

Netzoptimierung und Lernalgorithmen für Neuronale Netze

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Michael Kämmerer

25. August 2015

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Grundlagen

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Künstliche neuronale Netze versuchen Lernmodelle
des Gehirns nachzubilden.

Es existieren verschiedenste Lernverfahren zum
trainieren von neuronalen Netzen.

Neuronale Netze können vielseitig eingesetzt
werden, zum Beispiel in der Mustererkennung.

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

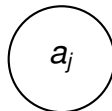
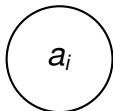
Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Zur Abbildung der funktionsweise existiert ein
mathematisches Modell:



1. Jedes Neuron hat einen Aktivierungszustand $a_i(t)$
zum Zeitpunkt t .

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

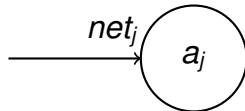
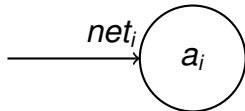
Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze



2. Jedes Neuron hat eine Aktivierungsfunktion f_{act} zur Berechnung eines neuen Aktivierungszustandes aus er Eingabe net_i und eines Schwellwerts.

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

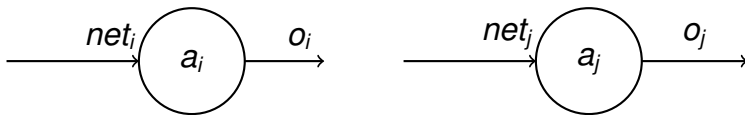
Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick



3. Jedes Neuron hat eine Ausgabefunktion f_{out} die aus dem Aktivierungszustand die Ausgabe o des Neurons berechnet.

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

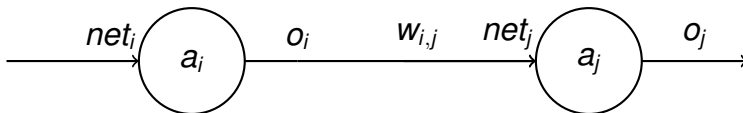
Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze



4. Die Neuronen sind über ein Netzwerk aus Synapsen w_{ij} miteinander verbunden.

Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

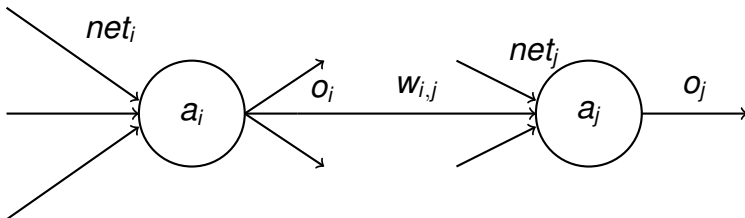
- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick



5. Eine Propagierungsfunktion, die aus den Ausgaben anderer Neuronen die Eingabe eines Neurons berechnet.

6. Eine Lernregel.

Backpropagation

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Backpropagation ist ein überwachtes Lernverfahren, d.h. eine Ist-Ausgabe wird mit einer Soll-Ausgabe verglichen.

Einfaches Prinzip: Propagiere ein Muster durchs Netz, Vergleiche Ausgaben, propagiere den Fehler rückwärts durchs Netz und passe Gewichte an um diesen zu minimieren

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau

neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Markov-Ketten

Stochastischer Prozess zur Beschreibung der zeitlichen Abfolge von zufälligen Vorgängen.

Wichtigste Eigenschaft: Der Zustand zu einem Zeitpunkt ist nur vom Zustand davor abhängig

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

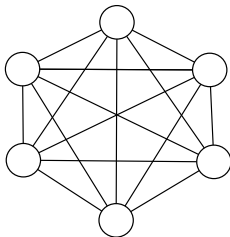
Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

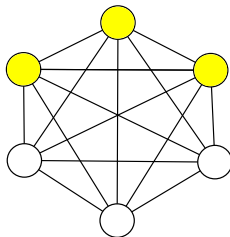
Hopfield Netze



Alle Neuronen sind miteinander verbunden und
feuern wenn ein Schwellwert θ überschritten wird.
Ziel ist es eine Energiefunktion zu minimieren:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i \neq j} w_{ij} s_i s_j + \sum_i \theta_i s_i$$

Boltzmann Maschinen



Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Neuronen Aktivieren sich über Wahrscheinlichkeiten statt Schwellwerten. Es gibt sichtbare und versteckte Neuronen. Auch hier wird eine Energiefunktion minimiert:

$$E = - \left(\sum_{i < j} w_{ij} s_i s_j + \sum_i \theta_i s_i \right)$$

Boltzmann Maschinen

Training findet in zwei Phasen statt:

- positive Phase: Sichtbare Neuronen bekommen Trainingsdaten als Eingabe
- negative Phase: sichtbare Neuronen sind zufällig initialisiert

Beide Phase laufen bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt und es ergibt sich als Differenz:

$$G = \sum_v P^+(v) \ln \left(\frac{P^+(v)}{P^-(v)} \right)$$

Daraus folgt diese Lernregel:

$$\frac{\partial G}{\partial w_{ij}} = -\frac{1}{R} [p_{ij}^+ - p_{ij}^-]$$

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau

neuronaler Netze

Backpropagation

Markov-Ketten

Hopfield Netze

Boltzmann Maschinen

Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen

Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze

Durchführung

Fazit und Ausblick

Eingeschränkte Boltzmann Maschinen

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen**
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

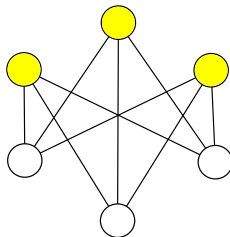
- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick



Versteckte und sichtbare Neuronen werden in Ebenen unterteilt ohne Verbindungen innerhalb einer Ebene. Auch hier gibt es eine Energiefunktion:

$$E(\vec{v}, \vec{h}) = - \sum_{i \in \text{visible}} a_i v_i - \sum_{j \in \text{hidden}} b_j h_j - \sum_{i,j} v_i h_j w_{ij}$$

Eingeschränkte Boltzmann Maschinen

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
**Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen**
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Die Wahrscheinlichkeit dass ein versteckter Knoten auf 1 gesetzt wird:

$$p(h_j = 1 | \vec{v}) = \sigma(b_j + \sum_i v_i w_{ij})$$

$\sigma(x)$ ist die sigmoide Funktion $1/(1 + e^{-x})$ Analog gilt das gleiche für sichtbare Knoten

Eingeschränkte Boltzmann Maschinen

Als Lernregel ergibt sich:

$$\Delta w_{ij} = \epsilon (\langle v_i h_j \rangle_{data} - \langle v_i h_j \rangle_{model})$$

Zum besseren Verständnis schaut man sich die
Änderungen nach einem Schritt an:

$$\frac{\Delta \log p(v^0)}{\Delta w_{ij}^{00}} = \langle h_j^0 (v_i^0 - v_i^1) \rangle$$

Und danach für viele Schritte:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \log p(v)}{\Delta w_{ij}} &= \langle h_j^0 (v_i^0 - v_i^1) \rangle \\ &+ \langle v_i^1 (h_j^0 - h_j^1) \rangle \\ &+ \langle h_j^1 (v_i^1 - v_i^2) \rangle + \dots \end{aligned}$$

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Eingeschränkte Boltzmann Maschinen

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

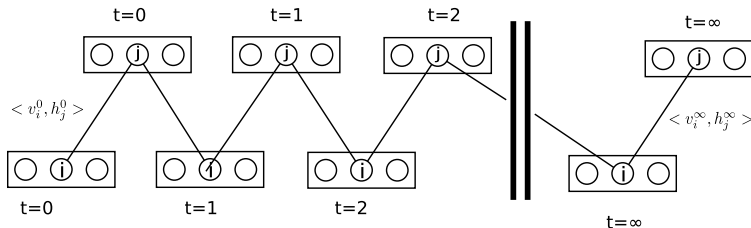
Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Zum berechnen von $\langle v_i h_j \rangle_{model}$ verwendet man
Gibbs-Sampling



Kontrastive Divergenz

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Gibbs Sampling dauert sehr lange und die Markov-Kette wird immer unabhängiger vom Modell der Eingabedaten je länger sie läuft.

Lösung: Mache immer nur einen Gibbs Sampling Schritt und berechne dann die Gewichte neu

Neue Lernregel:

$$\Delta \mathbf{w}_{ij} = \epsilon (\langle \mathbf{v}_i \mathbf{h}_j \rangle_{data} - \langle \mathbf{v}_i \mathbf{h}_j \rangle_{recon})$$

Kontrastive Divergenz

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Problem der neuen Lernregel: Man kann zwar zeigen, dass diese Lernregel funktioniert, jedoch folgt diese keinem Gradienten einer Funktion und ist dadurch schwer nachvollziehbar.

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Deep-Belief Netze

Deep-Belief Netze

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Haben eine tiefe Struktur mit vielen Ebenen

Werden meist unüberwacht trainiert

Können zur Klassifikation und Rekonstruktion von Daten benutzt werden

Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Um ein kompliziertes Modell effizient zu lernen, empfiehlt es sich einfachere Modelle nacheinander zu lernen.

Nehme an, dass die Gewichte zwischen den Ebenen in einem Modell gleich sind.

Dies führt dazu, dass ein Modell lediglich eine eingeschränkte Boltzmann Maschine trainiert

Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

- 1 Lerne W_0 .
- 2 Benutze W_0^T um die Verteilung der einzelnen Variablen in der ersten versteckten Ebene zu approximieren.
- 3 Lerne eine weitere eingeschränkte Boltzmann Maschine mithilfe der “Daten“, die durch W_0^T generiert wurden, für die nächste Ebene.

DBN zur Klassifikation

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

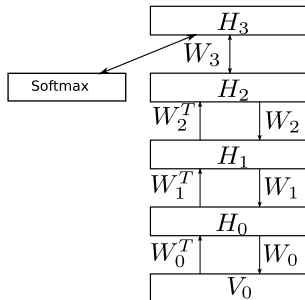
Fazit und Ausblick

Man kann Softmax Neuronen zur Klassifikation verwenden:

$$p_j = \frac{e^{net_j}}{\sum_{i=1}^K e^{net_i}}$$

Diese Aktivierungsfunktion stellt eine Beschränkung der Neuronen dar, dass immer nur ein Neuron in der Softmaxgruppe auf 1 sein kann

DBN zur Klassifikation



Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Label werden als Input der Softmaxgruppe
mittrainiert.

Im Anschluss kann per Gibbssampling in den letzten
Ebenen die Klasse eines Datensatzes erkannt
werden

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN

DBN zur Klassifikation

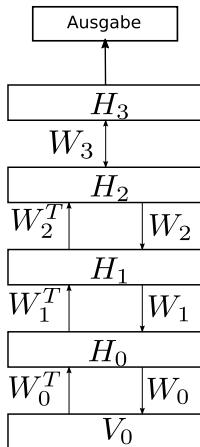
Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

DBN zur Klassifikation



Gewichte zur Ausgabe werden mit Backpropagation trainiert. Danach wird das ganze Netz per Backpropagation feiner eingestellt.

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Implementation

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

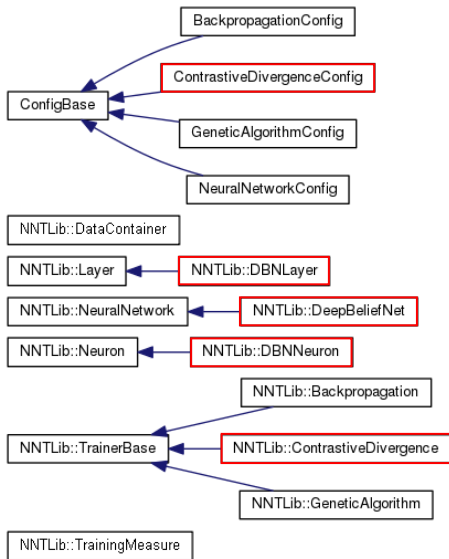
Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

Implementation



Implementation

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

```
#Linear=0,SIGMOID=1,TANH=2,LECUN_TANH=3...  
FunctionType=1  
LastLayerFunction=5  
#NONE=0, UNIFORM=1, LECUN=2, NORMAL0=3  
WeightInitType=1  
LayerCount=3  
SoftmaxGroup=1  
#Anzahl der Neuronen pro Layer : {Input},{  
    Hidden_0 },...,{ Output}  
LayerNeuronCount=4,4,2
```

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Versuch

Verwendete Datensätze

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

1. Datensatz:

- Zwei Klassen: Achsen- oder Rotationssymmetrisch
- 4 Eingabepixel
- 1346 Datensätze

Verwendete Datensätze

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

2. Datensatz:

- 10 Klassen: Ziffern von 0-9
- 784 Eingabepixel
- 70000 Datensätze

Durchführung

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

	Backpropagation	Kontrastive Di- vergenz
Epochen	1000	10
Lernrate	0,5	0,001
Gibsschritte	-	5
Batchgröße	50	50

Durchführung

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

NR	Topologie	Backpropagation			BP mit Vortraining		
		MSE	Fehler	Laufzeit	MSE	Fehler	Laufzeit
1	4-2-2	0.0987	7,85%	219ms	0.10452	7,7%	187ms
2	4-4-2	0.0935	7,33%	301ms	0.10355	7,56%	203ms
3	4-6-2	0.0920	7,26%	395ms	0.10342	7,63%	222ms
4	4-8-2	0.0930	7,11%	489ms	0.10463	7,33%	234ms
5	4-2-2-2	0.100	7,33%	311ms	0.10586	7,63%	293ms
6	4-4-4-2	0.0917	8,37%	500ms	0.10471	7,48%	323ms
7	4-4-8-2	0.091	7,33%	701ms	0.10516	7,56%	352ms
8	4-8-8-2	0.0869	7,93%	939ms	0.10464	7,77%	401ms

Durchführung

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

NR	Topologie	Backpropagation		BP mit Vortraining	
		MSE	Fehler	MSE	Fehler
1	4-2-2	0.100579	7,1%	0.103906	7,63%
2	4-4-2	0.093576	6,67%	0.104292	7,48%
3	4-6-2	0.0929966	6,81%	0.103663	7,5%
4	4-8-2	0.0924468	7,33%	0.103607	7,56%
5	4-2-2-2	0.0993957	6,81%	0.103637	7,48%
6	4-4-4-2	0.0952459	7,19%	0.103448	7,56%
7	4-4-8-2	0.0951773	7,3%	0.125192	7,9%
8	4-8-8-2	0.0855608	7,56%	0.104697	7,48%

Durchführung

Grundlagen

Allgemeiner Aufbau
neuronaler Netze
Backpropagation
Markov-Ketten
Hopfield Netze
Boltzmann Maschinen
Eingeschränkte Boltzmann
Maschinen
Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

Greedy Algorithmus zum
trainieren von DBN
DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

Verwendete Datensätze
Durchführung

Fazit und Ausblick

NR	Topologie	Gibbs Schritte	BP mit Vortraining
1	784-500-500-2000-10	1	2,1%
2	784-500-500-2000-10	10	2,18%
4	784-500-500-1000-10	1	1,97%
5	784-500-500-500-10	1	2,36%

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Fazit und Ausblick

Grundlagen

- Allgemeiner Aufbau neuronaler Netze
- Backpropagation
- Markov-Ketten
- Hopfield Netze
- Boltzmann Maschinen
- Eingeschränkte Boltzmann Maschinen
- Kontrastive Divergenz

Deep-Belief Netze

- Greedy Algorithmus zum trainieren von DBN
- DBN zur Klassifikation

Implementation

Versuch

- Verwendete Datensätze
- Durchführung

Fazit und Ausblick

Fazit und Ausblick

Durch die vielen Wahrscheinlichkeiten sind Deep-Belief Netze schwer nachvollziehbar

Es steht die Frage im Raum, ob die einzelnen Ebenen so groß sein müssen

Leider hat meine Implementation nicht die gewünschten Ergebnisse erzieht.