

Vyhodnocení závislosti průtoků na srážkách metodou neuronových sítí

Martin Neruda, Roman Neruda

Anotace:

Aplikace spočívá v kalibraci neuronového modelu a modelu Fourierových řad na povodí Ploučnice. Výhodou použitého přístupu je, že volba typu sítě není závislá na dalších parametrech úlohy. Jednotlivé sítě, případně jejich varianty (různý počet jednotek, různé počty skrytých vrstev), lze připojit jako “black-box” a testovat nezávisle. Při testování se použije Stuttgartský neuronový simulátor SNNS. Byla vytvořena perceptronová síť, která byla učena metodou back propagation vylepšenou o tzv. momentový člen. Síť je schopna věrně předpovědi hodnot průtoku následujícího dne na základě hodnot průtoku a srážek v den předchozí.

Annotation:

An application deals with calibration of neural model and Fourier series model for Ploučnice catchment. This approach has an advantage, that network choice is not dependent on other example's parameters. Each networks, and their variants (different units and hidden layers number) can be connected in as a “black box” and tested independently. A Stuttgart neural simulator SNNS is used for testing. A perceptron network has been constructed, which was taught by back propagation method improved with a momentum term. The network is capable of an accurate forecast of next day runoff on the base of runoff and rainfall values from previous before.

Úvod

Neuronové sítě lze využít pro sledování závislosti srážko-odtokového procesu. Danou problematikou se zabývám v rámci své disertační práce v doktorském studiu na Lesnické fakultě České zemědělské univerzity v Praze. Softwarové zpracování dat je umožněno ve spolupráci s Ústavem informatiky Akademie věd ČR v Praze. Sledované území horní Ploučnice má rozlohu 267,8 km². Český hydrometeorologický ústav provádí měření srážkových denních úhrnů na čtyřech stanicích: Křižany, Jablonné v Podještědí, Stráž pod Ralskem a Mimoň. Z denních srážkových úhrnů byly pomocí programu v Linuxu spočítané vážené průměry výšky srážek metodou Thiessenových polygonů.

Metoda Thiessenových polygonů

Spojením srážkoměrných stanic přímkami získáme trojúhelníkovou síť, která pokrývá celé zkoumané povodí. Uprostřed stran trojúhelníků vedeme kolmice ke spojnicím a získáme z nich síť polygonů. Každý polygon zahrnuje území, v němž všechna místa leží ke srážkoměrné stanici uvnitř polygonu blíže než k ostatním stanicím mimo polygon. Srážky naměřené ve stanici uvnitř polygonu vztahujeme na celý polygon. Průměrnou výšku srážek v celém povodí vypočteme vztahem (1):

$$R = \frac{R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 + R_3 \cdot A_3 + \dots + R_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (1)$$

kde:

R= 24h srážkový úhrn (mm/den) vztažený na vymezenou plochu povodí

$R_1 - R_a = 24\text{h}$ srážkový úhrn naměřený na stanici (mm/den)
 $A_1 - A_n$ = velikost území podle Thiessenových polygonů (km^2)

Uzávěrový profil pro měření průtoků se nachází v Mimoni. Jsou sledovány denní hodnoty průtoků na řece Ploučnici.

Pro sledování kvality vody, zvláště radiologických ukazatelů byla navázána spolupráce s podnikem Diamo, s.p. Stráž pod Ralskem. Podnik provádí odběry 4x ročně na šesti místech, a to na Chrastné, Ještědském a Dubnickém potoce a na Ploučnici v Novinách p. Ralskem, pro sledování kvality důlních vod mají zaveden monitoring na dvou místech při ústí odváděcího kanálu. Povodí Ohře, s.p. provádí měření radiologických ukazatelů na dvou místech ve sledované lokalitě, a to v nádrži Horka a v Mimoni. K dispozici jsou data za pětileté období let 1994-1999. Byly vybrány dvě srážkově bohaté události: 8. 5. - 6. 7. 1995 a 31. 5. – 23. 8. 1996.

Neuronové síť

V práci uvažujeme tři různé modely neuronových sítí, a to *vícevrstvý perceptron*, síť typu Radial Basis Function (*RBF síť*), a síť *Cascade Correlation*. Ve všech případech jde o architektury sítí realizující funkci mezi vstupními a výstupními neurony pomocí tzv. dopředných vazeb (nepoužíváme tedy sítě s rekurentními cyklickými topologiemi).

Perceptronové sítě jsou složeny z výpočetních jednotek (neuronů), které realizují afinní transformaci vstupních hodnot, na níž je aplikována nelineární schodovitá přechodová funkce.

$$y = \sigma\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - w_0\right)$$

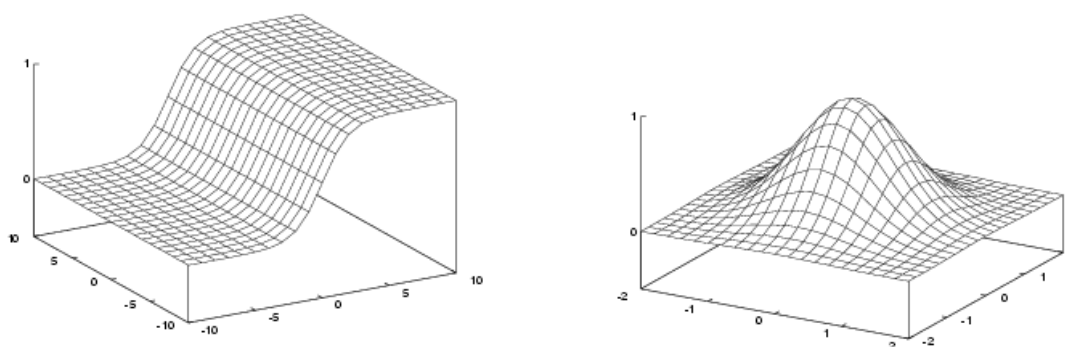
$$y = \gamma(\|x - c\|)$$

Neurony v perceptronové síti jsou uspořádány do vrstev, které jsou navzájem propojeny *synapsemi*. Typicky uvažujeme síť s jednou či dvěma vrstvami perceptronů (tzv. skrytými vrstvami). Tato síť se typicky učí algoritmem Backpropagation.

Síť Cascade Correlation používá stejné neurony jako perceptronová síť, ale její topologie je složitější. Kromě dopředných synapsí jsou neurony spojeny ještě laterálně a to vždy tak, aby nedošlo k cyklickým strukturám — všechny laterální vazby mají stejnou orientaci. Bohatší struktura sítě je vyvážena složitějším učícím algoritmem kombinujícím gradientní minimalizaci s maximalizací korelace.

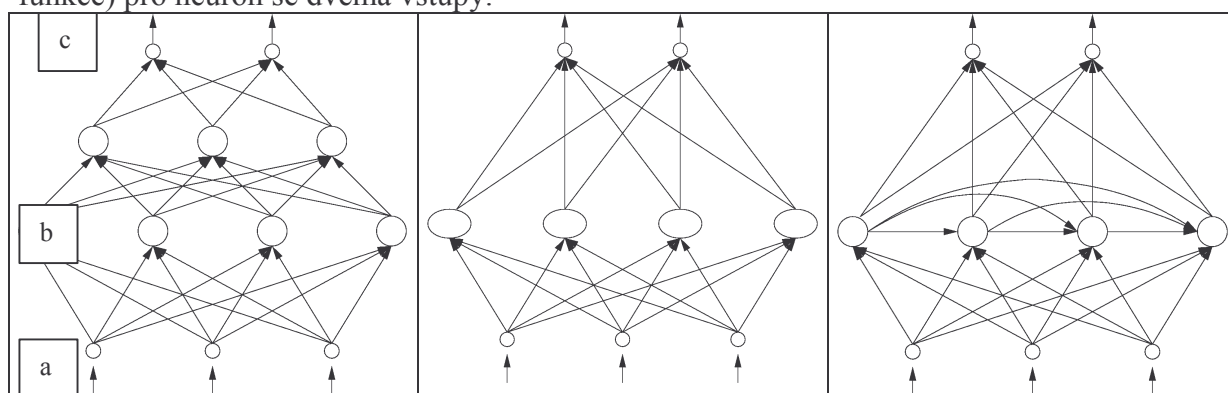
RBF síť představují alternativní architekturu neuronových sítí, která využívá jiný typ neuronů, tzv. *lokální jednotky*. Ty mají odlišnou přechodovou funkci, která nejprve spočte vzdálenost vstupu od středu určeného parametry jednotky a následně aplikuje nelineární funkci (nejčastěji je to Gaussova funkce). RBF síť lze učit variantou gradientního algoritmu nebo také použitím *genetických algoritmů*.

Výhodou použitého přístupu je, že volba typu sítě není závislá na dalších parametrech úlohy. Jednotlivé sítě, případně jejich varianty (různý počet jednotek, různé počty skrytých vrstev), lze připojit jako “black-box” a testovat nezávisle. Při testování použijeme Stuttgartský neuronový simulátor SNNS a multiagentní hybridní systém Bang2 vyvíjený v Ústavu informatiky Akademie věd ČR.



a	b
---	---

Obr. 2 a) přechodové funkce perceptronu (logistická sigmoida) a b) RBF jednotky (Gaussova funkce) pro neuron se dvěma vstupy.

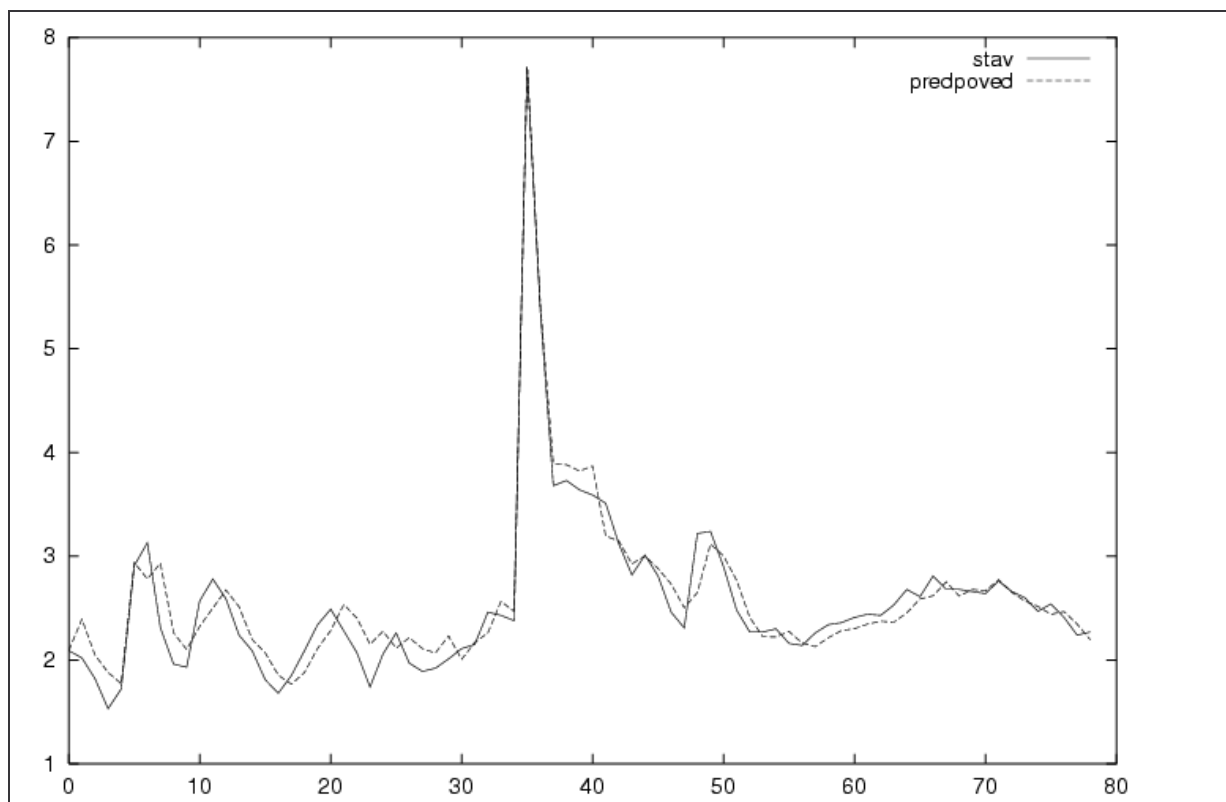


Obr. 3 Grafy propojení typické vícevrstvé perceptronové sítě, RBF sítě a sítě Cascade correlation, a) vstupní vrstva, b) střední vrstva, c) výstupní vrstva

Výsledky

V datech popsaných v předchozích kapitolách jsme nejprve identifikovali dvě význačné srážkové události, které vrcholí extrémními průtoky. První srážková událost proběhla mezi 8. 5. - 6. 7. 1995 a druhá mezi 31. 5. – 23. 8. 1996. Na těchto událostech jsme testovali, zda jsme popsanou metodikou schopni vytvořit realistický neuronový model. Jelikož jde v obou případech zhruba o 60–70 tréninkových vzorů, jsme schopni vytvořit a naučit poměrně malou neuronovou síť, s pěti neurony ve skryté vrstvě, která věrně realizuje danou časovou řadu.

Hlavním výsledkem je ovšem model vzniklý na základě učení neuronové sítě daty z celého sledovaného období. Pro tento případ jsme vytvořili perceptronovou síť 2–8–1, kterou jsme učili metodou back propagation vylepšenou o tzv. momentový člen. Zhruba po 100 000 iteracích učení jsme dosáhli výsledku znázorněného na Obr. 4. Síť je schopna věrně předpovědi hodnot průtoku následujícího dne na základě hodnot průtoku a srážek v den předchozí. Síť správně indikuje i extrémní tendence v hodnotách průtoku, např. ve dvou zmiňovaných srážkových epizodách. V předpovědi extrémních hodnot se projevují největší chyby sítě: trend je zachycen správně, ale absolutní hodnota průtoku je vesměs předpovídána menší. Jde o pochopitelnou vlastnost, protože dat s vyššími hodnotami průtoku je relativně málo. Pro další práci počítáme se zvýšením počtu extrémálních dat v trénovací množině. Popsané výsledky experimentů se vztahují k perceptronovým sítím.



Obr.4 Porovnání skutečného průtoku a předpovědi perceptronové sítě typu 2–8–1 pro období 8. 5. - 6. 7. 1995 (osa y je normalizovaná hodnota odtoku v mm/den, osa x představuje dny).

Seznam literatury:

- 1) Bíla, J.: Umělá inteligence a neuronové sítě v aplikacích. Skripta Fakulta strojní ČVUT Praha, 1995.
- 2) Box, G.E.-Jenkins, G.M.: Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, Oakland, Calif., 1976.
- 3) Drbal, K. – Starý, M.: Předpovědní modely a řízení manipulací při povodních. In: Sborník referátů 7. Symposia Systém povodňové ochrany ČR, Olomouc, 1998, 59-67.
- 4) Fošumpaur, P.: Application of Artificial Neural Networks (ANNs) to Rainfall-Runoff process, In: Sborník referátů Workshop '98, Part III., ČVUT Praha, 1998, 985-986.
- 5) Neruda, R.: Functional Equivalence and Genetic Learning of RBF Networks. In: Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. Proceedings of the International Conference. (Ed.: Pearson D. W., Steele N. C., Albrecht R. F.) - Wien, Springer-Verlag 1995, pp.53-56
- 6) Hsu, K. – Gupta, H.V. – Sorooshian, S., Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process, Water Resour. Res., 1995, 31(10), 2517-2530.
- 7) Kulhavý Z., Kovář P.: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Praha 2000
- 8) Minns, A.W.: Extended rainfall-runoff modelling using artificial neural networks. Hydroinformatics'96, Muller(ed.), Balkema, Rotterdam, 1996, 207-213.
- 9) Nacházel, K. – Toman, M.: Problematika umělých neuronových sítí a jejich využití pro optimalizaci výroby elektrické energie v soustavě vodních elektráren. Vodohosp. Čas., 45(3), 1997, 129-150.
- 10) Rumelhart, D. – Hinton, E.G. – Williams, R.J.: Learning internal representations by error propagation. MIT Press, Cambridge, Mass., 1986.

- 11) Starý, M.: Modelování hydrogramů povodňových vln v systému stanic s využitím neuronových sítí. In: Sborník referátů z konference Přehradní dny, Hradec nad Moravicí, Povodí Odry a.s. – Český přehradní výbor, 1996, 248-252.
- 12) Starý, M.: Neuronové sítě a předpověď kulminačních průtoků a objemů povodní v povodí řeky Ostravice – uzávěrový profil Šance, Vodohosp. Čas., 46(1), 1998, 45-61
- 13) Šnorek, M. – Jiřina, M.: Neuronové sítě a neuropočítače. Skripta Fak. strojní, ČVUT Praha 1998
- 14) Šíma, J. - Neruda, R.: Teoretické otázky neuronových sítí. MatfyzPress, MFF UK Praha, 1997
- 15) Základní vodohospodářská mapa 1:50 000, 03-31 Mimoň, Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, 1999

Ing. Martin Neruda, Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně, Králova výšina 7, 400 96 Ústí nad Labem, e-mail: neruda@fzp.ujep.cz

Mgr. Roman Neruda, CSc., Ústav informatiky AVČR, Pod vodárenskou věží 2, 182 07, Praha 8, e-mail: roman@cs.cas.cz