

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

Rekurentní neuronové sítě pro modelování časových řad

Vypracoval: Martin Vejvar

Vedoucí: Prof. Ing. Jan Náhlík CSc.

Ústav počítačové a řídicí techniky
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

28.5.2018

Úvod

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- Cíle:
 - zpracování sekvenčních dat
- Využitý software:



NumPy



GitHub

Úvod

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- Cíle:
 - zpracování sekvenčních dat
 - porozumění problematice
- Využitý software:



NumPy



GitHub

Úvod

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- Cíle:
 - zpracování sekvenčních dat
 - porozumění problematice
 - návrh a realizace rekurentní sítě
- Využitý software:



NumPy



GitHub

Neuron dopředné sítě

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron**
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapomínání
- Vstupní část
- Výstupní část

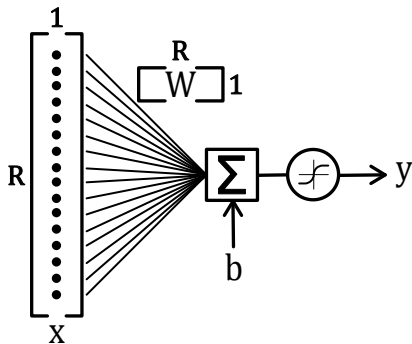
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



- výstup neuronu

$$y = f(W \cdot x + b) \quad (1)$$

Buňka rekurentní sítě s 1 neuronem

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapominání

Vstupní část

Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení
přesnosti

Výsledky predikce

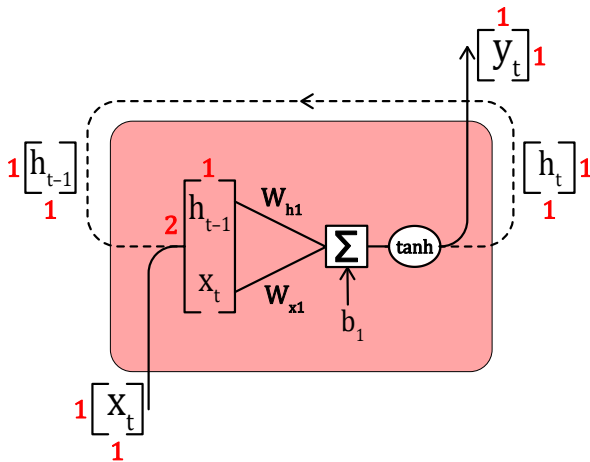
Průtok Saugeen

Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji



Buňka rekurentní sítě s n neurony

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapominání

Vstupní část

Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení
přesnosti

Výsledky predikce

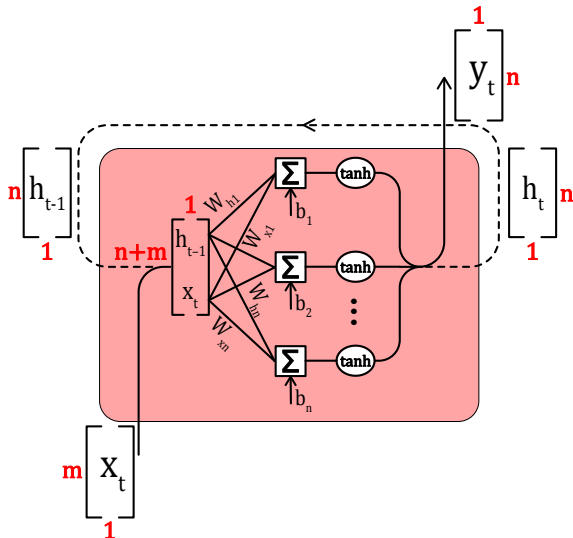
Průtok Saugeen

Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji



Buňka rekurentní sítě s n neurony

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapominání

Vstupní část

Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení
přesnosti

Výsledky predikce

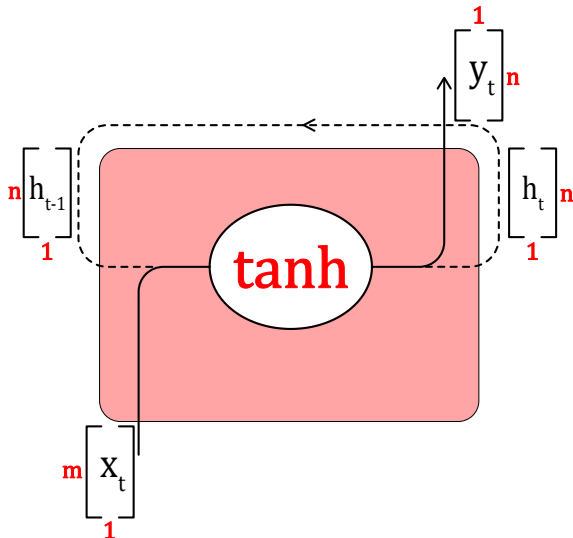
Průtok Saugeen

Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji



Rozvinutí buňky od počátku sekvence

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapomínání

Vstupní část

Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení

přesnosti

Výsledky predikce

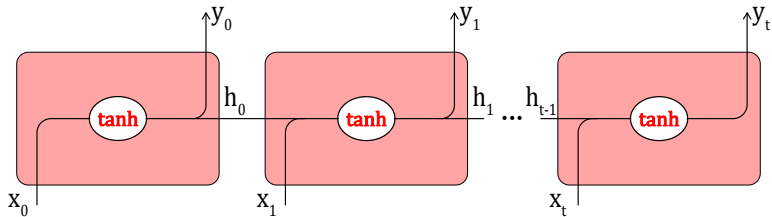
Průtok Saugeen

Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji



Vrstvení buněk sítě

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk**
- LSTM architektura
- Zapomínání
- Vstupní část
- Výstupní část

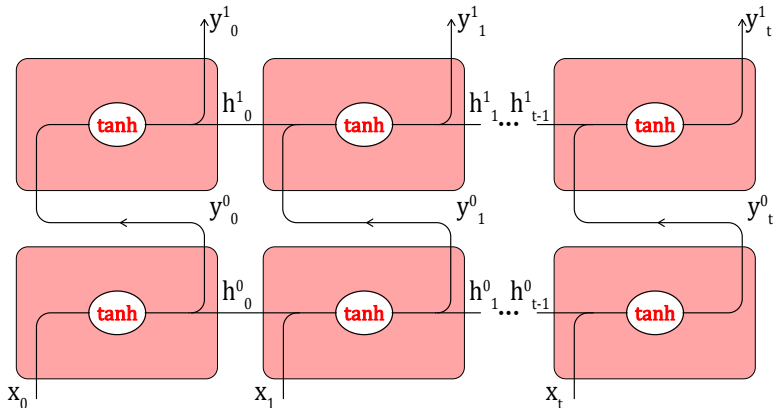
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



LSTM architektura buňky

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuron

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapomínání

Vstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení

přesnosti

Výsledky predikce

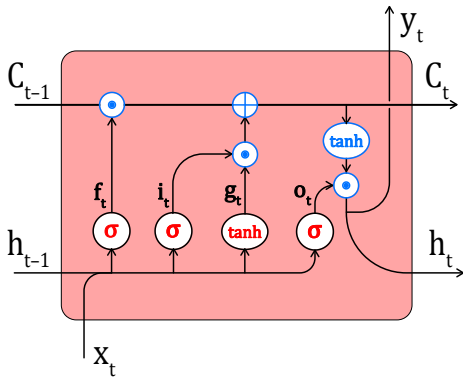
Průtok Saugeen

Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji



Brána zapomínání

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapomínání**
- Vstupní část
- Výstupní část

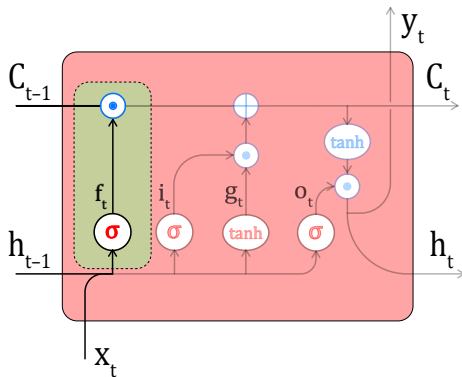
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



Vstupní část

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapominání
- Vstupní část**
- Výstupní část

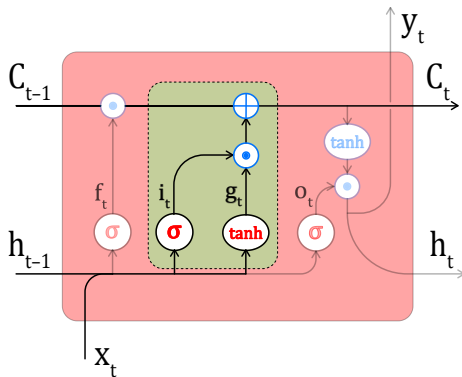
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



Výstupní část

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapominání
- Vstupní část
- Výstupní část

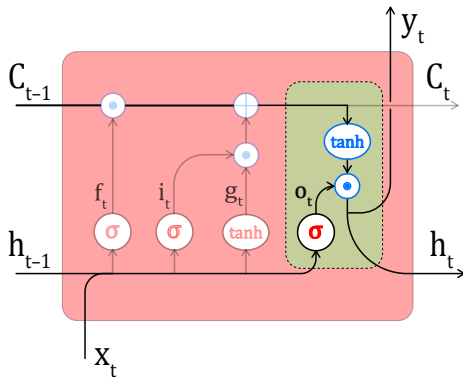
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



LSTM podrobněji

Predikce časových řad

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury
Vyhodnocení přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

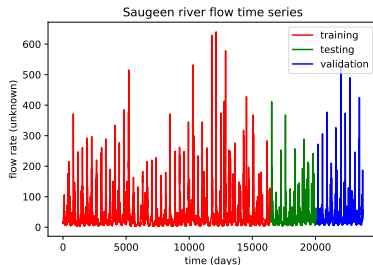
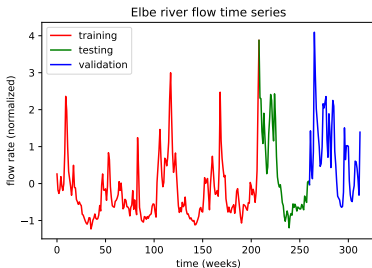
Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- cíl

- jednokroková predikce
- týdenní průtoky Labe (313 vzorků)
- denní průtoky Saugeen (23741 vzorků)



Instance buňky navržené sítě v čase t

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapominání
- Vstupní část
- Výstupní část

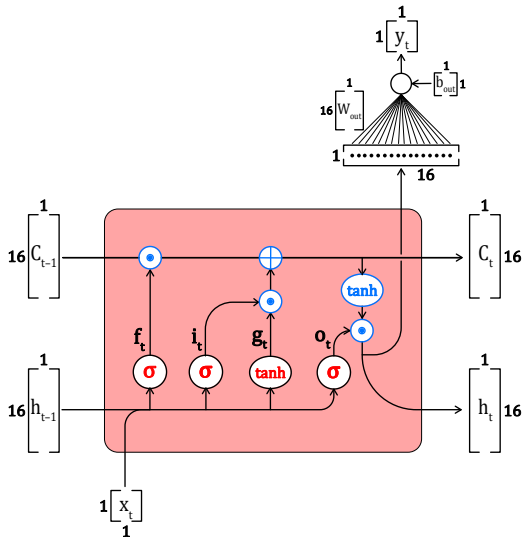
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



Vrstvení a rozvinutí v čase

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapominání
- Vstupní část
- Výstupní část

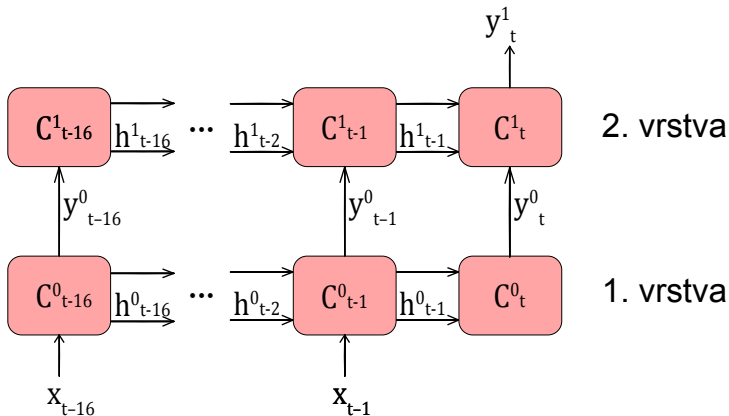
Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Lake

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji



Hodnoty parametrů sítě

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapomínání
- Vstupní část
- Výstupní část

Realizace sítě

- Datové sady
- Návrh struktury**
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji

název	hodnota
počet vrstev	2
velikost paměti (C)	16
rozvinutí do minulosti	16
velikost dávky	4
max. epoch	1000
early stopping (epoch)	20

Vyhodnocení přesnosti

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Lake

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- Symmetric Mean Absolute Prediction Error
- nástavba relativní chyby predikce (MAPE)

$$SMAPE = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - t_i|}{|y_i| + |t_i|} \quad (2)$$

- y_i ... predikované hodnoty
- t_i ... skutečné hodnoty

Jednokroková predikce průtoku Saugeen

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapominání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

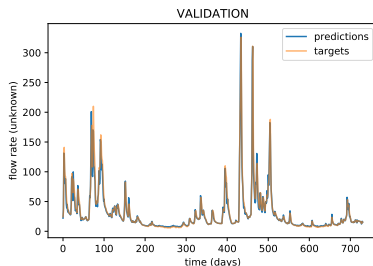
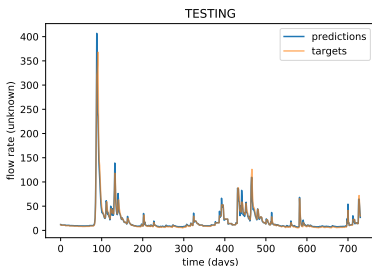
Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- základní nastavení (paměť 16, rozvinutí 16, dávka 4)



- SMAPE = 9,08 %
- epoch učení: 70
- doba učení: 23 minut 43 sekund

Jednokroková predikce průtoku Saugeen

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka

Dopředný neuron

Buňka 1 neuron

Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky

Vrstvení buněk

LSTM architektura

Zapomínání

Vstupní část

Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

Vyhodnocení

přesnosti

Výsledky predikce

Průtok Saugeen

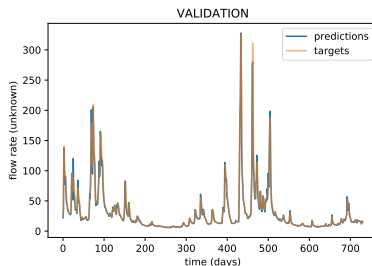
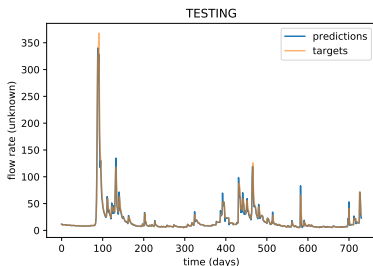
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- nejlepší výsledky (paměť 16, rozvinutí 16, dávka 16)



- SMAPE = 7,85 %
- epoch učení: 40
- doba učení: 4 minuty 42 sekund

Jednokroková predikce průtoku Labe

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

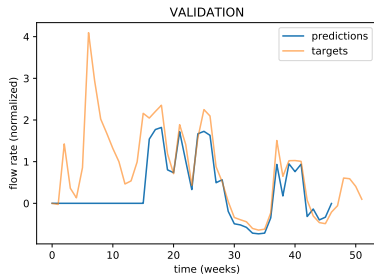
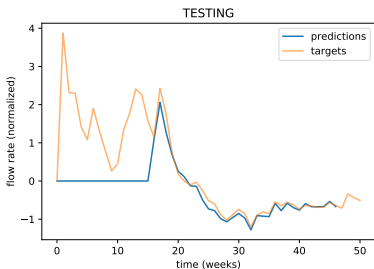
Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- základní nastavení (paměť 16, rozvinutí 16, dávka 16)



- SMAPE = 64,9 %
- epoch učení: 70
- doba učení: 36 sekund

Jednokroková predikce průtoku Labe

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapomínání
- Vstupní část
- Výstupní část

Realizace sítě

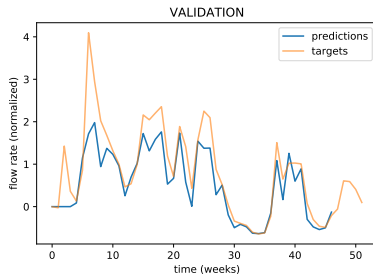
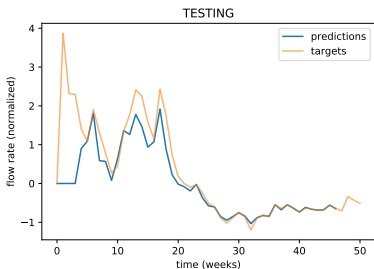
- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji

- nejlepší výsledky (paměť 4, rozvinutí 4, dávka 2)



- $\text{SMAPE} = 62,3 \%$
- epoch učení: 240
- doba učení: 58 sekund

Závěr

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapominání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

- co bylo provedeno
 - rekurentní síť s LSTM architekturou
 - otestována na predikci průtoků Labe a Saugeen
- dosažené výsledky
 - Saugeen: 7,85 %
 - Labe: 64,9 %
- co bude dál
 - víceukroková predikce
 - dropout
 - grid search
 - naučení na jedné sadě a testování na druhé
 - jiná data

Brány

Úvod

Teorie

- Rekurentní buňka
- Dopředný neuron
- Buňka 1 neuron
- Buňka n neuronů
- Rozvinutí buňky
- Vrstvení buněk
- LSTM architektura
- Zapomínání
- Vstupní část
- Výstupní část

Realizace sítě

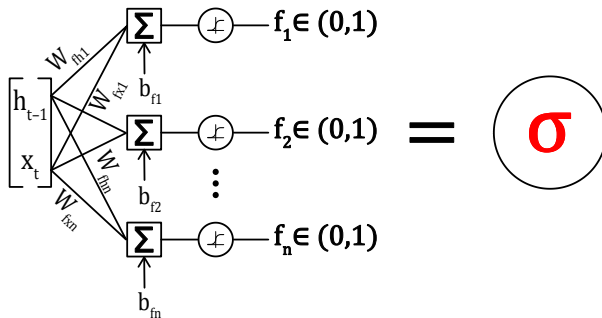
- Datové sady
- Návrh struktury
- Vyhodnocení přesnosti
- Výsledky predikce
- Průtok Saugeen
- Průtok Labe

Závěr

Přílohy

- LSTM podrobněji

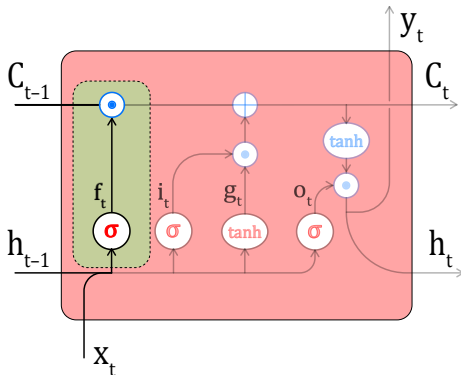
- vnitřní struktura brány zapomínání



Brána zapomínání

- zapomínání části vnitřního stavu

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$



Vstupní část

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

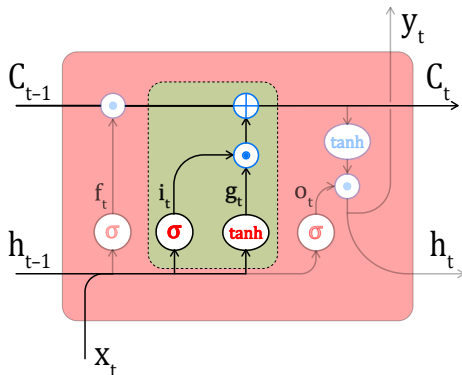
Přílohy

LSTM podrobněji

- ukládání nových hodnot do vnitřního stavu

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

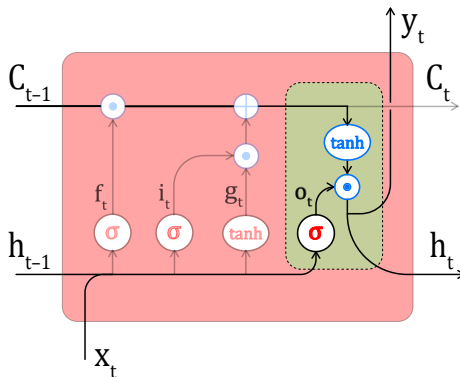
$$g_t = \tanh(W_g \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_g)$$



Výstupní část

- průchod vnitřního stavu tanh funkcí na výstup:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$



Aktualizace výstupů

Úvod

Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapominání
Vstupní část
Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti
Výsledky predikce
Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy

LSTM podrobněji

● výstupy vrstev

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$g_t = \tanh(W_g \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_g)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

● výstupy buňky

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot g_t$$

$$y_t = o_t \odot \tanh(C_t)$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$$

Zpět