# 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

Realizace sítě
Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti

Výsledky predikc Průtok Saugeen Průtok Labe

Závěr

Přílohy LSTM podrobně

### Cíle:

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



github.com/vejvarm/RNNs

# Neuron dopředné sítě

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronú Rozvinutí buňky

LSTM architekt

Vstupní část Výstupní část

Realizace s

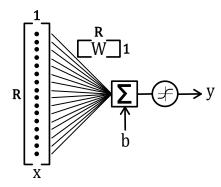
Návrh struktury Vyhodnocení

Výsledky predik

Průtok Sauge Průtok Labe

#### Závě

Přílohy LSTM podrobněi

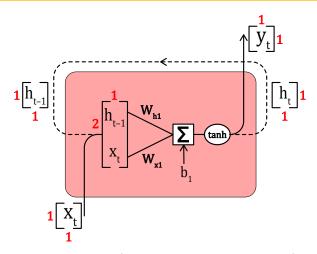


výstup neuronu

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

## Buňka rekurentní sítě s 1 neuronem

Buňka 1 neuron



$$y_t = h_t = \tanh(W_{h,1} \cdot h_{t-1} + W_{x,1} \cdot x_t + b_1)$$

# Buňka rekurentní sítě s n neurony

### Úvod

#### Teorie

ekurentní buňka Dopředný neuron

#### Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky Vrstvení buněk

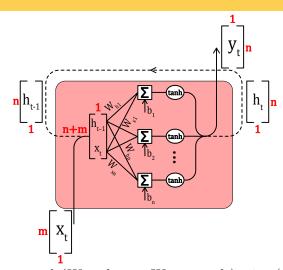
Zapomínání Vstupní část

### Realizace s

Datové sady Návrh struktury

Výsledky prediko Průtok Saugeer

#### Závěi



$$y_{t,i} = h_{t,i} = \tanh(W_{h,i} \cdot h_{t-1} + W_{x,i} \cdot x_t + b_i) \quad i = (1, 2, ..., n)$$

# Buňka rekurentní sítě s n neurony

### Úvod

#### Teorie

ekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron

#### Buňka n neuronů

Rozvinutí buňky Vrstvení buněk

Zapomínání Vstupní část

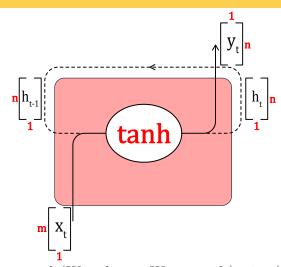
### Realizace sí

Datové sady Návrh struktury

přesnosti Výsledky predik

Průtok Saugeei

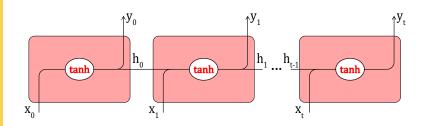
#### Závěi



$$y_{t,i} = h_{t,i} = \tanh(W_{h,i} \cdot h_{t-1} + W_{x,i} \cdot x_t + b_i) \quad i = (1, 2, ..., n)$$

# Rozvinutí buňky od počátku sekvence

Rozvinutí buňky



$$y_{t} = f(x_{t}, h_{t-1})$$

$$h_{t-1} = f(x_{t-1}, h_{t-2})$$

$$\vdots$$

$$h_{1} = f(x_{1}, h_{0})$$

$$h_{0} = f(x_{0})$$

## Vertikální vrstvení buněk sítě

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronů

#### Vrstvení buněk

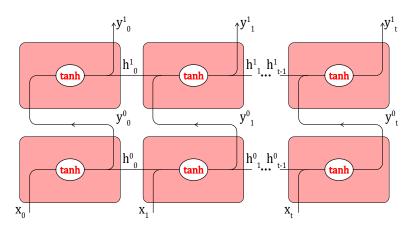
LSTM architektur Zapomínání Vstupní část Výstupní část

Realizace sítě Datové sady Návrh struktury

Vyhodnocení přesnosti Výsledky predikce

Výsledky predikce Průtok Saugeen

#### Závěr



$$y_t^1 = f(y_t^0, h_{t-1}^1)$$
$$y_t^0 = f(x_t, h_{t-1}^0)$$

# LSTM architektura buňky

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuror Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk

### LSTM architektura

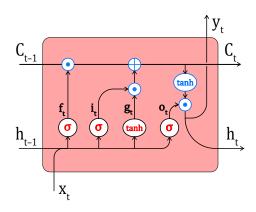
Vstupní část Výstupní část

#### Realizace si

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení

Výsledky predik

#### Prutok E



# Brána zapomínání

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuror Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk

### Zapomínání

Vstupní část Výstupní část

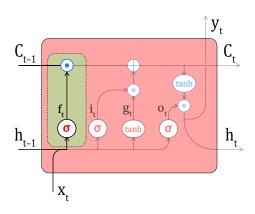
#### Realizace si

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení

Výsledky predik

Průtok Saugee Průtok Labe

#### Závěi



# Vstupní část

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektura

Vstupní část

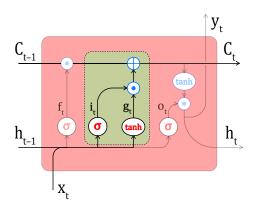
Výstupní část

Realizace sí

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení přesnosti Výsledky predik

Průtok Saugee

74....



# Výstupní část

#### Úvod

#### Teorie

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

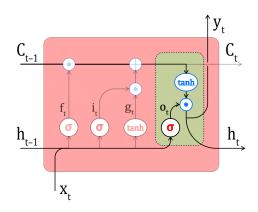
### Výstupní část Realizace s

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení přesnosti

Průtok Saugee

#### Závěi

Přílohy J STM podrobněj



LSTM podrobněji

# Predikce časových řad

#### Úvod

#### Teorie

Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektura Zapomínání

### Realizace sítě

#### Datové sady Návrh struktury

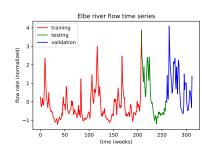
Výsledky predikce Průtok Saugeen

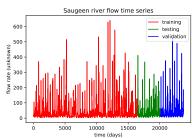
#### Závěr

Přílohy

### cíl

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





## Síť v čase t

#### Úvod

#### Teorie

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

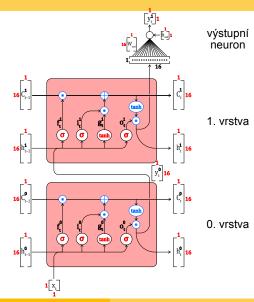
Realizace s

#### Návrh struktury

Vyhodnocení

Výsledky predik Průtok Saugee

7ávěr



## Síť rozvinutá do minulosti

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuro Buňka 1 neuron

Buňka n neuroní Bozvinutí buňky

Vrstvení buně

Zapomínání Vstupní část

Vstupní část Výstupní část

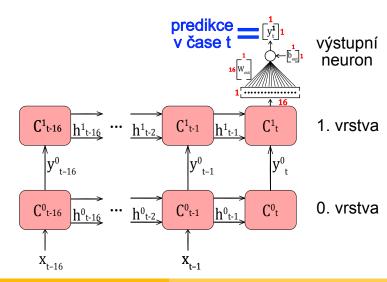
Realizace s

#### Návrh struktury

Vyhodnocení

Výsledky predik Průtok Saugee

#### Závěr



# Vyhodnocení přesnosti

#### Úvod

#### Teorie

Dopředný neuro Buňka 1 neuror Buňka n neuror Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektu Zapomínání Vstupní část Výstupní část

Realizace sítě

Datové sady

Návrh struktury

#### Návrh struktury Vyhodnocení

přesnosti Výsledky predi Průtok Sauge

Závěi

Přílohy LSTM podrobně relativní chyba predikce:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| \frac{t_i - y_i}{t_i} \right|$$

• symetrická relativní chyba predikce:

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

- t<sub>i</sub> ... skutečné hodnoty
- y<sub>i</sub> ... predikované hodnoty

## Jednokroková predikce průtoku Saugeen

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektura

Realizace sítě
Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení
přesnosti

Průtok Saugeen
Průtok Labe

Závěr

Přílohy LSTM podrobněj

### základní:

paměť: 16rozvinutí: 16dávka: 4

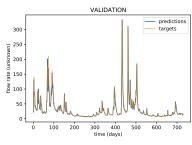
nejlepší:

paměť: 16rozvinutí: 16

VALIDATION

time (days)

dávka: 16



% • SMAPE = 7,85 %

300

250 200 150

100

50

učení: 4 min 42 s

100 200 300 400 500 600 700

- SMAPE = 9,08 %
- učení: 23 min 43 s

predictions

targets

# Jednokroková predikce průtoku Labe

#### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka Dopředný neuron Buňka 1 neuron Buňka n neuronů Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektura

Výstupní část
Realizace sítě
Datové sady
Návrh struktury
Vyhodnocení

Výsledky predikce Průtok Saugeen Průtok Labe

Závěr

Přílohy LSTM podrobně

### základní:

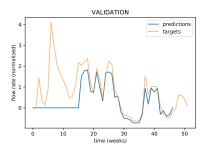
paměť: 16rozvinutí: 16

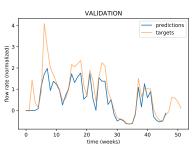
dávka: 4

### nejlepší:

paměť: 4rozvinutí: 4

dávka: 2





- SMAPE = 64,9 %
- učení: 36 s

SMAPE = 62,3 %

• učení: 58 s

## Závěr

### Úvod

#### Teorie

Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura

Realizace sítě
Datové sady
Návrh struktury

Průtok Saugeen
Průtok Labe

#### Závěr

- o co bylo provedeno
  - rekurentní síť s LSTM architekturou
  - otestována na predikci průtoků Labe a Saugeen
- dosažené výsledky
  - Saugeen: 7,85 % (paměť 16, rozvinutí 16, dávka 16)
  - Labe: 64,9 % (paměť 4, rozvinutí 4, dávka 2)
- co bude dál
  - vícekroková 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

Realizace sítě Datové sady

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení přesnosti

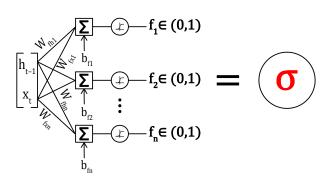
Výsledky predik Průtok Saugee

#### Závěi

#### Přílohy

LSTM podrobněji

vnitřní struktura brány zapomínání



# Brána zapomínání

#### Úvod

#### Teorie

Bekurentní buňka Dopředný neuror Buňka 1 neuron Buňka n neuroní Rozvinutí buňky Vrstvení buněk LSTM architektura Zapomínání Vstupní část

Realizace sítě Datové sady

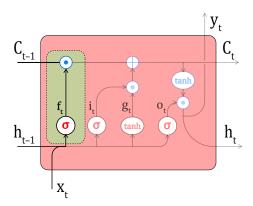
Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení přesnosti

Průtok Saugeei

Závěr

Přílohy LSTM podrobněji • zapomínání části vnitřního stavu

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



# Vstupní část

#### Úvod

#### Teorie

eOrie
Rekurentní buňka
Dopředný neuron
Buňka 1 neuron
Buňka n neuronů
Rozvinutí buňky
Vrstvení buněk
LSTM architektura
Zapomínání

Realizace sítě Datové sady Návrh struktury

Výsledky prediko Průtok Saugee

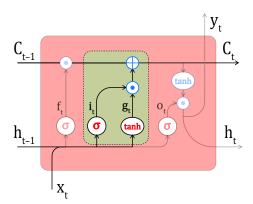
#### Závěr

#### Přílohy

LSTM podrobněji

### ukládání nových hodnot do vnitřního stavu

$$\begin{split} i_t = &\sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \\ g_t = &\tanh\left(W_g \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_g\right) \end{split}$$



# Výstupní část

#### Úvod

#### Teorie

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

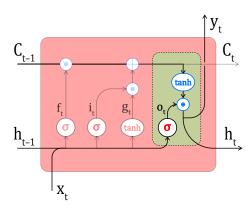
Realizace sít Datové sady

Návrh struktury Vyhodnocení přesnosti Výsledky predikce Průtok Saugeen

Závěr

Přílohy LSTM podrobněji 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
Zapomínání

Realizace s

Datové sady Návrh struktury Vyhodnocení

Výsledky predik Průtok Saugee

7ávěi

Přílohy LSTM podrobněji

Přílohy

### výstupy vrstev

$$\begin{split} f_t = &\sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \\ i_t = &\sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \\ g_t = &\tanh(W_g \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_g) \\ o_t = &\sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \end{split}$$

### výstupy buňky

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot g_t$$
$$y_t = o_t \odot \tanh(C_t)$$
$$h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$$

