

# Određivanje neodređenosti hadronske strukture metodama strojnog učenja

**Ivan Ćorić<sup>1</sup>**

**Mentor: prof. Krešimir Kumerički<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Prirodoslovno matematički fakultet, Fizički odsjek  
Sveučilište u Zagrebu

29. siječnja 2019.

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

## 1 Uvod

- Comptonski form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

- Generalizirane partonske distribucije:  
 $H^q, E^q, \tilde{H}^q, \tilde{E}^q, H_T^q, \tilde{H}_T^q, E_T^q, \tilde{E}_T^q$

$$\mathcal{F}(\eta, t) = \sum_q e_q^2 \int_{-1}^1 dx$$
$$\times \left[ \frac{1}{\eta - x - i\epsilon} - \frac{1}{\eta + x - i\epsilon} \right] F^q(x, \eta, t),$$

$$\tilde{\mathcal{F}}(\eta, t) = \sum_q e_q^2 \int_{-1}^1 dx$$
$$\times \left[ \frac{1}{\eta - x - i\epsilon} + \frac{1}{\eta + x - i\epsilon} \right] \tilde{F}^q(x, \eta, t),$$

- Comptonski form faktori:  $\mathcal{H}, \mathcal{E}, \tilde{\mathcal{H}}, \tilde{\mathcal{E}}, \mathcal{H}_T, \mathcal{E}_T, \tilde{\mathcal{H}}_T, \tilde{\mathcal{E}}_T$

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

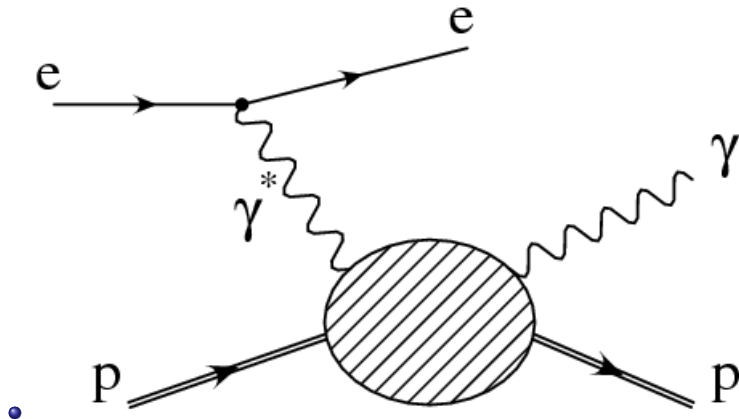
## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

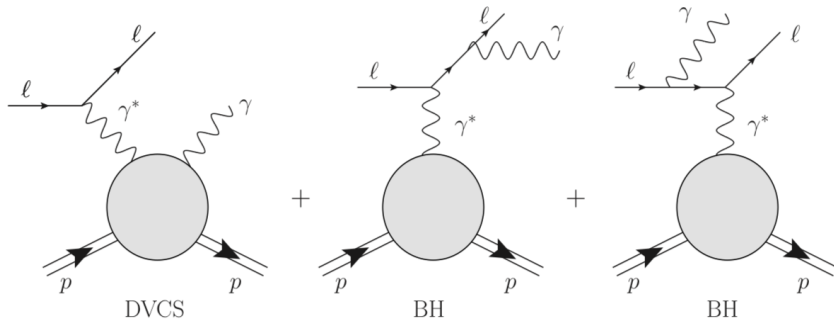
# Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)



Slika: Prikaz duboko virtualnog komptonskog raspršenja. Slika posuđena s [1].

- $ep \rightarrow ep\gamma$

# Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)



Slika: Leptoprodukcija realnog fotona kao koherentna superpozicija DVCS i Bethe-Heitler amplituda. Posudeno iz [2].

- zbroj spin-up i spin-down snopa  $\sigma$  (BSS - *engl. Beam spin sum*)
- razlika spin-up i spin-down snopa  $\Delta\sigma$  (BSD - *engl. Beam spin difference*)
- omjer BSD i BSS  $\sigma_{BSA}$  (BSA - *engl. Beam spin asymmetry*)



## 1 Uvod

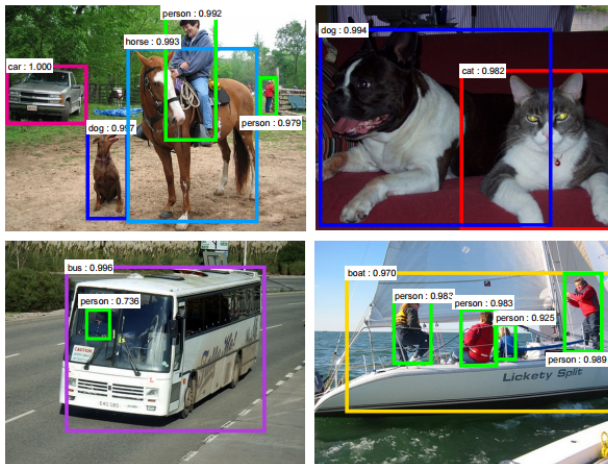
- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- **Motivacija**
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke



Slika: Prikaz problema detekcije objekata. Slika posuđena s [3].

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

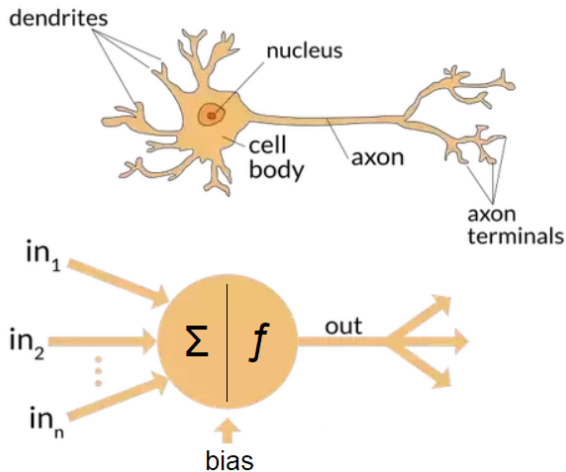
## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

# Usporedba biološkog i umjetnog neurona



Slika: Usporedba biološkog i umjetnog neurona. Slika posuđena s [4] .

## 1 Uvod

- Comptonski form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- **Umjetni neuron**
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

## Linearna kombinacija ulaza

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j + b_k$$

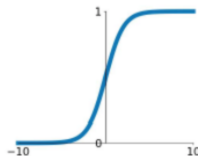
## Nelinearna aktivacija

$$f_k = f(u_k)$$

# Primjeri aktivacijskih funkcija

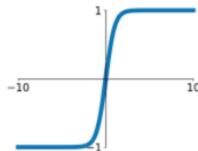
**Sigmoid**

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$



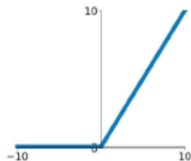
**tanh**

$$\tanh(x)$$



**ReLU**

$$\max(0, x)$$



Slika: Prikaz aktivacijskih funkcija. Slika posuđena s [5].

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

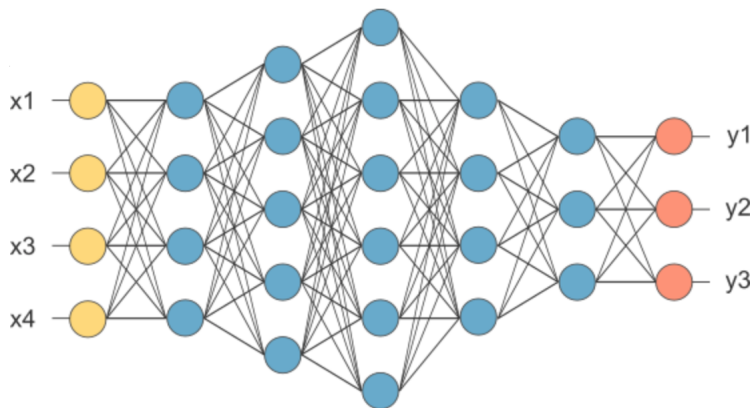
## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- **Neuronske mreža**
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke





Slika: Prikaz neuronske mreže. Slika posuđena s [6].

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

## Funkcija gubitka (*engl. Loss function*)

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}(\mathbf{x}_i))^2$$

## Učenje parametara

$$\Delta w_{kj} = -\eta \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial w_{kj}}$$

$$\Delta b_k = -\eta \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial b_k}$$

- $\eta$  - parametar učenja (*engl. learning rate*)

## 1 Uvod

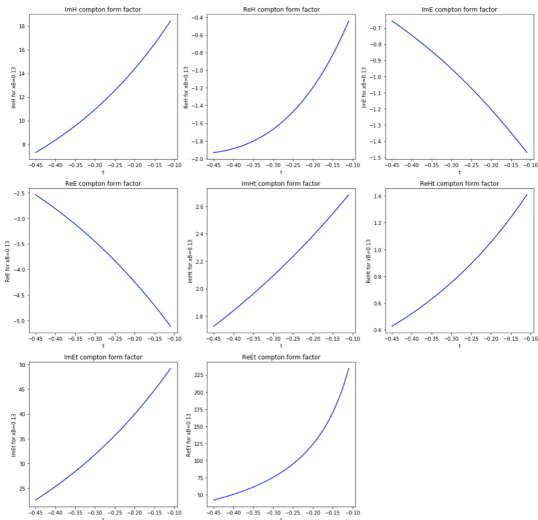
- Comptonski form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

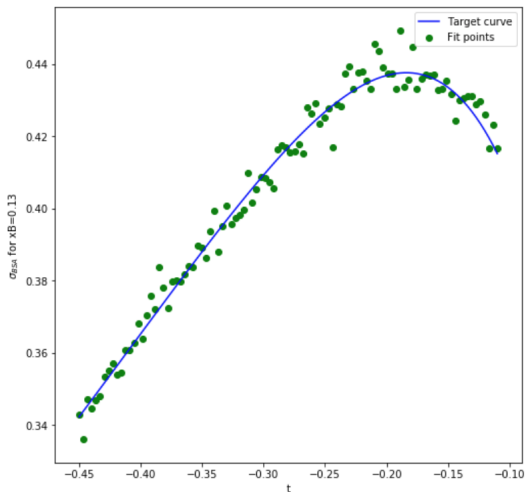
## 3 Rezultati

- **Jednodimenzionalni umjetni podaci**
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke



Slika: Prikaz CFF funkcija za GK model.

# Jednodimenzionalni umjetni podaci



Slika: Prikaz umjetnih (*engl. mock*) podataka.

## 1 Uvod

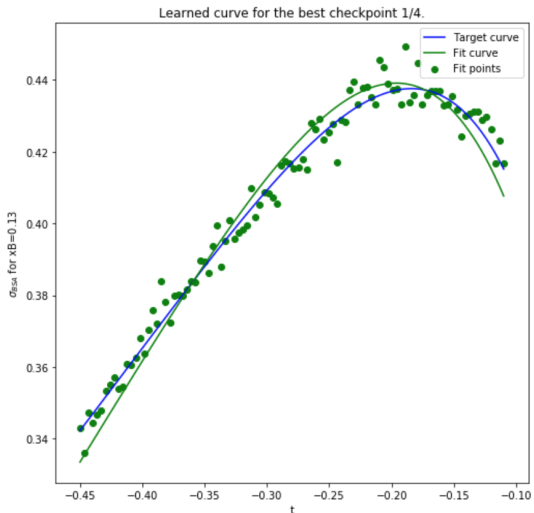
- Comptoni form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

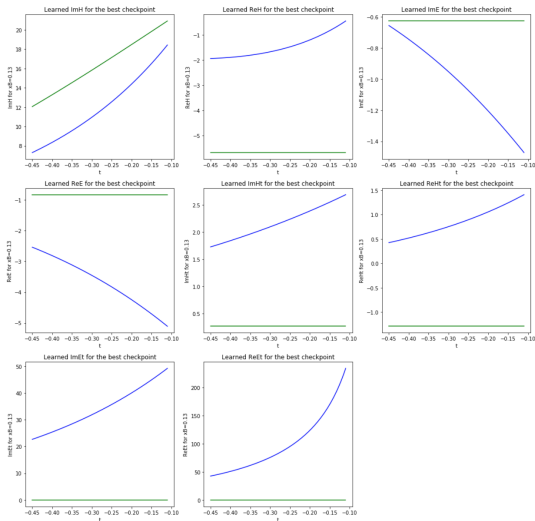
## 3 Rezultati

- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- **Rezultati za jednodimenzionalne podatke**
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke



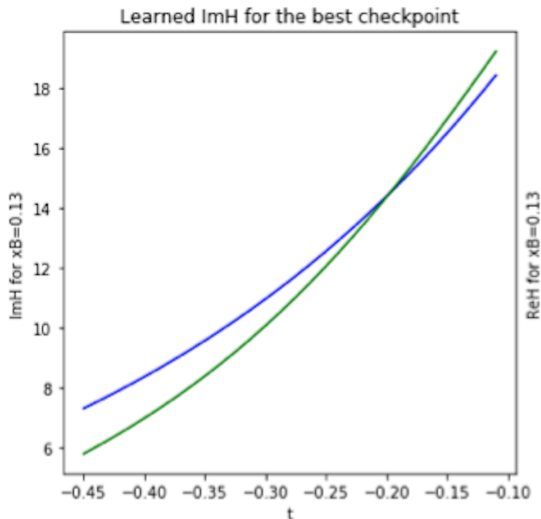
Slika: Prikaz naučene  $\sigma_{BSA}$  opservable.





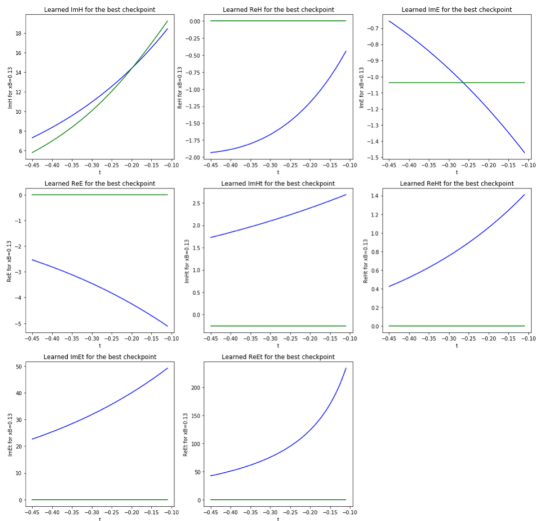
Slika: Prikaz naučenih CFF funkcija.

# Učenje CFF funkcije koja najviše doprinosi



Slika: Prikaz naučene  $\text{Im}\mathcal{H}$  CFF funkcije.

# Učenje preostalih CFF funkcija



Slika: Prikaz naučenih CFF funkcija.

## 1 Uvod

- Comptonški form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

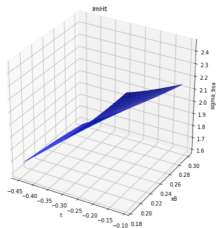
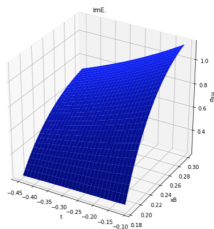
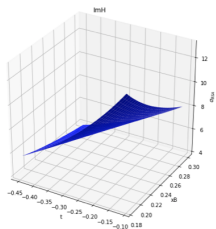
## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

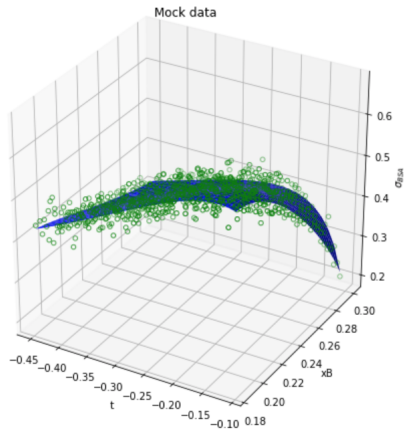
- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- **Dvodimenzionalni umjetni podaci**
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

# Goloskokov-Kroll (GK)



Slika: Prikaz CFF funkcija za GK model.

# Dvodimenzionalni umjetni podaci



Slika: Prikaz umjetnih (*engl. mock*) podataka.

## 1 Uvod

- Comptonski form faktori
- Duboko virtualno komptonско raspršenje (DVCS)

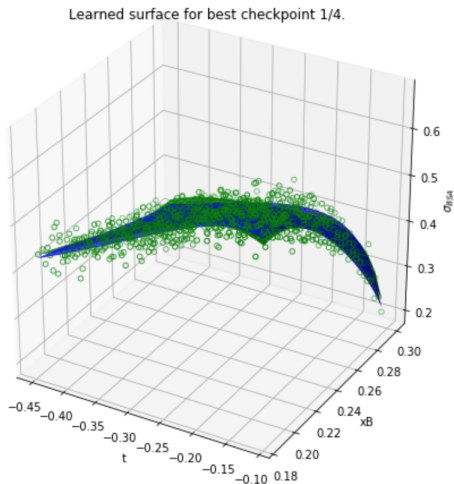
## 2 Neuronske mreže

- Motivacija
- Usporedba biološkog i umjetnog neurona
- Umjetni neuron
- Neuronske mreža
- Učenje neuronske mreže

## 3 Rezultati

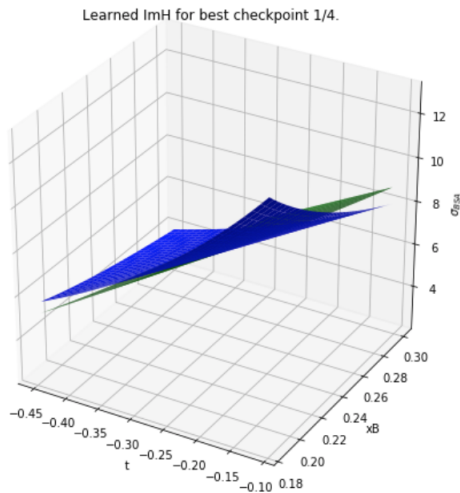
- Jednodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za jednodimenzionalne podatke
- Dvodimenzionalni umjetni podaci
- Rezultati za dvodimenzionalne podatke

# Rezultati za dvodimenzionalne podatke



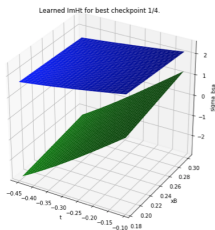
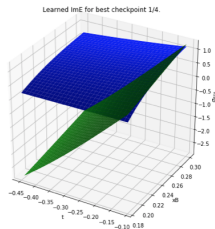
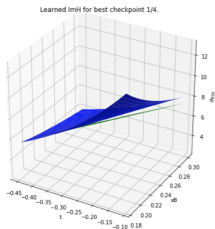
Slika: Prikaz naučene  $\sigma_{BSA}$  observable.





Slika: Prikaz naučene  $Im\mathcal{H}$  CFF funkcije.

# Rezultati za dvodimenzionalne podatke



Slika: Prikaz naučenih CFF funkcija.

-  URL: <http://inspirehep.net/record/682849/plots>, Online; accessed 23-January-2019
-  Kumerički, Krešimir and Liuti, Simonetta and Moutarde, Hervé  
*GPD phenomenology and DVCS fitting. Entering the high-precision era.*  
European Physical Journal A, 2016.
-  URL: <http://hemingwang.blogspot.com/2018/04/machine-learning-conceptmean-average.html>, Online; accessed 23-January-2019



Nagyfi Richárd

*The differences between Artificial and Biological Neural Networks.*

URL:

<https://towardsdatascience.com/the-differences-between-artificial-and-biological-neural-networks-a8b46db828b7>,  
Online; accessed 18-January-2019



URL: [https:](https://www.julyedu.com/question/big/kp_id/26/ques_id/1044)

[//www.julyedu.com/question/big/kp\\_id/26/ques\\_id/1044](https://www.julyedu.com/question/big/kp_id/26/ques_id/1044),  
Online; accessed 18-January-2019



URL: <https://www.quora.com/How-does-deep-learning-work-and-how-is-it-different-from-normal-neural-networks-applied-with-SVM-How-does-one-go-about-starting-to-understand-them-papers-blogs-articles>, Online; accessed 18-January-2019