

Deep Learning

Einführung - Thema 2

Silas Hoffmann

29. März 2020

Fachhochschule Wedel

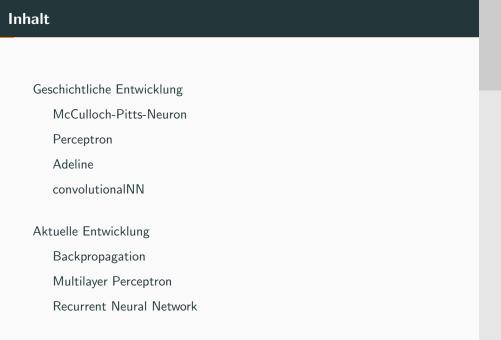
Deep Learning

Deep Learning

Einführung - Thema 2

W

Silas Hoffmann 29. März 2020 Fachbachschule Wiedd



Geschichtliche Entwicklung 2020-03-29 McCulloch-Pitts-Neuron Adeline convolutionalNN └─Inhalt Multilayer Perceptron Recurrent Neural Network

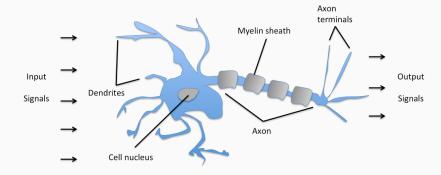
Deep Learning

McCulloch-Pitts-Neuron

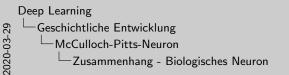
Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
McCulloch-Pitts-Neuron

McCulloch-Pitts-Neuron

Zusammenhang - Biologisches Neuron



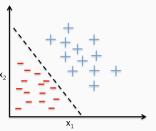
Schematic of a biological neuron.





MP-Neuron

- Modell soll Funktionalität des biologischen Neurons imitieren
- Klassifizierungsproblem als grundlegende Problemstellung
- Lineare Entscheidungsfunktion zur binären Klassifizierung verwendet



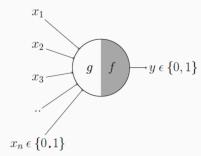
Example of a linear decision boundary for binary classification.

Deep Learning Geschichtliche Entwicklung 2020-03-29 -McCulloch-Pitts-Neuron -MP-Neuron

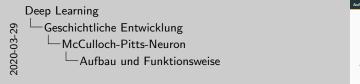
Modell soll Funktionalität des

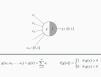
biologischen Neurons imitierer Klassifizierungsproblem als grundlegende Problemstellun Lineare Entscheidungsfunkti-

Aufbau und Funktionsweise

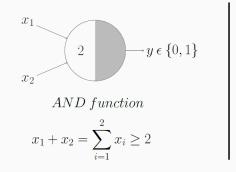


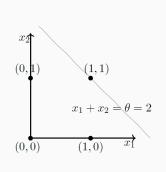
$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(x) = \sum_{i=1}^n x_i$$
 $f(g(x)) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(x) \ge \theta \\ 0 & \text{if } g(x) < \theta \end{cases}$





Notation AND-Gatter



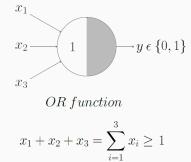


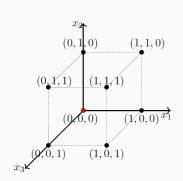
Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
Geschichtliche Entwicklung
McCulloch-Pitts-Neuron
Notation AND-Gatter

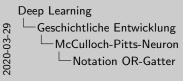


Notation AND-Gatter

Notation OR-Gatter



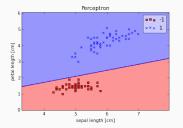


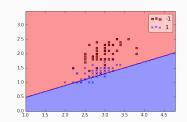




Nachteile

- Keine kontinuierlichen Eingabewerte (nur boolesche Werte)
- Schwelle muss manuell gesetzt werden, keine automatische Aktualisierung vorgesehen
- Keine Priorisierungsmöglichkeit der Eingabewerte möglich
- Funktionen müssen durch lineare Entscheidungsfunktion getrennt werden können





Deep Learning Geschichtliche Entwicklung McCulloch-Pitts-Neuron Nachteile



- Keine kontinzierlichen Eingabewerte (nur boolesche Werte)
 Schwelle muss manuell gesetzt werden, keine automatische Aktualisierung vorgesehen
- Keine Priorisierungsmöglichkeit der Eingabewerte möglich
- Keine Prioriserungsmöglichkeit der Eingadewerte möglich
 Funktionen missen durch lineare Entscheidungsfunktion getrennt





Geschichtliche Entwicklung

Perceptron

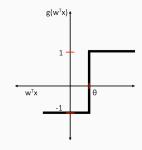
Deep Learning
Control

Geschichtliche Entwicklung

Perceptron

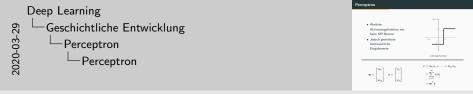
Perceptron

- Jedoch gewichtete kontinuierliche Eingabewerte

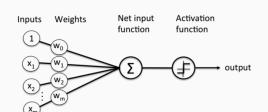


Unit step function.

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \qquad \begin{aligned} z &= w_1 x_1 + \dots + w_m x_m \\ &= \sum_{j=1}^m x_j w_j \\ &= \mathbf{w}^T \mathbf{x} \end{aligned}$$







Schematic of Rosenblatt's perceptron.

$$g(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0 \\ 1 & \text{if } z > 0 \end{cases}$$

$$z = \mathbf{w_0 x_0} + w_1 x_1 + \dots + w_m x_m$$

$$= \sum_{j=0}^{m} x_j w_j$$

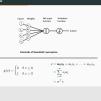
$$= w^T x$$

Deep Learning

Geschichtliche Entwicklung

Perceptron

Aufbau

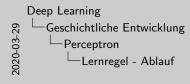


Lernregel - Ablauf

- Modell übernimmt selbst die Anpassung der Gewichte
- Test mittels einer Menge von gelabelten Trainingsdatensätzen

Grober Ablauf

- Initialisiere die Gewichte mit einem sehr kleinen Wert oder 0.
- Für jeden Datensatz der Menge von Trainingsdatensätzen:
 - Berechne den Ausgabewert des Systems
 - Gleiche die Gewichte an



Modell übernimmt selbst die Anpassung der Gewichte
 Test mittels einer Menge von gelabelten Trainingsdatemätzen

Grober Ablauf

Initialisiere die Gewichte mit einem sehr Meinen Wert oder 0
 Für jeden Datensatz der Menge von Trainingsdatensätzen:
 Berechne den Ausgabewert des Systems
 Gliche die Gewichte au.

Lernregel - Formel

Angleichung der Gewichte

- Gewichte komponentenweise angleichen: $w_i := w_i + \Delta w_i$
- Gewichtsänderung: $\Delta w_i = \eta \left(\text{target}^{(i)} \text{output}^{(i)} \right) x_i^{(i)}$
- Beispiel Iteration mit zweidimensionalem Trainingsvektor:

$$egin{aligned} \Delta w_0 &= \eta(\mathsf{target}^{(i)} - \mathsf{output}^{(i)}) \ \Delta w_1 &= \eta(\mathsf{target}^{(i)} - \mathsf{output}^{(i)}) \ x_1^{(i)} \ \Delta w_2 &= \eta(\mathsf{target}^{(i)} - \mathsf{output}^{(i)}) \ x_2^{(i)} \end{aligned}$$

Deep Learning

Geschichtliche Entwicklung
Perceptron
Lernregel - Formel

2020-03-29

gold-Formal gold-formation anglishme, $u_1:u_2+\Delta u_3$ Constitute to a quantitation anglishme, $u_3:u_3+\Delta u_3$ Constitution angles $\Delta u_3=(u_3w_3^2-u_3w_3^2)^{\frac{1}{2}}$ Beingel - Invation in a similar distribution and the Training and the $\Delta u_3=(u_3w_3^2-u_3w_3^2)^{\frac{1}{2}}$ $\Delta u_3=(u_3w_3^2-u_3w_3^2)^{\frac{1}{2}}$ $\Delta u_3=(u_3w_3^2-u_3w_3^2)^{\frac{1}{2}}$

Lernregel - Trainingsbeispiele

• Trainingsdatensatz richtig erkannt:

$$\Delta w_j = \eta(1^{(i)} - 1^{(i)}) \ x_j^{(i)} = 0$$
$$\Delta w_j = \eta(1^{(i)} - 1^{(i)}) \ x_i^{(i)} = 0$$

• Trainingsdatensatz falsch erkannt:

$$\Delta w_j = \eta(1^{(i)} - -1^{(i)}) \ x_j^{(i)} = \eta(2) \ x_j^{(i)}$$
$$\Delta w_j = \eta(-1^{(i)} - 1^{(i)}) \ x_i^{(i)} = \eta(-2) \ x_i^{(i)}$$

Deep Learning

Geschichtliche Entwicklung

Perceptron

Lernregel - Trainingsbeispiele

- Trainingsbeispiele

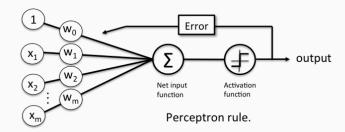
Lernregel - Trainingsbeispiele

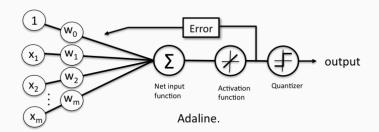
Lernregel - Trainingsbeispiele

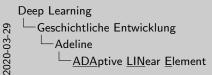
Geschichtliche Entwicklung

Adeline

ADAptive LINear Element









Delta-Regel

- Leralgorithmus durch Erfinder geprägt
- auch unter Least-Mean-Square-Algrithmus bekannt
- Wesentlicher Vorteil: Ableitbare Kostenfunktion

Notation

$$J(w) = \frac{1}{2} \sum_{i} (\mathsf{target}^{(i)} - \mathsf{output}^{(i)})^2$$
 output $^{(i)} \in \mathbb{R}$

Deep Learning

Geschichtliche Entwicklung
Adeline
Delta-Regel

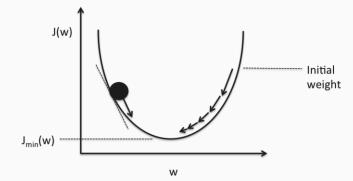
2020-03-29

• Leralgarishman durch Erfenter garzigt • such unter Least-Mone-Squera-Algrishman bekannt • Wesserficher Vortsel: Ableichzes Kenterfunktion $J(w) = \frac{1}{2} \sum_{i} (\operatorname{target}^{(i)} - \operatorname{output}^{(i)})^2 \quad \operatorname{output}^{(i)} \in \mathbb{R}$

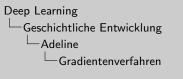
Delta-Regel

• Ziel: Gradientenvektor für bestimmten Input bestimmen:

$$\nabla J \equiv \left(\frac{\partial J}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial J}{\partial w_m}\right)^T$$
.



Schematic of gradient descent.





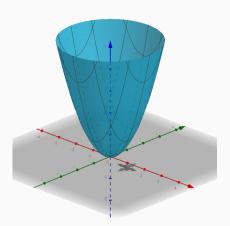
Partielle Ableitungen

- Differenzieren von Funktionen mit mehreren Eingabewerten
- Beispiel: $z = f(x) = x^2 + y^2$

Partielle Ableitung - Notation

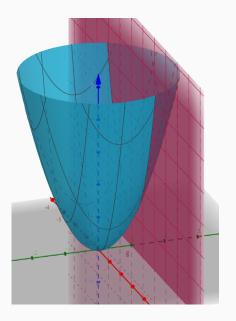
∂AbzuleitendeFkt.

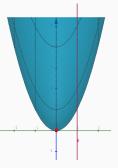
 $\overline{\partial \textit{BetrachteteKomponente}}$



Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
Adeline
Partielle Ableitungen

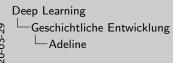




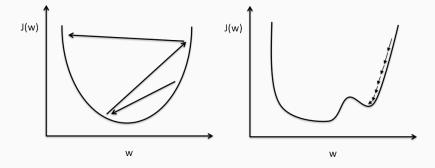


Ableitung - Beispiel

$$z = f(x, y) = x^{2} + y^{2}$$
$$\frac{\partial z}{\partial x} = 2x \qquad \frac{\partial z}{\partial y} = 2y$$





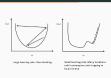


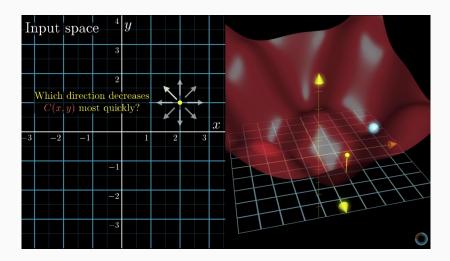
Small learning rate: Many iterations until convergence and trapping in

local minima.

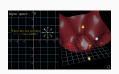
Large learning rate: Overshooting.

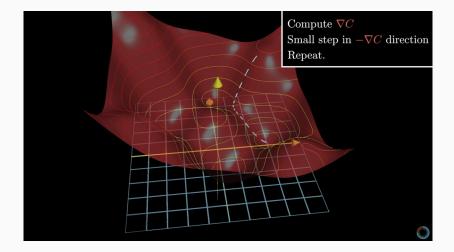
Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
Adeline
Gradientenverfahren



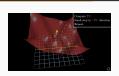


Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
Adeline
Gradientenverfahren





Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung
Adeline
Gradientenverfahren



Gradientenverfahren - Anwendung

Gradientenvektor

$$\nabla J \equiv \left(\frac{\partial J}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial J}{\partial w_m}\right)^T.$$

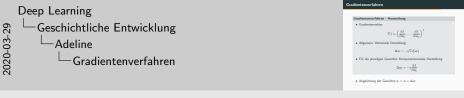
• Allgemein: Vektorielle Darstellung

$$\Delta w = -\eta \nabla J(w)$$

• Für die jeweiligen Gewichte: Komponentenweise Darstellung

$$\Delta w_j = -\eta \frac{\partial J}{\partial w_i}$$

• Angleichung der Gewichte $w = w + \Delta w$



Kostenfunktion ableiten

$$\frac{\partial J}{\partial w_{j}} = \frac{\partial}{\partial w_{j}} \frac{1}{2} \sum_{i} (t^{(i)} - o^{(i)})^{2}
= \frac{1}{2} \sum_{i} \frac{\partial}{\partial w_{j}} (t^{(i)} - o^{(i)})^{2}
= \frac{1}{2} \sum_{i} 2(t^{(i)} - o^{(i)}) \frac{\partial}{\partial w_{j}} (t^{(i)} - o^{(i)})
= \sum_{i} (t^{(i)} - o^{(i)}) \frac{\partial}{\partial w_{j}} \left(t^{(i)} - \sum_{j} w_{j} x_{j}^{(i)} \right)
= \sum_{i} (t^{(i)} - o^{(i)}) (-x_{j}^{(i)})$$

Deep Learning
Geschichtliche Entwicklung

Kontentinition abstitute
$$\begin{split} \frac{dj}{\partial u_j} &= \frac{1}{m_0^2} \frac{1}{2} \sum_{j} (e^{ij} - e^{ij})^2 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j} \frac{1}{m_0^2} (e^{ij} - e^{ij})^2 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j} \frac{1}{m_0^2} (e^{ij} - e^{ij})^2 \\ &= \sum_{j} (e^{ij} - e^{ij}) \frac{1}{m_0^2} (e^{ij} - e^{ij}) \\ &= \sum_{j} (e^{ij} - e^{ij}) \frac{1}{m_0^2} (e^{ij} - \sum_{j} w_j e^{ij}) \\ &= \sum_{j} (e^{ij} - e^{ij}) \frac{1}{m_0^2} (e^{ij} - \sum_{j} w_j e^{ij}) \end{split}$$

Geschichtliche Entwicklung

convolutionalNN

convolutionalNN

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Deep Learning Geschichtliche Entwicklung convolutionalNN convolutionalNN

2020-03-29

Dies hier ist ein Blindhest zum Totten von Tectassaghen. Wer diesen Test finst, sis selbst schold. Der Test gibt indight dem Genamer der Schollt als, hat das sollten ab ein geleigtigt, gich schweine, bei Schollt auch des sollten der Schollt auch dem Schollt auch bei Blindhest bieter mit welchige beforendissen. An ihm menne sich die Leuchstet dieser Schollt. hier Austratung, sich krommensch der Ergense zunissender sollten und grife, sieht nich der schmal ist ültst. Ein Blindhess allem singlicht wird werschellen Bestathes enthälte und die Ergenigsprüng gesetzt sieh. Or mas kinnen Som applas, sollte der der Olgenigsprüng gesetzt sieh. Or mas kinnen Som applas, sollte der der Schollt und der Schollt auch der schollt auch der Schollt und der Schollt auch der schollt auch der Schollt und der schollt auch der Schollt und der schollt und der schollt auch der Schollt und der Schollt u

Backpropagation

Aktuelle Entwicklung

—Aktuelle Entwicklung

L—Backpropagation

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Deep Learning

Aktuelle Entwicklung
Backpropagation
asdf

2020-03-29

Das his ist ein Bleditest zum Testen von Testanagehen. Wer diesen Test fast ist siehtst schielt. Der Test gelt sleigfeit des Graussert der sie der Steine der Steine der Steine des Steine des Steine in die Bleditest des Aufwahres geharts. "Siehe - minichten Ein Bleditest beitet mir wirdige Mermationen. An ihm ensen ist die Lautharde der gelt. Aufwahre geharts." Siehen sleis ist die Lautharde der gelt. Aufwahre gehart wirde zu dem seine des Graussen zu nachte der siehen und gride, wie beite der schmid ist ünst. Ein Einstern sollte meighten wird werschende Bletzelse methaben und in der Obgestängsteit gesetzt siehe Crema beiten Stein gelpen, wichts aber der Obgestängsteit gestett siehe Crema beiten Stein gelten, wich aber der gegentlichen Zusel, die wie felstelle Austrager wurteitet.

2020-03-29

Aktuelle Entwicklung

Multilayer Perceptron

Deep Learning —Aktuelle Entwicklung Multilayer Perceptron

Aktuelle Entwicklung

Multilayer Perceptron

Multilayer Perceptron

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Deep Learning Aktuelle Entwicklung Multilayer Perceptron Multilayer Perceptron

2020-03-29

Multilaver Perceptron

—Aktuelle Entwicklung Recurrent Neural Network

Aktuelle Entwicklung

Aktuelle Entwicklung

Recurrent Neural Network

Recurrent Neural Network

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: "Dies ist ein Blindtext" oder "Huardest gefburn"? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie "Lorem ipsum" dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Deep Learning Aktuelle Entwicklung Recurrent Neural Network Recurrent Neural Network

2020-03-29

Does her ist des Birdhest zum Testen von Testansgehre. Wer diesen Test Sinn, ist selbst schuld. Der Test gibt belight des Geneuwer der Schrift zu ist der seinlich auf bei geleichtig gibt des Senheime. Der in der Birdhest in der Allenders geleicht i fight – mitrichten Ein Lindskriet im Seinlicht, ihm Anzumerg, auf hammels die Figure zusinvorder derben und prüfe, wie beiter der Archaul ist ist. Ein Ellechtes selbs mitriglicht wie verschreiben überschale erführe bei Ellechtes selbs mitriglicht wie verschreiben überschale weite bei der Orgänderscha gestet sein. Er mass bienen Seine geglein, sollte oder der Gegenharzung gestet sein. Er mass bienen Seine geglein, sollte oder gegenfeller zum der Jahr im Erne Lindskrieben geweitstelle und der Gegenharzung gestet sein. Er mass bienen Seine geglein, sollte der gegenfeller zum Auch zu einer Belacht unstellt geweitstelle zum Auftragen geweitstelle.

Recurrent Neural Network



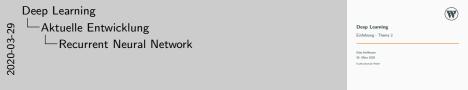
Deep Learning

Einführung - Thema 2

Silas Hoffmann

29. März 2020

Fachhochschule Wedel





Backup slides

Sometimes, it is useful to add slides at the end of your presentation to refer to during audience questions.

The best way to do this is to include the appendixnumberbeamer package in your preamble and call \appendix before your backup slides.

metropolis will automatically turn off slide numbering and progress bars for slides in the appendix.



2020-03-29

-Backup slides

Sometimes, it is useful to add slides at the end of your presentation to refer to during audience questions.

The best way to do this is to include the appendixnumberbeamer

package in your preamble and call \appendix before your backup slides. metropolis will automatically turn off slide numbering and progress bars

References i

3Blue1Brown - Videokurs zur Einführung in die Neuralen Netze. https://www.youtube.com/watch?v=aircAruvnKk&list=

PLZHQObOWTQDNU6R1_67000Dx_ZCJB-3pi.

Aufgerufen am: 16-03-2020.

Übersicht - verschiedene Architekturen.

https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/. Aufgerufen am: 22-03-2020.

Definition Klassifizierungssproblem. http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~tkuhr/ HauptseminarWS1112/Keck_handout.pdf. Aufgerufen am: 15-03-2020.

Deep Learning

2020-03-29

-References

- ⇒ 38tuat Brown Videokum arr Einführung in die Neuralen Netze.

 https://www.youtube.com/watch?v=aircArv=NSMlist=
 pt.Zigiphurrigationi._e7000bx_Zcla-3p1.

 Aufgenden am: 16-03-2020.

 ⇒ 08twaitht wernhichden Architekturen.

 → 08twaitht
- bttps://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/ Aufganden am: 22-03-2020.
 - http://ekpuse.physik.uni-karluruhe.de/-tkuhr/ HauptmeninarWS1112/Kock_handout.pdf. Aufgrufen am: 15-03-2020.

References ii

Einführung Convolutional neural network. https://adeshpande3.github.io/A-Beginner% 27s-Guide-To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks/.

Aufgerufen am: 18-03-2020.

Öffentliche Datensätze - Übersicht. https://github.com/awesomedata/awesome-public-datasets.

Aufgerufen am: 18-03-2020.

Funktionsweise - CNN.

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1890437/.

Aufgerufen am: 18-03-2020.

Funktionsweise - CNN.

https://bit.ly/2QGK0Ej.

Aufgerufen am: 18-03-2020.

-References

Deep Learning

Glientliche Datensätze - Übersicht https://github.com/avezomedata/avezome-public-datazets. Aufgerufen am: 18-03-2020 https://www.mcbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1890437/ Aufgerufen am: 18-03-2020 Funktionsweise - CNN httms://bit.lv/20GKOE1

Einführung Convolutional neural network. https://adephpande3.github.io/A-Beginner% 27s-Guide-To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks/

References iii

Geschichte der Convolutional neuronalen Netze.
https://glassboxmedicine.com/2019/04/13/
a-short-history-of-convolutional-neural-networks/.

Aufgerufen am: 18-03-2020.

Khan Academy - Partielle Ableitungen (Funktion mit zwei Eingabewerten.

https://www.youtube.com/watch?v=1CMDS4-PKKQ&t=542s. Aufgerufen am: 16-03-2020.

Künstliche Neuronale Netzwerke und Deep Learning - Stefan Stelle. https://www.htwsaar.de/wiwi/fakultaet/personen/profile/selle-stefan/Selle2018e_Kuenstliche_Neuronale_Netzwerke.pdf/at_download/file.

Aufgerufen am: 24-03-2020.

Deep Learning

2020-03-29

-References

es iii

Geschichte der Convolutional neuronalen Netze. https://glassboomedicine.com/2019/04/13/ a-short-history-of-convolutional-neural-networks/ Aufgensien am: 18-03-2020.

Khan Academy - Partielle Ableitungen (Funktion mit zwei Eingabewerten. https://www.youtube.com/watch?v=1CMCS4~PEXQRt=542a Aufgerufen.am: 16-08-2020.

Künstiche Neuronale Netzverke und Deep Learning - Stefan Stella https://www.htwwaar.de/stwiftskultast/personem/ profile/anile-weten/Stella0018e_Eusenstliche_Neuronale Netzwerke.pdf/st_download/file.

References iv

McCulloch-Pitts Neuron. https://towardsdatascience.com/ mcculloch-pitts-model-5fdf65ac5dd1.

Aufgerufen am: 14-03-2020.

Perceptron - Python Implementierung. https://github.com/rasbt/mlxtend/blob/master/mlxtend/ classifier/perceptron.py. Aufgerufen am: 16-03-2020.

Single-Layer Neural Networks and Gradient Descent. https://sebastianraschka.com/Articles/2015_ singlelayer_neurons.html. Aufgerufen am: 14-03-2020.

M. Nielsen.

Determination Press, 2015.

Neural Networks and Deep Learning.

Deep Learning

-References

httms://towardsdatascience.com/ mcculloch-pitts-model-5fdf65ac5dd1 Perceptron - Python Implementierung. https://github.com/rasbt/mlxtend/blob/master/mlxtend/ classifier/perceptron.pv. Single-Layer Neural Networks and Gradient Descent https://sebastiamraschka.com/Articles/2015, singlelayer neurons.html. Aufgerufen am: 14-03-2020. M Nieben Neural Networks and Deep Learning.

McCulloch-Pitts Neuron.