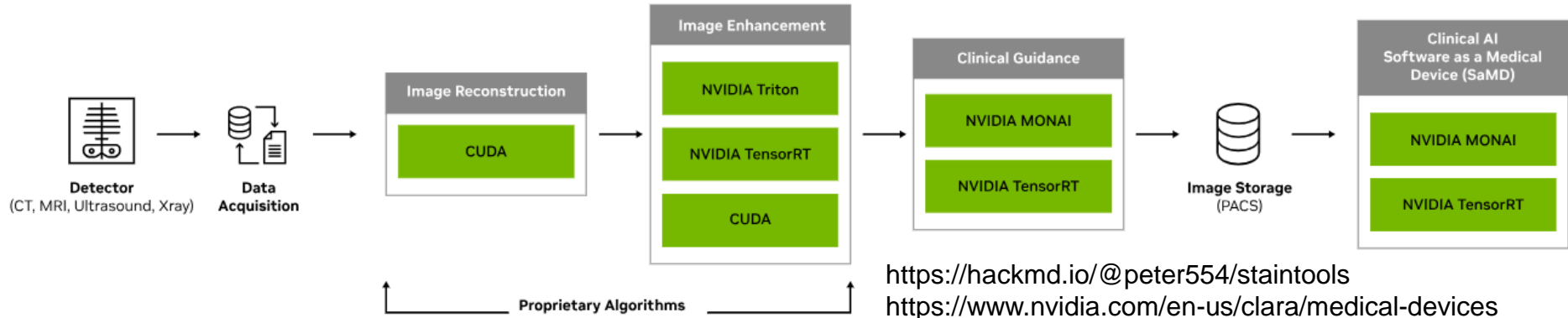
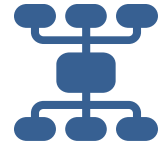
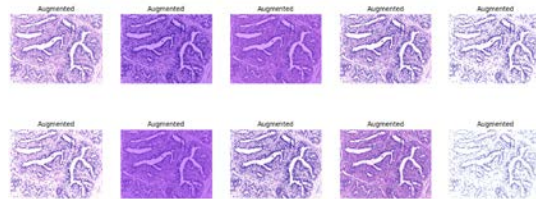
(a) Inception module, naïve version



(b) Inception module with dimension reductions

<https://web.inf.ufpr.br/vri/databases/breast-cancer-histopathological-database-breakhis/>  
<https://paperswithcode.com/method/inception-module>

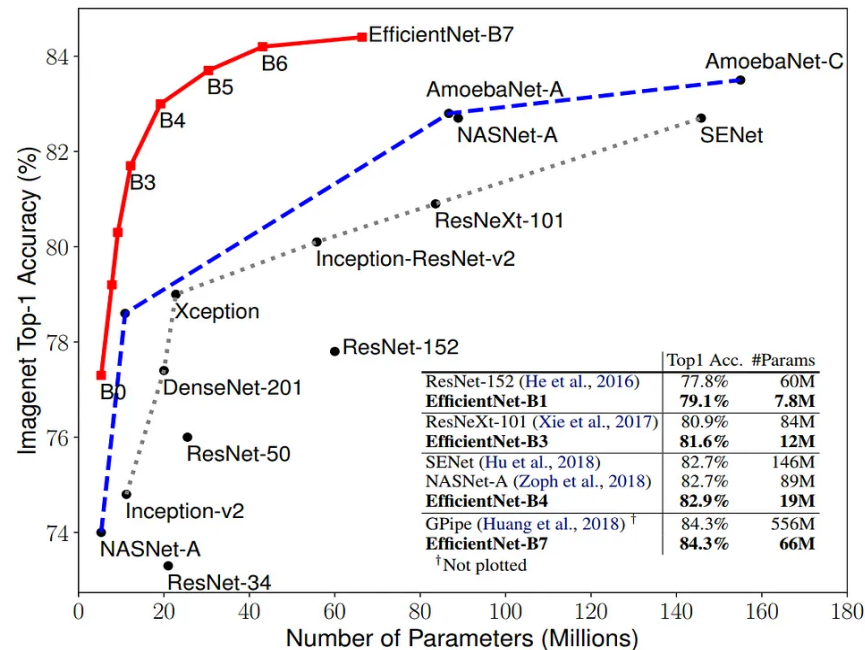
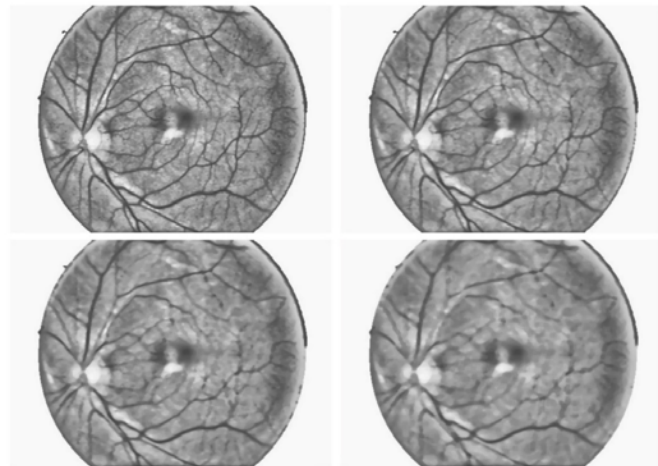
- Nvidia za radiologiju, patologiju, hirurške podatke, genomsku inform.
- *Enterprise-scale medical image storage with AWS HealthImaging*
- MONAI (*Medical Open Network for AI*) i *Clara Deploy SDK* – kontejnerski zasnovano oblak rešenje za radni tok u pametnoj bolnici





# Primer upotrebe CNN-a u dijabetičkoj retinopatiji

- CNN su napredovale – dodavanje slojeva po različitim dimenzijama mreže -> *EfficientNET*
- Npr. primena za detekciju dijabetičke retinopatije



Tan, M., & Le, Q. (2019, May). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114). PMLR.

# IQA – Izbor modela i augmentacija

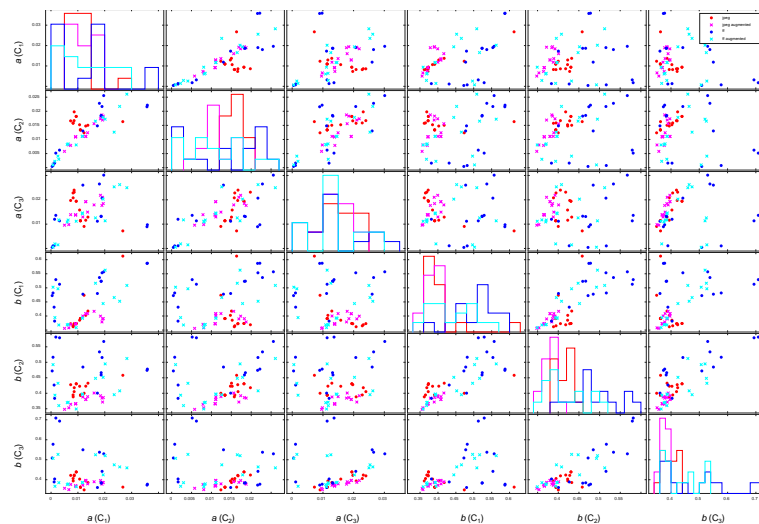
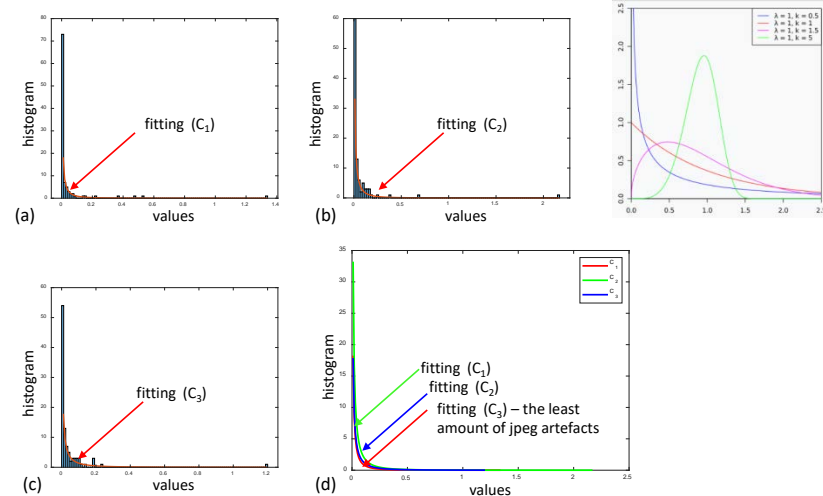
- Kolor-invarijantni prostori u kojima se istražuju artefakti za potrebe Gausovskog fitovanja

$$C_1=0.06*R+0.63*G+0.27*B, C_2=0.3*R+0.04*G-0.35*B,$$
$$C_3=0.34*R-0.6*G+0.17*B.$$

- Gausova raspodela -> Weibull?

- Poređenje parametara pre i posle augmentacije podataka (*Big Data*)
- CGI, AR sadržaj

- Primeri alata za augmentaciju (Python):-  
*Albumantations, Augmentor, Imgaug3, Keras ImageDataGenerator* i sl.



A. Gavrovska, A. Samčović, D. Dujković, Y. Golub, V. Starovoitov, Weibull distribution based model behavior in color invariant space for blind image quality evaluation, Tenth international scientific and practical conference BIG DATA and Advanced Analytics, pp. 254 – 261, 2024

## Primer ocene kvaliteta (NR-IQA)

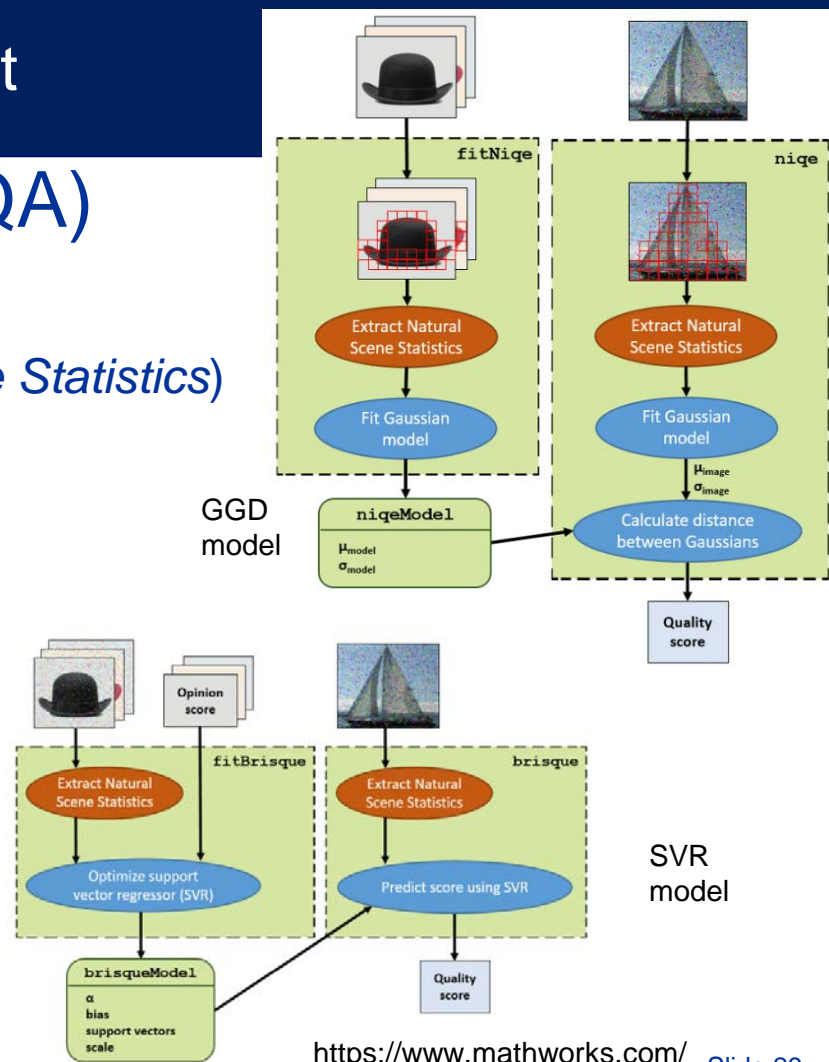
- VMAF – Netflix metrika;
- Slika i blokovi (*patches*); NSS (*Natural Scene Statistics*) model i perceptivna osetljivost
- MSCN (*subtracted contrast normalized*) za intenzitetsku sliku  $I$ :

$$I_n(i) = \frac{I(i, j) - \mu(i, j)}{\sigma(i, j) + C}, \quad (1)$$

$$\mu(i, j) = \sum_m \sum_n w_{m,n} I_{m,n}(i, j), \quad (2)$$

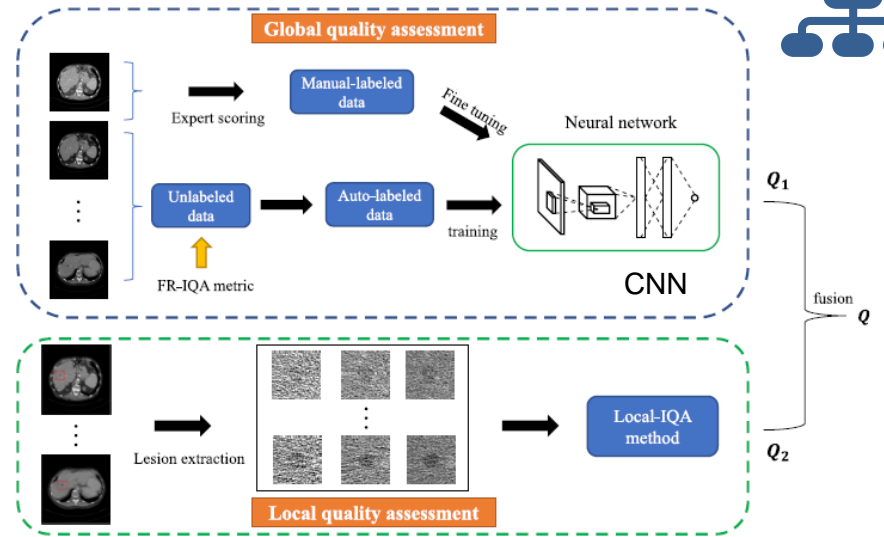
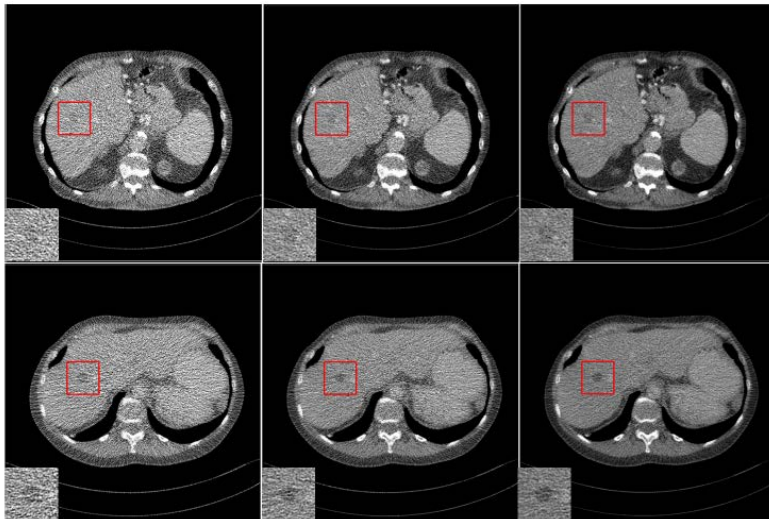
$$\sigma(i) = \sqrt{\sum_m \sum_n w_{m,n} (I_{m,n}(i, j) - \mu(i, j))^2}, \quad (3)$$

i dobijanje različitih modela za NR-IQA zasnovanih na prebrojavanju kritičnih blokova



# Primer ocene kvaliteta (NR-IQA) za medicinsku sliku

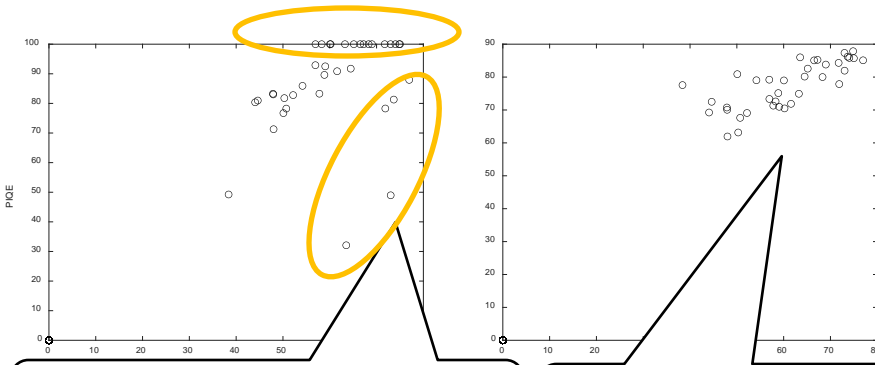
- CT i analiza lezija – kombinacija lokalne i globalne estimacije; uključivanje i FR-IQA u analizi
- MSCN koeficijenti u ulozi procene kada se može obaviti dijagnostika



# Primer ocene kvaliteta (NR-IQA)

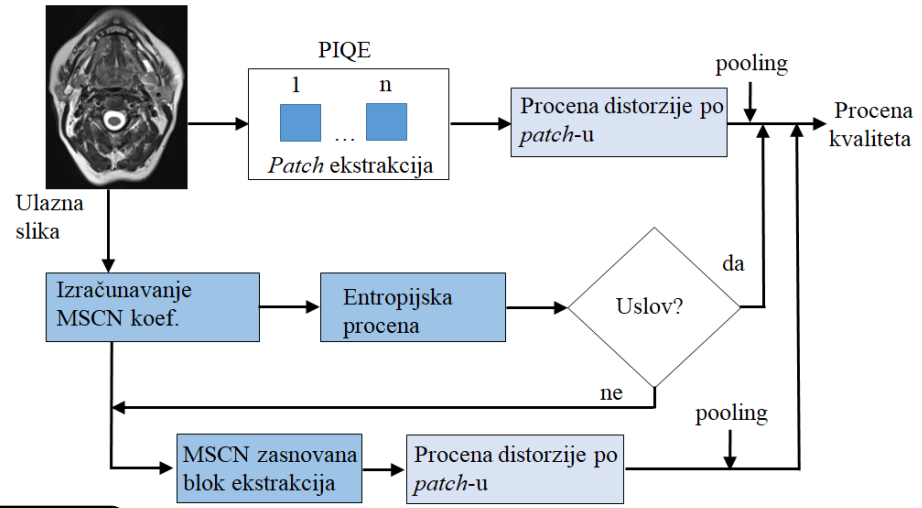


- Predloženi NR-IQA model (MSCN koeficijenti i SVR)
- Testiranje daje značajne varijacije u estimaciji kvaliteta i entropijske evaluacije
- Kontinuitet u davanju ocena
- Korigovanje estimacija



Rezultati off-the-shelf pretreniranih modela

Entropijski zasnovan pristup za unapređenje



April 2024



# 5. Perspektive daljeg razvoja - zaključak



- **Perspektive daljeg razvoja** oblasti koje uključuju medicinski imidžing i primenu IKT u oblastima **obrade medicinske slike, telemedicine, medicinske informatike** i drugih srodnih oblasti
- Mehanizmi privatnosti, zaštite i obezbeđivanje sigurnog rada (HIPAA, HITECH, GDPR, ... ) -> sajberbezbednost
- **Etika u upotrebi AI i pitanja vezana za korišćenje AI alata u kliničkoj praksi:**
  - procena rizika za pacijente i lekare koji su povezani sa primenom AI
  - određivanje potrebnog nivoa obrazovanja i veština neophodnih sa bezbednu primenu AI
  - uveravanje da podaci testiranja tačno odražavaju ciljanu grupu (*clinical cohort*)
  - uspostavljanje procesa za praćenje uticaja (ishodi, privatnost, nenamerna diskriminacija) AI na pacijente i pružaoce usluga/servisa
  - praćenje autonomnih i inteligentnih alata koje pokreće AI kako bi potvrdili kako rade u kliničkoj praksi
  - postavljanje zaštitnih ograda kako bi se odredilo kada, a kada ne primeniti autonomne/inteligentne agente.







# Hvala na pažnji!







## Literatura

1. Subasi, A. (2022). *Applications of artificial intelligence in medical imaging*. Elsevier Science Publishing Company Incorporated.
2. Razmjoo, N., & Rajinikanth, V. (2022). *Frontiers of Artificial Intelligence in Medical Imaging*. IOP Publishing.
3. Ranschaert, E. R., Morozov, S., & Algra, P. R. (Eds.). (2019). *Artificial intelligence in medical imaging: opportunities, applications and risks*. Springer.
4. Najjar, R. (2023). Redefining radiology: a review of artificial intelligence integration in medical imaging. *Diagnostics*, 13(17), 2760.
5. DICOM standard, <https://www.dicomstandard.org/>
6. I. Reljin, A. Gavrovska, Telemedicina, Akademska misao, 2013
7. Geis, J. R., Brady, A. P., Wu, C. C., Spencer, J., Ranschaert, E., Jaremko, J. L., ... & Kohli, M. (2019). Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American multisociety statement. *Radiology*, 293(2), 436-440.
8. Bhatt, C., Kumar, I., Vijayakumar, V., Singh, K. U., & Kumar, A. (2021). The state of the art of deep learning models in medical science and their challenges. *Multimedia Systems*, 27(4), 599-613.
9. Tan, M., & Le, Q. (2019, May). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114). PMLR.
10. A. Gavrovska, Analysis of large-deviation multifractal spectral properties through successive compression for double JPEG detection, MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS, pp. 1 - 23, Mar, 2023
11. Q. Gao, S. Li, M. Zhu, D. Li, Z. Bian, Q. Lv, ... and J. Ma Sr, "Combined global and local information for blind CT image quality assessment via deep learning," In *Medical Imaging 2020: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*, Vol. 11316, 242-247, SPIE, (2020).
12. M. Mirkov, A. Gavrovska, Tumor Detection using Brain MRI and Low-dimension Co-occurrence Feature Approach, SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 19, No. 3, pp. 273 - 289, Oct, 2022
13. A. Gavrovska, A. Samčović, D. Dujković, Y. Golub, V. Starovoitov, Weibull distribution based model behavior in color invariant space for blind image quality evaluation, Tenth international scientific and practical conference BIG DATA and Advanced Analytics, pp. 254 – 261, 2024
14. A. Gavrovska, A. Samčović, D. Dujković, No-reference Perception Based Image Quality Evaluation Analysis using Approximate Entropy, 6th International Conference on "Pattern Recognition and Information Processing" - PRIP2023, pp. 283 - 286, BSU, Oct, 2023