Predikcia geomagnetických búrok pomocou neurónových sietí

Jakub Baník

1Ib, 2016 - 2017

**Abstrakt.** Geomagnetické búrky, ktoré sú dôsledkom slnečnej aktivity, môžu spôsobiť mnoho problémov pri činnosti satelitov, preto je dôležité vedieť predpovedať, kedy bude ich sila najväčšia. V článku je navrhnutý algoritmus pre predikciu geomagnetických búrok, ktorý používa neurónové siete v kombinácii s teóriou fuzzy množín. Algoritmus bol implementovaný v programovacom jazyku Java a je testovaný na dostupných dátach z reálnych meraní fyzikálnych parametrov charakterizujúcich geomagnetické búrky, medzi ktoré boli doplnené parametre kozmického žiarenia.

**Kľúčové slová:** neurónové siete, fuzzy množiny, geomagnetická búrka

1. Úvod

Neurónové siete sú často a úspešne využívane na predikciu geomagnetických búrok. Tieto siete môžu mať rôzne architektúry, ktoré majú svoje výhody a nevýhody. Medzi jedným z týchto typov neurónových sietí patria aj fuzzy neurónové siete, ktoré nám umožňujú spojiť výhody fuzzy logiky a teórie fuzzy množín s výhodami neurónových sietí.

 Fuzzy logika a teória fuzzy množín sú oblasťami matematiky, ktoré nám umožňujú pracovať s nejasnými pojmami, respektíve ich matematicky formalizovať ľudské usudzovanie, ktoré je často krát nepresné. Neurónové siete sú postavené zase na matematickom modely neurónu, vďaka čomu sú schopne učeniu a adaptácii.

 Cieľom tohto článku je popísať jednu takúto fuzzy neurónovú sieť a to konkrétne neuro-fuzzy klasifikátor , ktorá spája výhody fuzzy regulátora ako využitie už vopred známych vedomostí a ľahšieho pochopenia logiky nami naučenej sieti a neurónovej sieti, ktorá je schopná učeniu sa z dát a malej náchylnosti na šum.

2. Geomagnetické búrky

Geomagnetická búrka je dočasné narušenie magnetického poľa Zeme, ktorého najčastejším dôvodom sú procesy prebiehajúce na Slnku. Slnečné erupcie spôsobujú únik nabitých častíc do medziplanetárneho priestoru, čo spôsobuje výkyvy v magnetickom poli Zeme. Prúd týchto častíc unikajúcich zo Slnka sa nazýva slnečným vetrom.



**Obrázok 1.** Na obrázku je zobrazený priebeh geomagnetickéj búrky ako závislosť hodnôt indexu od času v hodinách

 Počas priebehu geomagnetických búrok je možné rozoznávať 3 fázy : počiatočnú,

fázu, hlavnú fázu a fázu obnovy. V počiatočnej fáze nastáva mierne zvýšenie hodnoty indexu o 20 až 50 nT a následnej jej prudké zníženie. V hlavnej fáze nastáva pokles hodnoty indexu pod hranicu -50 nT, avšak môže klesnúť až na oveľa nižšie hodnoty. Vo fáze obnovy hodnota indexupomaly stúpa, až kým nedosiahne pôvodné hodnoty. Na obrázku č.1. je možné vidieť priebeh jednej takejto búrky Geomagnetické búrky definujeme pomocou veličiny , nazývanou index geomagnetického poľa Zeme. Jeho hodnota sa pohybuje v rozmedzí +20 -20 nT (nano Tesla) v období bez búrky.

 Predikcia týchto búrok je dôležitá z viacerých dôvodov. Geomagnetické búrky napríklad spomaľujú a menia orbit satelitov s nízkou dráhou letu. Môžu poškodiť ich mikročipy a inú elektroniku. Taktiež môžu rušiť signál v telefónnych linkách a až na optické káble aj v tých podmorských, a tiež dokážu poškodiť elektrické vedenia [1].

3. Existujúce riešenia

Existujú viaceré riešenia predikcie geomagnetických búrok, medzi ktoré patria aj riešenia pomocou neurónových sietí, ktoré zaujímajú nás.

 Jedným z prvých boli (H. Lundstedt and P.Wintoft, 1994, [2]), ktorí využili vrstvovú neurónovú sieť s použitím parametrov n, v, , nameraných osem hodín pred predikovanou hodnotou na jej úspešnú predikciu.

 Využitie rekurentých sietí pri predikcií geomagnetických búrok skúmali (Andrejková, G., Azorová, J., Kudela, K., 1996, [3]). Testované boli 4 modely neurónových sietí, pričom všetky boli schopné predpovedať geomagnetické s vyššou alebo s nižšou úspešnosťou.

 Andrejková, G., Tóth, H., Kudela, 2004, [4], použili na predikciu geomagnetických búrok fuzzy neurónové siete. Zostavili fuzzy neurónový klasifikátor, ktorý predikoval, či nastane geomagnetická burka v čase t až t + 4 hodín. Na vstup boli zadávané hodnoty n\*v a , respektíve n\*v a namerané v čase t-1 až t-8. Následné bola porovnávaná úspešnosť modelu s parametrami n\*v, s modelom s n\*v a na vstupe.

4. Predspracovanie dát

Používané dáta sú získané z NASA's Space Physics Data Facility (SPDF). Dáta na tejto stránke sú merané v rôznych časových intervalov. Pre naše účeli, budeme používať hodinnové data.

 Neurónová sieť bude prijímať štyri parametre na vstupe.

 ... z zložka vektora intenzity medziplanetárneho magnetického poľa

 ... stredná kvadratická odchýlka parametra

v ... rýchlosť častíc slnečného vetra

n ... častice slnečného vetra na 1

 Táto sieť bude predikovať to, či nastane búrka v časovom intervale <t, t+q>, kde

q N, z hodnôt parametrov na vstupe v čase t-1. Predikujeme teda, či v časovom intervale <t, t+q> nastane pokles hodnôt parametra o najmenej 40nT.

 Keďže búrka buď nastane alebo nenastane, môžeme využiť neuro-fuzzy klasifikátor, ktorý nám na výstupnej vrstvy da buď hodnotu 1, respektíve nastala búrka alebo 0, respektíve búrka nenastala.

 Vytvorili sme teda klasifikačnú funkciu :

.

**5. Model fuzzy neurónovej siete**

**5.1. Neuro-fuzzy klasifikátor**

Neuro-fuzzy je inak povedané použitie učiacich stratégií teórie neurónových sietí s fuzzy systémami. Ako neuro-fuzzy systém je väčšinou chápaná neurónová sieť, kde sa namiesto aktivačnej funkcie používajú funkcie z fuzzy systémov ako t-norma a t-co-norma. Pravidlá typu ***AK x je B A y JE C POTOM z je D***, kde x, y, z sú premenné a B, C, D sú fuzzy množiny sú interpretáciou týchto neuro-fuzzy systémov.

Neuro-fuzzy klasifikátor je modifikovaný neuro-fuzzy systém. Hlavným rozdielom je štruktúra pravidiel. Pravidla neuro-fuzzy klasifikatorov vyzerajú takto:

***AK JE A ... A je POTOM x PATRI do C***,

kde **x** je vstupný vektor s atribútmi ..., , ... , sú fuzzy množiny a C je trieda do ktorej je vstup **x** zaradení. Výstup takejto siete je n-rozmerný vektor, ktorý má všetky hodnoty rovné nule až na jednu. Príklad výstupu siete = (0,….,0,1,0,…0) obsahujúci 1 na i-tej pozicií znamená, že vstup **x** klasifikátor zaradí do triedy

**5.1.1 Popis modelu NFC**

Neuro-fuzzy klasifikátor je štvorvrstvová dopredná sieť (N, W , A, O) špecifikovaná nasledovné:

1. N = je neprázdna množina neurónov, I = {1, 2, 3, 4} je indexovaná množina. Pre každé i, j ∊ I platí: a = pre i j.

 sa nazýva vstupná vrstva, fuzzifikačná vrstva, vrstva pravidiel (inferenčná vrstva), ktorá odpovedá predpokladovým častiam pravidiel a výstupná vrstvam, odpovedajúca dôsledkovým častiam pravidiel.

Označíme , ,, . Každý neurón je spojený s nejakou hodnotou lingvistickej premennej , čislo predstavuje počet hodnôt tejto lingvistickej premennej.

1. W: N × N R je zobrazenie definujúce štruktúru siete (prepojenia váhami) a spĺňajúce nasledujúce podmienky:
2. Pre n, m ∊ prepojenia W(n, m) existujú iba pre n ∊ a m ∊ , pre i = 1, 2, 3.

Navyše W(m, n) {0, 1} pre , m , i = 1, 2.

1. W() =
2. Pre každé R, , platí

(W() = 1 & W() = 1) k = j

1. Pre každé R, platí

() R =

1. W(R, c) {0, 1}, pre všetky R a c
2. Pre všetky c, , R platí

(W(R,c) = 1 & W(R, ) = 1)

1. Definujme agregačnú funkciu pre pre každý neurón nasledovne
2. pre n = , kde je n-tá zložka vstupu siete.
3. pre n = , : W() = 1
4. pre n = (), S = {m = 1}
5. pre n ={ min(W(), )}
6. Definujeme pre každý neurón výstupnú funkciu následovne
7. pre n : R R

 = () =

1. pre n : R <0,1>

 = () = ()

Presnejšie pre

 = () =

1. pre n : :

****

**Obrázok 2.** Na obrázku je graficky znázornený jeden príklad neuro-fuzzy klasifikátora.

**5.1.2 učiaci algoritmus 1 pre tvorbu základných pravidiel**

 Nasledujúci algoritmus vytvára pravidlá a štruktúru siete z trénujúcich dát.

Nech:

d ... hĺbka vnorenia

MD ... maximálna hĺbka vnorenia

 ... počet fuzzy množín, ktorými sa spočiatku pokryje priestor

 ... fuzzy množina zo systému

P ... podmienka vyjadrujúca vhodnosť systému pravidiel

B ... počet fuzzy množín, koľkými budeme nahrádzať jednotlivé fuzzy množiny zo systémov

Popis algoritmu

Krok 0: Pre každé i=1..n zostroj systém ,obsahujúci fuzzy množín , ktorérovnomerne pokryvajú priestor .

Krok 1: k=1, d=0, S’= ,S = .

Krok 2 :Vyber k-ty príklad (, ) z trénujúcej vzorky T.

Krok 3: Vyrob ku (, ) pravidlo tak, že

AK je A ... A  je POTOM **x** , kde

()=

a urči jeho silu F()

Krok 4: ak S’ existuje pravidlo R’ také, že ANT()= ANT(), tak

 [j] = [j] + 1

 [j] = [j]+F()

Pričom j {1,…,m} také, že =

Inak zaraď do S’a inicializuj polia , nasledovne:

[l] =

[l] =

Pričom j {1,…,m} také, že =.

Krok 5: Ak boli spracované všetky príklady z T, pokračuj krokom 6.

 Inak k = k+! a prejdi opäť na krok 2.

Krok 6: Ak S’ nevyhovuje podmienke P a ak d MD,

tak d = d+1, zostroj množinu A ,i = 1,...,n, ktorá sa nachádza v predpokladovej časti niektorého nejednoznačného pravidla , l I nahraď novými fuzzy množinami , ...,, b2 a opakuj celý proces prechodom na krok 1

 Inak pokračuj krokom 7.

Krok 7: Pre Každé pravidlo S’ nastav jeho uzáverovú časť na , pričom v

{1…m} je take, že [v]=[j].

Krok 8: Ak | S’| MR,

 Tak pre každé S’ urči = , pričom v {1…m} je také, že [v] = [j] a usporiadaj pravidlá v S’ zostupne podľa a do S zaraď prvých MR pravidiel z S’.

 Inak do S zaraď všetky pravidlá S’.

 Úspech algoritmu závisí od parametrov MD,, b ako aj od podmienky P.

Podmienka P pre vhodnosť súboru pravidiel môže vyzerať takto:

S’ je vyhovujúci, ak pre každé pravidlo S’

v {1…m} j {1…m} j!=v, [j] 0

 ,

S

**5.5.3 Popis algoritmu 2**

Definujme TO , ako výstup klasifikátora na vstup. Ak TO = 1, znamená to, že existujé pravidlo zo súboru pravidiel, také že naň zareagoval. V opačnom prípade, takéto pravidlo nexistuje.

 Označme AO ako očakavaný výstup siete . Môžu teda nastať len 3 prípady, TO = AO, AO = 0 a TO = 1, AO = 1 a TO = 0.

Krok 1: Vyber ďalší príklad () z trénujúcej vzorky.

Krok 2: Vstupný vektor propaguj cez jednotlivé vrstvy a urči výstup siete TO.

Krok 3: Ak AO = 0 a zároveň TO = 1, tak

1. p = (AO - ) = - ,

kde je výsledok agregačnej funkcie neurónu c z výstupnej vrsty

1. Nájdi neurón taký, že = {},

pričom predstavuje výstup neurónu R z tretej vrstvy .

1. Nájdi neuron ∊ , pre ktorý platí

 = (), P={N}, kde je výstup neurónu M z druhej vrstvy .

1. Pre výstupnú funkciu neurónu určí delta hodnoty jej parametrov u, v, w použijúc učiaci pomer η > 0:

 = η.p.(w - u).sgn( - v),

 = -η.p.(w - u) + ,

 = η.p.(w - u) + ,

Kde odpovedá neurónu vstupnej vrstvy takému, že W( ) = 1. Adaptuj jednotlivé parametre:

u = u + ,

v = v + ,

w = w + ,

inak pokračuj krokom 4.

Krok 4: Ak je koniec učiacej epochy a je splnené kritérium ukončenia skonči.

 Inak pokračuj krokom 1.

Hodnota napr η = 0.1 a učiaci proces sa ukončí ak dôjde k zmene parametrov u, v ,w dôjde len menej než 1% prípadov.

**6. Postup pri vyhodnocovaní výsledkov**

Pri vyhodnocovaní výsledkov neuro-fuzzy klasifikátora budeme brať do úvahy dve hodnoty , , respektíve chybu prvého a chybu druhého druhu.

 Chyba prvého druhu = 1 – ,

informuje nás o neúspešnosti siete predpovedať búrky, ktoré nastali.

Parameter B predstavuje skutočný počet búrok v našej vzorke a S je číslo predstavujúce počet búrok správne predpokladaných sieťou.

 Chyba druhého druhu = ,

informuje nás o tom, v akej časti príkladov predpovedá sieť búrku, aj keď búrka nenastáva , pričom M je počet búrok v našej vzorke, pre ktoré naša sieť dala výstup 1, keď výstup mal byť 0. Parameter n je zase celkový počet príkladov zo vzorky, ktorých výstup má byť nulový.

7. Implementácia neuro-fuzzy klasifikátora

Na začiatku je potrebné spracovať dáta podľa už spomenutých princípov. Následne sa na tieto spracované dáta použije algoritmus 1, respektíve algoritmus na získavanie pravidiel z dát. Po splnení podmienok ukončenia algoritmus 1 skonči svoju prácu a zanechá nám zoznam pravidiel a tým pádom aj architektúru siete. Na tomto zozname pravidiel a testovacej vzorky dát si môžeme otestovať úspešnosť tohto algoritmu a taktiež ho porovnať so sieťou, ktorá vznikne z predchádzajúcej sieti pomocou algoritmu 2, respektíve porovnať hodnoty ich a .

7. Záver

Kedže ešte nie je všetko naprogramované, nedá sa posudzovať úspešnosť modelu a ani ho porovnávať s inými riešeniami.

Literatúra

[1] Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts – Workshop Report, National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington, D.C., 2008

[2] Lundstedt, H., Wintoft, P.: Prediction of geomagnetic storms from solar wind data with the use of neural network. Ann. Geophysicae 12, 19-24 (1994), EGS-Springer-Verlag, 1994.

[3] Andrejková, G., Azorová, J., Kudela, K.: Artificial Neural Networks in Prediction Index, Proceedings of the 1st Slovak Symp. on Neural Networks, ELFA, Košice, pp. 51-59, 1996.

[4] Andrejková, G., Tóth, H., Kudela, K.: Fuzzy Neural Networks in the Prediction of Geomagnetic Storms. Košice, 2004.