

# Využití umělé inteligence v astronomii

Tomáš Plšek

# Obsah

---

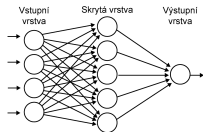
- **Umělá inteligence**
- Neuronová síť
- Využití umělé inteligence
- Umělá inteligence v astronomii
- Cavity Detection Tool (CADET)



# Obsah

---

- Umělá inteligence
- **Neuronová síť**
- Využití umělé inteligence
- Umělá inteligence v astronomii
- Cavity Detection Tool (CADET)



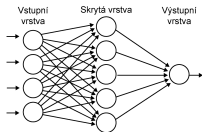
# Obsah

---

- Umělá inteligence



- Neuronová síť



- **Využití umělé inteligence**



- Umělá inteligence v astronomii

- Cavity Detection Tool (CADET)

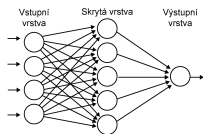
# Obsah

---

- Umělá inteligence



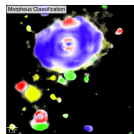
- Neuronová síť



- Využití umělé inteligence



- **Umělá inteligence v astronomii**

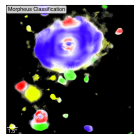
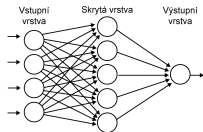


- Cavity Detection Tool (CADET)

# Obsah

---

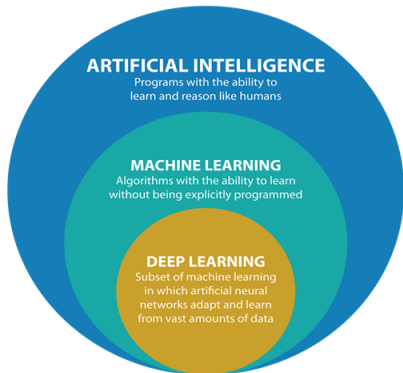
- Umělá inteligence
- Neuronová síť
- Využití umělé inteligence
- Umělá inteligence v astronomii
- **Cavity Detection Tool (CADET)**



# Co je to AI?

---

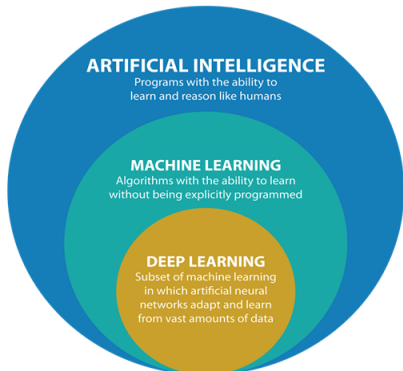
- AI = *artificial intelligence*  
– umělá inteligence



# Co je to AI?

---

- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence
- ML = *machine learning*
  - strojové učení
- DL = *deep learning*
  - hluboké učení
- (D)NN = (*deep*) *neural network*
  - (hluboká) neuronová síť

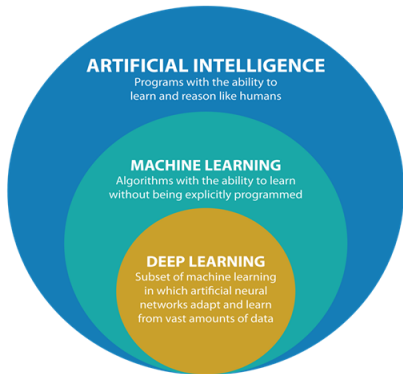




# Co je to AI?

---

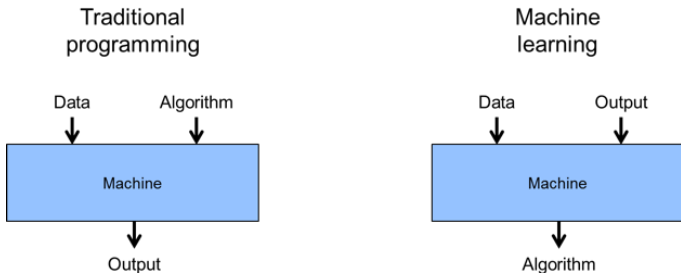
- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence
- ML = *machine learning*
  - strojové učení
- DL = *deep learning*
  - hluboké učení
- (D)NN = (*deep*) *neural network*
  - (hluboká) neuronová síť
- AGI = *artificial general intelligence*
  - všeobecná umělá inteligence



# Strojové učení

---

Strojové učení je soubor algoritmů s nastavitelnými parametry, které se pomocí trénovacích dat dokáží naučit zobecňovat a předpovídat pro dříve neviděné data.



# Historický vývoj

---

1952 - program hrající dámu (Arthur Samuel)

1957 - **perceptron** (Frank Rosenblatt)

1967 - algoritmus N-nejbližších sousedů

...

1997 - Deep Blue (IBM) poráží G. Kasparova

2012 - neuronová síť na rozpoznávání koček a psů (Google Brain)

2014 - systém na rozpoznávání obličejů (Facebook)

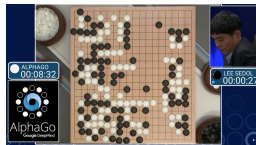
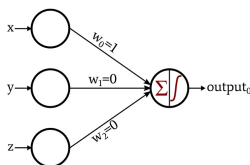
2016 - AlphaGo (Deepmind) poráží Lee Sedola

2018 - predikce struktury proteinů (AlphaFold)

2021 - velké jazykové modely (**ChatGPT**)

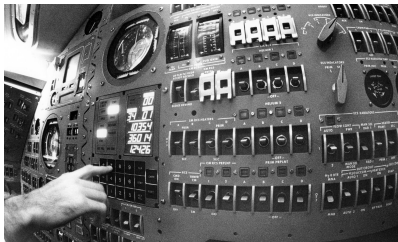
...

2050? - všeobecná umělá inteligence (AGI)



# Proč až teď? - Hardware

---



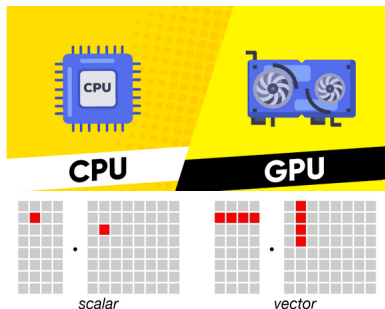


# Proč až teď? - Hardware

---

## CPU

- = central processing unit
- procesor
- skalární operace
- rychlé výpočty (GHz)



# Proč až teď? - Hardware

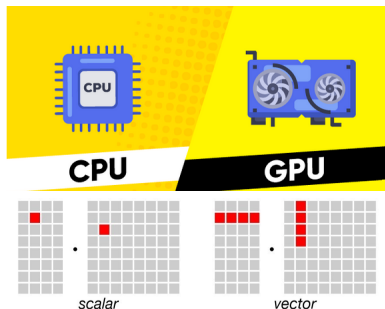
---

## CPU

- = central processing unit
- procesor
- skalární operace
- rychlé výpočty (GHz)

## GPU

- = graphical processing unit
- grafická karta
- vektorové operace
- pomaleji tisíce výpočtů



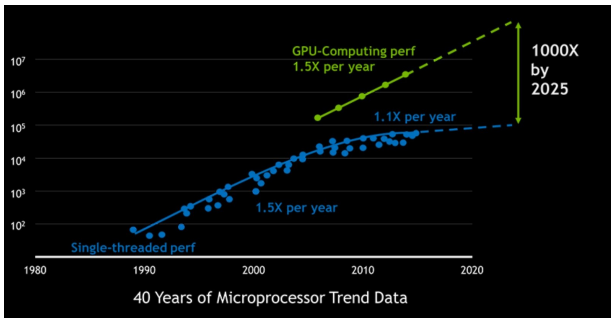
# Proč až teď? - Hardware

## CPU

- = central processing unit
- procesor
- skalární operace
- rychlé výpočty (GHz)

## GPU

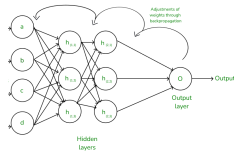
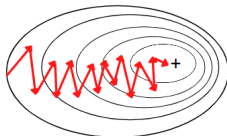
- = graphical processing unit
- grafická karta
- vektorové operace
- pomaleji tisíce výpočtů





# Proč až teď? - Software

- vývoj algoritmů strojového učení
    - stochastické hledání minima
    - zpětná propagace
- ⇒ hluboké neuronové sítě

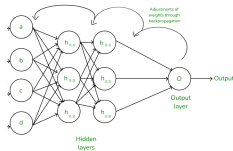
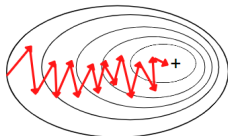


# Proč až teď? - Software

- vývoj algoritmů strojového učení

- stochastické hledání minima
- zpětná propagace

⇒ hluboké neuronové sítě



- optimalizace GPU knihoven

- CUDA (**NVIDIA**)
- řádové zrychlení výpočtů



cuBLAS

GPU-accelerated basic linear algebra (BLAS) library



cuFFT

GPU-accelerated library for Fast Fourier Transforms



CUDA Math Library

GPU-accelerated standard mathematical function library

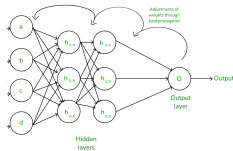
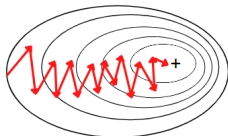


cuRAND

GPU-accelerated random number generation (RNG)

# Proč až teď? - Software

- vývoj algoritmů strojového učení
  - stochastické hledání minima
  - zpětná propagace⇒ hluboké neuronové sítě
- optimalizace GPU knihoven
  - CUDA (**NVIDIA**)
  - řádové zrychlení výpočtů
- velmi jednoduché použití
  - Keras (**Google**), Pytorch (**Meta**)
  - cloudové služby (free GPU)



cuBLAS

GPU-accelerated basic linear algebra (BLAS) library



cuFFT

GPU-accelerated library for Fast Fourier Transforms



CUDA Math Library

GPU-accelerated standard mathematical function library



cuRAND

GPU-accelerated random number generation (RNG)

```
1 from keras.models import Sequential
2 from keras.layers import Dense
3 from keras.optimizers import Adam
4
5 model = Sequential()
6 model.add(Dense(units=32, activation='relu', input_dim=2))
7 model.add(Dense(units=32, activation='relu', input_dim=2))
8 model.add(Dense(units=1))
9
10 model.compile(optimizer=Adam(lr=0.001), loss='mean_squared_error')
11
12 model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=4)
```

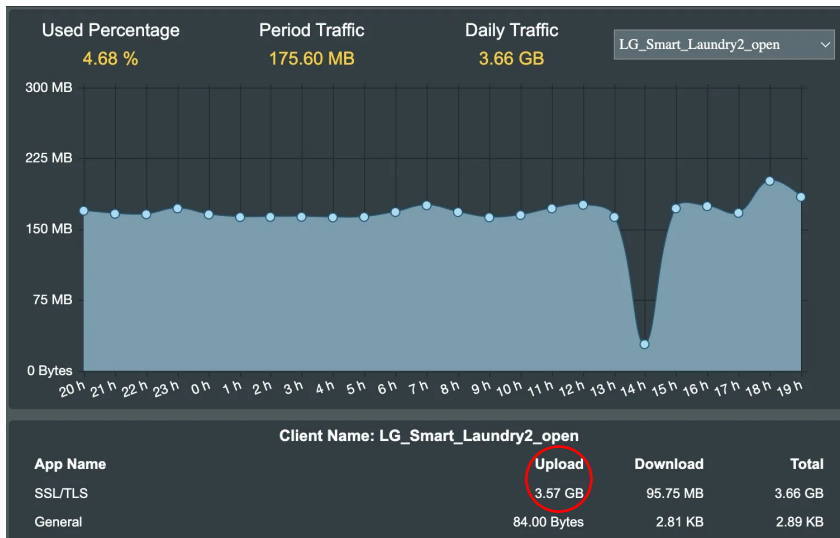
## Proč až teď? - Data

---

- záznamová zařízení
  - bezpečnostní/palubní kamery
  - mobilní telefony
- chytrá zařízení
  - IoT = *internet of things*
  - hodinky, pračky, domácnost..



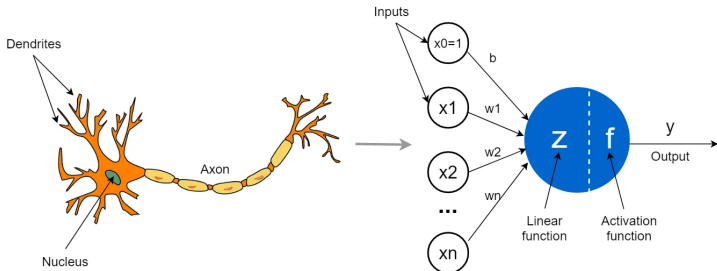
# Proč až teď? - Data





# Neuron

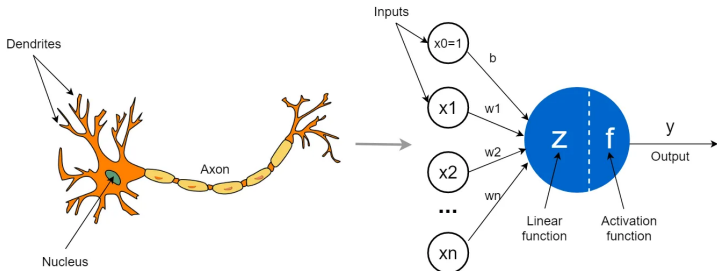
- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)



# Neuron

- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

$$y = f(\overbrace{\sum_i w_i x_i + b}^z)$$

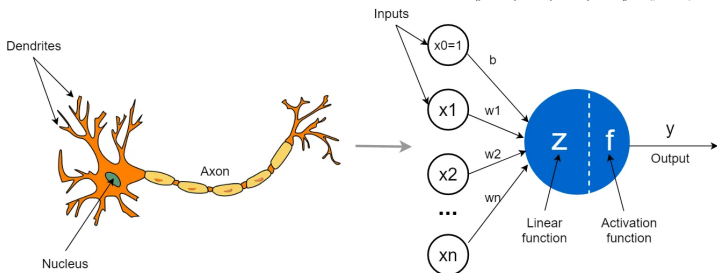
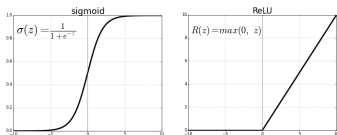




# Neuron

- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

$$y = f\left(\underbrace{\sum_i w_i x_i + b}_z\right)$$



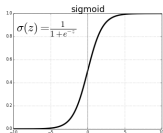
# Neuron

---

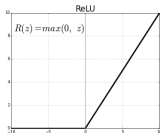
- umělý neuron = základní stavební jednotka

- každý neuron má vstup  $x_i$
- každé spojení má váhu  $w_i$
- každý neuron má tzv. bias  $b$
- aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

$$y = f\left(\overbrace{\sum_i w_i x_i}^z + b\right)$$



klasifikace



regrese

- neurony se spojují do vrstev

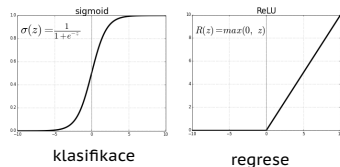
- vstupní (data) a výstupní vrstva (klasifikace/regrese)

# Neuron

- umělý neuron = základní stavební jednotka

- každý neuron má vstup  $x_i$
- každé spojení má váhu  $w_i$
- každý neuron má tzv. bias  $b$
- aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

$$y = f\left(\sum_i w_i x_i + b\right)$$



- neurony se spojují do vrstev

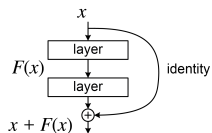
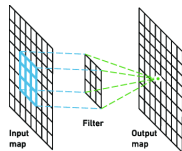
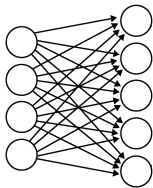
- vstupní (data) a výstupní vrstva (klasifikace/regrese)

- skryté vrstvy

- husté vrstvy

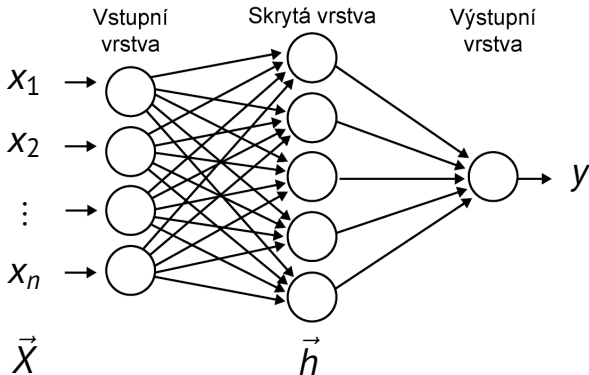
- konvoluční

- reziduální



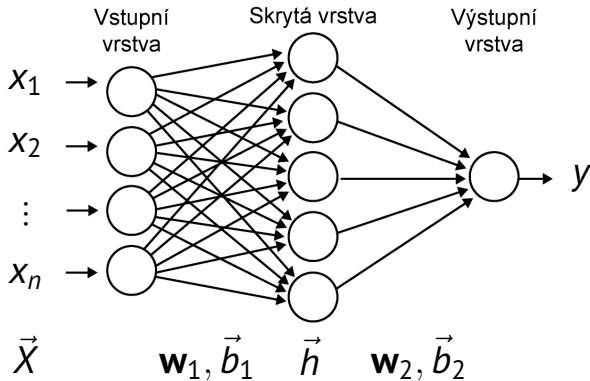
# Neuronová síť

---

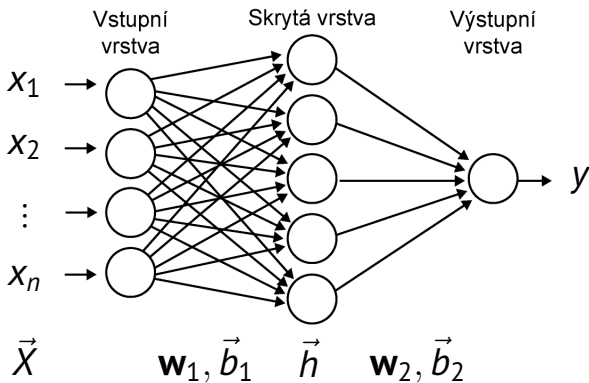


# Neuronová síť

---



# Neuronová síť

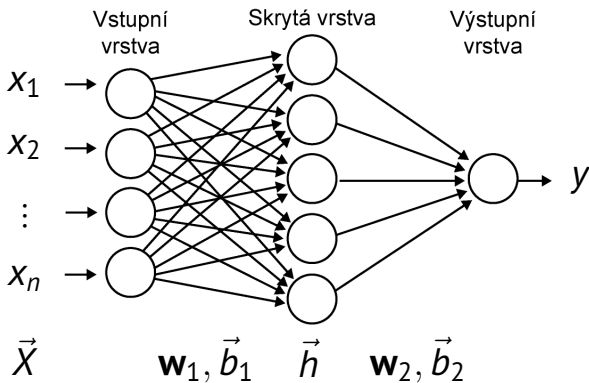


$$\mathbf{w}_1 = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & \cdots & w_{mn} \end{pmatrix}$$

$$\vec{b}_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$$

# Neuronová síť

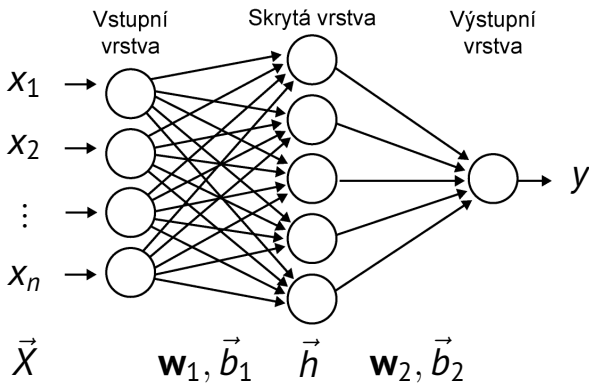
---



$$\vec{h} = f_1 \left( \mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1 \right)$$

# Neuronová síť

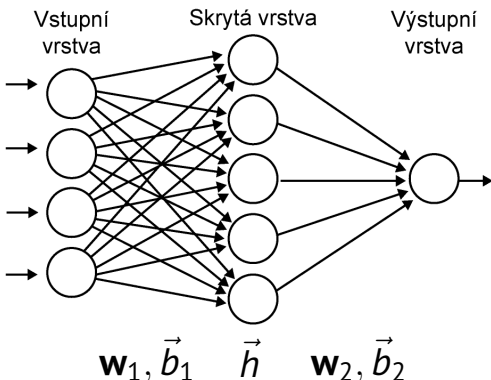
---



$$\vec{h} = f_1(\mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1) \quad y = f_2(\mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2)$$

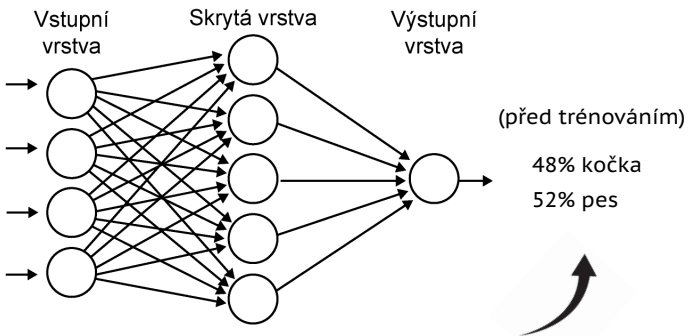


# Neuronová síť



$$\vec{h} = f_1(\mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1) \quad y = f_2(\mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2)$$

# Neuronová síť



náhodné



$$\vec{h} = f_1(\mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1)$$

náhodné



$$y = f_2(\mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2)$$

# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )

# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )

pes (0)



kočka (1)



# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )
- cílem je najít zobrazení  $F(\vec{X}) = y$

pes (0)



kočka (1)



# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )
- cílem je najít zobrazení  $F(\vec{X}) = y$
- *loss function* - funkce penalizující špatné predikce
- *backpropagation* = zpětná propagace
  - aktualizujeme váhy  $\mathbf{w}$  a biasy  $\vec{b}$
- stochastické hledání minima (SGD)
  - postupujeme po krocích (batchích)

pes (0)

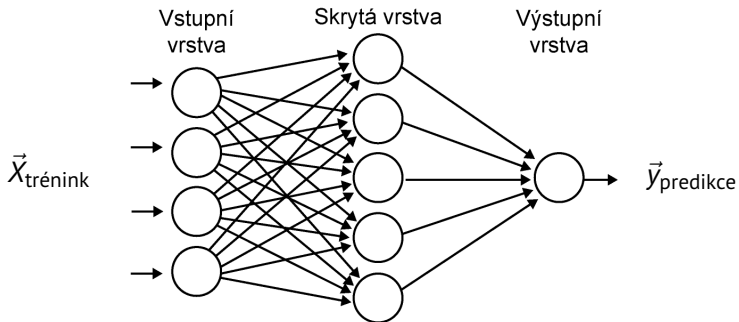


kočka (1)



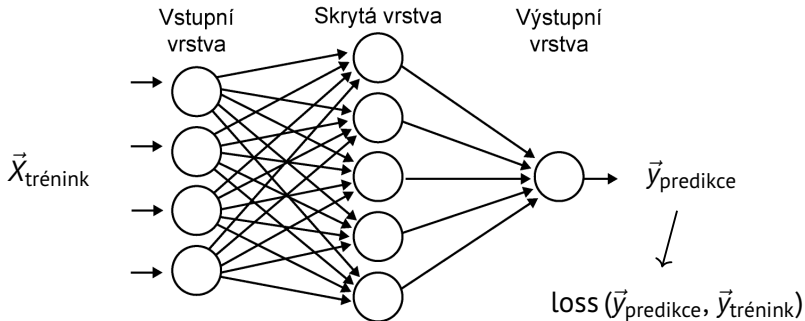
# Trénování

---



# Trénování

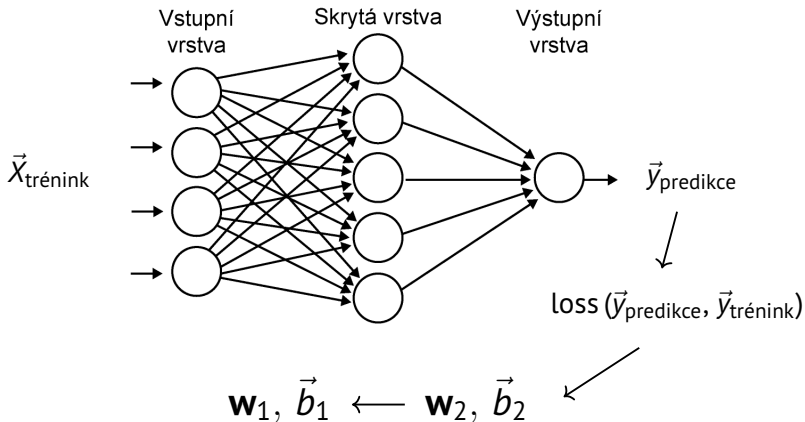
---



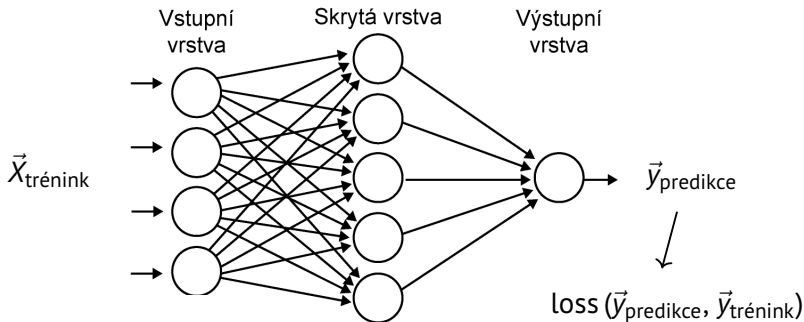


# Trénování

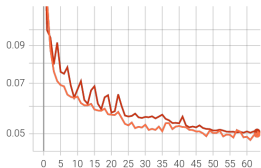
---



# Trénování



epoch\_loss  
tag: epoch\_loss

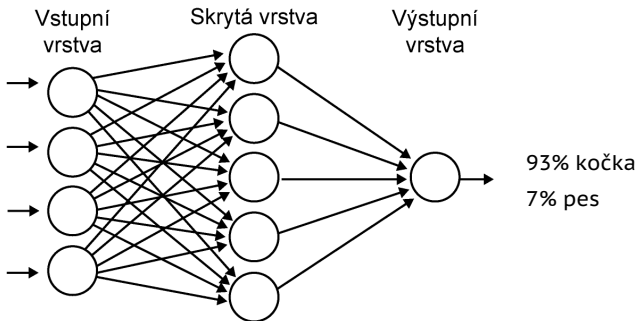


$$\mathbf{w}_1, \vec{b}_1 \leftarrow \mathbf{w}_2, \vec{b}_2$$

# Použití

---

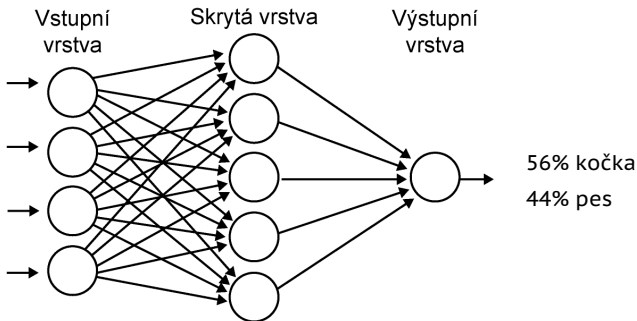
- omezené použití - klasifikátor psů a koček
- zná jen určitý typ vstupu (snímek) a výstupu (0 – 1)



# Použití

---

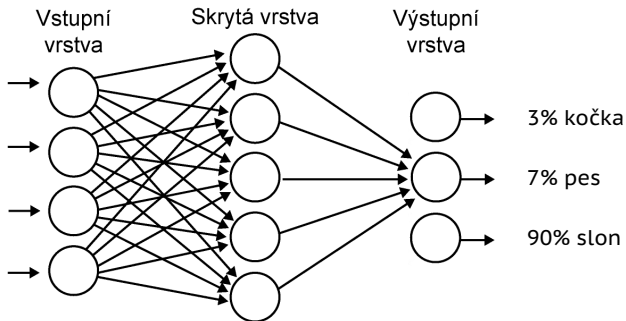
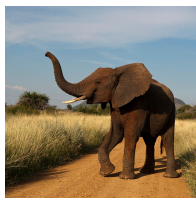
- omezené použití - klasifikátor psů a koček
- zná jen určitý typ vstupu (snímek) a výstupu (0 – 1)



# Použití

---

- omezené použití - klasifikátor psů a koček
- zná jen určitý typ vstupu (snímek) a výstupu (0 – 1)
- pro použití na slony je potřeba přidat výstupní neurony a přetrénovat



# Co je a co není AI?

---

## spam filtr

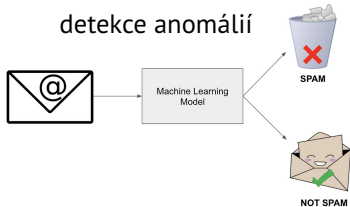
klíčová slova

„výhra“

„zdarma“

„Nigerijský princ“

detekce anomálií



# Co je a co není AI?

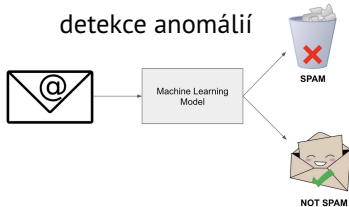
---

## spam filtr

klíčová slova

„výhra“  
„zdarma“  
„Nigerijský princ“

detekce anomálií



## automatické otevírání dveří

fotobuňka



rozpoznání obličejů



## Analýza zvuku & obrazu

---

- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text

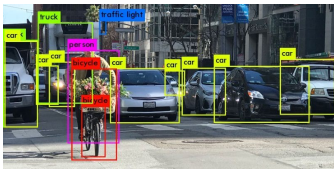




# Analýza zvuku & obrazu

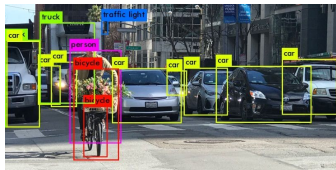
---

- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text
- rozpoznávání objektů, obličejů
  - zdravotnictví
  - bezpečnostní systémy



# Analýza zvuku & obrazu

- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text
- rozpoznávání objektů, obličejů
  - zdravotnictví
  - bezpečnostní systémy
- obrazová segmentace
  - automatizace v průmyslu
  - např. hledání defektů



# Generování obsahu

---

- generování obrázků
- deepfake videa (Vít Rakušan)
- překlad videí (Donald Trump)
- velké jazykové modely
  - ChatGPT (chatbot)
  - Copilot (generování kódu)

# Generování obsahu

---

- generování obrázků
- deepfake videa (Vít Rakušan)
- překlad videí (Donald Trump)
- velké jazykové modely
  - ChatGPT (chatbot)
  - Copilot (generování kódu)

„Astronaut na Měsíci jedoucí na koni.“



# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita



# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita
- samořídící auta  
– Tesla, Waymo



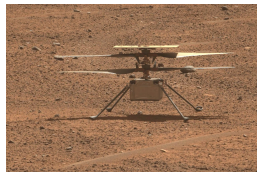
# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita
- samořídící auta  
– Tesla, Waymo



- vrtulník Ingenuity na Marsu  
– zpoždění až 20 minut  
→ automatické řízení



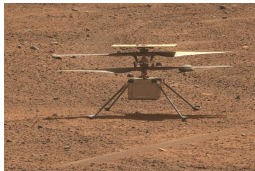
# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita
- samořídící auta
  - Tesla, Waymo



- vrtulník Ingenuity na Marsu
  - zpoždění až 20 minut
  - automatické řízení



- ovládání robotů





## Proč používat AI v astronomii?

---

- množství & komplexnost data ("petabajty")
- automatizace & nahrazení lidských úkonů

1 PB =  $10^6$  GB

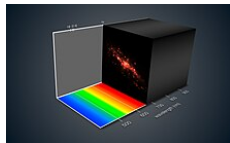
## Proč používat AI v astronomii?

---

- množství & komplexnost data ("petabajty")
- automatizace & nahrazení lidských úkonů
- data v astronomii
  - 1D (fotometrie, světelné křivky, spektra)
  - 2D (snímky)
  - komplexní data (Muse, XRISM)

1 PB =  $10^6$  GB

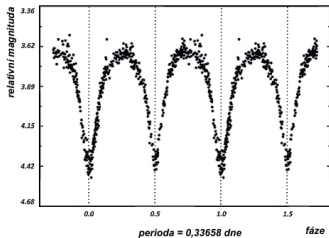
- typy problémů
  - klasifikace - proměnné / neproměnné, hvězda / kvazar
  - regrese - teplota hvězdy, hmotnost galaxie
  - komplexní - odšumění obrazu, segmentace obrazu



# Světelné křivky

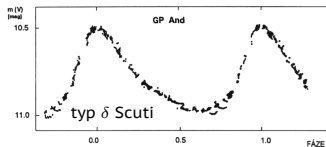
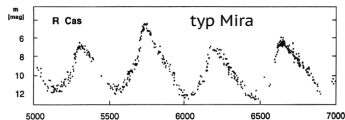
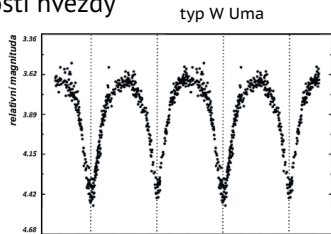
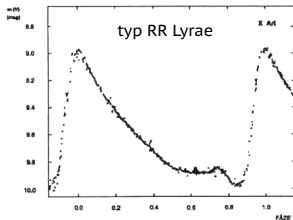
---

- světelná křivka = časová závislost jasnosti hvězdy



# Světelné křivky

- světelná křivka = časová závislost jasnosti hvězdy
- liší se pro různé typy proměnnosti
  - oddělené zákrytové dvojhvězdy
  - blízké zákrytové (W Uma)
  - rotující proměnné hvězdy
  - pulzující hvězdy (RR Lyrae,  $\delta$  Scuti)
  - dlouhoperiodické hvězdy (Mira)



# Klasifikace světelných křivek

---

- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx$  170 000 křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)

ORIGINAL RESEARCH article

Front. Astron. Space Sci., 08 November 2021

Sec. Astrostatistics

Volume 8 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.7318139>

## Classification of Variable Stars Light Curves Using Long Short Term Memory Network



Saksham Bassi<sup>1\*</sup>



Kaushal Sharma<sup>2</sup>



Atharva Gomekar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, NY, United States

<sup>2</sup> Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES), Nainital, India

<sup>3</sup> Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States

# Klasifikace světelných křivek

- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx 170\,000$  křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)



ORIGINAL RESEARCH article

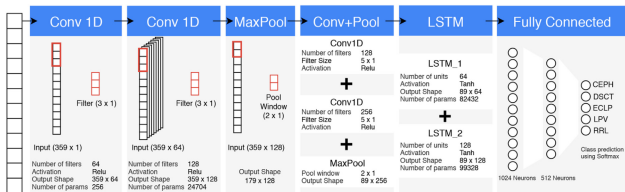
Front. Astron. Space Sci., 08 November 2021

Sec. Astrostatistics

Volume 8 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.738139>

## Classification of Variable Stars Light Curves Using Long Short Term Memory Network

 Saksham Bassi<sup>1</sup>
 Kaushal Sharma<sup>2</sup>
 Atharva Gomekar<sup>3</sup>

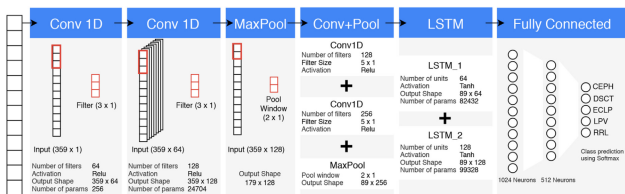
<sup>1</sup> Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, NY, United States<sup>2</sup> Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES), Nainital, India<sup>3</sup> Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States

# Klasifikace světelných křivek

- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx 170\,000$  křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)

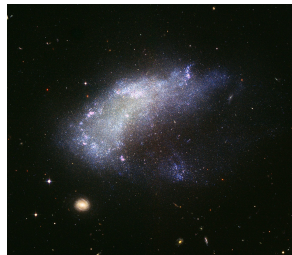
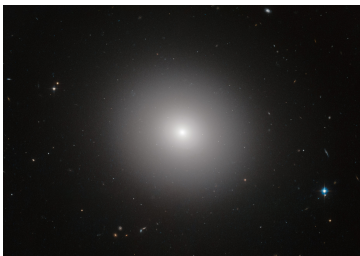
úspěšnost  $\approx 91\%$

	CEPH	DSCT	ECLP	LPV	RRL
CEPH	0.796	0	0.004	0	0.2
DSCT	0	0.837	0	0.163	0
ECLP	0	0	1	0	0
LPV	0	0.07	0	0.93	0
RRL	0.013	0	0.001	0.001	0.985
	CEPH	DSCT	ECLP	LPV	RRL



# Klasifikace galaxií

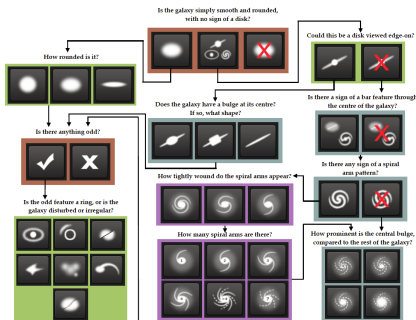
---





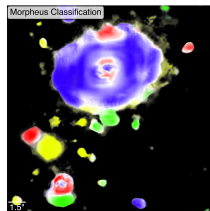
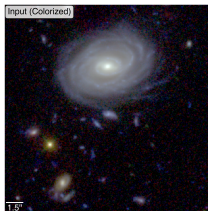
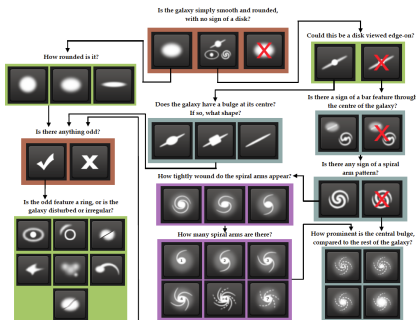
# Klasifikace galaxií

- Galaxy Zoo (odkaz)
  - využívá občanskou vědu
  - cílem vytvořit trénovací data
  - klasifikace galaxií
    - spirální, eliptické, čočkové
    - prstence, mergery



# Klasifikace galaxií

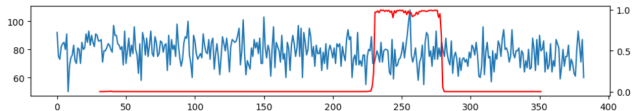
- Galaxy Zoo (odkaz)
  - využívá občanskou vědu
  - cílem vytvořit trénovací data
  - klasifikace galaxií
    - spirální, eliptické, čočkové
    - prstence, mergery
- Morpheus (odkaz)
  - obrazová segmentace
  - sférické (červená)
  - diskové (modrá)
  - nepravidelné (zelená)
  - kompaktní zdroje (žlutá)



## Další využití

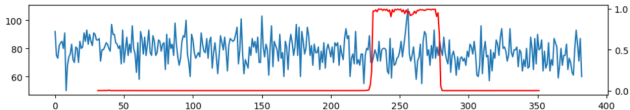
---

- hledání záblesků gamma

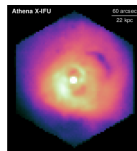
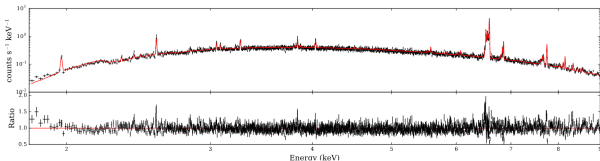


# Další využití

- hledání záblesků gamma

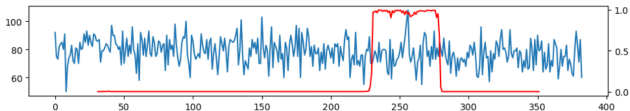


- spektrální klasifikace

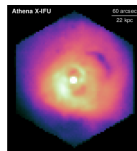
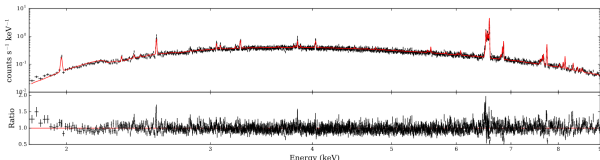


# Další využití

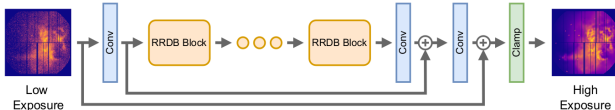
- hledání záblesků gamma



- spektrální klasifikace



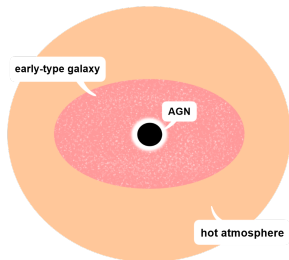
- odšumění snímků (optických, rentgenových)



# Cavity Detection Tool (CADET)

---

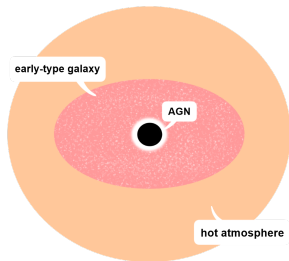
- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

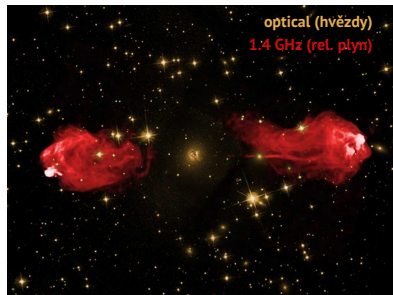
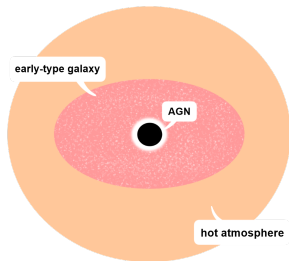
---

- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

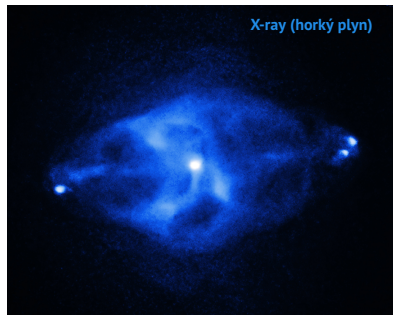
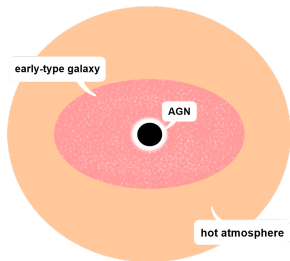
- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny





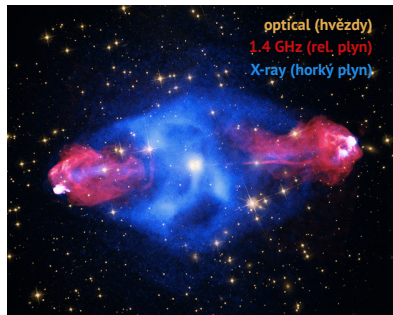
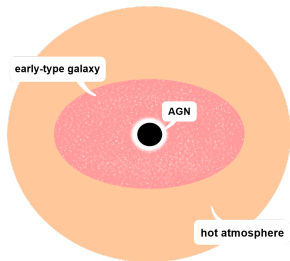
# Cavity Detection Tool (CADET)

- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



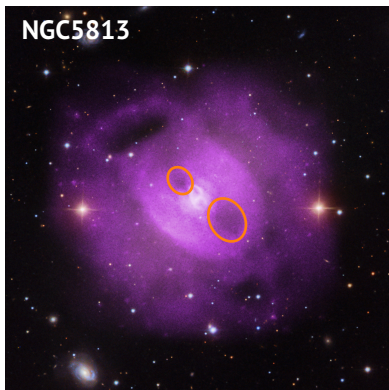
## Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

---



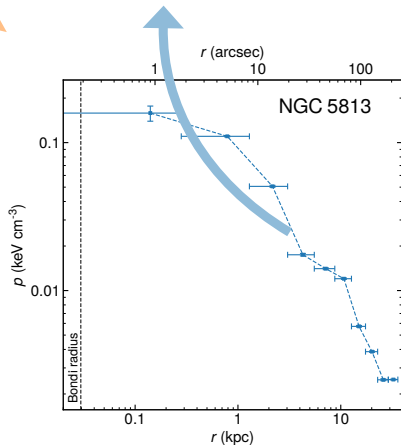
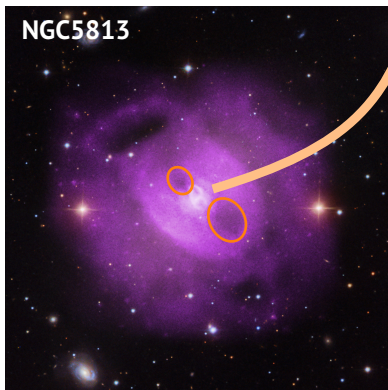
# Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

---



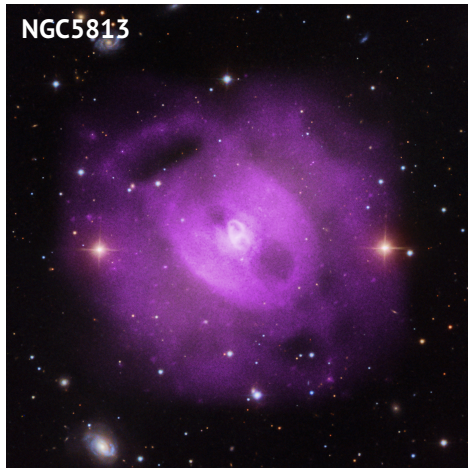
# Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

Energie  $\approx$  objem  $\times$  tlak



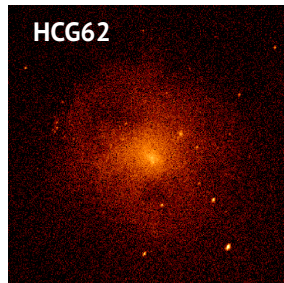
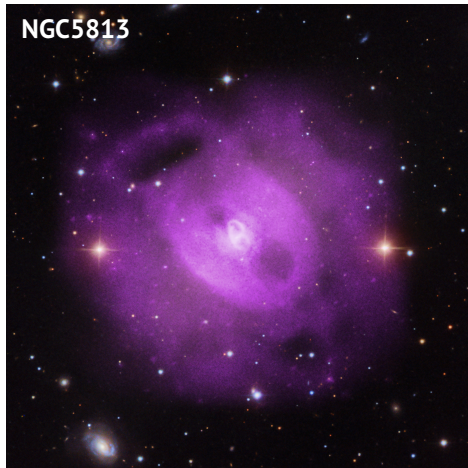
# Proč používat strojové učení?

---



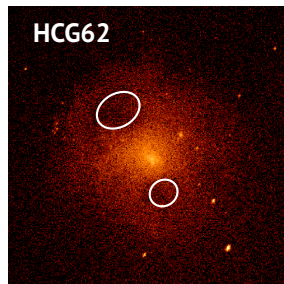
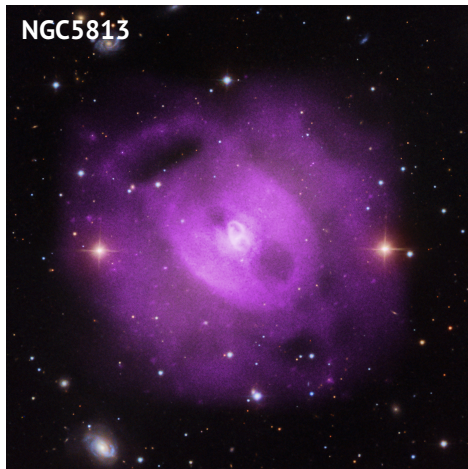
# Proč používat strojové učení?

---



# Proč používat strojové učení?

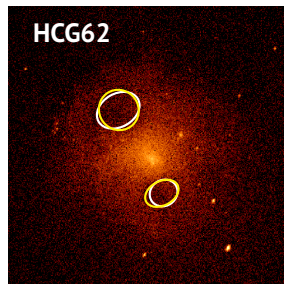
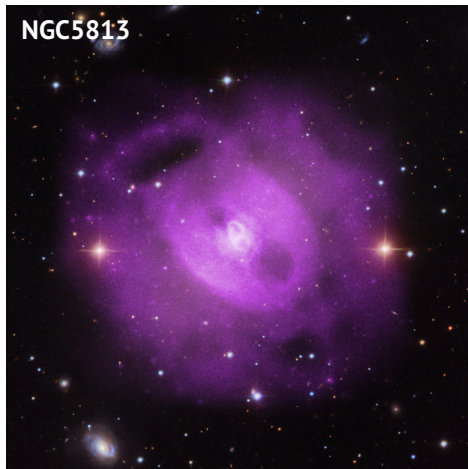
---





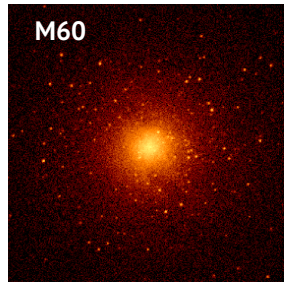
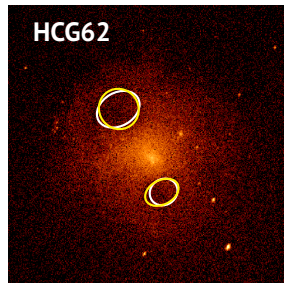
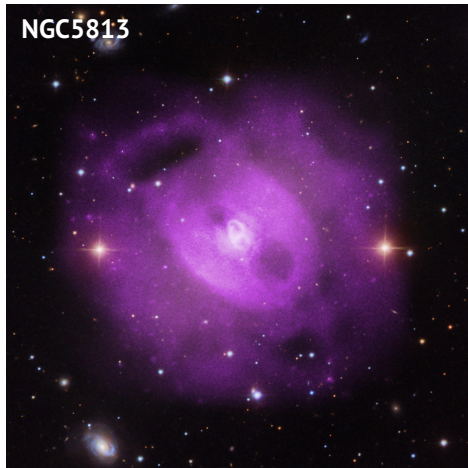
# Proč používat strojové učení?

---



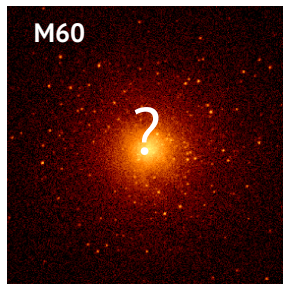
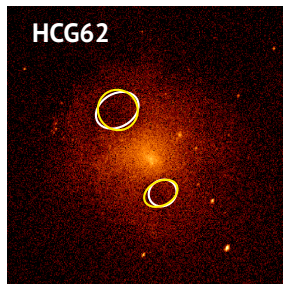
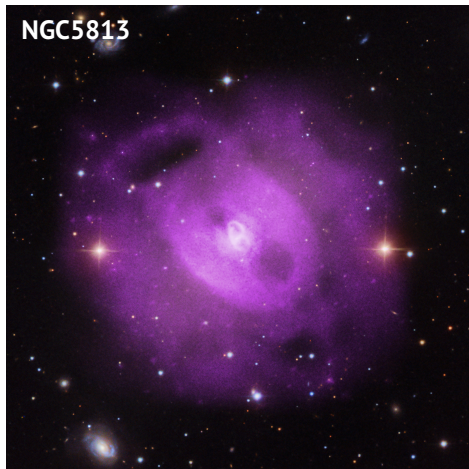
# Proč používat strojové učení?

---



# Proč používat strojové učení?

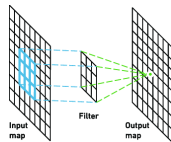
---



# Architektura sítě CADET

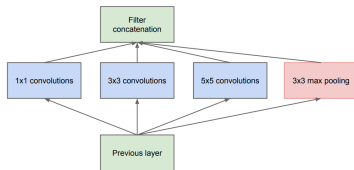
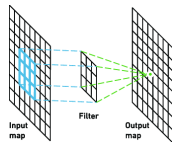
---

- konvoluční neuronová síť



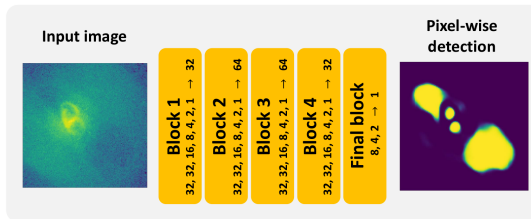
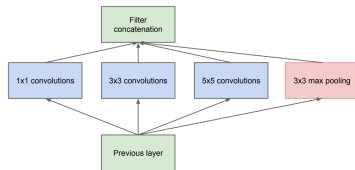
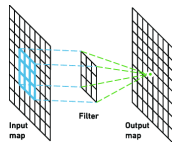
# Architektura sítě CADET

- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků  
= paralelní spojení konv. filtrů



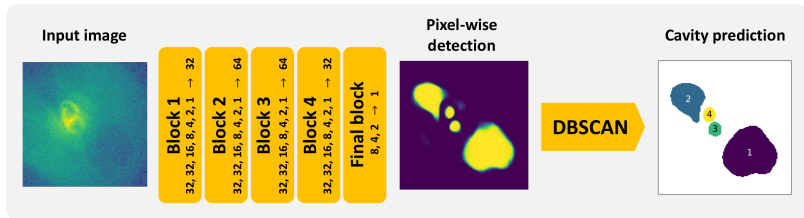
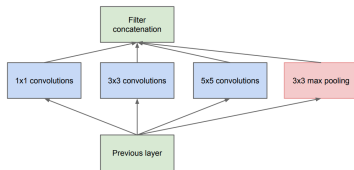
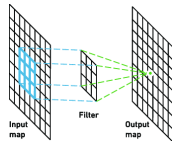
# Architektura sítě CADET

- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků  
= paralelní spojení konv. filtrů
- fixní vstup (128x128 pixelů)
- fixní výstup  
– matice s hodnotami 0 – 1



# Architektura sítě CADET

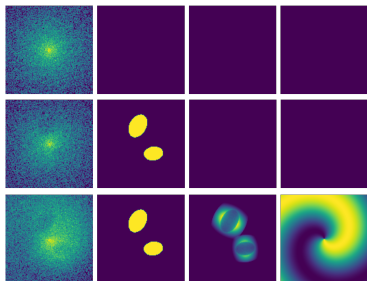
- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků  
= paralelní spojení konv. filtrů
- fixní vstup (128x128 pixelů)
- fixní výstup  
– matice s hodnotami 0 – 1



# Trénování

---

- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)

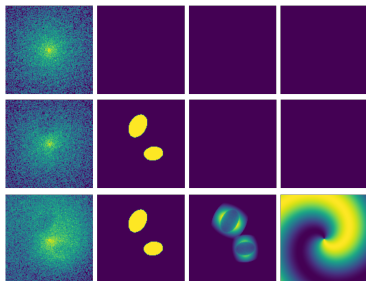




# Trénování

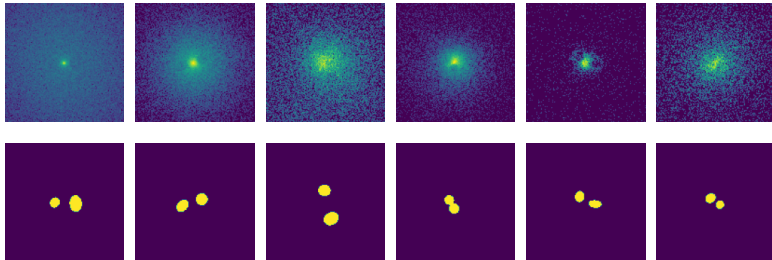
---

- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)
- 800 tisíc snímků
  - 50% snímků s dutinami

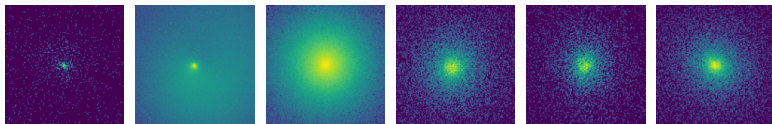


# Trénování

---



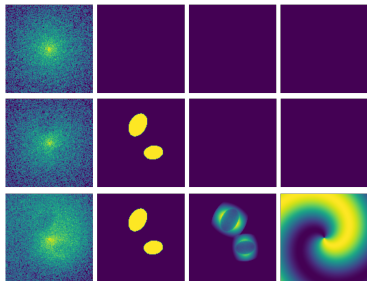
Umělé snímky obsahující dutiny (horní řada) a odpovídající masky (spodní řada).



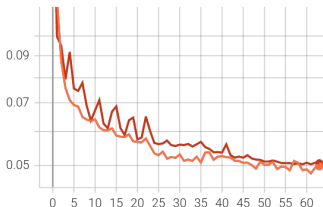
Umělé snímky neobsahující dutiny.

# Trénování

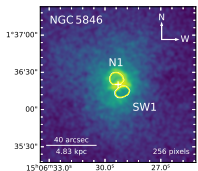
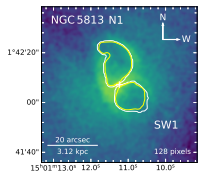
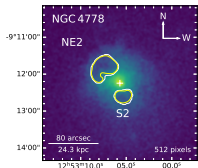
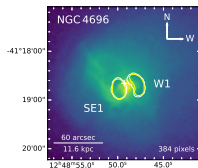
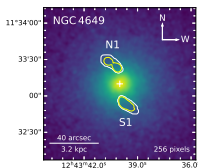
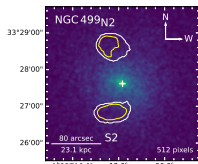
- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)
- 800 tisíc snímků
  - 50% snímků s dutinami
- trénováno 8 hodin
  - 64 epoch
  - NVIDIA GeForce RTX 3080



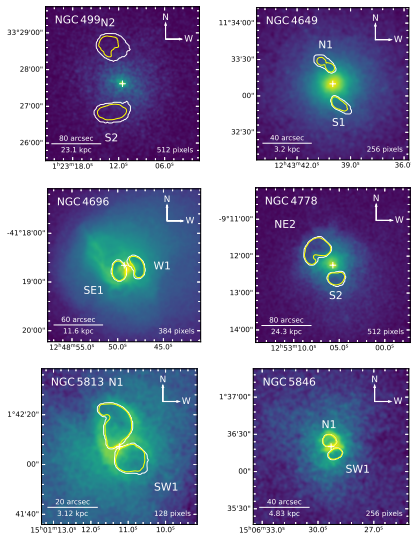
epoch\_loss  
tag: epoch\_loss



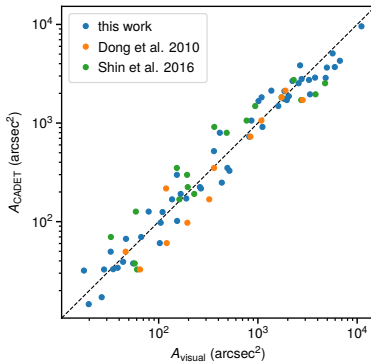
# Testování na reálných datech



# Testování na reálných datech

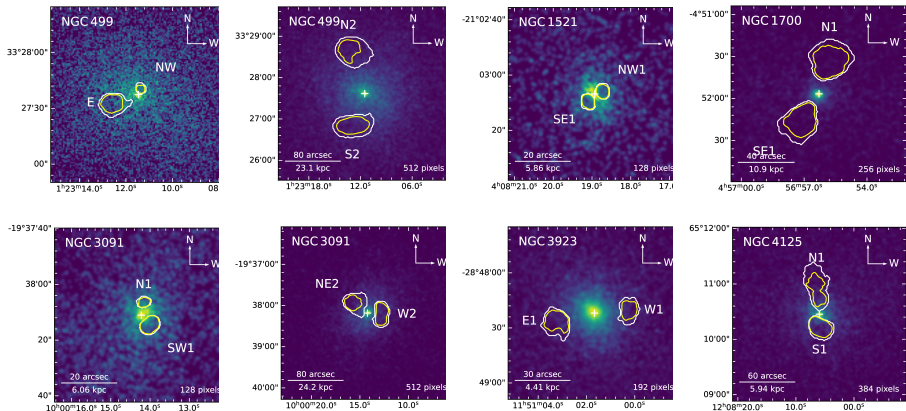


93 / 97 známých dutin  
20 – 40 % rozdíl objemů



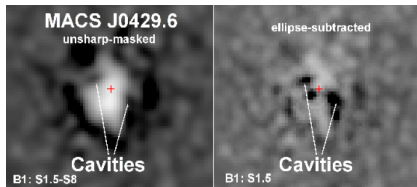
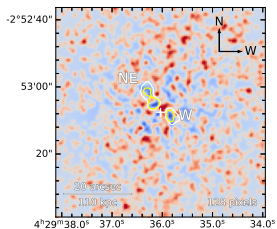
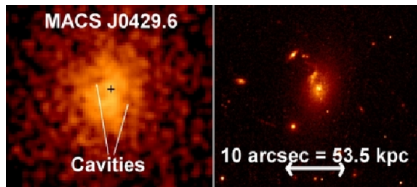
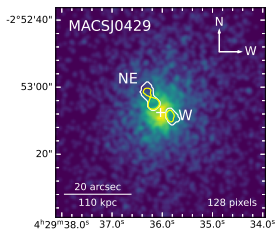
# Nové detekce

- 7 nových párů dutin + 8 kandidátů



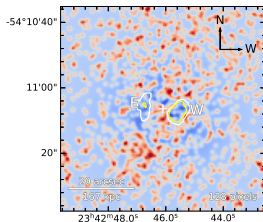
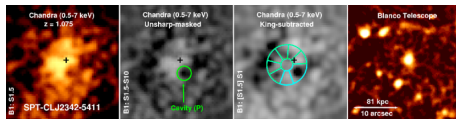
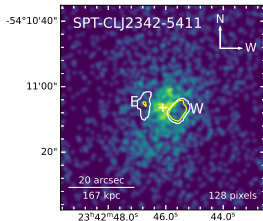
# Vzdálené kupy galaxií

MACS J0429.6 ( $z \approx 0.4$ , před 4.5 miliardami let)



# Vzdálené kupy galaxií

SPT-CLJ2342-5411 ( $z \approx 1$ , před 7 miliardami let)





## Závěr

---

Umělá inteligence nám sama nevyřeší všechny vědecké otázky jako kvantovou gravitaci / teorii strun / kosmologii / ..*doplňte*.., ale bezpochyby bude nápomocná v cestě k jejich pochopení.

